



**IGSMiE**  
PAN

Program strategiczny  
**GOSPOSTRATEG**



# Zrównoważona gospodarka zasobami węgla kamiennego poprzez identyfikację czynników ryzyka w procesie wydobywczym - ważny element dynamicznego zarządzania zapotrzebowaniem, produkcją, gospodarką zasobami projektu DynGOSP

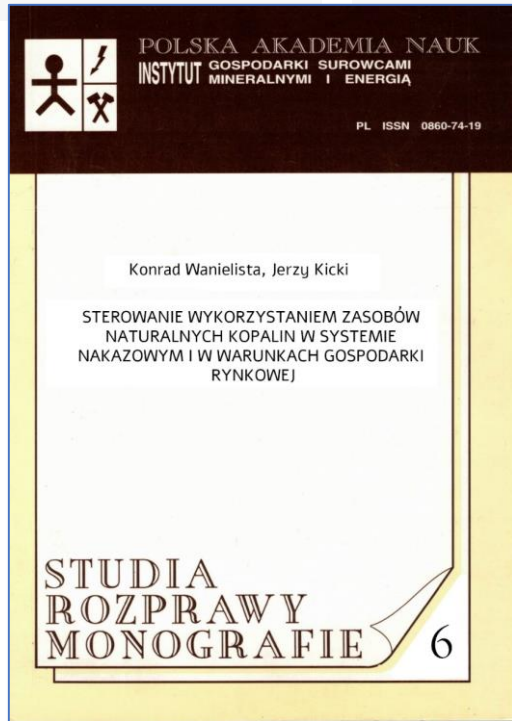
**Autorzy:** Artur Dyczko, Jarosław Kulpa, Dominik Galica, Eugeniusz J. Sobczyk, Jacek Jarosz, Michał Kopacz

XXXVII Konferencja  
„Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej”

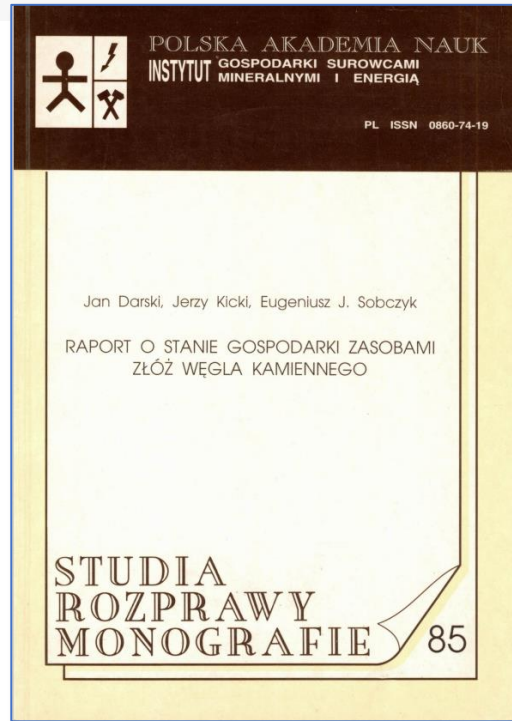
Zakopane/Kościelisko, 20-23 października 2024 r.



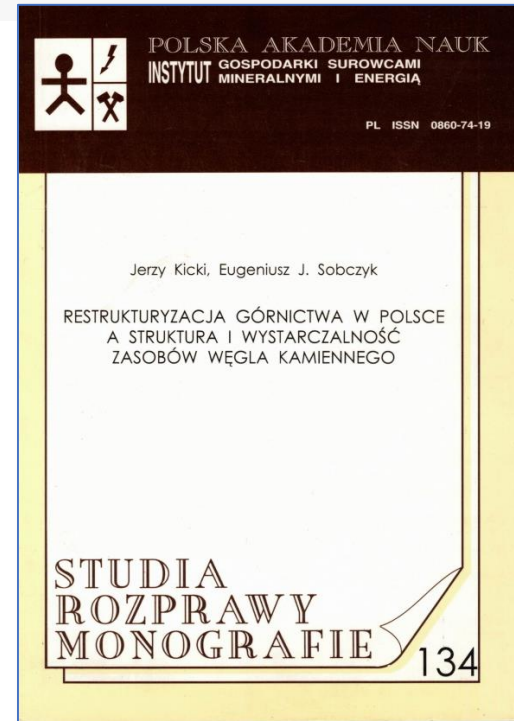
# Geneza badań



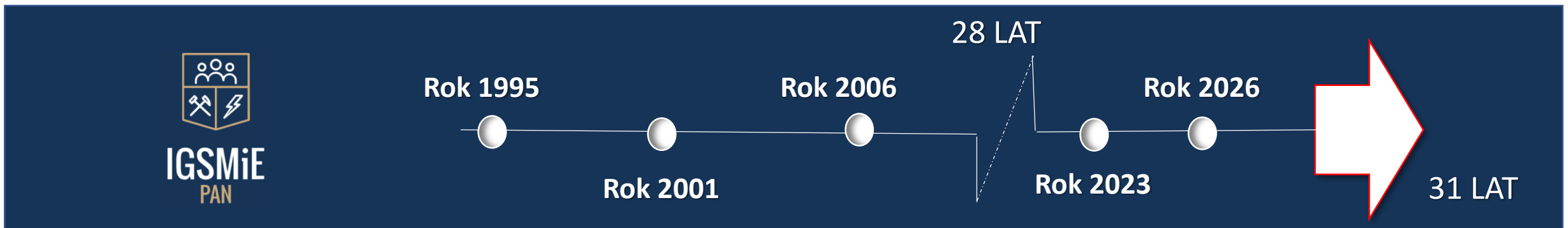
Rok 1995



Rok 2001



Rok 2006





# Cel i rezultaty projektu

3

## Cel projektu



**Kompleksowy system zarządzania węglem kamiennym w relacji od złoża do odbiorcy końcowego w perspektywie 2050 r.**



**Budowa koncepcji zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego bazującej na opracowaniu dynamicznej bazy zasobowej węgla kamiennego**



**Określenie wydobywalnej ilości zasobów oszacowanych zgodnie z procedurami wymaganymi przez międzynarodowy standard wykazywania zasobów JORC Code**

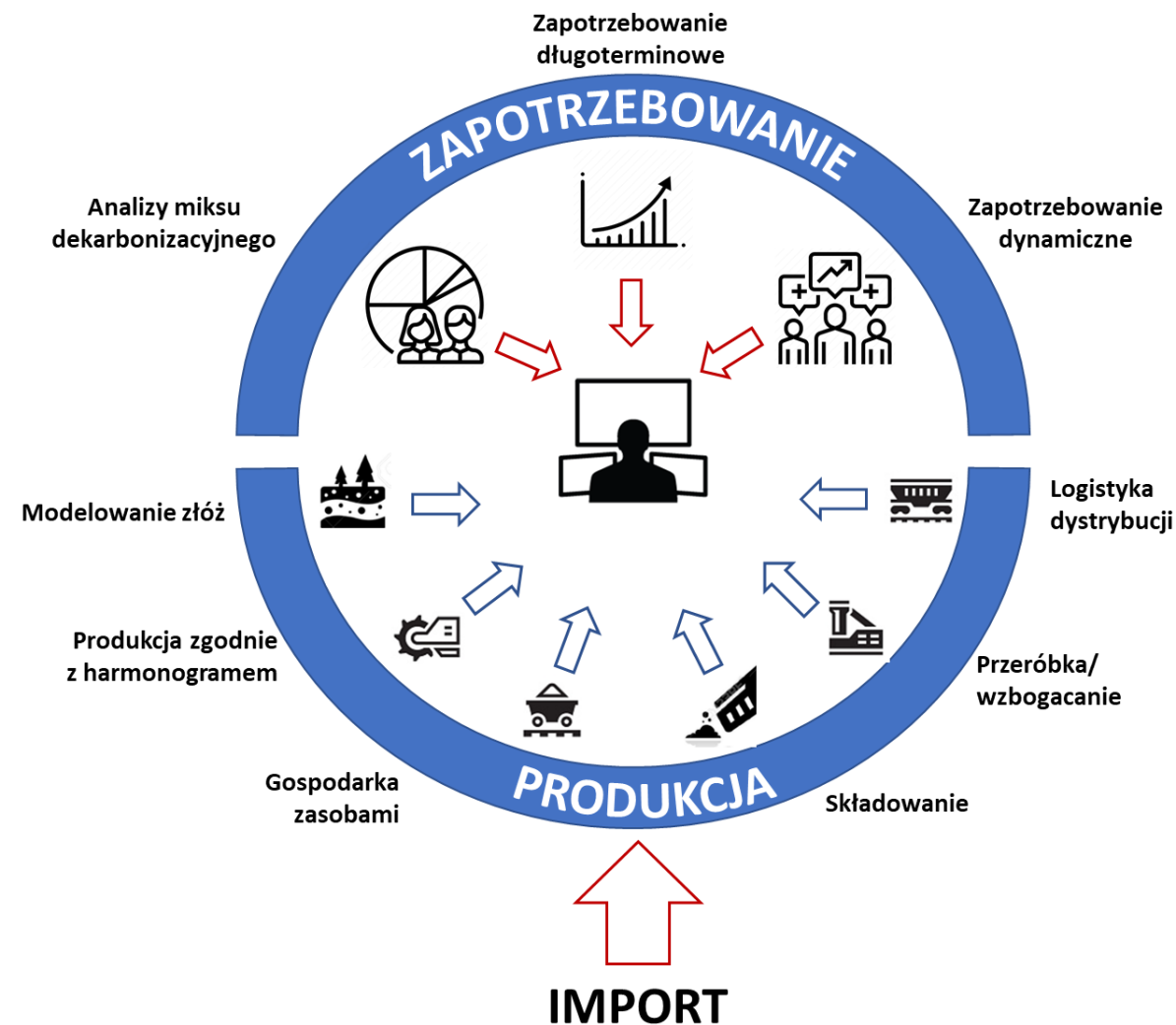


**Opracowanie systemu zarządzania sektorem górnictwa węgla kamiennego (zapotrzebowaniem, produkcją, składowaniem, gospodarką zasobami i logistyką dystrybucji)**



# Koncepcja kompleksowego systemu zarządzania węglem kamiennym

4



**Kompleksowy System Zarządzania Węglem Kamiennym** opierać się będzie na następujących elementach:

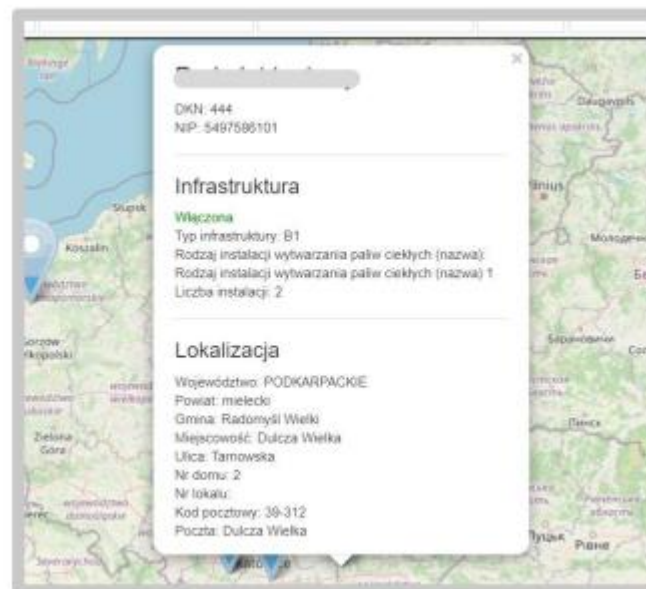
- **Zapotrzebowaniu**, obejmującym
  - **zapotrzebowanie długoterminowe** pochodzące od planów krajowych;
  - **zapotrzebowanie dynamiczne**, obejmujące możliwość elastycznej odpowiedzi na zaburzenia systemu;
  - Dane z **analizy miks dekarbonizacyjnego**;
- **Produkcji**, obejmującej
  - **ciąg produkcyjny od „złoża do odbiorcy”**, związany z dostarczaniem danych o tym, gdzie węgiel się znajduje i o jakich parametrach, harmonogramie jego wydobycia, miejscach składowania oraz logistyki dostaw oraz
  - **Źródła węgla** pochodzące z importu z zagranicy.

**Całość koncepcji ma za zadanie umożliwić planowanie produkcji w odniesieniu do deklarowanego zapotrzebowania**



# Platforma paliwowa

5



RZĄDOWA AGENCJA  
REZERW STRATEGICZNYCH

## Dokumentacja użytkownika

Instrukcja użytkownika dotycząca obsługi Systemu  
Platforma Paliwowa.

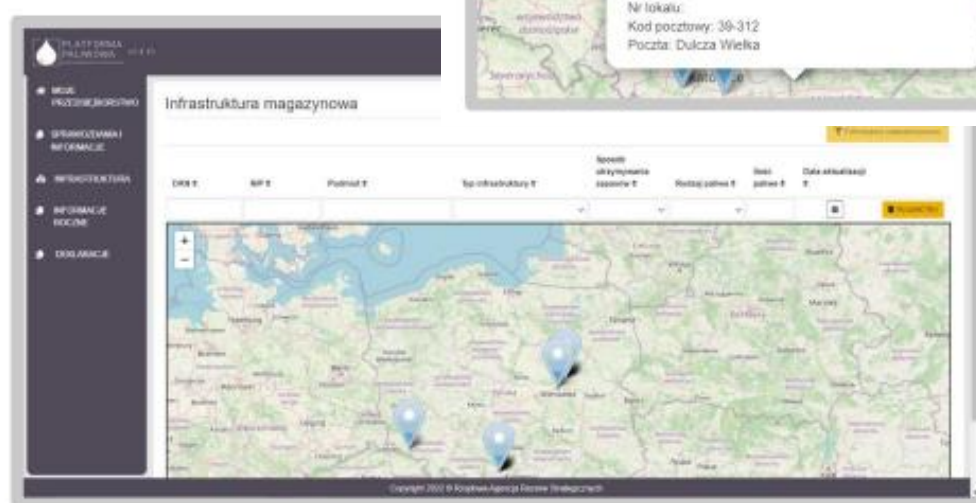
Projekt Platforma Paliwowa

21/08/2023

Wersja: 1.32

Autor: Rządowa Agencja Rezerw Strategicznych

Warszawa, 2023





# Harmonogram projektu (cz.1)

			rok		2023							2024												
			miesiąc		czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień	
nr zadania	rodzaj prac	wykonawca	nazwa zadania																					
1	PR	IGSMiE PAN	Określenie zdolności produkcyjnych kopalń poprzez analizę ogniw ciągu technologicznego.		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
2	PR	IGSMiE PAN	Innowacyjna koncepcja gospodarki zasobami złóż węgla kamiennego.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
3	PR	ITG KOMAG	Budowa modelu strumieni surowców z Zakładu Mechanicznej Przeróbki Węgla w aspekcie gospodarki o obiegu zamkniętym.				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
4	PR	ITG KOMAG	Budowa koncepcji ciągłej inwentaryzacji zwałów i hałd z wykorzystaniem technologii bezałogowych statków powietrznych.					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
5	PR	ITG KOMAG	Budowa mapy obiegu informacji na potrzeby zarządcze oraz modelu kluczowych punktów węzłowych regionalnego bezpieczeństwa energetycznego opartych o próg rentowności					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
6	PPW	ITG KOMAG	Budowa pilota systemu dynamicznego zarządzania zapotrzebowaniem, produkcją, gospodarką zasobami i logistyką dystrybucji węgla kamiennego w gospodarce realizującej dekarbonizacyjny mikś energetyczny																		■	■	■	
7	PPW	IGSMiE PAN	Opracowanie procedur oraz projektu regulacji prawnych niezbędnych do wdrożenia koncepcji gospodarki zasobami złóż węgla kamiennego																			■	■	■
8	PPW	Ministerstwo Przemysłu	Przygotowanie planu i harmonogramu prac legislacyjnych umożliwiających wdrożenie platformy węglowej																					



# Opis prac przewidzianych w ramach zadania

W celu wdrożenia innowacyjnego zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego zostanie opracowana metodyka postępowania prowadząca do sporządzenia dynamicznej bazy zasobowej węgla kamiennego na potrzeby zwiększenia podaży węgla kamiennego na rynek krajowy. Metodyka badawcza będzie obejmowała następujące etapy:

- 1. Opracowanie cyfrowych modeli geologicznych poszczególnych złóż węgla kamiennego oraz wdrożenie cyfrowych narzędzi do planowania i harmonogramowania wydobycia.** Cyfrowe modele poszczególnych złóż węgla kamiennego posłużą do wizualizacji budowy geologicznej, oceny zmienności kluczowych parametrów jakościowych węgla, prognozy wielkości zasobów, a przede wszystkim do wyboru optymalnego harmonogramu udostępnienia i eksploatacji oraz do stworzenia opłacalnego ekonomicznie projektu eksploatacji. Przygotowana zostanie analiza metod cyfrowego modelowania przestrzennego struktury złóż pokładowych oraz deterministycznych i geostatystycznych metod modelowania zmienności parametrów jakości węgla. Wskazane zostaną metody rekomendowane w zależności od szczegółowej charakterystyki złóż. Zastosowanie modeli geologicznych w proponowanej koncepcji zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego pozwoli na oszacowanie wielkości zasobów wydobywalnych w czasie rzeczywistym, w zależności od poziomu kosztów produkcji i ceny węgla.
- 2. Konstrukcja modeli wpływu uciążliwości warunków geologicznych i górniczych na proces eksploatacji.** W celu obiektywnej oceny uciążliwości warunków geologicznych i górniczych procesu eksploatacji wykorzystana zostanie matematyczna wielokryterialna metoda podejmowania decyzji AHP (Analytic Hierarchy Process) oraz wielowymiarowa analiza porównawcza. Na podstawie modeli zdefiniowane zostaną wskaźniki uciążliwości eksploatacji przedstawiające poziom ryzyka eksploatacji w poszczególnych parcelach eksploatacyjnych.
- 3. Ekonomiczna weryfikacja zasobów.** Zdefiniowanie dynamicznej bazy zasobów węgla kamiennego wymaga opracowania metodyki ekonomicznej oceny zasobów. Zostanie opracowana koncepcja tzw. ekonomicznej parceli eksploatacyjnej (EPE), czyli pola eksploatacyjnego o takich parametrach geometrycznych i ekonomicznych, które zapewnią rentowne prowadzenie wydobycia. Parametry EPE będą inne dla każdej kopalni i zależą od głównych cech od typu i charakteru złoża, warunków ekonomicznych oraz ryzyka wynikającego z zagrożeń naturalnych, z budowy geologicznej złoża (pokładu), z ograniczeń spowodowanych wymaganiami technicznymi, z oddziaływania eksploatacji na środowisko naturalne. Opracowane (pkt. 2) wskaźniki uciążliwości zostaną uwzględnione w analizie efektywności ekonomicznej EPE z wykorzystaniem metody zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF).
- 4. Wykazanie zasobów według międzynarodowego standardu wykazywania zasobów JORC Code.** Zaproponowana metodyka opracowania dynamicznej bazy zasobowej pozwoli na oszacowanie zasobów wydobywalnych zgodnych z kategorią zasobów Reserves w nomenklaturze kodeksu JORC.



# Opis prac przewidzianych w ramach zadania

8

W celu wdrożenia innowacyjnego zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego zostanie opracowana metodyka postępowania prowadząca do sporządzenia dynamicznej bazy zasobowej węgla kamiennego na potrzeby zwiększenia podaży węgla kamiennego na rynek krajowy. Metodyka badawcza będzie obejmowała następujące etapy:

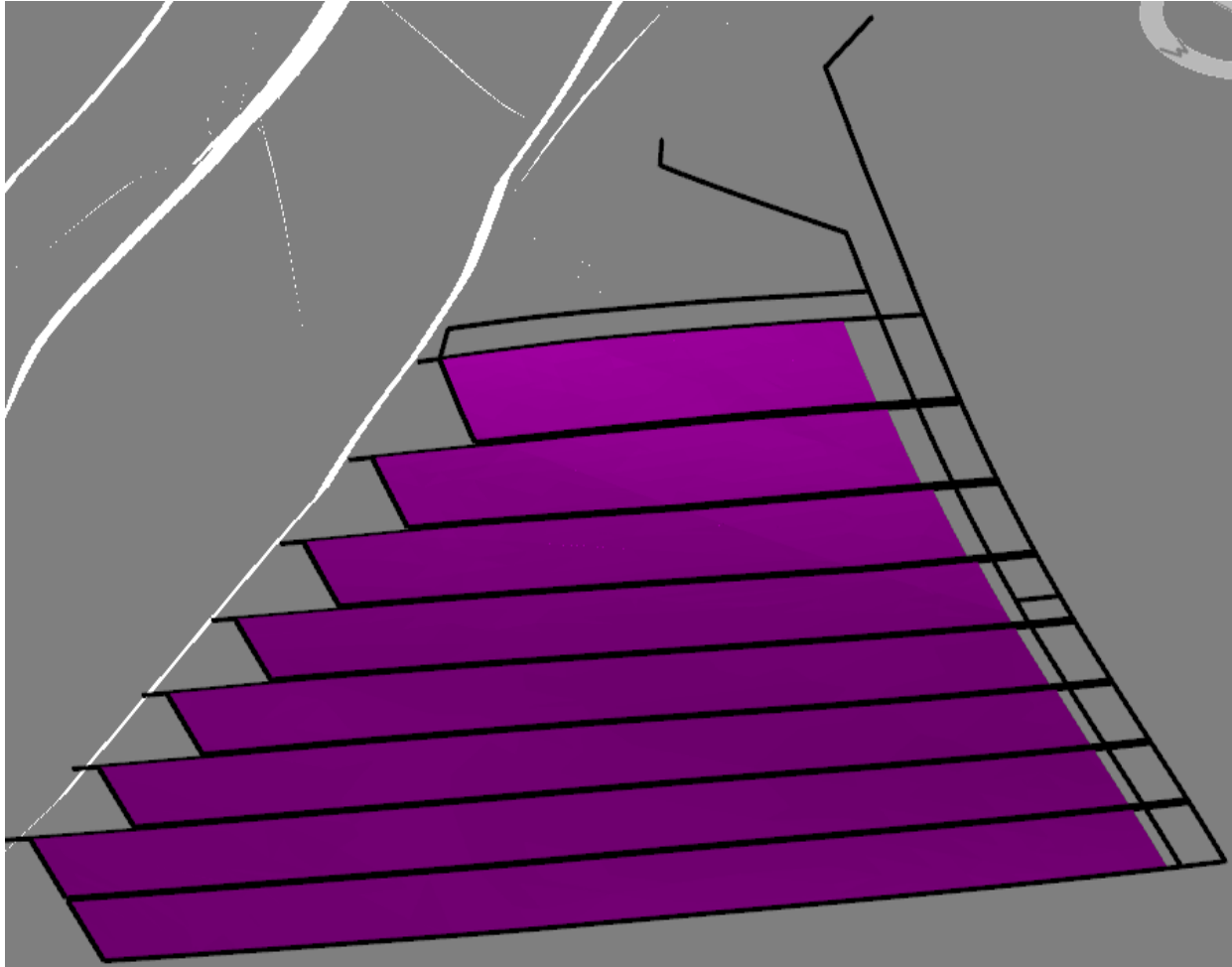
- 1. Opracowanie cyfrowych modeli geologicznych poszczególnych złóż węgla kamiennego oraz wdrożenie cyfrowych narzędzi do planowania i harmonogramowania wydobycia.** Cyfrowe modele poszczególnych złóż węgla kamiennego posłużą do wizualizacji budowy geologicznej, oceny zmienności kluczowych parametrów jakościowych węgla, prognozy wielkości zasobów, a przede wszystkim do wyboru optymalnego harmonogramu udostępnienia i eksploatacji oraz do stworzenia opłacalnego ekonomicznie projektu eksploatacji. Przygotowana zostanie analiza metod cyfrowego modelowania przestrzennego struktury złóż pokładowych oraz deterministycznych i geostatystycznych metod modelowania zmienności parametrów jakości węgla. Wskazane zostaną metody rekomendowane w zależności od szczegółowej charakterystyki złóż. Zastosowanie modeli geologicznych w proponowanej koncepcji zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego pozwoli na oszacowanie wielkości zasobów wydobywalnych w czasie rzeczywistym, w zależności od poziomu kosztów produkcji i ceny węgla.
- 2. Konstrukcja modeli wpływu uciążliwości warunków geologicznych i górniczych na proces eksploatacji.** W celu obiektywnej oceny uciążliwości warunków geologicznych i górniczych procesu eksploatacji wykorzystana zostanie matematyczna wielokryterialna metoda podejmowania decyzji AHP (Analytic Hierarchy Process) oraz wielowymiarowa analiza porównawcza. Na podstawie modeli zdefiniowane zostaną wskaźniki uciążliwości eksploatacji przedstawiające poziom ryzyka eksploatacji w poszczególnych parcelach eksploatacyjnych.
- 3. Ekonomiczna weryfikacja zasobów.** Zdefiniowanie dynamicznej bazy zasobów węgla kamiennego wymaga opracowania metodyki ekonomicznej oceny zasobów. Zostanie opracowana koncepcja tzw. ekonomicznej parceli eksploatacyjnej (EPE), czyli pola eksploatacyjnego o takich parametrach geometrycznych i ekonomicznych, które zapewnią rentowne prowadzenie wydobycia. Parametry EPE będą inne dla każdej kopalni i zależą od typu i charakteru złoża, warunków ekonomicznych oraz ryzyka wynikającego z zagrożeń naturalnych, z budowy geologicznej złoża (pokładu), z ograniczeń spowodowanych wymaganiami technicznymi, z oddziaływania eksploatacji na środowisko naturalne. Opracowane (pkt. 2) wskaźniki uciążliwości zostaną uwzględnione w analizie efektywności ekonomicznej EPE z wykorzystaniem metody zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF).
- 4. Wykazanie zasobów według międzynarodowego standardu wykazywania zasobów JORC Code.** Zaproponowana metodyka opracowania dynamicznej bazy zasobowej pozwoli na oszacowanie zasobów wydobywalnych zgodnych z kategorią zasobów Reserves w nomenklaturze kodeksu JORC.





# Parametry kamienia milowego

9



**Koncepcja zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego poprzez zdefiniowanie dynamicznej bazy zasobowej.**

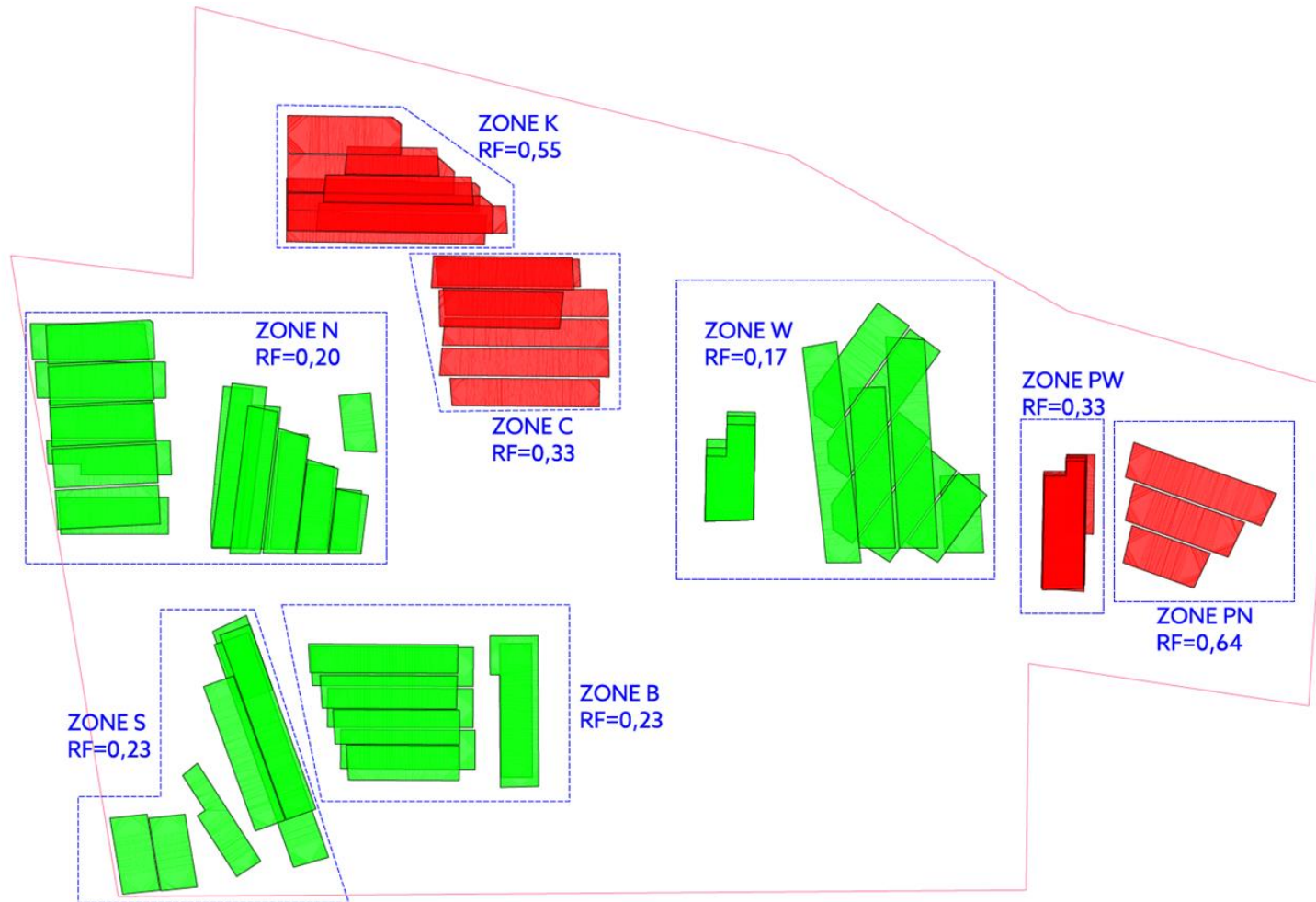
## Parametry

1. Metodyka oceny techniczno-ekonomicznej parceli eksploatacyjnej – EPE
2. Wzorcowy model wpływu uciążliwości warunków geologicznych i górniczych na proces eksploatacji wraz z analizą wrażliwości.
3. Wzorcowy raport wielkości zasobów wydobywalnych (wykazanie zasobów według standardu JORC Code).



# Parametry kamienia milowego

10



**Koncepcja zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego poprzez zdefiniowanie dynamicznej bazy zasobowej.**

## Parametry

1. Metodyka oceny techniczno-ekonomicznej parceli eksploatacyjnej – EPE
2. Wzorcowy model wpływu uciążliwości warunków geologicznych i górniczych na proces eksploatacji wraz z analizą wrażliwości.
3. Wzorcowy raport wielkości zasobów wydobywalnych (wykazanie zasobów według standardu JORC Code).



# Parametry kamienia milowego

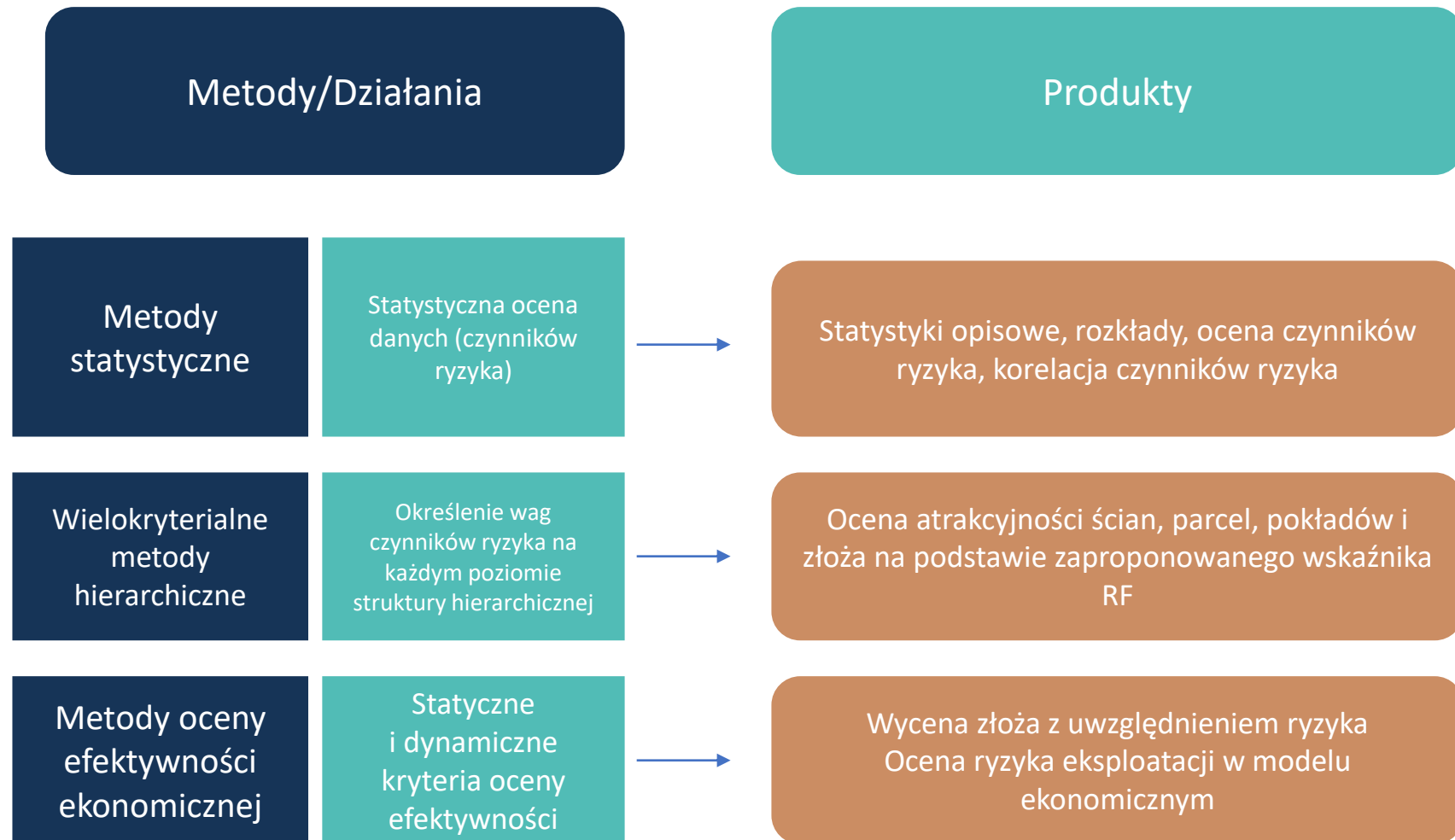
11

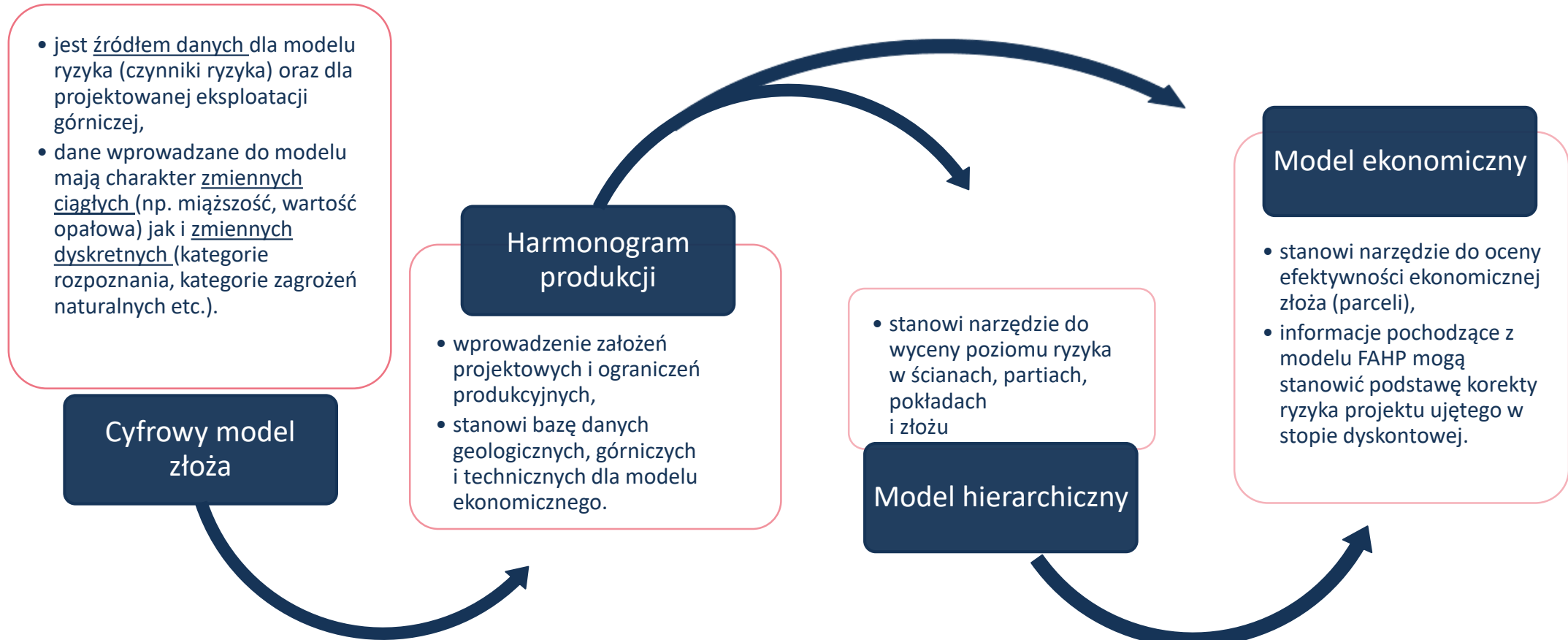


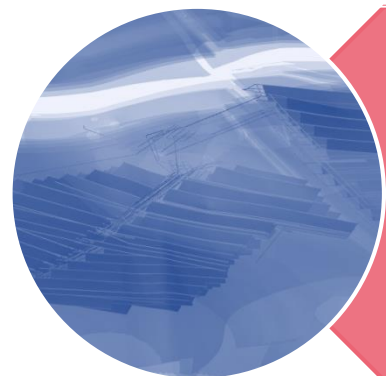
**Koncepcja zarządzania zasobami złóż węgla kamiennego poprzez zdefiniowanie dynamicznej bazy zasobowej.**

## Parametry

1. Metodyka oceny techniczno-ekonomicznej parceli eksploatacyjnej – EPE
2. Wzorcowy model wpływu uciążliwości warunków geologicznych i górniczych na proces eksploatacji wraz z analizą wrażliwości.
3. Wzorcowy raport wielkości zasobów wydobywalnych (wykazanie zasobów według standardu JORC Code).





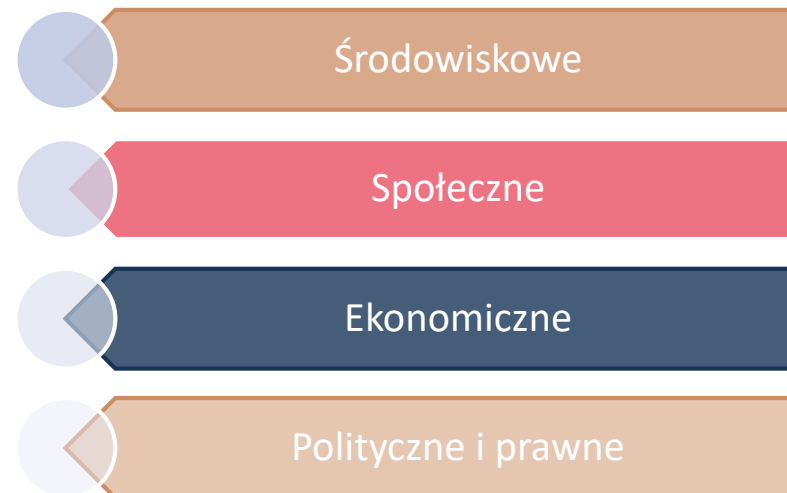


Geologiczne (złożowe)  
czynniki ryzyka



Górnictwo (techniczne)  
czynniki ryzyka

- Wszystkie 6 grup czynników stanowią elementy ryzyka całkowitego projektu.
- W dalszej części skupiono się na ryzykach związanych z **warunkami geologiczno-górnictwem**.
- Pozostałe grupy czynników, wymienione poniżej, zostały ujęte w modelu efektywności ekonomicznej.





# Metodyka badawcza: zidentyfikowane czynniki ryzyka

15

## Parametry techniczne

Zdolność wydobywcza  
Miąższość kamienia  
Miąższość brutto  
Powierzchnia  
Wybieg ściany  
Długość ściany  
Odległość od szybu mat.-zjazdowego  
Odległość od szybu wydobywczego

## Parametry jakościowe węgla

Gęstość węgla  
Zawartość popiołu (AA i AD)  
Kontrakcja i Dylatacja  
Zawartość chloru  
CSR, CRI  
Zawartość inertynitu  
Zawartość liptynitu  
Zawartość witrynu i jego przypadkowa refleksyjność  
Zawartość substancji mineralnych  
Zawartość fosforu  
Wartość opałowa  
Indeks Rogi  
Wilgoć związana  
Zawartość siarki  
Wskaźnik wolnego wydymania  
Zawartość części lotnych  
Metanowość ściany

## Parametry geologiczne

Miąższość netto  
Miąższość pokładu  
Miąższość przerostu  
Objętość węgla  
Masa węgla  
Masa kamienia  
Masa urobku  
Nachylenie podłużne  
Nachylenie poprzeczne  
Głębokość

## Kategoryzacja zasobów

Kategorie JORC  
Wyrzuty gazów i skał  
Zagrożenie pyłowe  
Samozapalność węgla  
Zagrożenie tąpnięciami  
Wskaźnik zaburzeń tektonicznych  
Zagrożenie wodne  
Typ węgla  
Nachylenia podłużne  
Nachylenia poprzeczne



# Metodyka badawcza: analiza statystyczna czynników ryzyka

16

- Łącznie **do analizy statystycznej** ze wszystkich dostępnych w modelu czynników wytypowano **17 zmiennych objaśniających**.
- Z uwagi na skokowy charakter zmian niektórych zmiennych objaśniających i zmieniającą się dynamikę kosztów jednostkowych zdecydowano się na **analizę statystyczną** z wykorzystaniem **regresji segmentowej**.
- Przy wykorzystaniu analizy korelacji oraz modelu regresji segmentowej wyłoniono ostatecznie **10 istotnych zmiennych objaśniających** jednostkowe koszty wydobycia brutto.

**Tabela 1.** Wyniki estymacji modelu regresji segmentowej, opisującego zależność kosztów jednostkowych od uwarunkowań geologiczno-górnich pokładów węgla (powyżej punktu przełamania regresji segmentowej)

Zmienna objaśniająca	Wpływ parametru	Błąd standardowy	p
Stała B0	276,5682	83,2073	0,0016
1. Miąższość (-)	-12,7590	4,5296	0,0067
2. Zasoby wydobywalne (-)	-0,0310	0,0053	0,0000
3. Wybieg ściany (-)	-0,0478	0,1038	0,6466
4. Długość ściany (-)	-0,1393	0,0782	0,0800
5. Odległość od szybu mat-zj. (+)	0,0402	0,0078	0,0000
6. Głębokość (+)	0,1022	0,0272	0,0004
7. CH4 (+)	0,0943	0,0493	0,0610
8. KZT (+)	27,6634	10,8923	0,0138
9. KZU (+)	3,9249	1,3569	0,0054
10. KZS (+)	19,0674	6,0833	0,0027
<b>R<sup>2</sup></b>		<b>0,8321</b>	

Zmienna objaśniana: jednostkowe koszty wydobycia węgla





# Metodyka badawcza: model hierarchiczny

Poziom I

Zmienność kosztów wydobycia brutto w ujęciu jednostkowym

Poziom II

Czynniki górnicze

0,166

Czynniki geologiczne

0,322

Zagrożenia naturalne

0,512

Poziom III

Wybieg ściany

0,568

Długość ściany

0,111

Odległość od szybu

0,321

Mięszczość pokładu

0,192

Zasoby (Reserves)

0,163

Tektonika

0,446

Głębokość

0,198

Metanowe

0,635

Samozapalność węgla

0,124

Tąpaniowe

0,241

Alternatywy

Partia złoża 1

wagi

Partia złoża n



## Wyniki: model hierarchiczny (1)

**Tabela 2.** Znormalizowane wyniki każdego kryterium i ogólny wynik partii złoża

Partia	Czynniki górnicze			Czynniki geologiczne				Zagrożenia naturalne			Wskaźnik ryzyka RF
	Wybieg ściany	Długość ściany	Odległość od szybu mat.- zjazdowego	Miaższość pokładu	Zasoby wydobywalne	Zaburzenia tektoniczne	Głębokość	Metanowe	Samozapalność węgla	Tapaniowe	
<b>Wagi P1</b>	<b>0,166</b>			<b>0,322</b>				<b>0,512</b>			
<b>Wagi P2</b>	<b>0,57</b>	<b>0,11</b>	<b>0,32</b>	<b>0,19</b>	<b>0,16</b>	<b>0,45</b>	<b>0,20</b>	<b>0,64</b>	<b>0,12</b>	<b>0,24</b>	
<b>Waga W<sub>GL</sub></b>	<b>0,095</b>	<b>0,018</b>	<b>0,053</b>	<b>0,061</b>	<b>0,052</b>	<b>0,145</b>	<b>0,064</b>	<b>0,328</b>	<b>0,061</b>	<b>0,123</b>	
<b>B</b>	0,11	0,10	0,05	0,08	0,08	0,13	0,10	0,09	0,13	0,16	<b>0,3090</b>
<b>C</b>	0,10	0,13	0,07	0,07	0,11	0,13	0,12	0,09	0,15	0,00	<b>0,3610</b>
<b>K</b>	0,09	0,12	0,11	0,11	0,08	0,09	0,12	0,13	0,18	0,72	<b>0,4733</b>
<b>N</b>	0,13	0,12	0,08	0,09	0,14	0,10	0,11	0,07	0,10	0,00	<b>0,3020</b>
<b>PN</b>	0,13	0,11	0,21	0,17	0,18	0,13	0,11	0,25	0,08	0,00	<b>0,7626</b>
<b>PW</b>	0,12	0,09	0,18	0,12	0,10	0,13	0,12	0,08	0,08	0,00	<b>0,4106</b>
<b>S</b>	0,10	0,11	0,09	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12	0,08	0,00	<b>0,3363</b>
<b>W</b>	0,11	0,10	0,12	0,14	0,11	0,04	0,11	0,07	0,08	0,00	<b>0,1896</b>
<b>Złoże</b>	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,12	<b>0,3365</b>



## Wyniki: model hierarchiczny (2)

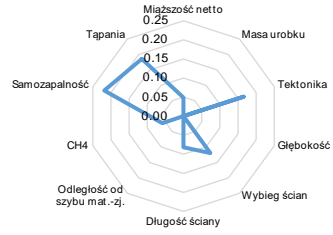
**Tabela 3.** Znormalizowane wyniki każdego kryterium i ogólny wynik dla poszczególnych złóż

Kopalnia	Czynniki górnicze			Czynniki geologiczne				Zagrożenia naturalne			Wskaźnik ryzyka RF
	Wybieg ściany	Długość ściany	Odległość od szybu mat.- zjazdowego	Miąższość pokładu	Zasoby wydobywalne	Zaburzenia tektoniczne	Głębokość	Metanowe	Samozapalność węgla	Tapaniowe	
<b>Wagi P1</b>	<b>0,166</b>			<b>0,322</b>				<b>0,512</b>			
<b>Wagi P2</b>	<b>0,57</b>	<b>0,11</b>	<b>0,32</b>	<b>0,19</b>	<b>0,16</b>	<b>0,45</b>	<b>0,20</b>	<b>0,64</b>	<b>0,12</b>	<b>0,24</b>	
<b>Waga W<sub>GL</sub></b>	<b>0,095</b>	<b>0,018</b>	<b>0,053</b>	<b>0,061</b>	<b>0,052</b>	<b>0,145</b>	<b>0,064</b>	<b>0,328</b>	<b>0,061</b>	<b>0,123</b>	
<b>A</b>	0,15	0,13	0,13	0,15	0,17	0,20	0,15	0,04	0,09	0,13	<b>0,4497</b>
<b>B</b>	0,14	0,16	0,12	0,12	0,16	0,31	0,15	0,08	0,10	0,20	<b>0,5442</b>
<b>C</b>	0,15	0,13	0,14	0,16	0,10	0,12	0,14	0,08	0,19	0,08	<b>0,4211</b>
<b>D</b>	0,14	0,15	0,15	0,14	0,10	0,08	0,17	0,40	0,12	0,02	<b>0,5481</b>
<b>E</b>	0,14	0,13	0,19	0,15	0,16	0,09	0,13	0,05	0,23	0,30	<b>0,4593</b>
<b>F</b>	0,13	0,16	0,13	0,13	0,16	0,06	0,13	0,20	0,12	0,14	<b>0,4528</b>

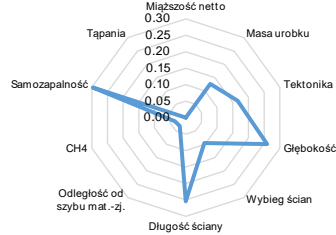


# Wyniki: model hierarchiczny (3)

Partia B



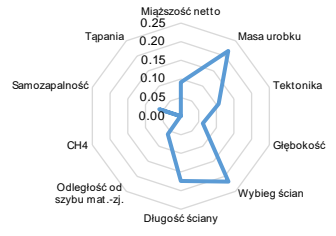
Partia C



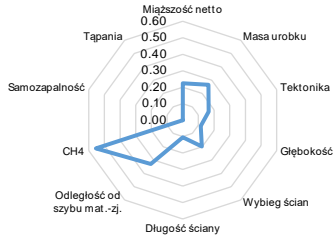
Partia K



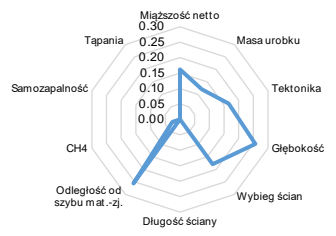
Partia N



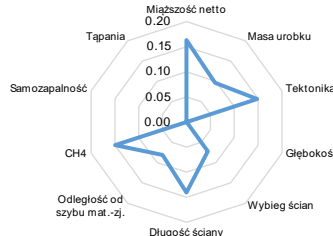
Partia PN



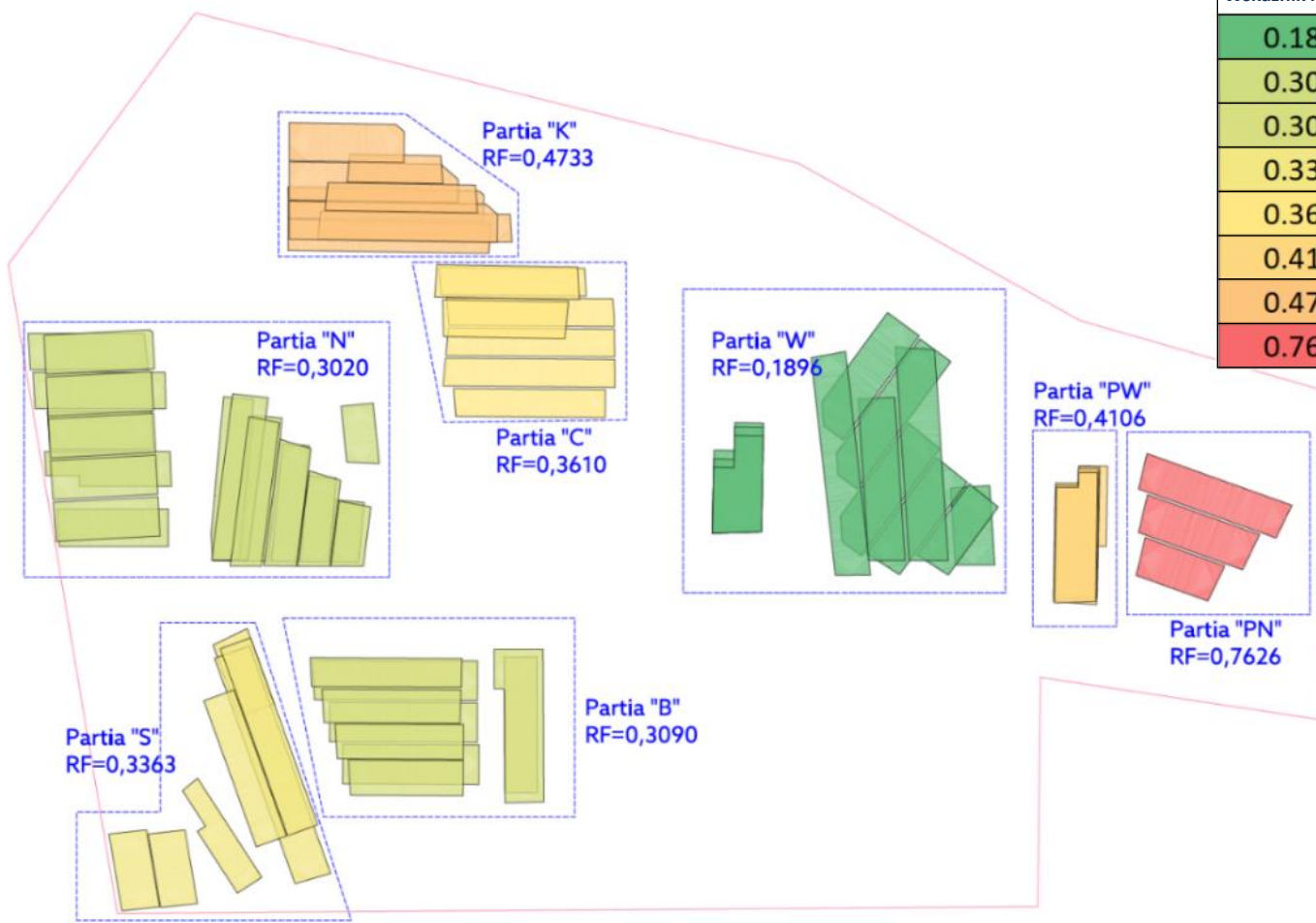
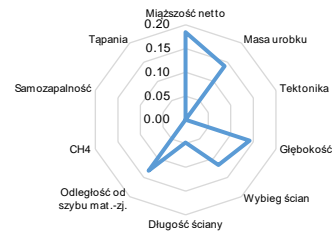
Partia PW



Partia S



Partia W

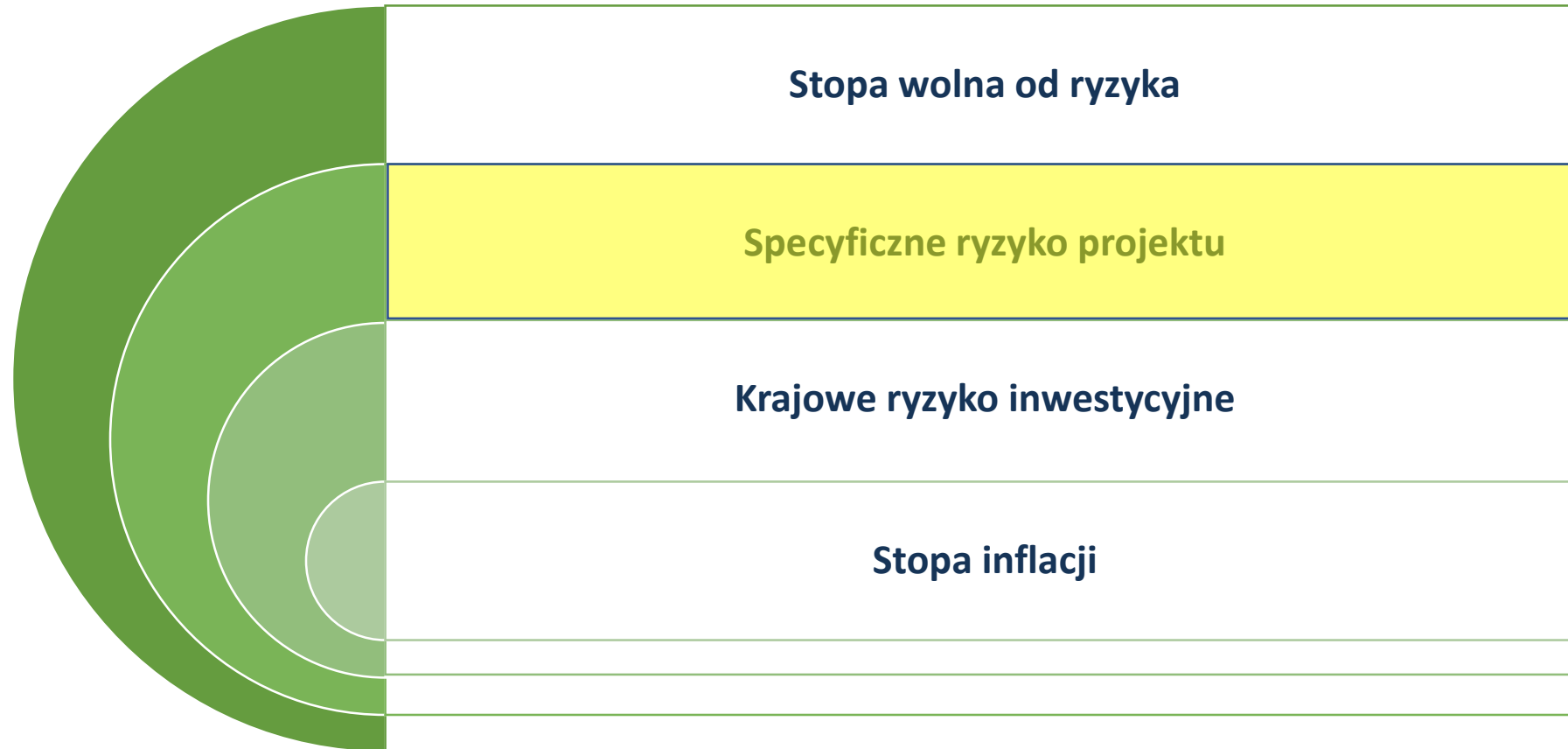


Wskaźnik RF	Partia
0.1896	W
0.3020	N
0.3090	B
0.3363	S
0.3610	C
0.4106	PW
0.4733	K
0.7626	PN



# Stopa dyskontowa dla projektu inwestycyjnego - teoria

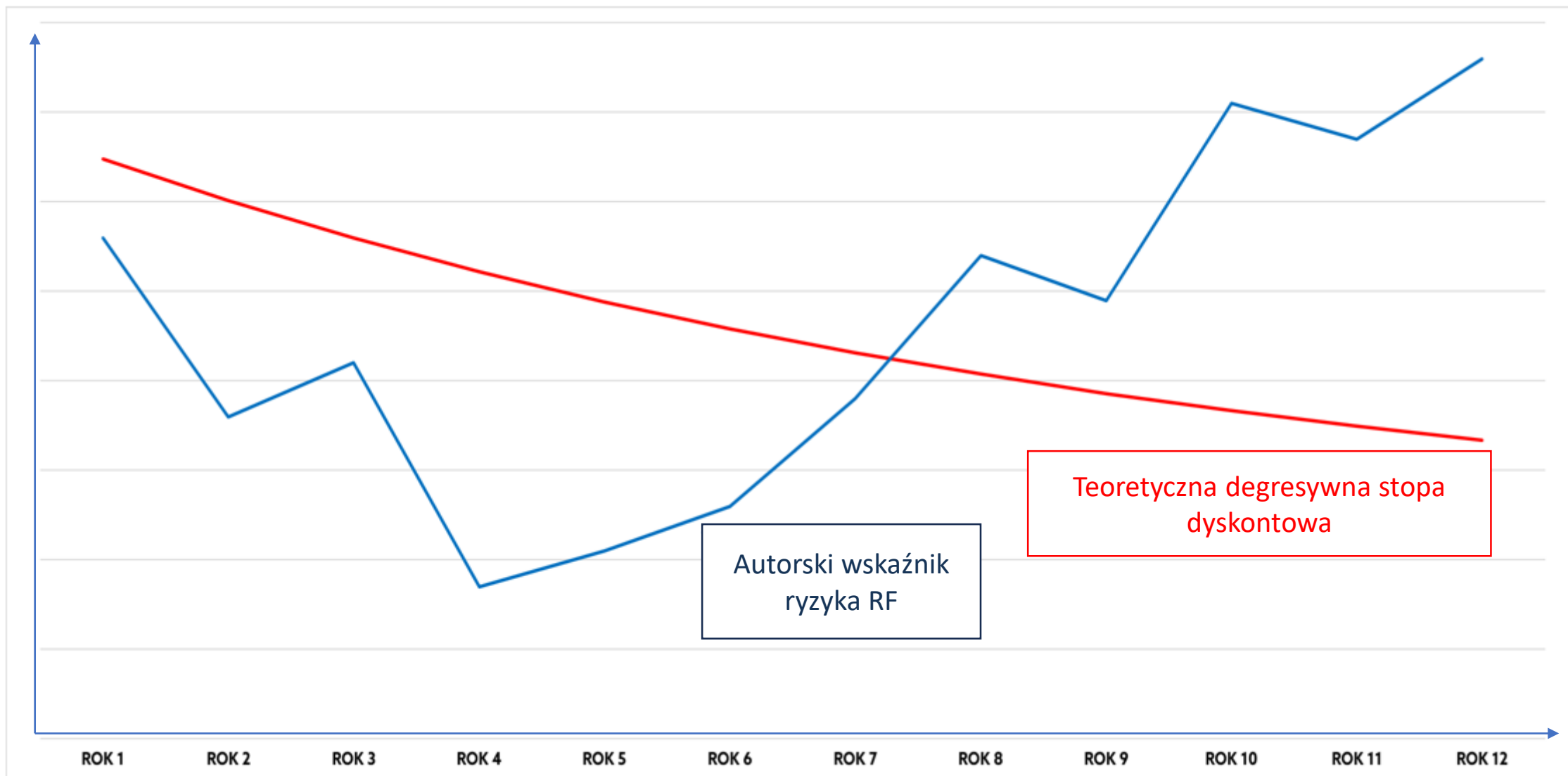
21





# Ryzyko eksploatacji zasobów surowców mineralnych

22





## Przeniesienie oceny ryzyka na poziom stopy dyskontowej – autorska koncepcja

23

- Koszt kapitałów własnych obliczony na bazie modelu *CAPM*:  $\beta(r_m - r_f) + r_f$ , gdzie  $r_m - r_f$ : premia za **ryzyko projektowe  $R_p$** ;  $r_m - r_f$  odpowiada  $R_p$  [%].
- Koszt kapitałów obcych to suma **stopy wolnej od ryzyka  $r_f$** , dostosowanej do okresu istnienia projektu, oraz **marży banku** (wartość korzyści, obejmująca bankową ocenę ryzyka projektu  $R_p$  oraz jego otoczenia). Marża banku będzie monetaryzowana przez bank jako **zysk  $W$  (%)**.

$$WACC \cong KKW + KKO = (\beta(R_p) + r_f) + (r_f + R_p + W)$$

$$WACC \cong A \cdot (\beta \cdot R_p + r_f) + (1 - A) \cdot (r_f + R_p + W)$$

...po przekształceniach względem WACC:

$$WACC = R_p \cdot (A \cdot \beta + 1 - A) + W \cdot (1 - A) + r_f$$

gdzie:

$R_p$  – ryzyko projektowe

$r_f$  – stopa wolna od ryzyka

$\beta$  – współczynnik ryzyka systematycznego

$A$  – udział kosztów kapitałów własnych

$(1 - A)$  – udział kosztów kapitałów obcych

$W$  – zysk banku



# Przeniesienie oceny ryzyka na poziom stopy dyskontowej: symulacja

24

...oraz po przekształceniach względem  $R_p$  uzyskano wzór:

$$R_p = \frac{WACC - W \cdot (1 - A) - r_f}{(A \cdot \beta + 1 - A)}$$

- Następnie zweryfikowano metodę przyjmując następujące założenia do analizy:  
**WACC = 10%, A = 0,5;  $\beta = 1,2$ ;  $r_f = 5\%$ ; W = 2%** i wyliczono  **$R_p = 3,64\%$** .
- Dysponując  $R_p$  oraz  $RF_i$  wyliczono następnie  $\delta_i$ ,  $R_{p_i}$  i  $WACC_i$  dla każdej z analizowanych parcel (tabela 2).  
W tym celu opracowano następujące wzory:

$$\delta_i = \frac{RF_i - RF_c}{RF_c}$$

Względna różnica wskaźnika RF dla partii

$$R_{p_i} = R_p (1 + \delta_i)$$

Ryzyko projektowe w partii

$$WACC_i = R_{p_i} \cdot (A \cdot \beta + 1 - A) + W \cdot (1 - A) + r_f$$





# Przeniesienie oceny ryzyka na poziom stopy dyskontowej: wyniki

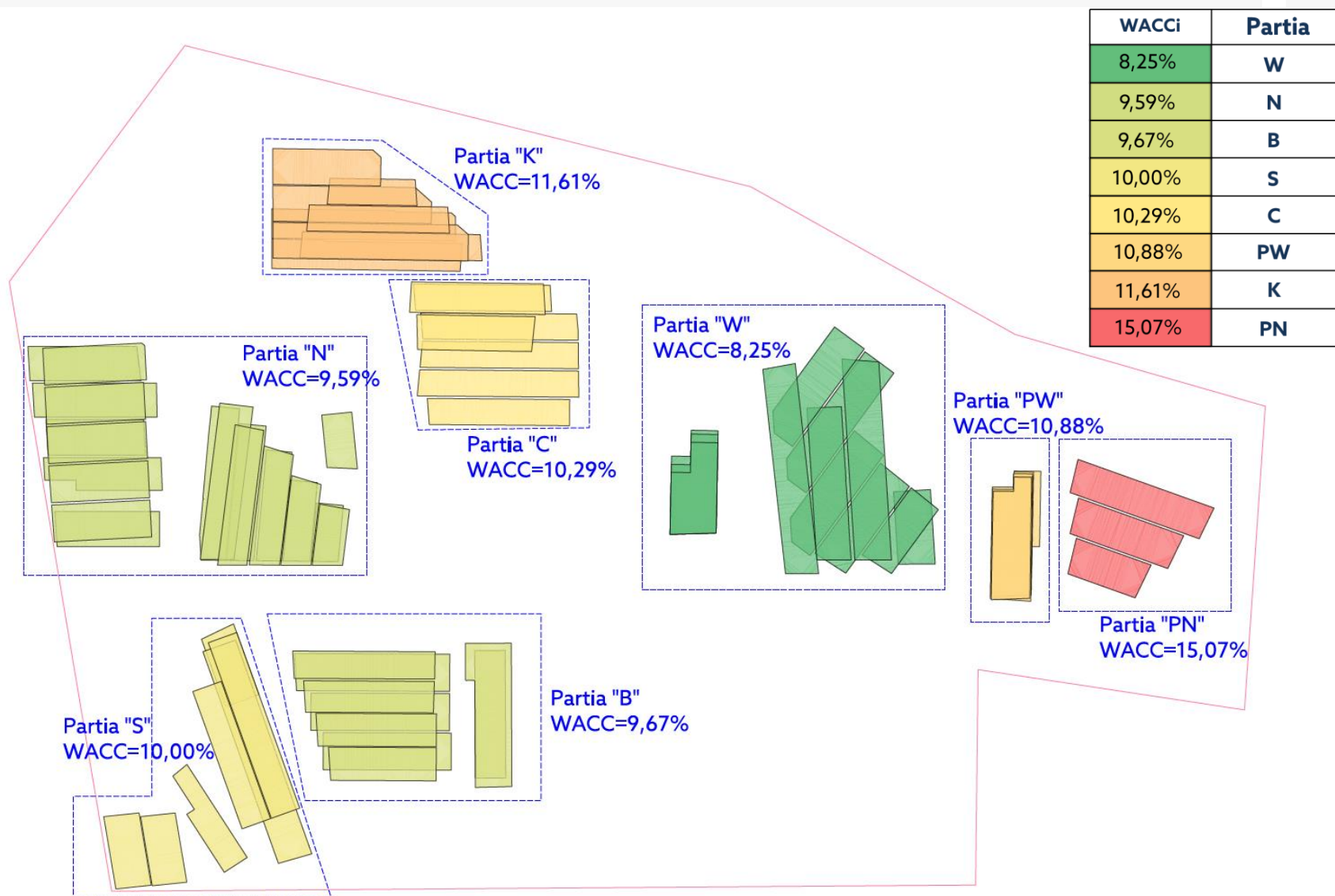
25

**Tabela 4.** Oszacowane wartości wskaźnika  $Rp_i$  dla poszczególnych partii złoża testowego

Partia	$RF_i$	$Rp_i$	$WACC_i$
B	0,3090	3,34%	9,67%
C	0,3610	3,90%	10,29%
K	0,4733	5,11%	11,63%
N	0,3020	3,26%	9,59%
PN	0,7626	8,24%	15,07%
PW	0,4106	4,44%	10,88%
S	0,3363	3,63%	10,00%
W	0,1896	2,05%	8,25%
<b>Kopalnia</b>	<b><math>RF_c = 0,3365</math></b>		



# Przeniesienie oceny ryzyka na poziom stopy dyskontowej: wyniki





# Weryfikacja zaproponowanej metodyki

27

## Kopalnia „A”

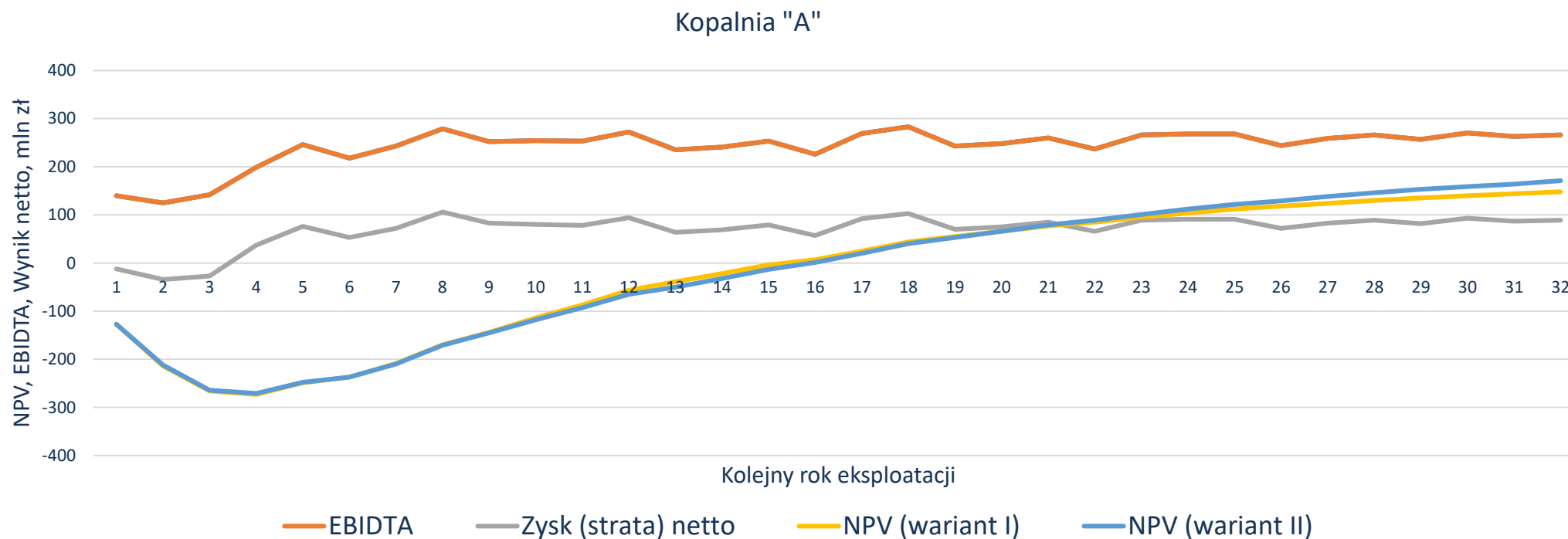
Rok eksploatacji	$RF_i$ Wskaźnik ryzyka	$\delta_i$ Względna różnica $RF_i$	$Rp_i$	$WACC_i$
1	0,4330	-3,2%	3,24%	<b>9,56%</b>
2	0,7079	58,2%	5,29%	<b>11,82%</b>
3	0,5297	18,4%	3,96%	<b>10,36%</b>
4	0,3530	-21,1%	2,64%	<b>8,90%</b>
5	0,5732	28,1%	4,29%	<b>10,71%</b>
6	0,6834	52,7%	5,11%	<b>11,62%</b>
7	0,5528	23,5%	4,13%	<b>10,55%</b>
8	0,4483	0,2%	3,35%	<b>9,69%</b>
9	0,4903	9,6%	3,67%	<b>10,03%</b>
10	0,6632	48,2%	4,96%	<b>11,45%</b>
...	...	...	...	...
22	0,3322	-25,8%	2,48%	<b>8,73%</b>
23	0,3499	-21,8%	2,62%	<b>8,88%</b>
24	0,3770	-15,8%	2,82%	<b>9,10%</b>
25	0,3940	-11,9%	2,95%	<b>9,24%</b>
26	0,3724	-16,8%	2,78%	<b>9,06%</b>
27	0,3247	-27,4%	2,43%	<b>8,67%</b>
28	0,3656	-18,3%	2,73%	<b>9,01%</b>
29	0,3601	-19,5%	2,69%	<b>8,96%</b>
30	0,4210	-5,9%	3,15%	<b>9,46%</b>
31	0,4117	-8,0%	3,08%	<b>9,39%</b>
32	0,3028	-32,3%	2,26%	<b>8,49%</b>
Kopalnia	$RF_A = 0,4497$		$Rp_A = 3,35\%$	$WACC_A = 9,68\%$

## Kopalnia „D”

Rok eksploatacji	$RF_i$ Wskaźnik ryzyka	$\delta_i$ Względna różnica $RF_i$	$Rp_i$	$WACC_i$
1	0,2999	-45,3%	2,23%	<b>8,45%</b>
2	0,3160	-42,4%	2,35%	<b>8,58%</b>
3	0,5178	-5,6%	3,84%	<b>10,23%</b>
4	0,4188	-23,7%	3,11%	<b>9,42%</b>
5	0,3063	-44,2%	2,27%	<b>8,50%</b>
6	0,3634	-33,8%	2,70%	<b>8,97%</b>
7	0,5898	7,5%	4,38%	<b>10,82%</b>
8	0,6039	10,1%	4,48%	<b>10,93%</b>
9	0,6849	24,8%	5,08%	<b>11,59%</b>
10	0,5898	7,5%	4,38%	<b>10,82%</b>
11	0,6340	15,6%	4,71%	<b>11,18%</b>
12	0,6576	19,9%	4,88%	<b>11,37%</b>
13	0,6673	21,7%	4,95%	<b>11,45%</b>
14	0,7364	34,2%	5,47%	<b>12,01%</b>
15	0,6707	22,3%	4,98%	<b>11,48%</b>
16	0,6362	16,0%	4,72%	<b>11,20%</b>
17	0,6241	13,8%	4,63%	<b>11,10%</b>
Kopalnia	$RF_D = 0,5481$		$Rp_D = 4,07\%$	$WACC_D = 10,48\%$



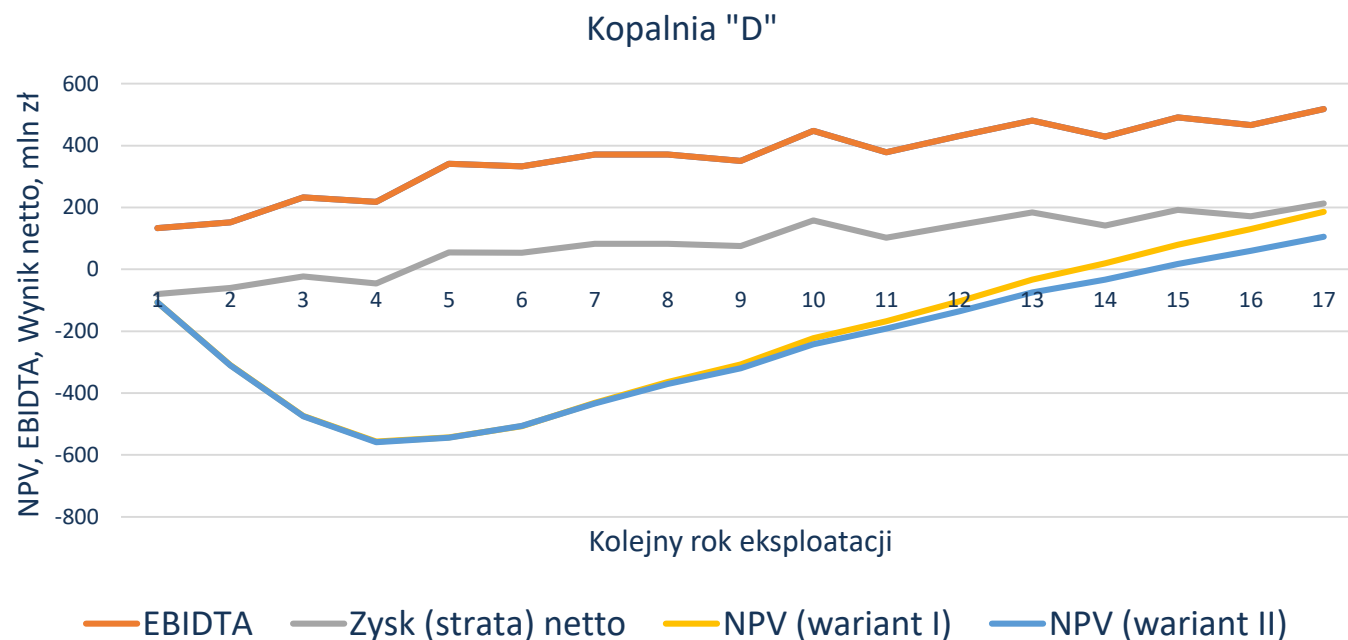
# Weryfikacja zaproponowanej metodyki



	NPV	Zmiana NPV
Wariant I: Stała stopa dyskontowa	148,48 mln zł	<b>+22,6 mln zł</b> <b>(+15,22%)</b>
Wariant II: Zmienna stopa dyskontowa (metoda autorska)	171,08 mln zł	



# Weryfikacja zaproponowanej metodyki



	NPV	Zmiana NPV
Wariant I: Stała stopa dyskontowa	185,70 mln zł	<b>-80,37 mln zł</b>
Wariant II: Zmienna stopa dyskontowa (metoda autorska)	105,33 mln zł	<b>(-43,28%)</b>



- Dla potrzeb oszacowania wskaźnika ryzyka opracowano **cyfrowe modele złóż** i wykorzystano zgromadzone w nim szczegółowe dane geologiczne oraz **wprowadzono do nich nową treść** związaną z kategoriami rozpoznania, zagrożeniami naturalnymi oraz wybranymi cechami związanymi, np. z tektoniką złoża.
- Przy wykorzystaniu analizy korelacji oraz modelu regresji segmentowej wyłoniono z grupy 47 zmiennych **10 istotnych zmiennych objaśniających** jednostkowe wydobywania brutto, były to: miąższość pokładu, zasoby wydobywalne, wybieg ściany, długość ściany, odległość od szybu materiałowo-zjazdowego, głębokość, CH<sub>4</sub> (metanowość), KZT (kategorie zagrożenia tąpnięciami), KZU (wskaźnik zaburzeń tektonicznych i sedymentacyjnych) oraz KZS (samozapalność węgla).
- Opracowanie dedykowanych **cyfrowych harmonogramów** (na bazie informacji pochodzących z cyfrowych modeli złóż) dostarczyło danych do **oceny efektywności ekonomicznej oraz analizy zmienności parametrów jakościowych i czynników ryzyka w czasie**, co pozwoliło na oszacowanie zmiennego w czasie wskaźnika RF.

# Dziękuję za uwagę



Program strategiczny  
**GOSPOSTRATEG**



**NCBR**  
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Praca została wykonana w ramach projektu 0016/22:

„Dynamiczne zarządzanie zapotrzebowaniem, produkcją, gospodarką zasobami i logistyką dystrybucji węgla kamiennego w gospodarce realizującej dekarbonizacyjny miks energetyczny”

finansowanego przez NCBR.



**Jarosław Kulpa**

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi  
i Energią PAN