

*Eugeniusz J. Sobczyk**

IDENTYFIKACJA PARAMETRÓW WPŁYWAJĄCYCH NA EFEKTYWNOŚĆ DRAŻENIA WYROBISK KORYTARZOWYCH W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO

1. Wprowadzenie

Kopalnie węgla kamiennego w Polsce od kilku lat nie realizują planów produkcyjnych i nie wykorzystują szans, jaką są wysokie ceny węgla na rynkach międzynarodowych. Jest wiele przyczyn takiego stanu rzeczy, ale niewątpliwie jedną z istotnych jest niskie tempo robót przygotowawczych mających kluczowe znaczenie w strategii działania kopalni. Postępy drażenia wyrobisk korytarzowych na przestrzeni lat są jednym z zasadniczych czynników decydujących o efektywności górnictwa węglowego. Posiadanie dobrych technologii oraz wydajnego i niezawodnego wyposażenia mechanizacyjnego do drażenia chodników daje możliwości skracania czasu przygotowania nowych pokładów, pól eksploatacyjnych, czy wreszcie pojedynczych ścian [1]. Dlatego też optymalizacja i stała poprawa efektywności prowadzenia robót korytarzowych jest istotnym zagadnieniem w procesie planowania i prowadzenia działalności górniczej.

Ocenę efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego przeprowadzono w dwóch aspektach: pod kątem postępów liczonych w metrach bieżących wykonanych wyrobisk oraz wyników ekonomicznych pokazujących koszt wykonania 1 mb wyrobiska.

Z punktu widzenia doboru metodyki jest to złożone wielokryterialne zagadnienie. Złożoność związana jest nie tylko z liczbą wyrobisk, z liczbą analizowanych kryteriów oceny, ale również z różnorodnością ich cech oraz określeniem intensywności ich oddziaływania. Kryteria mogą być określone nie tylko przez dane ilościowe, ale również jakościowe.

Do rozwiązania zadania mającego na celu ocenę efektywności drażenia wyrobisk ko-

* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków,
e-mail: jsobczyk@min-pan.krakow.pl

rytarzowych został opracowany schemat postępowania, w którym wykorzystano dwie metody badawcze:

1. Matematyczną wielokryterialną metodę podejmowania decyzji AHP (*Analytic Hierarchy Process*), która wykorzystuje hierarchię do strukturalizacji problemu.
2. Wielowymiarową analizę porównawczą.

W prezentowanej pracy przyjęto następujące etapy postępowania:

- określenie dwóch modeli struktury efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych:
 1. ze względu na osiągane postępy,
 2. ze względu na osiągane wyniki ekonomiczne;
- obliczenie wag (wycena priorytetów) poszczególnych kryteriów budujących poszczególne modele;
- konstrukcja wskaźników oceny efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych; dla postępów (W_p) i dla kosztów (W_c);
- wyznaczenie optymalnych postępów robót korytarzowych przy minimalnych kosztach.

Dwa pierwsze etapy zostały zrealizowane przy wykorzystaniu metody AHP. Wyniki tych etapów wykorzystano w realizacji trzeciego etapu, stosując metody statystycznej analizy wielowymiarowej (SAW) [4].

2. Hierarchiczna struktura oceny efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych

Ocena efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych zależy w bardzo dużym stopniu od właściwego wyboru cech statystycznych charakteryzujących wyrobiska. Należy mieć na uwadze fakt, że wybrane cechy posłużą zarówno do określenia struktury efektywności, jak też do konstrukcji wskaźników oceny efektywności. W przypadku niniejszej analizy wykorzystywano przede wszystkim kryteria ilościowe, dzięki czemu udało się zmniejszyć stopień subiektywizmu kryteriów.

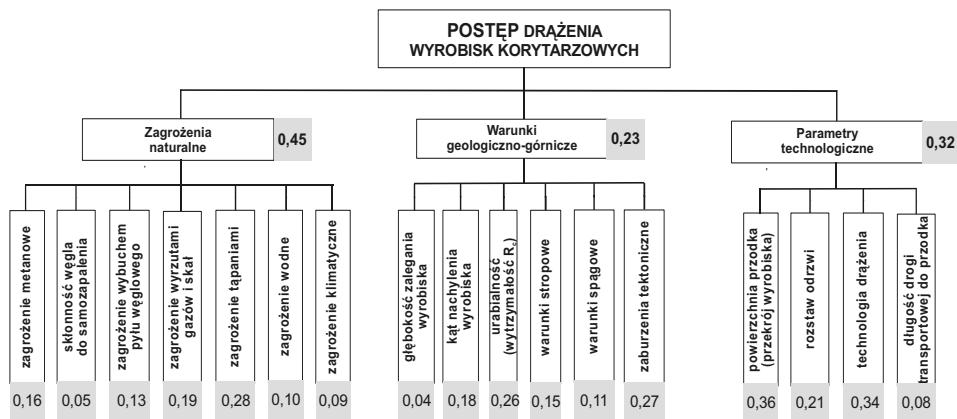
Kryteria główne podzielono na trzy kategorie:

1. Wpływ zagrożeń naturalnych na postęp i koszt drażenia wyrobisk korytarzowych.

W tej kategorii umieszczono następujące kryteria cząstkowe:

- zagrożenie metanowe (klasa),
- skłonność węgla do samozapalenia (wskaźnik samozapalności – °C/min),
- zagrożenie wybuchem pyłu węglowego (klasa),
- zagrożenie wyrzutami gazów i skał (kategorie),
- zagrożenie tąpniętami (stopnie wg wskaźnika W_{ET}),
- zagrożenie wodne (stopnie),

- zagrożenie klimatyczne ($^{\circ}\text{C}$).
- 2. Uciążliwość parametrów złoża na postęp i koszt drażenia wyrobisk korytarzowych.
W tej kategorii umieszczono następujące kryteria cząstkowe:
 - głębokość występowania wyrobiska (m),
 - kąt nachylenia wyrobiska ($^{\circ}$) i kierunek prowadzenia wyrobiska (wznios, upad, poziome),
 - urabialność (wytrzymałość R_c),
 - warunki stropowe (klasa wg wytrzymałości na ściskanie – MPa),
 - warunki spągowe (klasa wg nośności p_k – MPa),
 - charakterystyka warunków tektonicznych złoża (punkty).
- 3. Wpływ parametrów technologicznych na postęp i koszt drażenia wyrobisk korytarzowych.
W tej kategorii umieszczono następujące kryteria cząstkowe:
 - powierzchnia przodka (przekrój wyrobiska) (m^2),
 - rozstaw odrzwi (m),
 - technologia drażenia (kombajnowa, strzałowa, mieszana),
 - długość drogi transportowej do przodka.

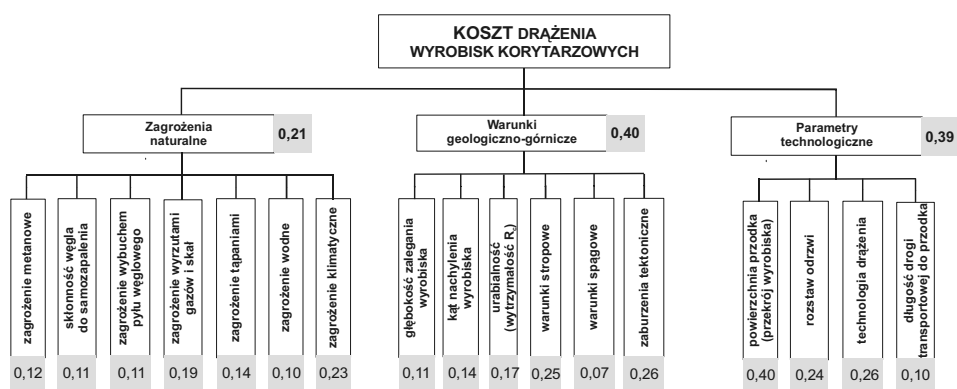


Rys. 2.1. Struktura hierarchiczna efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych (dla postępu)

Analizę oceny efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych przeprowadzono z udziałem ekspertów wyłonionych spośród kadry inżyniersko-technicznej kopalń węgla kamiennego oraz pracowników naukowo-badawczych wyższych uczelni i instytucji naukowych. Na podstawie przygotowanych ankiet eksperci dokonali porównań parami wszyst-

kich elementów poszczególnych poziomów względem każdego elementu poziomu wyższego. Przy porównaniach wyceniono, który czynnik jest ważniejszy w realizacji danego kryterium lub celu głównego. Dzięki temu, stosując metodykę AHP, uzyskano wielkości oznaczające wagi (priorytety) poszczególnych czynników w realizacji celu nadrzędnego, jakim jest ocena efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych w kontekście postępu oraz kosztu.

Strukturę hierarchiczną efektywności robót przygotowawczych dla postępu i kosztów ilustrują rysunki 2.1 i 2.2. Występują w niej trzy poziomy hierarchie: kryterium ogólne efektywności drażenia, kryteria główne i kryteria cząstkowe. Na rysunkach przedstawione są także uśrednione wartości priorytetów poszczególnych grup kryteriów i subkryteriów.



Rys. 2.2. Struktura hierarchiczna efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych (dla kosztu)

Jak widać, wagi dla poszczególnych kryteriów różnią się przy ocenie postępów i kosztów robót przygotowawczych.

Zdaniem ekspertów na ograniczenie postępu drażenia wyrobisk przygotowawczych największy wpływ mają zagrożenia naturalne (0,45), następnie parametry technologiczne (0,32), a na końcu warunki geologiczne (0,23). Na poziom kosztów największy wpływ mają warunki geologiczne (0,40) i parametry technologiczne (0,39).

Biorąc pod uwagę hierarchię (istotność) kryteriów, w przypadku zagrożeń naturalnych najistotniejszy wpływ na postęp drażenia mają zagrożenia tąpnięciami (0,28) oraz zagrożenia wyrzutami gazów i skał (0,19) oraz zagrożenia metanowe (0,16), natomiast na poziom kosztów największy wpływ ma zagrożenie klimatyczne (0,23).

Pozostałe zagrożenia naturalne mają znacznie mniejsze znaczenie i nie są tak uciążliwe dla efektywności robót przygotowawczych.

Największy wpływ na postęp drażenia wyrobisk korytarzowych w grupie kryteriów technologicznych mają powierzchnia przodka (0,36) oraz technologia drażenia (0,34). Zde-

cydowanie większe ograniczenia prędkości drażenia wynikają z technologii wykorzystującej materiały wybuchowe (0,64), natomiast przy użyciu kombajnów chodnikowych ten postęp jest większy (0,07). Podobnie kształtują się wagi w ocenie kosztów. Wyższe koszty generuje technologia strzałowa (0,63).

W przypadku kryteriów charakteryzujących warunki geologiczne największy wpływ na ograniczenie postępu mają zaburzenia tektoniczne (0,27) oraz urabialność (0,26). Bardzo wysoką wagę w ocenie poziomu kosztów mają warunki stropowe (0,25).

Istotny wpływ na roboty przygotowawcze mają kąty nachylenia pokładów, a przede wszystkim kierunek prowadzenia wyrobiska (0,18). Korzystniejsze jest prowadzenie wyrobiska po wzniosie, szczególnie w warunkach dużego dopływu wód.

Bardzo istotny wpływ na postęp robót przygotowawczych mają także parametry wytrzymałościowe górotworu w stropie (0,15) i spągu (0,11) pokładu.

3. Wskaźniki oceny efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych

W polskich kopalniach szybkość drażenia wyrobisk korytarzowych jest zagadnieniem bardzo złożonym z uwagi na występujące trudności i ograniczenia zarówno natury geologiczno-górnictwej, jak i technicznej. Prace w tych wyrobiskach zaliczane są do jednych z najbardziej praco- i czasochłonnych. Podstawowymi czynnikami określającymi technikę drażenia wyrobisk korytarzowych są: warunki naturalne, w których to wyrobisko jest drażone, funkcjonalność oraz sposób wykorzystania wyrobiska w przyszłości, długość, przekrój wyrobiska i sposób jego zabezpieczenia przed opadem skał oraz zaciskaniem górotworu, także czas w jakim wyrobisko powinno być wykonane [3].

Wraz z postępującą eksploatacją następuje eskalacja zagrożeń naturalnych zwłaszcza tych, które związane są ze wzrostem głębokości, tj.: tąpnięć, dużych ciśnień i zmian wytrzymałości skał, zawałów, obwałowań, wyrzutów węgla i gazu, a także zagrożenia temperaturowego. Eksploatację podejmuje się w rejonach z dużą ilością zaburzeń tektonicznych, w pokładach cienkich, w których zmiany miąższości i zalegania stanowią ogromne utrudnienia dla efektywnego prowadzenia robót przygotowawczych i eksploatacyjnych. W strefie zaburzeń górotworu zmienia się stan naprężeń i odkształceń, a także rodzaj i właściwości wytrzymałościowe skał. W największym stopniu na zmianę warunków prowadzenia robót górniczych wpływają zaburzenia tektoniczne, a zwłaszcza uskoki. W strefie uskoków, jak i w strefie pofałdowań, wyklinowań czy rozmyć zmienia się rodzaj skał, w których prowadzi się wyrobisko korytarzowe. Zmiany te mogą być szczególnie niekorzystne, gdy proces urabiania w obszarze zaburzeń przechodzi ze skał łatwo do trudno urabialnych (np. gdy wyrobisko korytarzowe w węglu za uskokiem staje się kamiennym).

W celu zmierzenia wpływu zagrożeń naturalnych, parametrów złoża oraz parametrów technologicznych na ograniczenie postępu i poziom kosztów drażenia wyrobisk korytarzowych sformułowano agregatowe wskaźniki. Wskaźniki te pozwolą na liniowe upo-

rządkowanie wyrobisk według poziomu uciążliwości robót przygotowawczych, umożliwia porównywanie wyrobisk, a także analizowanych kopalń między sobą.

Metody porządkowania ustalają hierarchię liniową w zbiorze obiektów ze względu na pewne kryterium ogólne reprezentowane przez wieloelementowy zestaw zmiennych diagnostycznych, uwzględniony w badaniu. Na tej podstawie dla każdej pary wyrobisk możemy stwierdzić, które z nich jest „lepsze” z punktu widzenia kryterium ogólnego.

Na potrzeby oceny efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych w wybranych kopalniach węgla kamiennego został wykorzystany miernik oparty na konstrukcji formuły agregatywnej, który powstał według metodologii powszechnie stosowanej w statystycznej wielowymiarowej analizie porównawczej.

Do konstrukcji wskaźników oceny efektywności W_p i W_e zostały wykorzystane wszystkie cechy, jakie zastosowano do budowy struktury hierarchicznej.

Podzielono cechy statystyczne na stymulanty, czyli takie cechy, których duże wartości są pożądane (zwiększają ocenę) z punktu widzenia kryterium ogólnego, czyli uciążliwości eksploatacji oraz destymulanty to takie cechy, których duże wartości są niepożądane.

Przyjęto, że w przypadku wpływu zagrożeń naturalnych na postęp drażenia wyrobisk przygotowawczych wszystkie cechy mają charakter stymulant.

W przypadku wpływu parametrów złoża na ocenę efektywności drażenia wyrobisk przygotowawczych przyjęto następującą listę cech:

Stymulanty:

- głębokość występowania wyrobiska (m),
- urabialność (wytrzymałość R_c),
- charakterystyka warunków tektonicznych złoża (punkty).

Destymulanty:

- kąt nachylenia wyrobiska ($^\circ$) i kierunek prowadzenia wyrobiska (wznios, upad, poziome),
- warunki stropowe,
- warunki spągowe.

W przypadku wpływu parametrów technologicznych na postęp i koszt drażenia wyrobisk korytarzowych przyjęto następującą listę cech:

Stymulanty:

- powierzchnia przodka (przekrój wyrobiska) (m^2),
- technologia drażenia (kombajnowa, strzałowa, mieszana),
- długość drogi transportowej do przodka.

Destymulanta:

- rozstaw odrzwi (m).

Ostatecznie, po doprowadzeniu cech do porównywalności i zapewnieniu tzw. jednolitości preferencji poprzez standaryzację, wzory wskaźników agregatowych przybierają następujące formuły:

Wskaźnik ograniczeń drażenia wyrobisk korytarzowych dla postępów (W_p):

$$W_p = 0,45W_{zn} + 0,23W_{g-g} + 0,32W_{tch},$$

gdzie:

$$\begin{aligned} W_{zn} &= 0,07ZM + 0,02ZP + 0,06ZPW + 0,09ZGS + 0,13ZT + 0,05ZW + 0,04ZKl, \\ W_{g-g} &= 0,01GL + 0,04K + 0,06U + 0,03Str + 0,02Sp + 0,06T, \\ W_{tch} &= 0,12PP + 0,07Ro + 0,11Tch + 0,03Ltr. \end{aligned}$$

Wskaźnik ograniczeń drażenia wyrobisk korytarzowych dla kosztów (W_c):

$$W_c = 0,21W_{zn} + 0,40W_{g-g} + 0,39W_{tch},$$

gdzie:

$$\begin{aligned} W_{zn} &= 0,03ZM + 0,02ZP + 0,02ZPW + 0,04ZGS + 0,03ZT + 0,02ZW + 0,05ZKl, \\ W_{g-g} &= 0,04GL + 0,05K + 0,07U + 0,10Str + 0,03Sp + 0,10T, \\ W_{tch} &= 0,16PP + 0,09Ro + 0,10Tch + 0,04Ltr. \end{aligned}$$

W_{zn} – wskaźnik zagrożeń naturalnych	GL – głębokość występowania wyrobiska
W_{g-g} – wskaźnik warunków geologiczno-górnictwowych	K – kąt nachylenia wyrobiska
W_{tch} – wskaźnik parametrów technologicznych	U – urabialność
ZM – zagrożenie metanowe	Str – warunki stropowe
ZP – skłonność węgla do samozapalenia	Sp – warunki spągowe
ZPW – zagrożenie wybuchem pyłu węglowego	T – warunki tektoniczne
ZGS – zagrożenie wyrzutami gazów i skał	PP – powierzchnia przodka
ZT – zagrożenie tąpnięciami	Ro – rozstaw odrzwi
ZW – zagrożenie wodne	Tch – technologia drażenia
ZKl – zagrożenie klimatyczne	Ltr – długość drogi transportowej do przodka

4. Analiza średnich wartości postępów i kosztów w wybranych kopalniach węgla kamiennego

Drażenie wyrobisk korytarzowych ma znaczący udział w kosztach produkcji górniczej, który wiąże ze sobą koszty robocizny i koszty materiałowe. Pracochłonność robót,

poziom kosztów, materiałochłonność w robotach udostępniających i przygotowawczych wskazuje na bardzo atrakcyjne miejsce możliwych do uzyskania efektów ekonomicznych w wyniku zmniejszenia zakresu wykonywanych i utrzymywanych wyrobisk korytarzowych [5]. Dzięki takiemu podejściu wprowadza się oszczędności nie tylko w kosztach ich wykonania, ale także utrzymania, przewietrzania, odwadniania, itp.

Racjonalnym jest wykonywanie wyrobisk w ilości gwarantującej zapewnienie ciągłości wydobywania na planowanym poziomie. Nadmierne prowadzenie wyrobisk powoduje wzrost bieżących kosztów produkcji, a wyrobiska wykonane z wyprzedzeniem poddane wpływom górotworu mogą ulec deformacjom, co powoduje konieczność poniesienia dodatkowych kosztów związanych z ich regeneracją [2].

Szybkość drążenia wyrobisk korytarzowych w warunkach polskich kopalń węglowych jest wciąż niezadowalająca. W przypadku wysokiej koncentracji wydobywania ze ścian, kiedy to osiągane są wysokie wyniki postępu przodków wydobywczych (ścian) może zaistnieć sytuacja, gdy będą one przewyższać postęp przodków przygotowawczych [1].

Prezentowana analiza dotyczy 838 wyrobisk korytarzowych wykonanych w latach 2003–2008 w wybranych kopalniach węgla kamiennego.

W celu zobiektywizowania średnich wartości postępów i kosztów nie uwzględniono skrajnych wartości postępów dobowych. Wprowadzono w analizie tzw. grupy decylowe. Decyle to wartości (jest ich dziewięć), które dzielą uporządkowany szczegółowy szereg statystyczny na dziesięć części, mniej więcej równych co do liczebności. Pierwszy decyl to taka liczba, dla której 10% wartości jest od niej mniejszych, drugi decyl to taka liczba, dla której 20% wartości jest od niej mniejszych itd; aż do decyla dziewiątego, od którego jest mniejszych 90% wartości. W analizie nie uwzględniono pierwszej grupy decylowej (wartości średniego postępu dobowego poniżej 2,0 mb) oraz dziesiątej grupy decylowej (wartości średniego postępu dobowego powyżej 10,1 mb).

TABELA 4.1

Charakterystyka średnich wartości postępów i kosztów drążenia wyrobisk przygotowawczych w wybranych kopalniach węgla kamiennego w latach 2003–2008

2003-2008	Postęp [mb]				Koszt [zł/mb]
	średni		maksymalny		całkowity wg wartości 2008r.
	dobowy	miesięczny	dobowy	miesięczny	
Kopalnie łącznie:					
wartości średnie w tym:	5,9	91,5	8,3	127,4	4770
wyrobiska węglowe	6,1	100,7	8,8	141,8	4793
wyrobiska kamienne	3,4	42,4	4,6	59,1	6390
wyrobiska węglowo-kamienne	5,9	95,4	8,6	131,0	4535
drążenie środkami własnymi	6,0	89,5	8,5	125,1	4483
drążenie przez firmy zewnętrzne	5,8	93,1	8,1	135,6	5863

W związku z wprowadzeniem takiego ograniczenia łączna liczba analizowanych wyrobisk przygotowawczych wyniosła 625, a w poszczególnych latach kształtowała się następująco: w roku 2003 – 104 wyrobiska, 2004 – 95 wyrobisk, 2005 – 144 wyrobiska, 2006 – 155 wyrobisk, 2007 – 76 wyrobisk, 2008 – 51 wyrobisk.

Średnie wartości postępów dobowego i miesięcznego oraz kosztów całkowitych dla wszystkich analizowanych wyrobisk przedstawiono w tabeli 4.1. Koszty drażenia wyrobisk przygotowawczych podano według wartości stałych roku 2008.

Analiza uśrednionych wyników pokazuje, że średni postęp dobowy drażonych wyrobisk korytarzowych w latach 2003–2008 w wybranych kopalniach węgla kamiennego wynosił 5,9 m/dobę. Najwyższy średni postęp dobowy uzyskiwano w wyrobiskach węglowych – 6,1 mb, najniższy zaś w wyrobiskach kamiennych – 3,4 mb.

5. Analiza wskaźników: postępów (W_p) i kosztów (W_e)

Do analizy wskaźników oceny efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych, zarówno dla postępów (W_p) jak i dla kosztów (W_e), uwzględniono jedynie te wyrobiska, które posiadały wszystkie dane budujące strukturę hierarchiczną efektywności. Niekompletne dane spowodowały, że analiza dotyczyła 471 wyrobisk korytarzowych, z tego 202 drażonych w węglu, 24 w kamieniu i 245 wyrobisk kamiennie-węglowych. Wszystkie uśrednione dane przedstawiono w tabelach 5.1–5.3.

TABELA 5.1

Średnie wartości wskaźnika postępów (W_p) i wskaźnika kosztów (W_e) w wyrobiskach węglowych

KOPALNIA	W_p -AVG	W_e -AVG
KWK „A”	2,81	3,47
KWK „B”	3,59	3,65
KWK „D”	1,76	2,30
KWK „E”	2,72	2,87
KWK „F”	2,24	2,31

Analiza wskaźników oceny efektywności drażenia wyrobisk węglowych pokazuje, że najmniej korzystne warunki występowały w kopalni KWK „B” ($W_p=3,59$, $W_e=3,65$), najkorzystniejsze zaś w kopalni KWK „D” ($W_p=1,76$, $W_e=2,30$).

TABELA 5.2

Średnie wartości wskaźnika postępów (W_p) i wskaźnika kosztów (W_e) w wyrobiskach kamiennych

KOPALNIA	W_p -AVG	W_e -AVG
KWK „B”	4,03	4,11
KWK „C”	1,84	2,80
KWK „F”	1,87	1,94

Z porównywanych trzech kopalń najgorsze warunki drążenia wyrobisk kamiennych występowały w kopalni KWK „B” ($W_p=4,03$, $W_e=4,11$).

TABELA 5.3

Średnie wartości wskaźnika postępów (W_p) i wskaźnika kosztów (W_e) w wyrobiskach kamiennie-węglowych

KOPALNIA	W_p -AVG	W_e -AVG
KWK „A”	2,21	2,63
KWK „B”	3,30	3,39
KWK „C”	1,48	2,46
KWK „D”	1,86	2,52
KWK „E”	2,77	2,65
KWK „F”	2,00	2,28

Podobnie jak poprzednio najmniej korzystne warunki drążenia wyrobisk kamiennie-węglowych występowały w kopalni KWK „B” ($W_p=3,30$, $W_e=3,39$), najlepsze zaś w kopalni KWK „C” ($W_p=1,48$, $W_e=2,46$).

Analizując postępy drążenia wyrobisk korytarzowych w poszczególnych przedziałach wartości wskaźnika oceny efektywności można zauważyć bardzo dużą korelację, szczególnie w wyrobiskach kamiennych i kamiennie-węglowych. Średnie postępy dobowe w wyrobiskach kamiennych, w których wartość wskaźnika W_p mieści się w przedziale 1,0–2,0 punktu, wynoszą 5,8 m/dobę (tab. 5.4). Wraz ze wzrostem wartości wskaźnika powyżej 2,0 punktu postępy dobowe zmniejszają się do 4,4 m/dobę, jednocześnie koszt 1 mb rośnie z 1650 do 2065 zł/mb.

Dla wyrobisk kamiennie-węglowych w przedziale wartości wskaźnika W_p 1,0–2,0, postęp dobowy wynosił 7,5 m/dobę przy średnim koszcie 2522 zł/mb. Natomiast wyrobiska o najtrudniejszych warunkach miały postęp jedynie 4,6 m/dobę, przy średnim koszcie 3624 zł/mb.

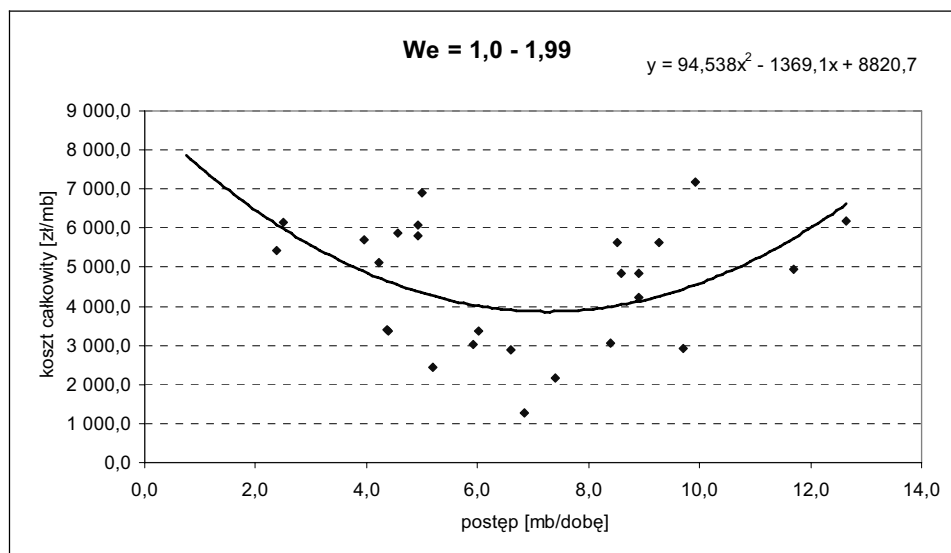
W przypadku wyrobisk korytarzowych wykonywanych w węglu, w wyrobiskach o wartości wskaźnika W_p przekraczającego 4,0, postęp dobowy wynosił jedynie 3,4 m.

Uwzględniając wyrobiska węglowe oraz węglowo-kamienne i kamiennie-węglowe we wszystkich analizowanych kopalniach, jakie drążono w latach 2003–2008, podjęto próbę obliczenia optymalnego postępu drążenia wyrobisk korytarzowych przy minimalnym koszcie w poszczególnych przedziałach wartości wskaźnika oceny efektywności W_e . Zależności te ilustrują rysunki 5.1a–f. Dla każdego przedziału wskaźnika W_e obliczono trend zależności postępu od kosztów. Trend ten ma postać funkcji wielomianu drugiego stopnia. Licząc wierzchołek tej funkcji dla każdego przedziału otrzymano wartość optymalnego postępu przy najniższych kosztach.

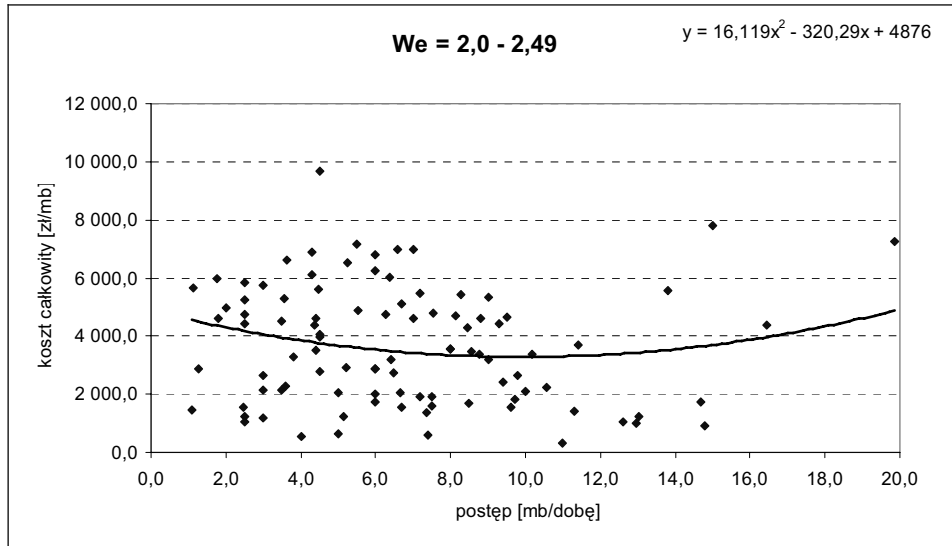
TABELA 5.4

Średnie wartości postępów i kosztów w przedziałach wartości wskaźnika W_p

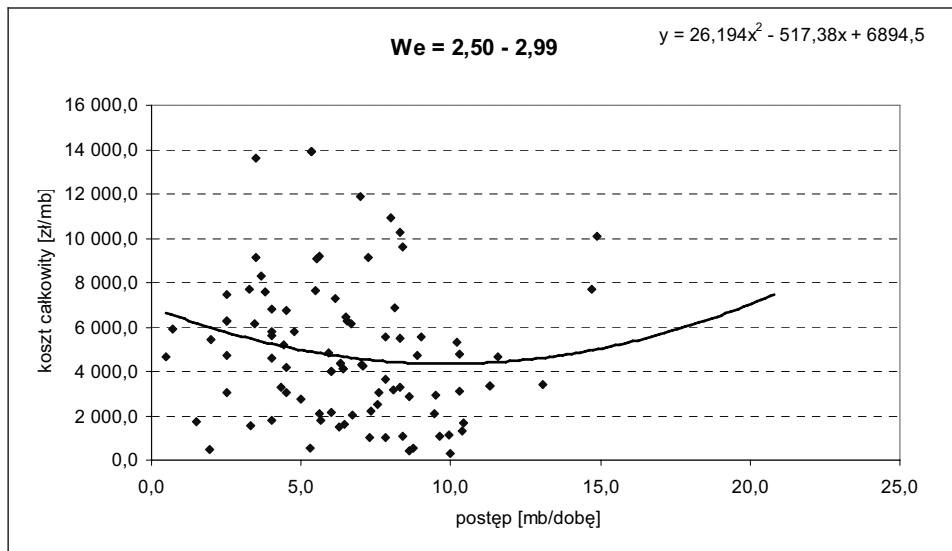
WSKAŹNIK W_p	ŚREDNI POSTĘP DOBOWY	ŚREDNI POSTĘP MIESIĘCZNY	ŚREDNI KOSZT CAŁKOWITY
wyrobiska węglowe			
1,0–2,0	5,8	102	4104
2,0–3,0	6,9	113	5015
3,0–4,0	6,8	112	2966
> 4,0	3,4	65	2630
wyrobiska kamienne			
1,0–2,0	5,8	56	1650
2,0–3,0	4,4	66	1856
> 3,0	4,4	87	2065
wyrobiska węglowo-kamiennie			
1,0–2,0	7,5	118	2522
2,0–3,0	4,9	81	4826
> 3,0	4,6	90	3623



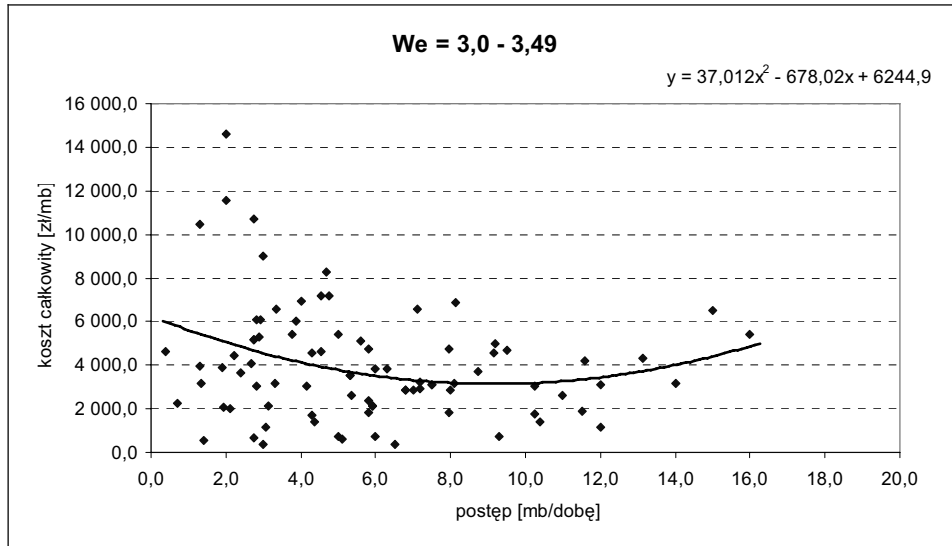
Rys. 5.1a. Optymalizacja postępów drążenia wyrobisk przy minimalnych kosztach w przedziale wartości wskaźnika $W_e = 1,0-1,99$



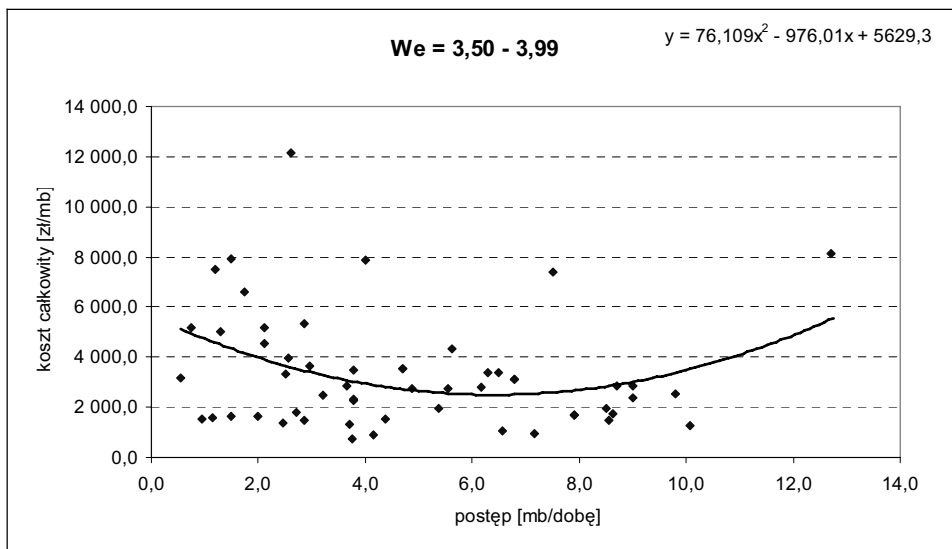
Rys. 5.1b. Optimalizacja postępów drążenia wyrobisk przy minimalnych kosztach w przedziale wartości wskaźnika $W_e = 2,0-2,49$



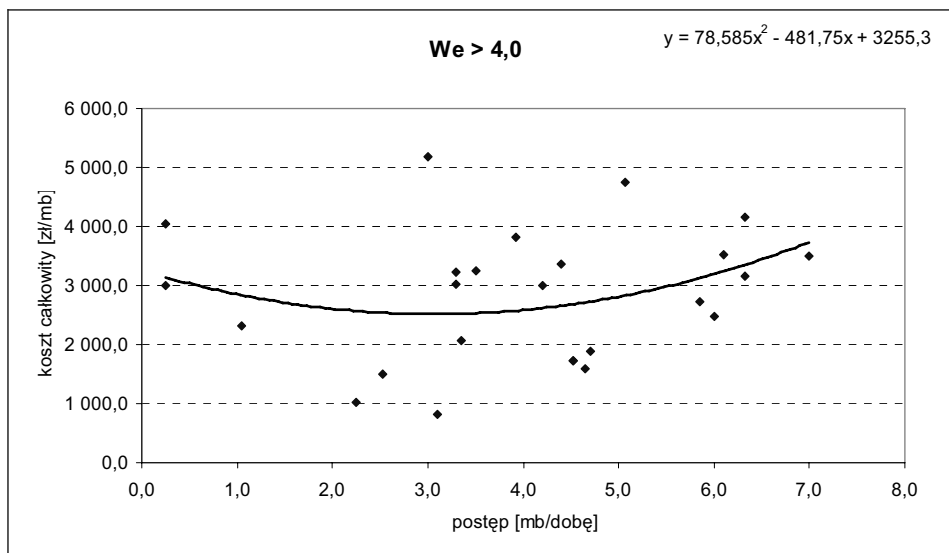
Rys. 5.1c. Optimalizacja postępów drążenia wyrobisk przy minimalnych kosztach w przedziale wartości wskaźnika $W_e = 2,50-2,99$



Rys. 5.1d. Optimalizacja postępów drążenia wyrobisk przy minimalnych kosztach w przedziale wartości wskaźnika $W_e = 3,0-3,49$



Rys. 5.1e. Optimalizacja postępów drążenia wyrobisk przy minimalnych kosztach w przedziale wartości wskaźnika $W_e = 3,50-3,99$



Rys. 5.1f. Optymalizacja postępów drążenia wyrobisk przy minimalnych kosztach w przedziale wartości wskaźnika $W_e > 4,0$

TABELA 5.5

Wielkość postępu drążenia wyrobisk korytarzowych przy minimalnym koszcie

WSKAŹNIK W_E	POSTĘP DOBOWY [MB]	MINIMALNY KOSZT [ZŁ/MB]
1,0–1,99	7,2	3680
2,0–2,49	9,9	3285
2,5–2,99	9,9	4340
3,0–3,49	9,2	3140
3,5–3,99	6,4	2500
> 4,0	3,1	2517

Powyższa analiza pokazuje, że wskaźnik W_e różnicuje drążone wyrobiska korytarzowe w latach 2003–2008, ze względu na postęp przy minimalnym koszcie. Największy postęp robót przygotowawczych obserwowano w wyrobiskach, w których wskaźnik efektywności W_e osiągał wartości pomiędzy 2,5 a 3,5.

Najniższe postępy osiągano w wyrobiskach o najwyższych wartościach W_e . Pomimo najgorszych warunków koszty drążenia tych wyrobisk były najniższe i wynosiły około 2500 zł/mb.

6. Podsumowanie

Analiza statystyczna czynników wpływających na efektywność drażenia wyrobisk chodnikowych przeprowadzona została w dwóch aspektach: pod kątem postępów liczonych w metrach bieżących wykonanych wyrobisk oraz wyników ekonomicznych. Ocena efektywności drażenia wyrobisk korytarzowych przeprowadzono przy wykorzystaniu wielokryterialnej metody AHP oraz metody statystycznej analizy wielowymiarowej. Przeprowadzona analiza pozwoliła sformułować następujące wnioski:

- na ograniczenie postępu drażenia wyrobisk przygotowawczych największy wpływ mają zagrożenia naturalne (0,45), natomiast na poziom kosztów warunki geologiczno-górnice (0,40) i parametry technologiczne (0,39);
- w przypadku zagrożeń naturalnych najistotniejszy wpływ na postęp drażenia mają zagrożenia tąpnięciami (0,28), natomiast na poziom kosztów zagrożenie klimatyczne (0,23);
- spośród kryteriów technologicznych największy wpływ na efektywność drażenia wyrobisk przygotowawczych ma powierzchnia przodka (0,36) oraz technologia drażenia (0,34);
- w przypadku kryteriów charakteryzujących warunki geologiczno-górnice największy wpływ na ograniczenie postępu mają zaburzenia tektoniczne (0,27) oraz urabialność (0,26). Bardzo wysoką wagę w ocenie poziomu kosztów mają warunki stropowe (0,25);
- analizując postępy drażenia wyrobisk korytarzowych w poszczególnych przedziałach wartości wskaźnika oceny efektywności można zauważyć, że średnie postępy dobowe w wyrobiskach kamiennych, w których wartość wskaźnika W_p mieści się w przedziale 1,0–2,0 punktu, wynoszą 5,8 m/dobę. Wraz ze wzrostem wartości wskaźnika powyżej 2,0 punktu postępy dobowe zmniejszają się do 4,4 m/dobę, jednocześnie koszt 1 mb rośnie z 1650 do 2065 zł/mb.

Dla wyrobisk kamiennie-węglowych w przedziale wartości wskaźnika W_p 1,0–2,0, postęp dobowy wynosił 7,5 m/dobę przy średnim koszcie 2522 zł/mb. Natomiast wyrobiska o najtrudniejszych warunkach miały postęp jedynie 4,6 m/dobę przy średnim koszcie 3624 zł/mb. W przypadku wyrobisk korytarzowych wykonywanych w węglu, w wyrobiskach o wartości wskaźnika W_p przekraczającej 4,0, postęp dobowy wynosił jedynie 3,4 m.

Niniejszy artykuł powstał w ramach prac statutowych IGSMiE PAN realizowanych w roku 2009.

LITERATURA

- [1] *Chmielewski J., Karlikowski S., Kozek B.*: Poprawa postępów drażenia wyrobisk przygotowawczych w świetle doświadczeń kopalni Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. Materiały konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2009, Kraków 2009.

- [2] *Jaskier B., Budziszewski Z., Dobrzyński R.*: Możliwości poprawy efektywności prowadzenia robót korytarzowych w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. Materiały konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2009, Kraków 2009.
- [3] *Kotwica K.*: Scenariusze rozwoju technicznego drażenia wyrobisk korytarzowych w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, tom 24, 2008.
- [4] *Sobczyk E.J.*: Analytic Hierarchy Process (AHP) and Multivariate Statistical Analysis (MSA) in Evaluating Mining Difficulties in Coal Mines. 21st World Mining Congress – New Challenges and Visions for Mining, Kraków, Taylor&Francis Group, A.A. Balkema Book, London 2008.
- [5] *Turek M.*: 2007: Zmiany długości wyrobisk korytarzowych w procesie restrukturyzacji technicznej kopalń. Wiadomości Górnicze, nr 1, 2007.