

Ocena efektywności ekonomicznej projektu inwestycyjnego w przemyśle górniczym wykorzystującego wydobycie węgla metodami specjalnymi

Evaluation of the economic effectiveness of an investment project in the mining industry using coal extraction by means of special methods



*Dr inż. Piotr Krawczyk**



*Dr inż. Andrzej Walentek**



*Mgr inż. Aleksander Wrana**



*Mgr Grzegorz Waclawek**)*

Treść: Celem niniejszego artykułu jest ocena efektywności ekonomicznej projektu polegającego na wydobyciu węgla metodami specjalnymi. W artykule zostały przedstawione wyniki takiej oceny zastosowania systemu chodnikowego do wydobycia węgla z parceli resztkowej jednej z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, zlokalizowanej w filarze ochronnym jej obiektów powierzchniowych. Ocenę przeprowadzono przy wykorzystaniu dynamicznego kosztu jednostkowego (*Dynamic Generation Cost - DGC*). Obliczony wskaźnik DGC wyraża jednostkowy koszt wydobycia węgla analizowanego projektu inwestycyjnego wykorzystującego metodę chodnikową. Na podstawie uzyskanych wyników oceny efektywności ekonomicznej stwierdzono, że wydobycie węgla metodą chodnikową może być opłacalne jedynie jako działanie uzupełniające do głównej działalności kopalni, za którą należy uznać wydobycie węgla metodami klasycznymi, np. ścianowymi. Wynika to z faktu, że zasoby węgla kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego znajdujące się w parcelach resztkowych są zbyt małe, aby przychody z ich wydobycia wystarczyły do utrzymania całej kopalni. W przypadku, gdy funkcjonowanie kopalni będzie się opierało wyłącznie na wydobyciu węgla z parceli resztkowych metodą chodnikową, wówczas całość kosztów niezwiązanych bezpośrednio z wydobyciem węgla, obciąży niewielką produkcję węgla tą metodą. Przeprowadzona analiza wrażliwości wskaźnika DGC pozwoliła ustalić, że największy wpływ na efektywność ekonomiczną wydobycia węgla metodą chodnikową mają koszty robocizny i materiałów niezbędnych do drażnienia wyrobisk. Wynika to ze specyfiki metody chodnikowej wydobycia węgla. Wymaga ona bowiem zaangażowania znacznych zasobów ludzkich i materiałowych – większych, niż przy klasycznych metodach wydobycia węgla.

Abstract: The purpose of this paper is to assess the economic efficiency of a project involving the coal extraction by means of special methods. The paper presents the results of this assessment of the use of a roadways system for coal extraction from the residual pillars of one of the mines of the Upper Silesian Coal Basin, located in the protective pillar of its surface facilities. The assessment was carried out using the Dynamic Generation Cost - DGC. The calculated DGC index expresses the unit cost

*) Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

**) Węglokoks Kraj Sp. z o.o.

of coal mining of the analyzed investment project using the roadways. On the basis of the results of the economic efficiency assessment, it was found that coal mining using the roadways can be profitable only as a complementary activity to the main activity of the mine, for which coal mining is conducted by longwalls. This is due to the fact that the coal resources of the coal mines of the Upper Silesian Coal Basin located in the residual pillars are too small, so that the revenues from their extraction are enough to maintain the entire mine. If the operation of the mine is based solely on the extraction of coal from the residual pillars by the gateroads, then all costs not directly related to coal mining, will burden a small coal production by this method. The sensitivity analysis of the DGC index made it possible to determine that the costs of labor and materials necessary to develop excavations have the greatest impact on the economic efficiency of coal mining using the gateroad system. This is due to the specificity of this mining method that requires the involvement of significant human and material resources - larger than with the longwall mining.

Słowa kluczowe:

górnictwo węgla kamiennego w Polsce, efektywność ekonomiczna, metoda DGC, metody specjalne wydobywania węgla

Keywords:

hard coal mining in Poland, economic efficiency, DGC method, special methods of coal mining

1. Wprowadzenie

W większości czynnych obecnie, jak również kończących już swoją działalność kopalniach węgla kamiennego, istnieją rejonu niewyeksplotowanego złoża, które musiały być pozostawione z uwagi na ustanowione filary dla chronionych obiektów powierzchniowych. W wielu przypadkach są to bezpowrotnie utracone złoża. Jednak brak nowych złóż zmusza niektóre kopalnie do dokonywania analiz możliwości rozpoczęcia eksploatacji części pozostawionych zasobów z takich właśnie rejonów. Daje to szansę na przedłużenie żywotności kopalń o kończących się zasobach (Wodarski, Bijańska 2014). A zapotrzebowanie krajowej energetyki na węgiel powoduje, że konieczne jest poprawienie stanu przemysłu górnictwa i zapewnienie jego przetrwania (Prusek i in. 2018). Z reguły eksploatacja takich zasobów nie jest możliwa metodami klasycznymi, np. ścianowymi. Ze względu na konieczność ochrony obiektów na powierzchni terenu nad złożami, konieczne jest stosowanie metod specjalnych, np. systemów chodnikowych. Pojawia się jednak pytanie, czy stosowanie takich metod jest opłacalne pod względem ekonomicznym. Dlatego jako główny cel niniejszego artykułu jego autorzy stawiają próbę odpowiedzi na to pytanie.

W artykule przedstawiono wyniki oceny efektywności ekonomicznej zastosowania jednego z systemów specjalnych eksploatacji do wydobywania węgla z wytypowanej parceli zlokalizowanej pod terenem silnie zurbanizowanym. Taka analiza jest szczególnie potrzebna w chwili obecnej ze względu na trudną sytuację górnictwa węgla kamiennego w Polsce, wynikającą między innymi z kończących się łatwo dostępnych zasobów węgla. Analizy przeprowadzono na podstawie projektu wybierania parcel węgla w dwóch istniejących pokładach (504/2 i 510) jednej z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Uzyskane wyniki obliczeń jednostkowych kosztów produkcji węgla przy wykorzystaniu specjalnych metod wydobywania dają pogląd o opłacalności ich stosowania w aktualnej sytuacji cenowej na rynku węgla.

2. Techniczne aspekty prowadzenia eksploatacji z wykorzystaniem systemów specjalnych

Analizy przedstawione w niniejszej publikacji mają na celu określenie możliwości efektywnej ekonomicznej eksploatacji parceli węgla. Założono, że projektowana eksploatacja prowadzona będzie bezpośrednio pod zurbanizowanym terenem miasta. W związku z tym w założeniach dla doboru i optymalizacji systemu eksploatacji przyjęto możliwość wypełniania pustej przestrzeni powstałej po wydrążeniu wyrobisk eks-

ploacyjnych materiałem podsadzkowym, ograniczającym osiadanie powierzchni terenu. Stosowanie procesu podsadzania wyrobisk ma na celu również ograniczenie możliwości zaistnienia pożarów endogenicznych w wyniku samozagrzania węgla. Powyższe spowodowało, iż wybrany został chodnikowy system eksploatacji zakładający zarówno pozostawienie ochronnych filarów węglowych pomiędzy chodnikami, jak również podsadzanie wybranej przestrzeni. Chodnikowy system eksploatacji poprzez geometrię wybranego pola, przy zastosowaniu systemu filarów minimalizuje ryzyko powstania odkształceń powierzchni, a co za tym idzie, również ryzyko powstania szkód (Kowalski i in. 2017).

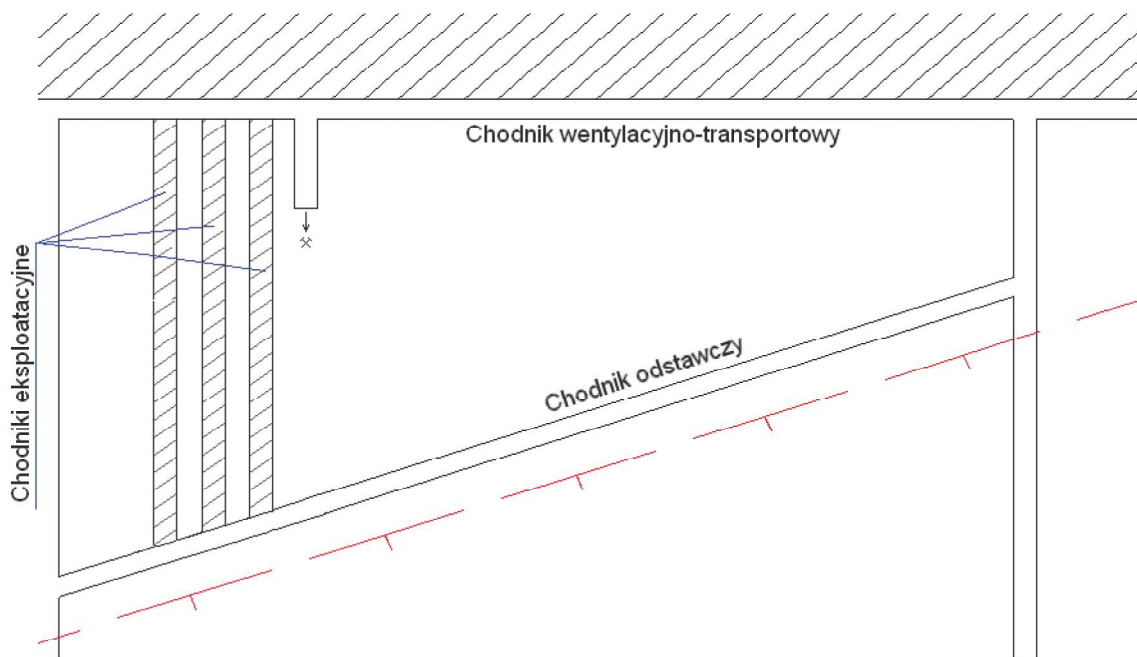
3. Opis wybranego systemu prowadzenia eksploatacji

Ideą zaproponowanego systemu jest wybieranie chodnikami nieregularnych parcel pokładów o dowolnych rozmiarach. Chodniki drążone są zazwyczaj kombajnami chodnikowymi, równoległe do siebie, z pozostawianiem filarów węglowych pomiędzy nimi. Technologia drążenia nie odbiega od technologii drążenia wyrobisk korytarzowych. Technologia ta jest zalecana do wybierania nieforemnych parcel pokładów słabo i silnie nachylonych, tam gdzie założenie prostokątnego pola eksploatacyjnego jest z różnych względów nieopłacalne.

System chodnikowy polega na wybieraniu węgla przez drążenie wyrobisk korytarzowych w kształcie prostokątnym lub łukowym, między chodnikiem odstawczym a chodnikiem wentylacyjno-transportowym (rys. 1). Pomędzy poszczególnymi wyrobiskami eksploatacyjnymi pozostawia się pasy międzychodnikowe, których szerokość zależy od wartości spodziewanego obciążenia ze strony górotworu oraz parametrów mechanicznych węgla i skał otaczających. Przygotowanie parceli do wybierania polega na wykonaniu wyrobisk przygotowawczych okonturowujących daną parcelę i zapewniających wentylację obiegową (Turek i in. 2013).

4. Projekt eksploatacji pokładów 504/2 i 510

Przeanalizowano eksploatację pokładu 504/2 w partii A o miąższości od 2,6 m do 4,4 m. Na podstawie dostarczonych przez kopalnię materiałów (mapy, profile otworów geologicznych, opis warunków geologiczno-górnictwowych) i warunków związanych z ochroną powierzchni, zaproponowano prowadzenie eksploatacji w wyznaczonej partii pokładu 504/2 za pomocą wyrobisk chodnikowych, likwidowanych po zakończeniu drążenia oraz z pozostawianiem filarów ochronnych pomiędzy wyrobiskami. Filary ochronne powierzchni zapro-



Rys. 1. Schemat wybierania resztki pokładu chodnikami eksploatacyjnymi

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Główny Instytut Górnictwa 2017)

Fig. 1. Scheme of residual pillars extraction by means of roadways

Source: authors' study based on (Główny Instytut Górnictwa 2017)

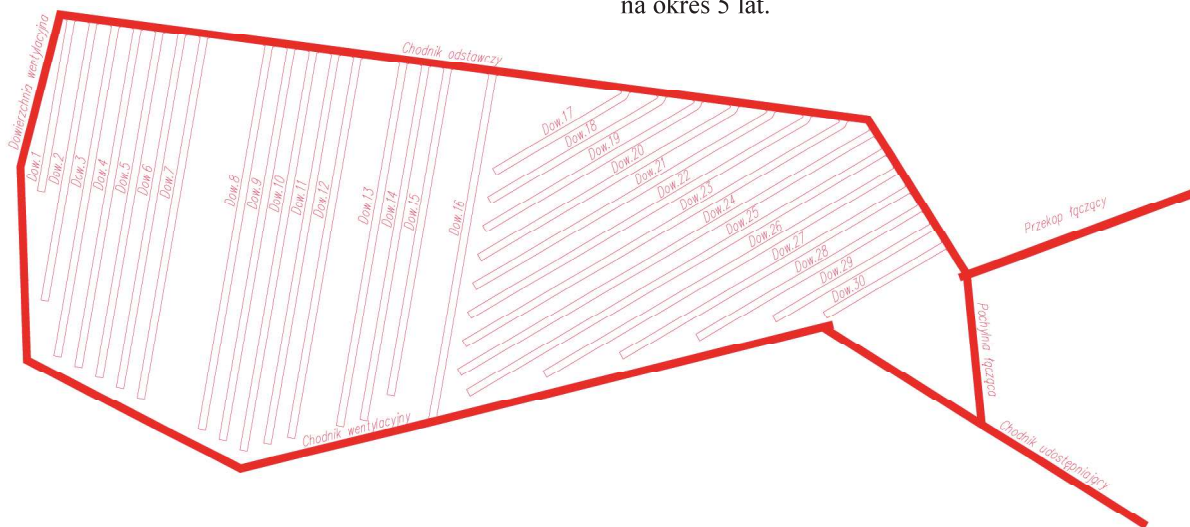
jektowane dla tego systemu, oddzielające od siebie poszczególne wyrobiska wydobywcze, mają szerokość 12 m. Ponadto dla poprawy bezpieczeństwa projektowanych robót zaprojektowano filary ochronne wzdłuż istniejących i zlikwidowanych w tym polu dowiezchni. Zaprojektowano poprzeczno-diagonalny system rozcięcia złoża. Przyjęto go ze względu na następujące zalety:

- zachowanie filarów ochronnych wzdłuż istniejących i zlikwidowanych dowiezchni, co poprawia bezpieczeństwo pracy,
- prosty sposób transportu materiałów i odstawy urobku,
- prosty sposób wentylacji - ograniczone zagrożenie pożarowe,

- prosty układ do likwidacji wydrążonych dowiezchni. System ten posiada również wady, z których za najistotniejsze w przypadku analizowanego złoża uznano:
 - 11 dowiezchni o nachyleniu rzędu 11-12°,
 - 22 dowiezchnie zlokalizowane pod kątem prostym w stosunku do chodnika odstawczego.

Ogólny zarys rozcięcia złoża 504/2 systemem poprzeczno-diagonalnym przedstawiono na rysunku 2.

Założono, że przedstawione na rys. 2 wyrobiska wykonane będą w obudowie łukowo podatnej. Łączna długość wyrobisk do wydrążenia w analizowanej partii A pokładu 504/2 wynosi 9445 m, a ilość uzyskanego z nich urobku oszacowano na poziomie 309,2 tys. Mg. Roboty przygotowawcze oraz eksploatacyjne i likwidacyjne w tym pokładzie zaplanowano na okres 5 lat.



Rys. 2. Projekt rozcięcia złoża w pokładzie 504/2 systemem poprzeczno-diagonalnym

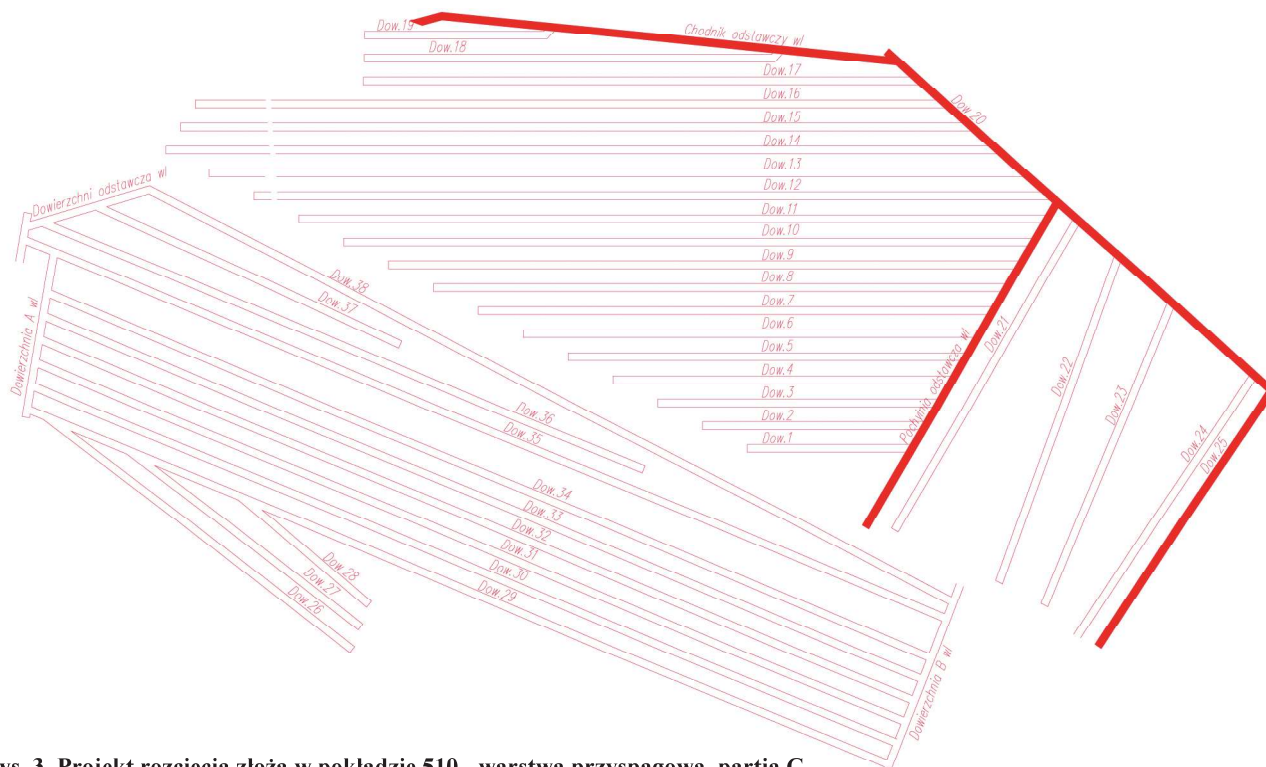
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Główny Instytut Górnictwa 2017)

Fig. 2. Development plan for seam no. 504/2 with a cross-diagonal system

Source: authors' study based on (Główny Instytut Górnictwa 2017)

W przypadku pokładu 510 rozpatrywano jego eksploatację w zakresie trzech partii: A, B i C. Miąższość tego pokładu wynosi odpowiednio: 12,0 m w partiach A i B oraz 11,0 m w partii C. Założono eksploatację warstwową, którą dostosowano do warunków górniczo-geologicznych. Decydującymi czynnikami przy projektowaniu robót rozcinających i eksploatacyjnych była stwierdzona oraz interpolowana z pokładów wyżej zalegających tektonika złoża oraz nachylenie pokładu 510, dochodzące w północnej części złoża do 35°, lokalnie nawet do 40°. Po przeanalizowaniu tych czynników, jak również pozostałych aspektów eksploatacyjnych, tj. zagrożenia tąpnięciami, zapewnienia świeżego i odbioru zużytego

powietrza, możliwości doprowadzenia podsadzki, transportu załogi i materiałów oraz odstawy urobku w kontekście możliwości zastosowania odpowiedniego usprzętowania, założono zastosowanie diagonalnego systemu dowiezchni eksploatacyjnych. Przyjęto, że dowiezchnie eksploatacyjne wykonane będą w obudowie łukowo podatnej o szerokości 5,80 m i wysokości 5 m. Założono, że filary pomiędzy wyrobiskami eksploatacyjnymi będą wynosiły 12 m w płaszczyźnie poziomej. Projekt rozcięcia złoża w pokładzie 510 w partiach A, B i C przedstawiono na przykładzie warstwy przyspągowej na rysunkach 3 i 4.

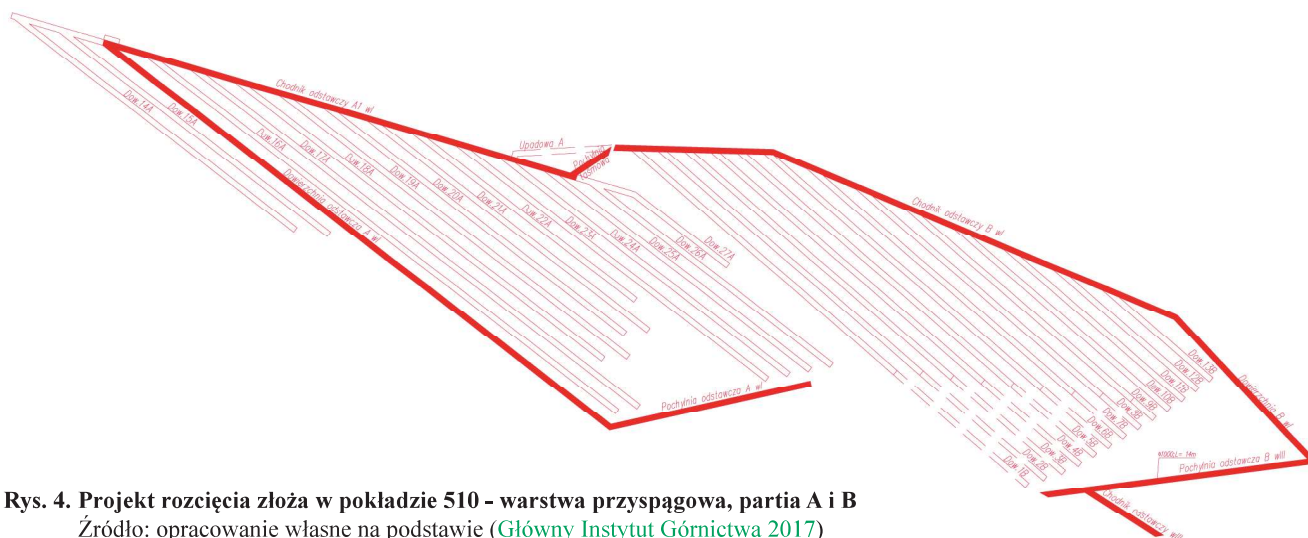


Rys. 3. Projekt rozcięcia złoża w pokładzie 510 - warstwa przyspągowa, partia C

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Główny Instytut Górnictwa 2017)

Fig. 3. Development plan for seam no. 510 - bottom slice, lot C

Source: authors' study based on (Główny Instytut Górnictwa 2017)



Rys. 4. Projekt rozcięcia złoża w pokładzie 510 - warstwa przyspągowa, partia A i B

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Główny Instytut Górnictwa 2017)

Fig. 4. Development plan for seam no. 510 - bottom slice, lots A and B

Source: authors' study based on (Główny Instytut Górnictwa 2017)

Łączna długość wyrobisk do wydrążenia w analizowanych partiach A, B i C pokładu 510 wynosi 85101 m, a ilość uzyskanego z nich urobku oszacowano na poziomie 2483,2 tys. Mg. Roboty przygotowawcze oraz eksploatacyjne i likwidacyjne w tym pokładzie zaplanowano na okres 13 lat.

5. Szacunki nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych

Analiza obejmuje koszty bezpośrednio związane z wydobyciem węgla metodą chodnikową. Przyjęte do obliczeń nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne są wartościami szacunkowymi, obliczonymi w oparciu o oferty producentów maszyn i dane eksploatacyjne inwestora według poziomu cen z roku 2017. Zakładane nakłady inwestycyjne uwzględniają między innymi maszyny i urządzenia, które wymagają zakupu przez kopalnię na potrzeby analizowanej inwestycji. W analizie nie uwzględniono kosztów ogólnozakładowych przedsiębiorstwa węglowego, kosztów transportu do punktu za-

dunku, kosztów obsługi kapitału oraz pozostałych kosztów, do których zaliczają się między innymi koszty rekultywacji, likwidacji szkód górniczych, podatek od nieruchomości, opłaty środowiskowe itp. (Gawlik 2004). Koszty te, w zależności od kopalni, mogą się bowiem znacznie różnić. Wyniki obliczeń nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych wraz z przyjętymi założeniami dla analizowanej metody wydobycia węgla i przyjętych założeń technologicznych przedstawiono w tabelach 1-3. Okres, dla którego przeprowadzono szacunki nakładów i kosztów odpowiada okresowi wydobycia wraz z zakładanymi robotami likwidacyjnymi, tj. do 13 roku analizy łącznie.

6. Metodyka oceny efektywności ekonomicznej

Ocena efektywności ekonomicznej technologii wydobycia węgla metodą chodnikową została wykonana z wykorzystaniem metodyki UNIDO (United Nations Industrial Development Organization). Zgodnie z tą metodyką finan-

Tabela 1. Zestawienie nakładów inwestycyjnych dla wydobycia węgla z analizowanych partii pokładów 504/2 i 510 metodą chodnikową

Table 1. Summary of investment outlays for coal mining from the analyzed seams no. 504/2 and 510 using the pavement method

Wyszczególnienie	Jedn.	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Podajnik taśmowy	szt.	1	0	1	1	1
	zł/szt.	160 000	160 000	160 000	160 000	160 000
	zł/rok	160 000	0	160 000	160 000	160 000
Wentylator WLE 1000	szt.	0	1	0	1	1
	zł/szt.	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
	zł/rok	0	120 000	0	120 000	120 000
Pompy przodkowe	szt.	0	0	2	1	2
	zł/szt.	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
	zł/rok	0	0	40 000	20 000	40 000
Pompy stacjonarne	szt.	0	0	3	2	2
	zł/szt.	80 000	80 000	80 000	80 000	80 000
	zł/rok	0	0	240 000	160 000	160 000
SUMA	-	160 000	120 000	440 000	460 000	480 000

Źródło: wyliczenia własne na podstawie (Główny Instytut Górnicztwa 2017)

Source: authors' calculations based on (Główny Instytut Górnicztwa 2017)

Tabela 2. Założenia obliczeniowe z zakresu jednostkowych kosztów eksploatacyjnych

Table 2. Calculation assumptions related to unit operating costs

Wyszczególnienie	Jednostka	Wartość
Koszt jednostkowy drążenia wyrobiska - materiały	zł/m	3 000
Koszt jednostkowy drążenia wyrobiska - robocizna	zł/m	3 500
Koszt jednostkowy wlotu	zł/szt.	28 000
Energia i media (energia elektryczna, powietrze sprężone, chłód)	zł/m	190
Remonty (usługi serwisowe)	zł/m	100
Podsadzka - robocizna	zł/m	30
Materiał do podsadzania	zł/m	120
Tamy izolacyjne	zł/szt.	15 000
Stawka amortyzacji	%	10%
Koszt dzierżawy kombajnu	zł/d	6 000
Koszty przewozu materiałów oraz transportu węgla odstawa główną	zł/Mg	10,00
Koszty ciągnięcia urobku na powierzchnię oraz opuszczania materiałów i urządzeń	zł/Mg	2,00
Opłata eksploatacyjna	zł/Mg	2,38
Zwałowanie węgla	zł/Mg	4,00
Pozostałe koszty (w tym: wentylacja, zabezpieczenie p. poż., ratownictwo)	zł/Mg	1,50

Źródło: wyliczenia własne na podstawie (Główny Instytut Górnicztwa 2017)

Source: authors' calculations based on (Główny Instytut Górnicztwa 2017)

Tablica 3. Zestawienie kosztów eksploatacyjnych dla wydobycia węgla z analizowanych partii pokładów 504/2 i 510 metodą chodnikową

Table 3. Summary of operation costs for coal mining from the analyzed seams no. 504/2 and 510 using the roadways method

Wyszczególnienie	Jednostka	Wartości w latach												
		Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5	Rok 6	Rok 7	Rok 8	Rok 9	Rok 10	Rok 11	Rok 12	Rok 13
Roboty przygotowawcze	tys. zł/rok	8 162	10 649	2 409	5 546	12 118	1 896	6 969	8 892	7 614	10 092	5 969	0	0
Wykonane metry	m	862	1 365	331	787	1 730	257	988	1 257	1 081	1 438	848	0	0
Koszt drążenia wyrobiska - materiały	zł/m	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	tys. zł/rok	2 586	4 095	993	2 361	5 190	771	2 964	3 771	3 243	4 314	2 544	0	0
Koszt drążenia wyrobiska - robocizna	zł/m	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
	tys. zł/rok	3 017	4 778	1 159	2 755	6 055	900	3 458	4 400	3 784	5 033	2 968	0	0
Włoty	szt.	4	4	4	3	4	4	4	6	4	4	3	0	0
	zł/szt.	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000
	tys. zł/rok	112	112	112	84	112	112	112	168	112	112	84	0	0
Energia i media (energia elektryczna, powietrze sprężone, chłód)	zł/m	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	tys. zł/rok	164	259	63	150	329	49	188	239	205	273	161	0	0
Remonty (usługi serwisowe)	zł/m	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	tys. zł/rok	86	137	33	79	173	26	99	126	108	144	85	0	0
Tamy izolacyjne z robocizną	szt.	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	zł/szt.	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
	tys. zł/rok	60	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Podsadzka - robocizna	zł/m	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	tys. zł/rok	26	41	10	24	52	8	30	38	32	43	25	0	0
Materiał do podsadzania	zł/m	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	tys. zł/rok	103	164	40	94	208	31	119	151	130	173	102	0	0
Kombajn chodnikowy - dzierzawa	szt.	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	tys. zł/rok	2 008	1 004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roboty eksploatacyjne i likwidacyjne	tys. zł/rok	0	19 165	36 991	65 030	60 678	73 474	63 292	66 180	53 086	55 705	70 780	68 226	22 079
Wykonane metry	m	0	2 580	2 581	2 582	2 583	2 584	2 585	2 586	2 587	2 588	2 589	2 590	2 591
Kombajn chodnikowy - dzierzawa	szt.	0	0,5	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
	zł/d	0	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500
	tys. zł/rok	0	1 004	4 015	6 023	6 023	6 023	6 023	6 023	6 023	6 023	6 023	6 023	2 008
Koszt drążenia wyrobiska - materiały	zł/m	0	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	tys. zł/rok	0	7 740	13 989	25 050	23 262	27 246	24 408	25 566	20 055	20 904	27 546	26 460	8 580
Koszt drążenia wyrobiska - robocizna	zł/m	0	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
	tys. zł/rok	0	9 030	16 321	29 225	27 139	31 787	28 476	29 827	23 398	24 388	32 137	30 870	10 010
Włoty	szt.	0	7	15	26	21	24	17	25	10	35	23	21	1
	zł/szt.	0	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000	28 000
	tys. zł/rok	0	196	420	728	588	672	476	700	280	980	644	588	28
Remonty eksploatacyjne	zł/m	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	tys. zł/rok	0	258	466	835	775	908	814	852	669	697	918	882	286
Energia i media (energia elektryczna, powietrze sprężone, chłód)	zł/m	0	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
	tys. zł/rok	0	490	886	1 587	1 473	1 726	1 546	1 619	1 270	1 324	1 745	1 676	543
Tamy izolacyjne z robocizną	szt.	0	4	13	22	17	250	22	21	26	23	26	27	13
	zł/szt.	0	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
	tys. zł/rok	0	60	195	330	255	3 750	330	315	390	345	390	405	195
Podsadzka - robocizna	zł/m	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	tys. zł/rok	0	77	140	251	233	272	244	256	201	209	275	265	86
Materiał do podsadzania	zł/m	0	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	tys. zł/rok	0	310	560	1 002	930	1 090	976	1 023	802	836	1 102	1 058	343

Źródło: wyliczenia własne na podstawie (Główny Instytut Górnictwa 2017)
Source: authors' calculations based on (Główny Instytut Górnictwa 2017)

sowa opłacalność projektu z punktu widzenia inwestora jest kryterium nadrzędnym w ocenie inwestycji, ważniejszym niż inne zalety projektu. UNIDO zaleca stosowanie metod dyskontowych, czyli uwzględniających zmianę wartości pieniądza w czasie. Inwestycja jest bowiem definiowana jako długookresowe zaangażowanie zasobów ekonomicznych w celu produkowania i odnoszenia korzyści netto w przyszłości. Dlatego dyskontowanie strumieni pieniężnych stało się po-

wszechnie akceptowaną metodą oceny projektów (Behrens, Hawranek 1993).

Do oceny efektywności ekonomicznej analizowanego projektu inwestycyjnego zastosowano metodę **dynamicznego kosztu jednostkowego (Dynamic Generation Cost - DGC)**. Dynamiczny koszt jednostkowy jest równy cenie, która pozwala na uzyskanie zdyskontowanych przychodów równych zdyskontowanym kosztom. DGC pokazuje, jaki jest

techniczny koszt uzyskania jednostki produktu (w niniejszym artykule jest to 1 tona węgla). Ponieważ nie uwzględnia on przychodów, a obejmuje koszty fazy inwestycyjnej i eksploatacyjnej (cykl życia produktu), jego wartość odzwierciedla jednostkowy koszt cyklu życia analizowanego produktu. Zastosowanie tej metody pozwala uniknąć błędów związanych z prognozowaniem cen węgla w długookresowej perspektywie czasu. Porównując wskaźnik DGC obliczony dla analizowanego projektu inwestycyjnego z aktualnymi cenami rynkowymi węgla, można ocenić, czy wydobycie węgla przy zastosowaniu metod specjalnych może być opłacalne. Natomiast biorąc pod uwagę zmienność cen węgla na rynkach, na podstawie uzyskanej wartości wskaźnika DGC, można stwierdzić, jaka jest wartość progowa cen węgla, powyżej której zastosowanie metod specjalnych do wydobycia węgla będzie opłacalne (Krawczyk 2018). Wskaźnik DGC, ze względu na możliwość odniesienia jego wartości do bieżącej sytuacji rynkowej (ceny węgla), jest też bardziej użyteczny od innych powszechnie stosowanych w ekonomii wskaźników, takich jak bieżąca wartość netto NPV, czy wewnętrzna stopa zwrotu IRR. Wskaźnik DGC wylicza się ze wzoru (Krawczyk 2018, Krawczyk i in. 2014, Rączka 2002):

$$DGC = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{KI_t + KE_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{P_t}{(1+i)^t}} \quad (1)$$

gdzie:

- KI_t – koszty inwestycyjne poniesione w danym roku,
- KE_t – koszty eksploatacyjne poniesione w danym roku,
- P_t – wielkość wydobycia w danym roku,
- i – stopa dyskontowa,
- t – rok, przyjmuje wartości od 0 do n, gdzie 0 jest rokiem, w którym ponosimy pierwsze koszty, natomiast n jest ostatnim rokiem działania instalacji.

7. Zestawienie wyników wykonanych analiz

Ocenę efektywności ekonomicznej technologii wydobycia węgla metodą chodnikową przeprowadzono w cenach stałych. Pozwoliło to uniknąć błędów wynikających z długoterminowych prognoz inflacji. Ważnym parametrem przyjmowanym w obliczeniach efektywności ekonomicznej jest stopa dyskontowa. Wpływa ona w istotny sposób na wynik oceny przedsięwzięcia – jej nieznaczna zmiana (nawet o 1%) może spowodować odmienną ocenę inwestycji. Uwzględnianie stopy dyskontowej w analizie efektywności inwestycji wynika z faktu, że kapitał, jak każde ograniczone dobro, posiada swoją cenę. Dotyczy to zarówno kapitału już funkcjonującego w przedsiębiorstwie (składniki pasywów bilansu przedsiębiorstwa stanowiące źródło finansowania majątku trwałego i obrotowego przedsiębiorstwa), jak też nowego kapitału dopływającego do przedsiębiorstwa w celu sfinansowania podejmowanej inwestycji. Cena ta, ponoszona przez przedsiębiorstwo za wykorzystanie kapitału, odzwierciedla jego koszt. Koszt kapitału stanowi więc najważniejszy element uwzględniany przy wyborze stopy dyskontowej, będącej podstawowym parametrem w dynamicznych metodach oceny efektywności inwestycji (Sierpińska, Jachna 2000). W celu uproszczenia założeń do analizy, którą wykonano metodą DGC, obliczenia przeprowadzono dla stopy dyskontowej równej 4%, zgodnie z wytycznymi Ministra Rozwoju i Finansów (Minister Rozwoju i Finansów 2017). W analizach uwzględniono wartość rezydualną zakupionych maszyn i urządzeń górniczych równą ich wartości księgowej netto w ostatnim roku analizy. Na podstawie (Główny Instytut Górnictwa

2017) przyjęto uśrednioną stawkę amortyzacji równą 10%. W tabelicy 4 zestawiono przepływy pieniężne dla lat objętych niniejszą analizą oraz wyniki obliczeń wskaźnika DGC.

Otrzymana wartość wskaźnika DGC wskazuje, że techniczny koszt wydobycia 1 Mg węgla przy wykorzystaniu metody chodnikowej w analizowanych pokładach 504/2 i 510 jest równy 285 zł netto. W odniesieniu do cen sprzedaży netto węgla opałowego w Polsce z października 2018 r., które w zależności od sortymentu i od kopalni kształtowały się na poziomie od ok. 290 zł/Mg do ok. 590 zł/Mg (<http://gornictwo.wnp.pl/notowania>), uzyskany wynik oceny efektywności ekonomicznej pokazuje, że wydobycie węgla metodą chodnikową w pewnych sytuacjach może być opłacalne. Należy jednak pamiętać, że wyliczony w niniejszym artykule wskaźnik DGC obejmuje koszty bezpośrednio związane z wydobyciem węgla. Dlatego opłacalność wydobycia będzie w dużym stopniu zależna nie tylko od cen rynkowych węgla, ale również pozostałych kosztów funkcjonowania kopalni oraz od organizacji pracy całej kopalni w trakcie prowadzenia eksploatacji takich złóż węgla. Jeśli funkcjonowanie kopalni będzie się opierało wyłącznie na wydobyciu węgla z parceli resztkowych metodą chodnikową, np. w wyniku wyczerpania się innych zasobów, wówczas całość kosztów niezwiązanych bezpośrednio z wydobyciem węgla, które w większości są kosztami stałymi, obciążą produkcję węgla tą metodą. A w przypadku polskich kopalń zlokalizowanych w GZW, złoża węgla znajdujące się w parcelach resztkowych są zbyt małe, aby przychody z ich wydobycia wystarczyły do utrzymania całej kopalni. Dlatego wydobycie węgla z parceli resztkowych metodą chodnikową będzie uzasadnione jedynie jako działanie uzupełniające do głównej działalności kopalni, którą jest wydobycie metodami klasycznymi, np. ścianowymi.

W celu przeanalizowania niepewności wynikających z szacowania nakładów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych, a także przyjętych założeń obliczeniowych i technologicznych przeprowadzono analizę wrażliwości. Analiza wrażliwości jest jednym z narzędzi oceny ryzyka, które służy do określenia potencjalnego ryzyka związanego z realizacją i eksploatacją inwestycji. Polega ona na ocenie wpływu zmian, jakie mogą wystąpić na skutek nieprzewidzianego kształtowania się kluczowych zmiennych wpływających na efektywność projektu (Niżanowski 2002, Burchart-Korol i in. 2014). W standardowej analizie wrażliwości zakłada się, iż modyfikacje każdej uwzględnionej zmiennej następują przy niezmienności pozostałych parametrów. Dzięki takiemu podejściu istnieje możliwość określenia, który z kluczowych czynników oddziałuje najbardziej na analizowany projekt inwestycyjny. Zastosowanie analizy wrażliwości pozwala na uzyskanie informacji na temat dopuszczalnych odchyień poszczególnych zmiennych objaśniających, przy których przedsięwzięcie inwestycyjne jest jeszcze efektywne (Brigham 2006, Mielcarek 2006).

W analizie wrażliwości przyjęto, iż zmienną objaśnianą (bazową) jest wskaźnik dynamicznego kosztu jednostkowego (DGC), a zmiennymi objaśnianymi (zmiennymi niezależnymi, których modyfikacja nie wpływa w sposób bezpośredni na inne zmienne) są wybrane parametry stanowiące najistotniejsze pozycje z zakresu kosztów wydobycia. Określono je jako zmienne krytyczne. Głównym celem wykonanej analizy jest pokazanie wrażliwości wyników oceny DGC (kryterium decyzyjnego – efektywność kosztowa) na zmianę ustalonych parametrów. Wykonane analizy pozwalają odpowiedzieć na pytanie, o ile zmieni się wartość parametru decyzyjnego – wskaźnika DGC, jeśli wartość zmiennych krytycznych zmieni się w stosunku do wartości założonych w analizie o przyjęte odchylenie procentowe. Zostały przeanalizowane następujące zmienne krytyczne:

Tabela 4. Zestawienie kosztów i wielkości wydobycia dla lat objętych oceną efektywności ekonomicznej oraz wyniki obliczeń wskaźnika DGC dla analizowanego projektu inwestycyjnego

Table 4. Summary of the costs and volume of extraction for the years covered by the economic assessment and the results of the DGC calculation for the analyzed investment project

Pozycja	Jednostka	Wartości w latach												
		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Nakłady inwestycyjne	tys. zł	160	120	440	460	480	0	0	0	0	0	0	0	0
Roboty przygotowawcze	tys. zł	8 162	10 649	2 409	5 546	12 118	1 896	6 969	8 892	7 614	10 092	5 969	0	0
Roboty eksploatacyjne i likwidacyjne	tys. zł	0	19 165	36 991	65 030	60 678	73 474	63 292	66 180	53 086	55 705	70 780	68 226	22 079
Koszty transportu urobku, opłata eksploatacyjna, zwałowanie i pozostałe	tys. zł	514	1 539	2 978	5 449	5 656	5 510	5 442	5 832	4 632	5 013	5 982	5 260	1 706
Amortyzacja	tys. zł	16	28	72	118	166	166	166	166	166	166	150	138	94
Wartość rezydualna	tys. zł	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-142
SUMA - koszty	tys. zł	8 852	31 501	42 891	76 603	79 099	81 045	75 869	81 070	65 498	70 976	82 881	73 625	23 737
<i>Współczynnik dyskontowy</i>	-	<i>1</i>	<i>0,9615</i>	<i>0,9246</i>	<i>0,8890</i>	<i>0,8548</i>	<i>0,8219</i>	<i>0,7903</i>	<i>0,7599</i>	<i>0,7307</i>	<i>0,7026</i>	<i>0,6756</i>	<i>0,6496</i>	<i>0,6246</i>
Zdyskontowane koszty	tys. zł	8 852	30 289	39 655	68 099	67 614	66 613	59 960	61 607	47 859	49 867	55 991	47 825	14 826
Wydobycie	Mg	25 860	77 400	149 820	274 110	284 520	277 170	273 720	293 370	232 980	252 180	300 900	264 600	85 800
Zdyskontowane wydobycie	Mg	25 860	74 423	138 517	243 683	243 209	227 814	216 325	222 937	170 236	177 178	203 277	171 879	53 590
Suma zdyskontowanych kosztów	tys. zł	619 057												
Suma zdyskontowanego wydobycia	Mg	2 168 929												
Wskaźnik DGC - techniczny koszt wydobycia 1 Mg węgla	zł/Mg	285												

Źródło: wyliczenia własne na podstawie (Główny Instytut Górnictwa 2017)
Source: authors' calculations based on (Główny Instytut Górnictwa 2017)

- **zmiany kosztu robocizny przy drążeniu wyrobisk** – obliczenia wykonano dla odchyżeń od wartości oszacowanych w zakresie: -50%, -40%, -30%, -20%, -10%, +10%, +20%, +30%, +40%, +50%.
- **zmiany kosztów materiałów** – obliczenia wykonano dla odchyżeń od wartości oszacowanych w zakresie: -50%, -40%, -30%, -20%, -10%, +10%, +20%, +30%, +40%, +50%.
- **zmiany kosztów dzierżawy sprzętu górniczego** – obliczenia wykonano dla odchyżeń od wartości oszacowanych w zakresie: -50%, -40%, -30%, -20%, -10%, +10%, +20%, +30%, +40%, +50%.
- **zmiany stawki amortyzacji** – obliczenia wykonano dla odchyżeń od stawki wyjściowej w zakresie: -75%, -50%, -25%, +25%, +50%, +75%, +100%, +125%, +150%, co odpowiada wartościom w przedziale od 3% do 25%.

Wyniki analizy wrażliwości pozwoliły określić hierarchię wpływu analizowanych zmiennych krytycznych na efektywność finansową analizowanej technologii wydobycia węgla oraz wskazać, które zmienne krytyczne decydują najbardziej o opłacalności przedsięwzięcia. Wyniki obliczeń analizy wrażliwości w przyjętym zakresie badanych zmiennych krytycznych i ich odchyżeń od wartości podstawowych przedstawiono w tabeli 5.

W celu określenia hierarchii wpływu analizowanych zmiennych kluczowych na efektywność finansową analizowanej inwestycji, przedstawiono uzyskane wartości wskaźnika DGC w formie graficznej na rysunku 5.

Wyniki analizy wrażliwości pozwalają określić następującą hierarchię wpływu analizowanych zmiennych krytycznych na wartość wskaźnika DGC projektu inwestycyjnego polegającego na wydobyciu węgla metodą chodnikową:

- zmiany kosztu robocizny przy drążeniu wyrobisk,
- zmiany kosztu materiałów wykorzystanych przy drążeniu i eksploatacji wyrobisk,
- zmiany kosztów dzierżawy sprzętu górniczego,
- zmiany stawki amortyzacji.

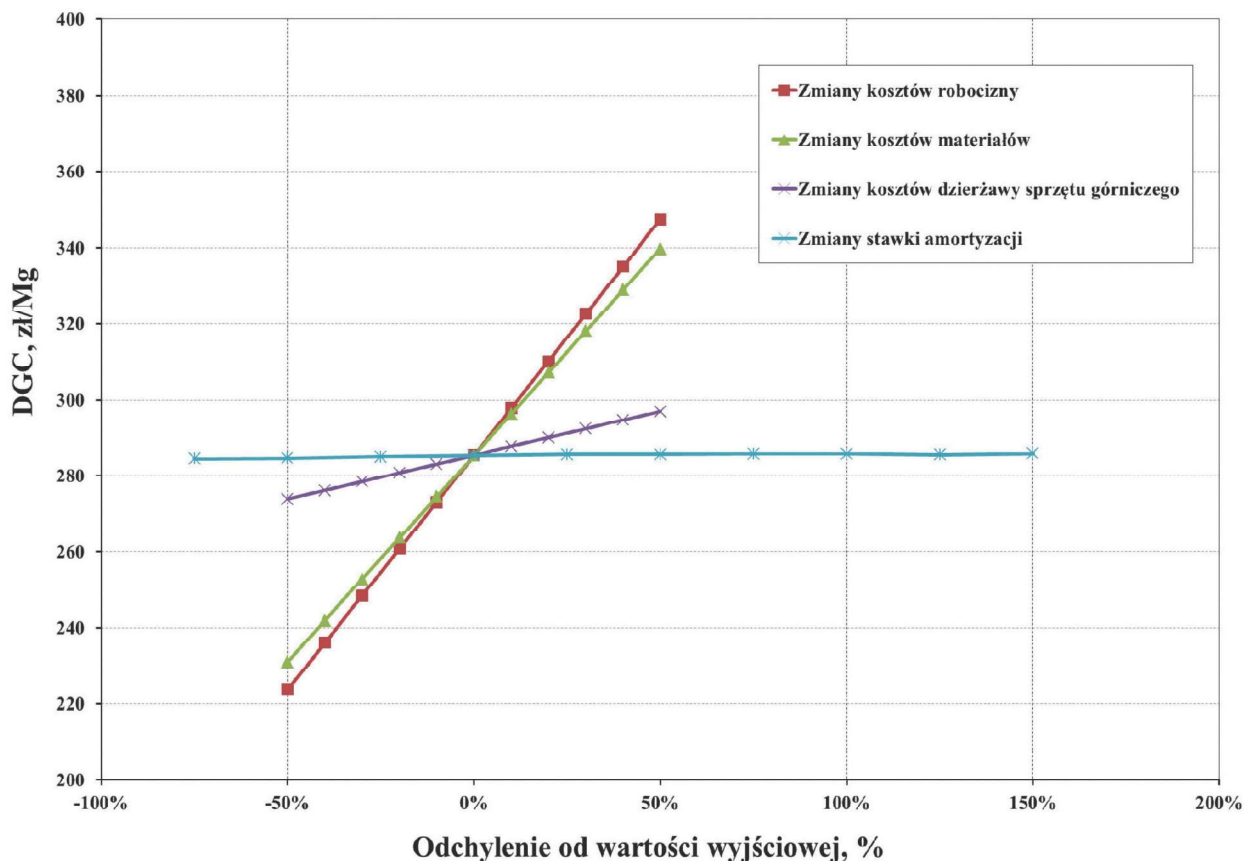
Zdecydowanie największy wpływ na wyniki oceny efektywności ekonomicznej metodą DGC analizowanego projektu inwestycyjnego wydobycia węgla metodą chodnikową mają zmiany kosztów robocizny oraz materiałów niezbędnych do drążenia wyrobisk. Jako zmienne krytyczne, która decydują o opłacalności wydobycia węgla metodą chodnikową, należy więc uznać koszty robocizny i materiałów. Wynika to ze specyfiki metody chodnikowej wydobycia węgla, która wymaga zaangażowania znacznych zasobów ludzkich i materiałowych, między innymi w wyniku stosowania procesu podsadzania wyrobisk. Pomijalny wpływ zmian stawki amortyzacji na

Tabela 5. Wyniki analizy wrażliwości efektywności ekonomicznej projektu inwestycyjnego wydobycia węgla z analizowanych partii pokładów 504/2 i 510 metodą chodnikową

Table 5. Results of the sensitivity analysis of the economic efficiency of the coal mining investment project from the analyzed seams no. 504/2 and 510 using the roadway method

Pozycja	Jednostka	Wartości wskaźników dla badanych odchyień										
Zmiany kosztów robocizny												
Odchylenie	%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
DGC - techniczny koszt produkcji 1 Mg węgla	zł/Mg	224	236	248	261	273	285	298	310	323	335	347
Zmiany kosztów materiałów												
Odchylenie	%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
DGC - techniczny koszt produkcji 1 Mg węgla	zł/Mg	231	242	253	264	275	285	296	307	318	329	340
Zmiany kosztów dzierżawy sprzętu górniczego												
Odchylenie	%	-50%	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
DGC - techniczny koszt produkcji 1 Mg węgla	zł/Mg	274	276	278	281	283	285	288	290	292	295	297
Zmiany stawki amortyzacji												
Odchylenie	%	-75%	-50%	-25%	0%	25%	50%	75%	100%	125%	150%	-
Stawka amortyzacji	%	3%	5%	8%	10%	13%	15%	18%	20%	23%	25%	-
DGC - techniczny koszt produkcji 1 Mg węgla	zł/Mg	284	285	285	285	286	286	286	286	286	286	-

Źródło: wyliczenia własne
Source: authors' calculations



Rys. 5. Interpretacja graficzna wyników analizy wrażliwości projektu inwestycyjnego wydobycia węgla z analizowanych partii pokładów 504/2 i 510 metodą chodnikową

Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Graphical interpretation of the sensitivity analysis of an investment project for coal mining from the analyzed seams no. 504/2 and 510 by roadway method

Source: authors' elaboration

wynik analizy to skutek prowadzenia eksploatacji głównie przy wykorzystaniu dzierzawionego sprzętu górniczego.

8. Wnioski

Wykonanie oceny efektywności ekonomicznej projektu inwestycyjnego polegającego na wydobyciu węgla metodą chodnikową wymagało zebrania, bądź opracowania szczegółowych danych eksploatacyjnych, jak również kosztowych analizowanej technologii. Na podstawie przyjętej w analizach metody dynamicznego kosztu jednostkowego (DGC) określono techniczny koszt wydobycia 1 Mg węgla. Ponieważ metoda ta nie uwzględnia w obliczeniach przychodów ze sprzedaży węgla, natomiast obejmuje koszty fazy inwestycyjnej i eksploatacyjnej, jej zastosowanie pozwala uniknąć błędów związanych z przyjmowaniem do obliczeń długookresowej prognozy cen węgla. A jak wskazują dane historyczne, ceny węgla podlegają znacznym wahanom.

W przeprowadzonej analizie ujęto koszty bezpośrednio związane z wydobyciem węgla metodą chodnikową. Nie uwzględniono kosztów niezwiązanych bezpośrednio z wydobyciem węgla, które są głównie kosztami stałymi, ponieważ koszty te, w zależności od kopalni, mogą się bowiem znacznie różnić. Uzyskane wyniki oceny efektywności ekonomicznej metodą DGC wskazują, że wydobycie węgla metodą chodnikową może być opłacalne jako działanie uzupełniające do głównej działalności kopalni, za którą należy uznać wydobycie węgla metodami klasycznymi, np. ścianowymi. Jeśli funkcjonowanie kopalni będzie się opierało wyłącznie na wydobyciu węgla z parceli resztkowych metodą chodnikową, wówczas całość kosztów niezwiązanych bezpośrednio z wydobyciem węgla, obciążą produkcję węgla tą metodą. Ponieważ zasoby węgla zlokalizowane w parcelach resztkowych są niewielkie, ich eksploatacja nie wystarczy, aby zapewnić przychody na poziomie wystarczającym do efektywnego ekonomicznie funkcjonowania kopalni.

Przeprowadzona analiza wrażliwości obliczonego wskaźnika DGC wykazała, że największy wpływ na efektywność ekonomiczną wydobycia węgla metodą chodnikową mają koszty robocizny i materiałów niezbędnych do drażenia wyrobisk. Metoda chodnikowa wydobycia węgla wymaga bowiem zaangażowania znacznych zasobów ludzkich i materiałowych – większych, niż przy klasycznych metodach wydobycia węgla.

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki analizy efektywności ekonomicznej wydobycia węgla wymagają dalszych badań wpływu poszczególnych parametrów technologicznych na wynik efektywności. Analiza ta opiera się bowiem na danych pochodzących z jednej kopalni węgla, a każdą kopalnię cechują inne warunki wydobycia.

Należy jednak podkreślić, że zastosowana metodyka badań ma uniwersalny charakter i może być powszechnie stosowana do oceny projektów inwestycyjnych w górnictwie węgla kamiennego – zarówno na etapie podejmowania decyzji o ich realizacji, jak i następnie w trakcie eksploatacji, do monitorowania założonych wyników efektywności ekonomicznej. Wyniki wyliczeń wskaźnika DGC mogą stanowić podstawę do podjęcia działań technicznych i organizacyjnych poprawiających wyniki ekonomiczne analizowanego projektu inwestycyjnego, lub też do wstrzymania jego dalszej eksploatacji w przypadku stwierdzenia braku perspektyw na poprawę rentowności. Dlatego można uznać, że przedstawione w niniejszym artykule rozważania przyczyniają się do rozwoju subdyscypliny górnictwo.

Praca została zrealizowana w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach o numerze 11040117.

Literatura

- BEHRENS W., HAWRANEK P. M. 1993 – Poradnik przygotowania przemysłowych studiów feasibility. UNIDO. Warszawa.
- BRIGHAM E. F. 2006 – Podstawy zarządzania finansami. PWE. Warszawa.
- BURCHART-KOROL D., CZAPLIKA-KOLARZ K., KRAWCZYK P. 2014 – Analiza wrażliwości ekofektywności technologii podziemnego zgazowania węgla. „Przeгляд Górnicy” nr 11, s. 54-59.
- GAWLIK L. 2004 – Koszty bieżącej produkcji węgla według rozporządzeń Unii Europejskiej a koszty własne sprzedanego węgla według dotychczasowych statystyk górnictwa. „Polityka Energetyczna”, t. 7, s. 409-420.
- Główny Instytut Górnictwa 2017 – Projekt techniczny i analiza ekonomiczna wybierania parcel węgla w pokładach 504 i 510 systemami specjalnymi wraz z uwzględnieniem kosztów optymalizacji infrastruktury Ruchu Piekary w KWK Bobrek-Piekary.
<http://gornictwo.wnp.pl/notowania>
- KOWALSKI A., POLANIN P., WALENTEK A. 2017 – Deformacje powierzchni spowodowane częściową eksploatacją w górnictwie węgla kamiennego. „Przeгляд Górnicy” nr 10, s. 9 -20.
- KRAWCZYK P. 2018 – Ocena możliwości zastosowania metody dynamicznego kosztu jednostkowego DGC do oceny ekonomicznej projektów inwestycyjnych w górnictwie węgla kamiennego. „Przeгляд Górnicy” nr 9, s. 35-39.
- KRAWCZYK P., KRZEMIEŃ J., BURCHART-KOROL D., CZAPLIKA-KOLARZ K. 2014 – Efektywność kosztowa produkcji wodoru w procesie opartym o naziemne zgazowanie węgla kamiennego. „Przemysł Chemiczny”, 93, 12, 2232.
- MIELCAREK J. 2006 – Analiza wrażliwości w rachunkowości zarządczej. Wydawnictwo Target. Poznań.
- MINISTER ROZWOJU I FINANSÓW 2017 – Wytczne w zakresie zagadnień związanych z przygotowaniem projektów inwestycyjnych, w tym projektów generujących dochód i projektów hybrydowych na lata 2014-2020. Warszawa.
- NIZANOWSKI R. 2002 – Analiza opłacalności. Uniwersyteckie Wydawnictwo Medyczne Versalium. Kraków.
- PRUSEK S., TUREK M., DUBIŃSKI J., JONEK-KOWALSKA I. 2018 – Wzrost produktywności – sposób na poprawę skuteczności zarządzania operatywnego. „Archives of Mining Sciences” nr 63, 3, s. 567-581.
- RĄCZKA J. 2002 – Analiza efektywności kosztowej w oparciu o wskaźnik dynamicznego kosztu jednostkowego, materiały szkoleniowe opracowane w ramach TRANSFORMADVICE PROGRAMME - Investment in Environmental Infrastructure in Poland. Warszawa.
- SIERPIŃSKA M., JACHNA T. 2000 – Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
- TUREK M., LUBOSIK Z., WRANA A. 2013 – Studium przypadku wybrania resztek pokładów węgla. „Geologiczno-górnictwo i ekonomiczne mierniki efektywności wybierania resztek pokładów węgla”. Główny Instytut Górnictwa. Katowice.
- WODARSKI K., BIJAŃSKA J. 2014 – Ocena ekonomicznej efektywności i ryzyka eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego na wybranym przykładzie. „Przeгляд Górnicy” nr 9, s. 86-89.

Artykuł wpłynął do redakcji – marzec 2019

Artykuł akceptowano do druku – kwiecień 2019