

Andrzej KROWIAK\*, Zbigniew LUBOSIK\*\*

## Metoda określania obszarów rentowności ekonomicznej projektu udostępnienia i eksploatacji pokładów węgla kamiennego

STRESZCZENIE. W artykule przedstawiono metodę określania obszarów rentowności projektu udostępnienia i eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Do oceny rentowności projektu zastosowano, jako przykład, jedynie wynikowe wskaźniki ekonomiczne: NPV oraz IRR. Podstawą do wykonania analizy ekonomicznej jest bilans mas dający informacje o ilości węgla handlowego uzyskanego w ramach całego projektu, ilości skały płonnej i odpadów z przeróbki mechanicznej węgla oraz całkowitej masy urobku. Ilości węgla handlowego są podstawą do wyliczenia przychodów. Ilości skały płonnej i odpadów pozwalają na wyliczenie kosztów zagospodarowania odpadów a całkowita ilość urobku do wyliczenia kosztów transportu poziomego i pionowego w kopalni. W opisanej metodzie, na wybranym przykładzie, pokazano tworzenie tablic poglądowych zawierających wyniki obliczeń wynikowych parametrów ekonomicznych, przy różnych kombinacjach danych wejściowych oraz budowania funkcji pozwalających na obliczenia tych wskaźników dla dowolnej kombinacji zmiennych wejściowych. Pokazano również metodę tworzenia funkcji wartości zerowych ograniczających obszar rentowności projektu. Metoda ta jest uniwersalna i nadaje się do zastosowania w różnych rodzajach projektów biznesowych, pod warunkiem uwzględnienia ich charakterystyki techniczno-organizacyjnej.

SŁOWA KLUCZOWE: zasoby, górnictwo, kopalnia węgla, eksploatacja, efektywność ekonomiczna, ocena

---

\* Dr nauk ekonomicznych inż., \*\* Dr inż. — Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

## Wprowadzenie

We współczesnych systemach zarządzania każda decyzja inwestycyjna powinna być poprzedzona wariantową analizą ekonomiczną jej opłacalności [5]. Jedną z fundamentalnych części takiej analizy powinno być określenie przedziału rentowności w zależności od zmienności parametrów wejściowych projektu. Ma to zasadnicze znaczenie w sytuacji, gdy dane wejściowe do analizy (ekonomiczne i techniczne) są obarczone dużym błędem niepewności lub niedoszacowania. Wykonywane obecnie analizy tego typu zawierają zazwyczaj analizę wrażliwości projektu, to jest wyliczenia zmienności parametrów wyjściowych, z punktu widzenia zmienności tylko jednego parametru wejściowego. Przedstawiona metoda pozwala na określanie obszaru rentowności ekonomicznej projektu w przestrzeni wielowymiarowej, przy zmienności jednocześnie wielu danych wejściowych. Istotą metody jest wyznaczenie funkcji nieliniowych wielu zmiennych pozwalających na wyliczanie wyjściowych relacji ekonomicznych projektu przy dowolnej kombinacji danych wejściowych oraz tworzenie tablic poglądowych pokazujących zmienność wartości wyjściowych parametrów ekonomicznych projektu, w zależności od dwóch zmiennych. Są to nowości w stosunku do metod stosowanych do tej pory przy opracowywaniu analiz ekonomicznych projektów inwestycyjnych.

Zastosowanie metody pokazano na przykładzie projektu eksploatacji pokładów cienkich w jednej z kopalń węgla kamiennego na terenie województwa śląskiego. Dane liczbowe oraz wyznaczone funkcje są charakterystyczne jedynie dla tego projektu. Należy je potraktować jedynie jako ilustrację przedstawionej metody.

### 1. Cechy charakterystyczne analizy ekonomicznej eksploatacji zasobów węgla kamiennego

Większość projektów inwestycyjnych zakłada następującą logikę: najpierw ponosimy nakłady inwestycyjne na zakup maszyn, urządzeń, wykonanie infrastruktury, a potem uruchamiamy produkcję.

W projektach górniczych występuje dodatkowo składnik robót udostępniających i przygotowawczych, czyli wykonania chodników pozwalających na dostęp do planowanego do eksploatacji pokładu. Dla projektów zakładających sukcesywną eksploatację kilku pokładów czy pól część prac udostępniających wykonuje się przed rozpoczęciem eksploatacji, dla zasobu przewidzianego do wydobycia w pierwszej kolejności, a część w trakcie eksploatacji poprzedniego jako przygotowanie następnego pokładu do wydobycia. Taka kolejność pozwala na uzyskanie, od pewnego momentu czasowego, samofinansowania się projektu. Oznacza to, że część dochodów ze sprzedaży pozyskanego w procesie eksploatacji węgla może być skierowana na sfinansowanie kolejnych robót udostępniających i przy-

gotowawczych. Od tego momentu projekt nie wymaga już zewnętrznych zasileń finansowych.

W przedstawionej metodzie wydatki na roboty udostępniające i przygotowawcze zaliczono do nakładów inwestycyjnych, chociaż w obecnej praktyce księgowej kopalń zalicza się je do kosztów bieżących. Z punktu widzenia wynikowych strumieni pieniężnych jest to założenie neutralne, gdyż obliczenia wykonujemy na poziomie technicznego kosztu wytworzenia. Założenie to przyjęto świadomie, gdyż do kosztów bieżących (operacyjnych) zaliczać będziemy jedynie koszty związane z zazbrojeniem wyrobiska, eksploatacją i fazą poeksploatacyjną. Przez analogię do innych projektów inwestycyjnych realizowanych poza górnictwem wykonanie wyrobisk udostępniających traktować będziemy jako nakłady na infrastrukturę techniczną niezbędną do wykonania, ale nie mającą bezpośredniego wpływu na bieżące koszty produkcji. Wydatki na wykonanie robót przygotowawczych liczone są od ilości metrów wykonanych wyrobisk korytarzowych i w danych warunkach górnico-geologicznych są wielkością stałą. Uzasadnia to przyjęte w tej metodzie założenie zaliczenia ich do nakładów inwestycyjnych. Koszty zazbrojenia wyrobiska, eksploatacji oraz likwidacji zależą w dużym stopniu od organizacji pracy, efektywności wykorzystania czasu pracy górników, ilości zmian wydobywczych. Mogą charakteryzować się dużą zmiennością w czasie i stanowią ogromne pole do ich optymalizacji. Stąd zaliczono je, w przyjętym modelu, do kosztów operacyjnych.

Metodę wykonywania analiz ekonomicznych projektu udostępniania i eksploatacji zasobów węgla kamiennego, w pełnym cyklu: od rozpoznania warunków górnico-geologicznych do uzyskania wynikowych wskaźników ekonomicznych projektu przedstawiono w pozycjach literaturowych [1, 2, 3, 4]. Jest tam opisany model statyczny, w którym na podstawie założonych stałych danych wejściowych oblicza się jeden zestaw wynikowych wskaźników ekonomicznych projektu. W przedstawionej w artykule metodzie uzyskuje się obszar wielu różnych wartości wynikowych wskaźników ekonomicznych zamieszczonych w tabeli, w zależności od wielu różnych wartości zmiennych wejściowych. Dodatkowo, definiuje się funkcje pozwalające na samodzielne wyliczenie przez potencjalnego inwestora wartości wynikowych wskaźników ekonomicznych projektu, przy założonych przez niego dowolnych kombinacji danych wejściowych.

Opisana w artykule metoda tworzenia biznes planu składa się z kilku faz:

1. Wykonania opisu techniczno-organizacyjnego projektu oraz wyliczenia bilansu mas. Bilans mas ma na celu wyliczenie ilości węgla surowego oraz skały płonnej pozyskiwanych z analizowanego zasobu w zadanym odcinku czasu. Ilości węgla surowego są podstawą do wyliczenia przychodów ze sprzedaży węgla handlowego uzyskanego z węgla surowego, po odjęciu strat w procesie jego przeróbki i wzbogacenia. Ilości urobku (suma węgla surowego i skały płonnej) są podstawą do wyliczania kosztów transportu poziomego i pionowego. Ilości skały płonnej i odpadów z przeróbki i wzbogacania węgla pozwalają na wyliczenie kosztów zagospodarowania odpadów.

2. Wykonania wersji bazowej. Wersja bazowa jest typową analizą wykonaną według standardów UNIDO [6], przy przyjęciu konkretnych wartości liczbowych jako danych wejściowych. Na wyjściu z tej analizy uzyskujemy zestaw wynikowych wskaźników ekonomicznych projektu.

3. Wykonanie wzorców tablic poglądowych dwóch wybranych zmiennych wejściowych zawierających wartości wyjściowych wskaźników ekonomicznych projektu w zależności od różnych wartości tych zmiennych wejściowych.

4. Wyznaczenie, na podstawie wersji bazowej (etap 2), kilku lub kilkunastu wartości NPV i IRR dla wybranych współrzędnych z tablicy poglądowej i wpisanie ich do macierzy danych wejściowych **W1** i **W2**.

5. Wyznaczanie na podstawie danych zawartych w macierzach **W1** i **W2** funkcji ujmujących zależności NPV i IRR od zmiennych wejściowych  $x$  i  $y$ .

6. Wypełnienie tablic poglądowych w oparciu o wyznaczone w fazie 5 funkcje.

7. Wyznaczenie na podstawie tablic poglądowych z fazy 3 funkcji wartości zerowych jednej zmiennej pozwalających na wyznaczenie granicy rentowności względnej ( $NPV = 0$  dla przyjętego  $R_d$ ) oraz rentowności bezwzględnej ( $IRR = 0$ ) projektu.

8. Na podstawie tablic poglądowych z różnych wersji dotyczących danego wyjściowego wskaźnika ekonomicznego tworzenie metodami regresji nieliniowej funkcji 3 zmiennych wejściowych

Spośród wielu wynikowych wskaźników ekonomicznych, na potrzeby tego artykułu wybrano, dla celów demonstracyjnych, jedynie dwa najważniejsze: NPV i IRR. Ich definicje oraz niezbędne dla zrozumienia tych definicji pojęcia podano poniżej.

- ❖  **$R_d$  – stopa dyskonta** – określa ona oczekiwania potencjalnego inwestora odnośnie stopy zwrotu kapitału zainwestowanego w ten projekt. Dla wersji bazowej przyjęto następujące stopy dyskonta:  $R_d = 0,05$ ,  $R_d = 0,08$ ,  $R_d = 0,10$  oraz  $R_d = 0,12$ . Dla przedstawionego w artykule przykładu obliczenia prowadzono jedynie przy stopie dyskonta  $R_d = 0,10$ . Przyjmuje się, że projekt jest rentowny, jeżeli rzeczywista stopa rentowności projektu jest większa od przyjętej stopy  $R_d$ .
- ❖ **NPV – zaktualizowana wartość strumieni pieniężnych** – jest ona sumą zdyskontowanych strumieni pieniężnych z poszczególnych okresów analizy. Relacja ta jest liczona w złotych, z dokładnością do zadanego odcinka czasu, w horyzoncie od rozpoczęcia do zakończenia projektu. Wartość ujemna tego wskaźnika dla danej stopy dyskonta  $R_d$  oznacza, że projekt jest nierentowny. Im większa jest jego wartość dodatnia, tym projekt uważa się za bardziej rentowny. Wskaźnik ten określa rentowność względną całego projektu dla zadanej stopy dyskonta  $R_d$ .
- ❖ **IRR – wewnętrzna stopa zwrotu** dla danego projektu inwestycyjnego – liczona jest dla całego projektu w całym horyzoncie analizy. Wartość ujemna przy przyjętych danych wejściowych oznacza, że projekt nie jest rentowny (rentowność bezwzględna).
- ❖ **Strumień pieniężny** – jest różnicą pomiędzy przychodami a wydatkami dla poszczególnych odcinków czasowych. Jeżeli przyjmuje wartości ujemne jest ilustracją zapotrzebowania na pieniądź w poszczególnych odcinkach czasowych. Jeżeli przyjmuje wartości dodatnie – daje nam informację o ilości pieniądza generowanego przez projekt.
- ❖ **Współczynnik dyskontujący** – jest miarą zmniejszania się wartości pieniądza w czasie w logice analizy zdyskontowanych strumieni pieniężnych. Dla danego odcinka czasu wyliczany jest ze wzoru  $r_d = 1/(1 + R_d)^t$  gdzie  $R_d$  – stopa dyskonta,  $t$  – czas, który upłynął od momentu startu projektu.

- ✧ **Zdyskontowane strumienie pieniężne** – iloraz strumieni pieniężnych oraz współczynnika dyskontującego dla danego odcinka czasu.

#### **Przykład tworzenia bilansu mas (faza 1)**

W celu przeprowadzenia oceny efektywności ekonomicznej wybierania zasobów węgla kamiennego niezbędne jest opracowanie bilansu mas. Bilans mas ma na celu określenie masy urobku oraz skały płonnej, w czasie, pozyskanych w trakcie robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych danych zasobów. Przykład bilansu mas pokazano w tabeli 1.

Bilans mas opracowuje się w oparciu o projekt udostępnienia i przygotowania analizowanego pola eksploatacyjnego oraz w oparciu o projekt eksploatacji tego pola i uwzględnia się w nim wszystkie prace związane z udostępnieniem, przygotowaniem i wybraniem zasobów (drażnienie wyrobisk udostępniających i przygotowawczych, zbrojenie ścian, rozruch i normalny bieg ścian, likwidacja ścian [3]). Jako dane wejściowe przyjmuje się: czas rozpoczęcia robót, postęp robót (postęp robót chodnikowych, czas trwania zbrojenia i likwidacji ścian, postęp ścian itp.), zakres koniecznych do wykonania prac (długość wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych; wymiary wyrobisk korytarzowych; długość, wysokość i wybieg ściany), dane geologiczne dotyczące grubości pokładu węgla, wielkości przerostu, rodzaj skał otaczających, ciężaru właściwego węgla i skał otaczających itp. Dane wejściowe dotyczące postępu robót korytarzowych oraz eksploatacyjnych przyjmować można na podstawie doświadczenia kopalni lub wyznaczone mogą być z istniejących zależności [7, 8].

W bilansie mas wydzielić należy masę węgla surowego oraz masę skały płonnej. Wyróżnia się dwa etapy pozyskiwania mas w trakcie prowadzenia robót górniczych:

- ✧ roboty przygotowawcze, gdzie w zależności od typu wyrobiska (kamienne, węglowo-kamienne lub węglowe) pozyskujemy wyłącznie skałę płoną (przypadek najmniej korzystny), wyłącznie węgiel (przypadek najbardziej korzystny) lub skałę płoną i węgiel (przypadek pośredni);
- ✧ roboty eksploatacyjne gdzie w zależności od warunków prowadzenia eksploatacji pozyskujemy wyłącznie węgiel (w pokładzie węgla nie występują przerosty skały płonnej, nie prowadzimy przybierki skał stropowych i spągowych oraz nie występują obwały skał stropowych) lub pozyskujemy zarówno węgiel jak i skałę płoną.

W bilansie mas należy dodatkowo określić parametry węgla surowego wpływające na jego cenę (np. kaloryczność, zawartość siarki, zawartość popiołu, wilgotność), a także parametry skały płonnej pod kątem kosztów zagospodarowania. Jeżeli te parametry ulegają zmianie w czasie eksploatacji, zmiany te należy uwzględnić w odpowiednich odcinkach czasowych.

#### **Przykład wersji bazowej analizy (faza 2)**

W artykule pokazano jedynie przykład tabeli końcowej analizy wykonanej metodą UNIDO (tab. 2). Znaczenie wyjściowych wskaźników ekonomicznych zawarte w tej tabeli podane są w podrozdziale *Definicje i pojęcia używane w analizie ekonomicznej*.

Do wyliczeń przyjęto następujące założenia: stopa dyskonta  $R_d = 0,10$ ;  $x$  – całkowite nakłady inwestycyjne – 343 783 549 [zł];  $y$  – cena jednostkowa węgla – 563 [zł/t];  $z$  –

TABELA 1. Harmonogram robót i bilans mas

TABLE 1. The schedule of work and balance of mass

Ściana	Roboty przygotowawcze [mb]														rok-7	
	Pokład	rok-1	rok-2	rok-3	rok-4	rok-5	rok-6	rok-7	VI	VII	IX	X	VIII	V	VI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A	Pokład-1	965	536						65	150						
B	Pokład-2		1900	720							160	160				
C	Pokład-3		255	1990	360								165	165		
D	Pokład-4			1000	2770								160	160		
E	Pokład-5					1640	240									
F	Pokład-6						1330									
G	Pokład-7						670	1800							200	160
Razem		965	2691	3710	3130	1640	2240	1800								
Węgiel z robót przygotowawczych [tys. ton]																
Rok	rok-1	rok-2	rok-3	rok-4	rok-5	rok-6	rok-7									
tys. ton	10,171	28,362	39,102	32,989	17,285	23,609	18,972	0,69	1,58	1,69	1,69	0,000	1,686	1,686	2,108	1,686
Skala płonna z robót przygotowawczych [tys. ton]																
Rok	rok-1	rok-2	rok-3	rok-4	rok-5	rok-6	rok-7									
tys. ton	10,171	28,362	39,102	32,989	17,285	23,609	18,972	2,21	5,10	5,44	5,44	0,000	5,445	5,445	6,806	5,445
Charakterystyka robót eksploatacyjnych																
Ściana	Pokład	Długość	Wybieg	Postęp	Zasoby		Wys. netto									
					tys.ton	t/m										
A	Pokład-1	245	1040	7,0	397,5	380	1,2									
B	Pokład-2	246	685	6,0	284,8	420	1,3									
C	Pokład-3	250	760	7,1	296,4	390	1,2									

TABELA 1 cd.

TABLE 1 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
D	Pokład-4	245	1150	6,5	586,0	510	1,6									
E	Pokład-5	245	520	5,9	198,7	380	1,2									
F	Pokład-6	195	600	6,5	243,4	410	1,6									46,7
G	Pokład-7	250	600	7,0	234,0	390	1,2									
									VI	VII			VII	VIII	V	VI
Wydobycie z robót eksploatacyjnych [tys. ton]																
	rok	rok-1	rok-2	rok-3	rok-4	rok-5	rok-6									
	tys. ton	0,00	241,50	355,50	375,10	416,10	375,20						0	0	0	46,7
Skala płonna z robót eksploatacyjnych [tys. ton]																
	rok	rok-1	rok-2	rok-3	rok-4	rok-5	rok-6									
	tys. ton	0,000	60,375	88,875	93,775	86,850	93,800						0,00	0,00	0	11,68
RAZEM																
	rok	rok-1	rok-2	rok-3	rok-4	rok-5	rok-6									
	tys. ton	269,86	394,60	408,09	433,39	398,81			1,6				6,9		50,1	
Wydobycie węgla [tys. ton]																
	10,17															
Skala płonna [tys. ton]																
	32,84	151,95	215,13	200,29	193,36	170,03			5,105				11,06		17,12	

Źródło: opracowanie własne

TABELA 2. Wynikowa tablica wersji bazowej

TABLE 2. Resultative table of the base version

Lp.	Wyszczególnienie	rok-1/I	rok-1/II	rok-2/II	rok-2/III	rok-2/IV	rok-6/II	rok-6/III	rok-8/III
1	Przychody	0	361 277	3 392 863	33 284 616	99 874 793	2 481 817	33 347 447	32 462 580
2	Koszty operacyjne	0	109 674	4 284 943	11 942 881	25 608 746	6 837 897	13 655 282	5 675 891
3	Całkowite nakłady inwestycyjne	300 000	918 905	8 680 118	121 589 197	10 390 695	6 361 650	7 633 980	-57 401 719
I	Strumienie pieniężne (1)-(2)-(3)	-300 000	-667 302	-9 572 198	-100 247 462	63 875 352	-10 717 730	12 058 185	84 188 408
	Współczynnik dyskontujący dla R = 0,1	1,0000	0,9765	0,8877	0,8668	0,8464	0,6063	0,5920	0,4893
a	Zdyskontowane strumienie pieniężne	-300 000	-651 589	-8 497 101	-86 892 913	54 062 498	-6 498 172	7 138 750	41 191 457
b									
c	NPV	-300 000	-951 589	-26 242 476	-113 135 389	-59 072 891	212 998 544	220 137 294	352 022 635
	IRR[%]								128,41%

Źródło: opracowanie własne



całkowite koszty operacyjne za cały okres analizy – 382 182 329 [zł]. Ilości węgla handlowego wynikają z bilansu mas (patrz tab. 1). W artykule nie podano struktury nakładów inwestycyjnych oraz kosztów, gdyż nie jest to przedmiotem artykułu.

### **Przykład wzorców tablic poglądowych (faza 3)**

*Tablice poglądowe* są tabelami dwuwymiarowymi, w których wiersze i kolumny opisane są wartościami dyskretnymi wybranych zmiennych wejściowych. Dla analizowanego projektu przyjęto w nich dwie zmienne wejściowe:  $x$  – całkowite nakłady inwestycyjne oraz  $y$  – cena jednostkowa węgla. Przedziały zmienności całkowitych nakładów inwestycyjnych mieszczą się w przedziale od 300 mln zł do 440 mln zł., z podziałką co 20 mln zł. Zmienność ceny jednostkowej węgla mieści się w granicach od 650 do 350 zł/t, z podziałką co 50 zł/t. Przykład fragmentu wypełnionej już (patrz następne fazy) tablicy poglądowej podano w tabeli 3.

### **Przykład wyznaczania próbki danych wynikowych (faza 4)**

Zadając manualnie w wersji bazowej (faza 2) różne wartości współrzędnych z tablicy poglądowej  $x$  – całkowite nakłady inwestycyjne,  $y$  – cena jednostkowa węgla, przy założonej wartości stałej  $z$  – całkowite koszty operacyjne za okres analizy otrzymujemy różne wartości NPV i IRR. Wyniki tych przeliczeń umieszczamy odpowiednio w macierzach **W1** dla NPV i **W2** dla IRR. Macierze te mają 3 kolumny oraz ilość wierszy odpowiadającą ilości wyznaczanych próbek. Postać tych macierzy wygląda następująco: **W1** $[x_1, y_1, NPV(x_1, y_1); \dots \dots \dots x_n, y_n, NPV(x_n, y_n)]$  oraz **W2** $[x_1, y_1, IRR(x_1, y_1); \dots \dots \dots x_n, y_n, IRR(x_n, y_n)]$  gdzie  $n$  – ilość próbek.

### **Przykład wyznaczania funkcji zależności pomiędzy NPV oraz IRR a zmiennymi $x$ oraz $y$ (faza 5)**

Funkcje zależności pomiędzy NPV oraz IRR z zmiennymi  $x$  oraz  $y$  wyznacza się metodami regresji nieliniowej. Funkcje te mają postać:  $NPV(x,y) = a_1 * x^2 + a_2 * x + a_3 * y^2 + a_4 * y + a_5 * x * y + b$  oraz  $IRR(x,y) = a_1 * x^2 + a_2 * x + a_3 * y^2 + a_4 * y + a_5 * x * y + b$ . Wyznacza się je poprzez zadanie na wejściu programowi narzędziowemu wyznaczającemu funkcje regresji (w tym przypadku zastosowano program STATISTICA) kolejno dane zawarte w macierzach **W1** oraz **W2**. Przez wyznaczanie funkcji rozumiemy tutaj wyliczenie wartości współczynników  $a_i$  w podanych wzorach. Oczywiście dla każdej z funkcji wartości tych współczynników są inne. Inne wartości tych współczynników będą również przy przyjęciu innej wartości zmiennej  $z$ . Przykład wartości współczynników  $a_i$  tych funkcji podano w tabeli 4. Wyliczono je przy założeniu, że całkowite koszty operacyjne za okres analizy wynoszą 382 182 329 [zł].

Wielkość próbki branej do wyliczania współczynników wyznaczonych funkcji zależy od stopnia zakrzywienia hiperpowierzchni danych wynikowych w katrezjańskiej przestrzeni wielowymiarowej. Dla wartości NPV mamy do czynienia z hiperpłaszczyzną. Z geometrii wiadomo, że do wyznaczenia płaszczyzny wystarczają 3 punkty, a więc 3 próbki. Do wyznaczenia funkcji IRR, która w niektórych projektach może charakteryzować się dużą krzywizną, próbek tych musi być trochę więcej (zazwyczaj powyżej 10).

TABELA 3. Tablica poglądowa wartości NPV i IRR

TABLE 3. Demonstrative table of values NPV and IRR

Całkowite nakłady inwestycyjne [zł]	Cena jednostkowa węgla [zł/t]						
	650	600	550	500	450	400	350
	Wartości NPV [zł] dla $R_d = 0,10$						
300 000 000	440 153 596	364 642 102	289 130 607	213 619 113	138 107 618	62 596 124	-12 915 370
320 000 000	424 548 003	349 036 509	273 525 015	198 013 520	122 502 026	46 990 531	-28 520 963
340 000 000	408 942 411	333 430 916	257 919 422	182 407 928	106 896 433	31 384 939	-44 126 556
360 000 000	393 336 818	317 825 324	242 313 829	166 802 335	91 290 841	15 779 346	-59 732 148
380 000 000	377 731 226	302 219 731	226 708 237	151 196 742	75 685 248	173 754	-75 337 741
400 000 000	362 125 633	286 614 139	211 102 644	135 591 150	60 079 655	-15 431 839	-90 943 333
420 000 000	346 520 041	271 008 546	195 497 052	119 985 557	44 474 063	-31 037 432	-106 548 926
440 000 000	330 914 448	255 402 954	179 891 459	104 379 965	28 868 470	-46 643 024	-122 154 519
	Wartości IRR						
300 000 000	222,86%	162,75%	116,47%	80,27%	51,29%	27,48%	7,36%
320 000 000	188,73%	139,38%	100,51%	69,36%	43,83%	22,38%	3,88%
340 000 000	162,36%	120,94%	87,62%	60,33%	37,50%	17,95%	0,79%
360 000 000	141,48%	106,03%	76,97%	52,72%	32,06%	14,05%	-1,99%
380 000 000	124,57%	93,74%	68,02%	46,19%	27,30%	10,59%	-4,50%
400 000 000	110,61%	83,42%	60,38%	40,53%	23,10%	7,48%	-6,80%
420 000 000	98,91%	74,63%	53,77%	35,55%	19,35%	4,66%	-8,92%
440 000 000	88,95%	67,04%	47,98%	31,13%	15,98%	2,09%	-10,87%

Źródło: opracowanie własne

TABELA 4. Parametry funkcji nieliniowej 2 zmiennych wyliczenia wartości NPV oraz IRR dla x – całkowite nakłady inwestycyjne; y – cena jednostkowa węgla

TABLE 4. Parameters of non-linear function of 2 variables of enumerating value the NPV and IRR for x – total investments; y – unit price of coal

Funkcja NPV(x,y) = a <sub>1</sub> *x <sup>2</sup> + a <sub>2</sub> *x + a <sub>3</sub> *y <sup>2</sup> + a <sub>4</sub> *y + a <sub>5</sub> *x*y + b dla R <sub>d</sub> = 0,10			
a <sub>1</sub> =	0	a <sub>4</sub> =	1,51022989E+06
a <sub>2</sub> =	-7,80279629E-01	a <sub>5</sub> =	0
a <sub>3</sub> =	0	b =	-3,07411943E+08
Funkcja IRR(x,y) = a <sub>1</sub> *x <sup>2</sup> + a <sub>2</sub> *x + a <sub>3</sub> *y <sup>2</sup> + a <sub>4</sub> *y + a <sub>5</sub> *x*y + b			
a <sub>1</sub> =	1,8424776840E-17	a <sub>4</sub> =	6,3096256957E-03
a <sub>2</sub> =	-5,0287224562E-09	a <sub>5</sub> =	-2,5707208003E-11
a <sub>3</sub> =	7,9541601885E-06	b =	-5,6922607978E-01

Źródło: opracowanie własne

#### Przykład wypełnienia tablic poglądowych w oparciu o wyznaczone funkcje (faza 6)

Wyznaczone funkcje wstawiamy w pola tablic poglądowych, przyjmując za wartości zmiennych x oraz y wartości dyskretne wyznaczające współrzędne danego pola. Przykład wypełnionej już tablicy poglądowej zawarto w tabeli 3. W tabeli tej zaciemniono pola charakteryzujące się ujemną rentownością. Dla NPV wyznaczono w ten sposób obszar względnej nierentowności projektu. Oznacza to, że dla założonej przez inwestora stopy dyskonta R<sub>d</sub> = 10, dla wskazanych przez zaciemnione pola kombinacji wartości x oraz y projekt jest nieopłacalny, czyli nie może oczekiwać założonego przez niego 10% zwrotu z inwestycji. Dla wartości dodatnich inwestor może się spodziewać większego zwrotu z inwestycji niż 10% – odpowiednio do podanej w polu o współrzędnych x oraz y wartości NPV. W tablicy tej, dla IRR, zaciemnione pola wyznaczają obszar nierentowności bezwzględnej projektu. Oznacza to, że inwestor, dla tych wartości kombinacji x oraz y nie może oczekiwać żadnego zwrotu z inwestycji. Wartości dodatnie dają informację inwestorowi o rzeczywistej stopie zwrotu z zainwestowanych pieniędzy, przy spełnieniu określonych danymi wejściowymi warunków. Wartości ujemne informują go, ile może stracić, jeżeli wystąpią niekorzystne warunki np. rzeczywiste nakłady inwestycyjne będą znacznie wyższe od założonych a jednocześnie gwałtownie spadnie cena jednostkowa węgla.

#### Przykład wyznaczania wartości zerowych (faza 7)

Wprowadzone pojęcie funkcji wartości zerowych oznacza wyznaczenie krzywych ograniczających obszar rentowności projektu.

Przykład wyznaczania funkcji wartości zerowych NPV i IRR pokazano w tabeli 4. Na podstawie funkcji wyliczonych w tej tabeli można wyznaczyć obszary rentowności względnej i bezwzględnej projektu dla zmiennych x – całkowite nakłady inwestycyjne oraz y – cena

TABELA 5. Parametry funkcji wartości zerowych i zmiennej wyliczania NPV i IRR dla zmiennej y – cena jednostkowa węgla

TABLE 5. Parameters of the function of enumerating NPV and IRR for the variable y – unit price of coal

Opis	Cena jednostkowa węgla [zł/t]						
	650	600	550	500	450	400	350
	Funkcja NPV(x) = a <sub>1</sub> *x + b dla R <sub>d</sub> = 0,10 gdzie x – całkowite nakłady inwestycyjne						
a1 =	-7,8028E-01	-7,802E-01	-7,8028E-01	-7,8028E-01	-7,8028E-01	-7,8028E-01	-7,8028E-01
b =	6,7424E+08	5,98726E+08	5,23215E+08	4,47703E+08	3,72192E+08	2,96680E+08	2,21169E+08
	Wartosci dyskretne x dla NPV = 0 gdzie x = całkowite nakłady inwestycyjne						
	864 097 254	767 322 339	670 547 425	573 772 510	476 997 596	380 222 681	283 447 767
	Funkcja ciągła wartości x dla NPV=0 x = a1*y + b dla R <sub>d</sub> = 10 gdzie y – cena jednostkowa węgla						
a1 =		1,935498E+06	b =				-3,939766E+08
	Funkcja IRR(x) = a <sub>1</sub> *x <sup>4</sup> + a <sub>2</sub> *x <sup>3</sup> + a <sub>3</sub> *x <sup>2</sup> + a <sub>4</sub> *x + b gdzie x – całkowite nakłady inwestycyjne						
a1 =	3,67399E-35	2,39114E-35	1,53340E-35	1,71700E-35	1,97736E-35	2,3510E-35	0
a2 =	-1,10083E-25	-7,20879E-26	-4,65639E-26	-4,68794E-26	-4,78945E-26	-4,96487E-26	-9,2301E-27
a3	1,23164E-16	8,142625E-17	5,31940E-17	4,86364E-17	4,458311E-17	4,081136E-17	1,335135E-17
a4	-6,21768E-08	-4,18454E-08	-2,79370E-08	-2,35773E-08	-1,97528E-08	-1,63121E-08	-7,34577E-09
b	1,23991E+01	8,56063E+00	5,86441E+00	4,61637E+00	3,55719E+00	2,64525E+00	1,32482E+00
	Wartosci dyskretne x dla IRR = 0 gdzie x – całkowite nakłady inwestycyjne						
x =	1 018300 000	906 114 800	793 985 600	681 856 400	569 727 200	457 598 050	345 468 900
	Funkcja ciągła x = a <sub>1</sub> *y <sup>2</sup> + a <sub>2</sub> *y + b dla IRR = 0 gdzie y – cena jednostkowa węgla						
a1 =		1,3357143E+00	b =				-4,3916686E+08
a2 =		2,2413680E+06					

Źródło: opracowanie własne

jednostkowa węgla, przy pozostałych zmiennych wejściowych przyjmujących wartości stałe (całkowite koszty operacyjne 382 182 329 zł]. Podstawą do wyznaczenia tych funkcji były dane zawarte w tablicach poglądowych. Zastosowano metody regresji liniowej i nieliniowej. Wprowadzone pojęcie funkcji wartości zerowych oznacza wyznaczenie krzywych ograniczających obszar rentowności projektu. Obszary rentowności definiowano w postaci współrzędnych (całkowite nakłady inwestycyjne; cena jednostkowa węgla)

W analizowanym projekcie, dla rentowności względnej ( $NPV > 0$  dla danego  $R_d$ ) obszar rentowności dla przedziału zmienności ceny jednostkowej węgla [650; 350] zł/t zawiera się wewnątrz trójkąta o współrzędnych: [283 447 767; 650], [864 097 254; 650], [283 447 767; 350].

Dla rentowności bezwzględnej ( $IRR > 0$ ) obszar rentowności, dla przedziału zmienności ceny jednostkowej węgla [650; 350] zł/t zawiera się wewnątrz obszaru o współrzędnych: [300 000; 650]; [300 000; 350], [1 018 300 000; 650], [345 468 900; 350] oraz krzywej wyznaczonej z funkcji ograniczającej obszar  $x = 1,335714E+00*y^2 + 2,413680E+06*y - 4,3916686E+08$ .

Na podstawie funkcji podanych w tabeli 5 można określać obszar rentowności projektu dla tych dwóch zmiennych dla przedziału zmienności  $y$  – cena jednostkowa węgla wykraczającego poza przedział podany w tablicach poglądowych.

### Przykład wyznaczania funkcji 3 zmiennych (faza 8)

W tej fazie wyznaczamy funkcje NPV i IRR w zależności od 3 zmiennych:  $x$  – całkowite nakłady inwestycyjne;  $y$  – cena jednostkowa węgla;  $z$  – całkowite koszty operacyjne z okresu analizy. Funkcje te wyznaczamy w postaci:  $NPV(x, y, z) = a_1*x^2 + a_2*x + a_3*y^2 + a_4*y + a_5*z^2 + a_6*z + a_7*x*y + a_8*x*z + a_9*y*z + b$  oraz  $IRR(x, y, z) = a_1*x^2 + a_2*x + a_3*y^2 + a_4*y + a_5*z^2 + a_6*z + a_7*x*y + a_8*x*z + a_9*y*z + b$ . Metoda postępowania jest analogiczna do opisanych w fazie 4 i 5 z tym, że próbki zawierają wartości 3 zmiennych wejściowych. Macierze **W1** oraz **W2** przyjmują postać: **W1**[ $x_1, y_1, z_1, NPV(x_1, y_1, z_1); \dots \dots \dots x_n, y_n, z_n, NPV(x_n, y_n, z_n)$ ] oraz **W2**[ $x_1, y_1, z_1, IRR(x_1, y_1, z_1); \dots \dots \dots x_n, y_n, z_n, IRR(x_n, y_n, z_n)$ ] gdzie  $n$ - ilość próbek.

Przykład wartości współczynników  $a_i$  tych funkcji podano w tabeli 6.

## Podsumowanie

Przedstawiona w artykule metoda wyznaczania obszarów rentowności projektu oraz wyznaczania funkcji przejścia pomiędzy zmiennymi wejściowymi a wynikowymi wskaźnikami ekonomicznymi projektu jest metodą uniwersalną. Nadaje się do zastosowania we wszystkich projektach biznesowych. W przedstawionym w artykule modelu metoda ta składa się z kilku faz.

Pierwszą z nich jest wykonanie bilansu mas, z którego otrzymujemy informacje o rozkładzie w czasie ilości węgla handlowego przydatne do wyliczenia przychodów, ilości skały płonnej i odpadów z przeróbki mechanicznej i wzbogacania węgla stanowiące podstawę do wyliczenia kosztów zagospodarowania odpadów oraz ogólnej ilości urobku stanowiącej podstawę do wyliczenia kosztów transportu poziomego i pionowego w kopalni.

TABELA 6. Parametry funkcji 3 zmiennych wyliczania wartości NPV oraz IRR dla x – całkowite nakłady inwestycyjne; y – cena jednostkowa węgla; z – całkowite koszty operacyjne

TABLE 6. Parameters functions of 3 variables of enumerating value the NPV and IRR for x – total investments; y – unit price of coal, z – total operatings costs

Funkcja NPV(x, y, z) = a <sub>1</sub> *x <sup>2</sup> + a <sub>2</sub> *x + a <sub>3</sub> *y <sup>2</sup> + a <sub>4</sub> *y + a <sub>5</sub> *z <sup>2</sup> + a <sub>6</sub> *z + a <sub>7</sub> *x*y + a <sub>8</sub> *x*z + a <sub>9</sub> *y*z + b dla R <sub>d</sub> = 0,10							
a1 =	0	a2 =	-7,802796E-01	a3 =	2,4578556E+02	a4 =	1,0985391E+06
a5 =	-8,4136639E-10	a6 =	-4,363966E-02	a7 =	0	a8 =	0
a9 =	3,4452361E-04	b =	-2,168623E+07				
Funkcja IRR(x,y,z) = a <sub>1</sub> *x <sup>2</sup> + a <sub>2</sub> *x + a <sub>3</sub> *y <sup>2</sup> + a <sub>4</sub> *y + a <sub>5</sub> *z <sup>2</sup> + a <sub>6</sub> *z + a <sub>7</sub> *x*y + a <sub>8</sub> *x*z + a <sub>9</sub> *y*z + b							
a1 =	2,2797002E-17	a2 =	-1,345734E-08	a3 =	9,2003054E-06	a4 =	1,10318135E-02
a5 =	2,0127756E-18	a6 =	-5,452509E-09	a7 =	-3,024974E-11	a8 =	1,50788805E-17
a9 =	-8,6582929E-12	b =	1,6879926E+00				

Źródło: opracowanie własne

Drugim etapem jest wykonanie statycznej (przy założonych stałych wartościach zmiennych wejściowych) ekonomicznej analizy projektu według metody UNIDO.

Trzecim etapem jest zbudowanie dwuwymiarowych *tablic poglądowych* zawierających różne wartości wynikowych wskaźników ekonomicznych w zależności od różnych kombinacji zmiennych wejściowych. Wartości wypełniające *tablice poglądowe* uzyskuje się poprzez zadawanie w modelu UNIDO różnych kombinacji zmiennych wejściowych. Tablice poglądowe są podstawą do wyliczenia funkcji przejścia pomiędzy zmiennymi wejściowymi a wartościami wynikowych wskaźników ekonomicznych. Należy zaznaczyć, że funkcje te pozwalają na wyliczenie wartości wynikowych z pewnym błędem (do 2%) w stosunku do wartości dokładnych wyliczonych z modelu UNIDO. Bierze się to stąd, że zastosowane w metodach regresji funkcje wielomianowe nie zawsze są w stanie dokładnie odwzorować kształt hiperpowierzchni wynikowych wskaźników ekonomicznych w przestrzeni wielowymiarowej.

W tym konkretnym przykładzie zastosowano trzy zmienne wejściowe: całkowite nakłady inwestycyjne, cenę jednostkową węgla oraz całkowite koszty operacyjne. Można oczywiście, dla tego projektu, zastosować inną kombinację zmiennych niezależnych. Można również budować modele zawierające większą liczbę zmiennych wejściowych i wyznaczać funkcje wielu zmiennych. Jest to nowe podejście do budowy biznes planów, które na pewno zainteresuje praktyków je wykonujących. Dla decydentów zlecających wykonywanie takich analiz może być przyczynkiem do stawiania wyższych wymagań informacyjnych ich wykonawcom. Metoda ta została opracowana i praktycznie zastosowana przy realizacji projektu „*Techniczne i technologiczne możliwości i ekonomiczna zasadność eksploatacji cienkich pokładów węgla kamiennego*” (decyzja Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego numer 654/N-UKRAINA/2010/0).

## Literatura

- [1] KROWIAK A., KAZIUK H., 2002 – Ocena zasobów węgla kamiennego z uwzględnieniem geologiczno-górnictwowych warunków eksploatacji. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 18, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, str. 93–110.
- [2] KROWIAK A., 2003 – Propozycja metody oceny efektywności ekonomicznej kopalń węgla kamiennego. *Materiały Konferencji „Szkola Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie 2003”* Bukowina Tatrzańska, str. 143–160.
- [3] KROWIAK A., 2004 – Wykorzystanie analizy strumieni pieniężnych w procesach decyzyjnych w górnictwie węgla kamiennego. *Materiały Konferencji „Szkola Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie 2004”* Krynica, str. 275–283.
- [4] KROWIAK A., 2001 – Metoda ekonomicznej oceny opłacalności wydobycia węgla w Zakładach Górniczych. *Biuletyn Głównego Instytutu Górnictwa* nr 3, str. 29–33.
- [5] KROWIAK A., 2005 – Model analiz relacji ekonomicznych w górnictwie węgla kamiennego w Polsce. Wyd. GIG, Katowice, str. 193.
- [6] STABRYŁA A., 2006 – Zarządzanie projektami ekonomicznymi i organizacyjnymi. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [7] PRZYBYŁA H., CHMIELA A., 2007 – Organizacja i ekonomika w projektowaniu wybierania węgla. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [8] LUBOSIK Z., 2008 – Geoinżynierskie i ekonomiczne kryteria eksploatacji resztkowych parcel pokładów węgla kamiennego. *Praca Doktorska*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

Andrzej KROWIAK, Zbigniew LUBOSIK

## Method of determining areas of the economic profitability of the project facilities and the exploitation of the hard coal seams

### Abstract

The method of determining areas of the economic profitability of the project facilities and the exploitation of the hard coal seams was introduced in the article. As the example, only ultimate economic indicators were used to the evaluation of the profitability of the project: NPV and IRR. Balance of mass giving information about the amount of commercial coal get as part of the entire project, the quantity of the waste rock and waste is a base of the economic analysis to do from the mechanical processing of coal and of the total mass of mining. Amounts of commercial coal are a ground for counting the income out, amounts of the waste rock and waste let for calculating costs of waste disposal but the overall quantity of mining for horizontal and vertical enumerating transport costs in the mine. In the described method, on the chosen example, creating demonstrative tables containing results of calculations of ultimate economic parameters was shown, at all sorts

combinations of the input and building entrance variables letting the function calculations of these indicators for the any combination. A method of creating functions of nulls surrounding area the profitability of the project was also shown. This method is universal and is suitable for applying in different types of business projects, under the condition of taking them into account a technical description and organizational.

KEY WORDS: resources – mining – coalmine – exploitation – economic efficiency – evaluation