

Piotr BURMISTRZ\*, Andrzej CZAPLICKI\*\*, Grzegorz CZERSKI\*, Krzysztof KOGUT\*,  
Wacław JANICKI\*\*\*, Krzysztof KWAŚNIEWSKI\*, Piotr ŻARCZYŃSKI\*\*\*\*

## Analiza efektów powiązania technologii suchego chłodzenia koksu z podsuszaniem wsadu węglowego

**STRESZCZENIE.** Do największych wyzwań współczesnego koksownictwa należą wysokie wymagania stawiane jakości koksu oraz wzrastające w zakresie ochrony środowiska. Najlepsze rezultaty można osiągnąć, stosując działania kompleksowe np. skojarzenie technologii podsuszania wsadu z operacją suchego chłodzenia koksu. W pracy przedstawiono analizę efektów skojarzenia podsuszania wsadu węglowego z suchym chłodzeniem koksu. Rozpatrywano wariant bazy produkcji koksu z wykorzystaniem suchego chłodzenia koksu oraz trzy warianty technologiczne skojarzenia podsuszania wsadu węglowego z suchym chłodzeniem koksu (podsuszanie przeponowe parą wodną w suszarce bębnowej, podsuszanie fluidalne spalinami ze spalania gazu koksowniczego, podsuszanie spalinami ze spalania gazu koksowniczego w wielostrumieniowej suszarce wirowej). Do oceny efektywności ekonomicznej analizowanych wariantów wykorzystano metodę zdyskontowanych przepływów pieniężnych. Dla analizowanych wariantów wyznaczono wskaźniki IRR, NPV oraz NPVR, dokonano również analizy wrażliwości. Wszystkie badane warianty podsuszania wsadu węglowego w koksowni prowadzą do pozytywnych efektów ekonomicznych. Wariant skojarzenia suchego chłodzeniem koksu z podsuszaniem wsadu węglowego spalinami ze spalania gazu koksowniczego w wielostrumieniowej suszarce wirowej uznać należy za rozwiązanie najbardziej obiecujące i obciążone najmniejszym ryzykiem. Wnioski takie są uprawnione przy założeniu, że efektem podsuszania, obok zmiany wskaźników bilansu energetycznego koksowni, jest wzrost jej zdolności produkcyjnych.

---

\* Dr inż. – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; e-mail: burmistr@agh.edu.pl.

\*\* Mgr inż. – Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla.

\*\*\* Mgr inż. – Promont Sp. z o.o.

\*\*\*\* Mgr inż. – ArcelorMittal Poland; Oddział Zdzeszowice.

SŁOWA KLUCZOWE: suche chłodzenie koksu, podsuszanie wsadu węglowego, koks, rachunek efektywności ekonomicznej

## Wprowadzenie

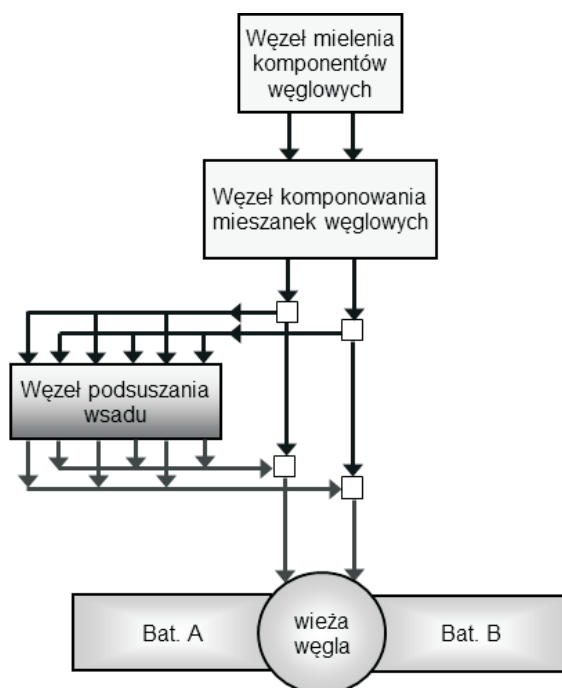
Do największych wyzwań współczesnego koksownictwa należą wysokie wymagania stawiane jakości koksu przez głównego odbiorcę – proces wielkopiecowy oraz wzrastające wymagania w zakresie ochrony środowiska. Pierwszy z tych problemów jest związany z odpowiednią jakością surowca węglowego oraz jego przygotowaniem do procesu koksowania. Przy wysokim udziale wsadu węglowego w kosztach produkcji koksu i ograniczonej podaży najlepszych węgla koksowych, zasadne są działania zmierzające do częściowej substytucji tychże węgla tańszymi węglami gazowo-koksowymi o gorszych właściwościach koksotwórczych rekompensowanymi przez podsuszanie, częściowe brykietowanie czy ubijanie wsadu. Ograniczenie emisji pyłów i gazów z procesu koksowania wiąże się z takimi działaniami jak: odpowiednie prowadzenie procesów konstrukcyjnych i technologicznych w obrębie baterii koksowniczych oraz chłodzenia uzyskanego koksu, zwiększającym również sprawność energetyczną procesu koksownia.

Potencjalnie najlepsze rezultaty można osiągnąć stosując działania kompleksowe np. skojarzenie technologii podsuszania wsadu z operacją suchego chłodzenia koksu i tą drogą poszło koksownictwo japońskie, drugi po Chinach światowy producent koksu, w którym wszystkie koksownie stosują podsuszanie wsadu węglowego i suche chłodzenie koksu (Nojima 2013). Obie te technologie wymagają znacznych nakładów inwestycyjnych, jednak wyniki prowadzonych badań i analiz efektywności ekonomicznej wskazują na możliwość uzyskania pozytywnych i znaczących efektów finansowych, ponieważ umożliwiają produkcję koksu o niezminionej jakości z tańszej mieszanki wsadowej lub też poprawę parametrów jakościowych koksu bez zmiany receptury mieszanki (Czaplicki 2007; Karcz i Strugała 2008; Karcz i Sikorski 2009; Żarczyński i in. 2012; Żarczyński i in. 2013).

W pracy przedstawiono analizę efektów skojarzenia podsuszania wsadu węglowego z suchym chłodzeniem koksu. Rozpatrywano wariant bazowy produkcji koksu z wykorzystaniem suchego chłodzenia koksu oraz trzy warianty technologiczne skojarzenia podsuszania wsadu węglowego z suchym chłodzeniem koksu. Do oceny efektywności ekonomicznej analizowanych wariantów wykorzystano metodę zdyskontowanych przepływów pieniężnych.

## 1. Charakterystyka analizowanych wariantów

Na rysunku 1 przedstawiony został schemat zabudowy węzła podsuszania w ciągu technologicznym koksowni. Proponowana lokalizacja pozwala na minimalizację kosztów oraz



Rys. 1. Schemat zabudowy węzła podsuszania w ciągu technologicznym koksowni

Fig. 1. Diagram of a predrying node within the coke plant

umożliwia zastosowanie równoległej drogi transportowej pozwalającej na ominięcie węzła podsuszania w przypadku jego zamierzonego lub niezamierzonego wyłączenia z eksploatacji.

Przedmiotem analizy były cztery warianty technologiczne:

- ✧ Wariant 0B – wariant bazowy z suchym chłodzeniem koksu i bez podsuszania wsadu;
- ✧ Wariant 1A – wariant skojarzenia suchego chłodzenia koksu z podsuszaniem wsadu węglowego przeponowo parą wodną w suszarce bębnowej typu STD lub CIT;
- ✧ Wariant 1B – wariant skojarzenia suchego chłodzenia koksu z podsuszaniem wsadu węglowego fluidalnie spalinami ze spalania gazu koksowniczego;
- ✧ Wariant 1C – wariant skojarzenia suchego chłodzenia koksu z podsuszaniem wsadu węglowego spalinami ze spalania gazu koksowniczego w wielostrumieniowej suszarce wirowej konstrukcji IChPW.

Dla każdego z wariantów koks wytwarzany jest w 2 bateriach PWR-63 pracujących w systemie zasypowym o sumarycznej wydajności 1400 tys. Mg koksu/r. Suche chłodzenie koksu realizowane jest w trzech blokach o nominalnej wydajności 70 Mg/h. Wsad podsuszany jest z poziomu  $W_t^r = 9,5\%$  do  $W_t^r = 5,0\%$ .

W prowadzonych analizach założono dwie różne receptury mieszanek wsadowych:

- ✧ mieszanka składająca się z 80% węgla typu 35 i 20% węgla typu 34 (mieszanka stosowana w wariantcie 0B),
- ✧ mieszanka o słabszych właściwościach koksotwórczych składająca się z 70% węgla typu 35 i 30% węgla typu 34 (mieszanka stosowana w wariantach 1A, 1B i 1C).

Zastosowanie dwóch różnych mieszanek wsadowych, dla poszczególnych wariantów konfiguracji układu technologicznego produkcji koksu, pozwoli uzyskać dla każdego z analizowanych wariantów koks o porównywalnych parametrach jakościowych.

Założono opalanie baterii własnym oczyszczonym gazem koksowniczym o średniej wartości opałowej 16,4 MJ/m<sup>3</sup> (w warunkach normalnych) i przy 75% sprawności baterii, rzeczywiste jednostkowe ciepło koksowania przyjęto na poziomie 2972,9 MJ/Mg wsadu suchego.

Dla każdego z w/w wymienionych wariantów przyjęte zostały następujące wskaźniki zużycia wsadu:

- ✧ 1,3036 Mg w.s./Mg k.s. dla koksu chłodzonego w ISChK i produkowanego z mieszanki węglowej o zawartości wilgoci całkowitej  $W_{t^r} = 9,5\%$ ,
- ✧ 1,3076 Mg w.s./Mg k.s. dla koksu chłodzonego w ISChK i produkowanego z mieszanki węglowej podsuszanej do zawartości wilgoci całkowitej  $W_{t^r} = 5,0\%$ .

Dla koksu chłodzonego w ISChK, przyjęto zawartość wilgoci na poziomie 0,3%.

W tabeli 1 zestawiono wartości wskaźników uzysku poszczególnych produktów dla analizowanych wariantów.

W tabeli 2 zestawiono wartości przyjętych parametrów i wskaźników dla czterech analizowanych wariantów, zaś w tabeli 3 wartości wskaźników zapotrzebowania energii (ciepła) do poszczególnych procesów oraz jednostkowego zużycia gazu koksowniczego do procesu koksowania w każdym z wariantów.

TABELA 1. Przyjęte wartości wskaźników uzysku poszczególnych produktów koksowania

TABLE 1. Assumed values of the yield of coking process products

Lp.	Produkt procesu	Jednostka	Wartość
1a.	Smoła węglowa – wariant bez podsuszania mieszanki oraz suchym chłodzeniem koksu	kg/Mg w.s.	34,5
1b.	Smoła węglowa – wariant z podsuszaniem mieszanki oraz suchym chłodzeniem koksu	kg/Mg w.s.	35,1
2.	Benzol – dla wszystkich wariantów	kg/Mg w.s.	10,5
3.	Siarka – dla wszystkich wariantów	kg/Mg w.s.	1,6
4a.	Gaz koksowniczy – wariant bez podsuszania mieszanki + suche chłodzenie koksu	m <sup>3</sup> /Mg w.s.	353
4b.	Gaz koksowniczy – wariant z podsuszaniem mieszanki + suche chłodzenie koksu	m <sup>3</sup> /Mg w.s.	356

Dane dotyczące wielkości zużycia mieszanki węglowej, z rozbiciem na węgle typu 34 i 35, do procesu koksowania zestawiono w tabeli 4.

Wielkości produkcji podstawowych produktów koksowni tj. koksu, gazu koksowniczego (nadmiarowego), smoły węglowej, benzolu, siarki, energii elektrycznej i pary wodnej przedstawiono w tabeli 5.

TABELA 2. Wartości przyjętych parametrów i wskaźników dla analizowanych wariantów

TABLE 2. Values of assumed parameters and indicators for examined scenarios

Parametr	Jednostka	Wariant			
		0B	1A	1B	1C
Jednostkowy wzrost wydajności w wyniku poduszania	%/%	–	2,0	2,0	2,0
Dyspozycyjność instalacji	%	92	92	92	92
Upał koksu w trakcie chłodzenia	%	1,0	1,0	1,0	1,0
Teoretyczne zapotrzebowanie energii w procesie koksowania	MJ/Mg w.m	2 080	2 080	2 080	2 080
Jednostkowa produkcja pary	Mg/Mg k.m.	0,381	0,381	0,381	0,381
Moc turbozespołu	MW	20,26	20,26	20,26	20,26
Sprawność elektryczna turbozespołu	%	35,0	35,0	35,0	35,0
Sprawność wymiany ciepła w węźle poduszania	%	–	90,0	88,5	92,0
Moc zainstalowanych urządzeń elektrycznych w węźle poduszania	MW	–	1,5	3,0	3,0
Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub>	Mg/Mg k.s.	0,03	0,03	0,03	0,03
Produkcja pary w ISChK	Mg/h	80,0	80,0	80,0	80,0
Zapotrzebowanie na wodę chłodzącą, w tym:	m <sup>3</sup> /h	74,3	74,3	74,3	74,3
straty na odparowanie	m <sup>3</sup> /h	49,5	49,5	49,5	49,5
straty na unos	m <sup>3</sup> /h	0,3	0,3	0,3	0,3
straty na odsalanie	m <sup>3</sup> /h	24,5	24,5	24,5	24,5
Zapotrzebowanie na wodę zdeminiowaną	m <sup>3</sup> /h	2,5	2,5	2,5	2,5
Zapotrzebowanie na wodę technologiczną	m <sup>3</sup> /h	6,0	6,0	6,0	6,0
Zapotrzebowanie na powietrze sprężone	m <sup>3</sup> /h	500,0	500,0	500,0	500,0

## 2. Metodyka oceny i założenia kluczowe dla prowadzenia rachunku efektywności ekonomicznej

Analiza efektywności inwestycji modernizacyjnych przy wykorzystaniu metody zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF) opiera się na założeniu, że wartość inwestycji zależy od korzyści finansowych możliwych do uzyskania w przyszłości. Wartość ta zgodnie z metodyką DCF jest równa, zaktualizowanej na dzień oceny, sumie przewidywanych nadwyżek pieniężnych oraz wartości rezydualnej.

TABELA 3. Wartości wskaźników jednostkowego zapotrzebowania ciepła i zużycia gazu koksowniczego do procesu koksowania

TABLE 3. Values of heat demand and coke oven gas consumption indicators

Parametr	Jednostka	Wariant			
		0B	1A	1B	1C
Rzeczywiste zapotrzebowanie energii w procesie koksowania	MJ/Mg w.s	2 872,9	2 872,9	2 872,9	2 872,9
	MJ/Mg w.m	3 745,1	3 745,1	3 745,1	3 745,1
Jednostkowe teoretyczne zużycie energii w procesie podsuszania	MJ/Mg w.s	–	178,7	178,7	178,7
	MJ/Mg w.m	–	233,3	233,3	233,3
Jednostkowe rzeczywiste zużycie energii w procesie podsuszania	MJ/Mg w.s	–	238,3	238,3	238,3
	MJ/Mg w.m	–	311,1	311,1	311,1
Jednostkowe zmniejszenie zużycia gazu koksowniczego	MJ/Mg w.s	–	14,5	14,5	14,5
	MJ/Mg w.m	–	19,0	19,0	19,0
Rzeczywiste zapotrzebowanie energii w procesie koksowania po podsuszaniu	MJ/Mg w.s	2 872,9	2 634,6	2 634,6	2 634,6
	MJ/Mg w.m	3 745,1	3 439,8	3 439,8	3 439,8
Jednostkowe rzeczywiste zużycie energii w procesie podsuszania w suszarce	MJ/Mg w.s	–	198,6	201,9	194,3
	MJ/Mg w.m	–	259,3	263,7	253,6

TABELA 4. Zużycie mieszanki węglowej dla rozpatrywanych wariantów

TABLE 4. Consumption of coal blend for examined scenarios

Parametr	Jednostka	Wariant			
		0B	1A	1B	1C
Zużycie węgla wilgotnego					
Typu 34	tys. Mg/a	378,5	618,9	618,9	618,9
Typu 35	tys. Mg/a	1 514,2	1 444,1	1 444,1	1 444,1
Mieszanki węglowej	tys. Mg/a	1 892,7	2 063,0	2 063,0	2 063,0
Zużycie węgla suchego					
Typu 34	tys. Mg/a	342,6	560,1	560,1	560,1
Typu 35	tys. Mg/a	1 370,3	1 306,9	1 306,9	1 306,9
Mieszanki węglowej	tys. Mg/a	1 712,9	1 867,0	1 867,0	1 867,0

Tak zdefiniowana wartość inwestycji jest następnie pomniejszana o pasywa pozaoperacyjne. Wynikiem przedstawionego algorytmu jest wartość dodana, którą wnosi projekt.

Bazą dla sporządzenia oceny metodą DCF jest przygotowanie projekcji finansowych uwzględniających projekcję przychodów i kosztów operacyjnych, planowanych nakładów inwestycyjnych oraz projekcję zmian kapitału obrotowego netto.

TABELA 5. Produkcja netto podstawowych produktów koksowni dla rozpatrywanych wariantów

TABLE 5. Net production of basic coke plant products in examined scenarios

Parametr	Jednostka	Wariant			
		0B	1A	1B	1C
Koks suchy	tys. Mg/a	1 300,8	1 413,6	1 413,6	1 413,6
Koks wilgotny (W = 0,3%)	tys. Mg/a	1 304,8	1 417,8	1 417,8	1 417,8
Energia elektryczna	MWh/a	150 526,7	135 681,0	162 586,7	162 586,7
Smola koksownicza	Mg/a	59 095,2	65 533,9	65 533,9	65 533,9
Benzol	Mg/a	17 985,5	19 604,2	19 604,2	19 604,2
Siarka	Mg/a	2 740,6	2 987,3	2 987,3	2 987,3
Gaz koksowniczy (nadmiarowy)	tys. m <sup>3</sup> /a	304 591,4	372 118,3	372 118,3	372 118,3

W modelu prognozowania wyników finansowych przedsiębiorstwa przyjęto następujące założenia:

- ✧ horyzont czasowy analizy obejmuje okres 10 lat działalności operacyjnej,
- ✧ do sporządzenia prognozy wykorzystano model oparty na cenach stałych ustalonych dla warunków cenowych obowiązujących w roku 2014,
- ✧ do oceny efektywności projektu zastosowano podejście przyrostowe – każdy z badanych wariantów porównano z wariantem bazowym,
- ✧ szczegółowo prognozowane zostały wszystkie istotne pozycje przychodów, kosztów, składników kapitału obrotowego netto oraz poziom nakładów inwestycyjnych,
- ✧ przyjęto finansowanie bez korzystania z kredytu komercyjnego (kredyt na poziomie 0%),
- ✧ do oceny efektywności ekonomicznej wykorzystano przepływy pieniężne związane z działalnością operacyjną i inwestycyjną – efekt zastosowania dźwigni finansowej uwzględniono w analizie wrażliwości,
- ✧ do oceny analizowanych wariantów jako miernik efektywności wykorzystano wskaźnik NPV oraz wskaźniki IRR i NPVR,
- ✧ w obliczanych miernikach uwzględniona została, obok spodziewanych różnic w przepływach pieniężnych, również różnica w wartości rezydualnej majątku przedsiębiorstwa – w tym przypadku wykorzystano wartość księgową netto majątku, wartość rezydualna majątku dla każdego z wariantów określona została w przybliżeniu jako suma wartości księgowej netto aktywów trwałych oraz kapitału obrotowego netto,
- ✧ zakładając poziom kosztu kapitału na poziomie 5,9% w skali rocznej, do analiz przyjęto realną stopę dyskonta na poziomie 7%, która odpowiada nominalnemu kosztowi alternatywnemu kapitału dla inwestycji o podobnym poziomie ryzyka na poziomie 9% skorygowanemu do wielkości realnej poprzez uwzględnienie średniorocznej inflacji,
- ✧ dla całego okresu projekcji przyjęto stawkę procentową opodatkowania w wysokości 19%.

Jako główne kryterium oceny wariantów inwestycyjnych przyjęto poziom wskaźników NPV, IRR i NPVR w badanym zakresie stóp dyskontowych i poziomu dźwigni finansowej.

Zamiast analizy profili wszystkich wariantów skoncentrowano się na ocenie różnic w przebiegu profili między każdym z wariantów alternatywnym oraz wariantem bazowym.

Bazą dla sporządzenia oceny metodą DCF jest przygotowanie projekcji finansowych uwzględniających projekcję przychodów i kosztów operacyjnych, planowanych nakładów inwestycyjnych oraz zmian kapitału obrotowego netto. Ogółem cała procedura oceny efektywności ekonomicznej obejmowała trzy etapy.

**Etap I** – Przygotowanie prognozy wskaźników techniczno-ekonomicznych oraz prognozy cen odpowiednio dla wariantu bazowego oraz wariantów alternatywnych.

**Etap II** – Zidentyfikowanie różnic w przepływach pieniężnych. Dla każdego z wariantów alternatywnych obliczone zostały różnice pomiędzy spodziewanymi przepływami pieniężnymi w tym wariantcie a wariantcie bazowym. Całościowe przepływy przyrostowe dla poszczególnych lat prognozy obliczane były jako suma następujących pozycji cząstkowych.

1) Przyrostowe przepływy pieniężne z działalności operacyjnej:

- ✧ różnica EBITDA,
- ✧ różnica amortyzacji,
- ✧ różnica wysokości podatku dochodowego,
- ✧ różnica zmiany poziomu kapitału obrotowego netto.

2) Przyrostowe przepływy pieniężne z działalności inwestycyjnej:

- ✧ różnica poziomu nakładów inwestycyjnych,
- ✧ saldo kredytu inwestycyjnego,
- ✧ poziom odsetek od kredytu inwestycyjnego.

3) Różnica w wartości resztowej aktywów:

- ✧ różnica wartości księgowej netto aktywów trwałych,
- ✧ różnica wartości kapitału obrotowego netto.

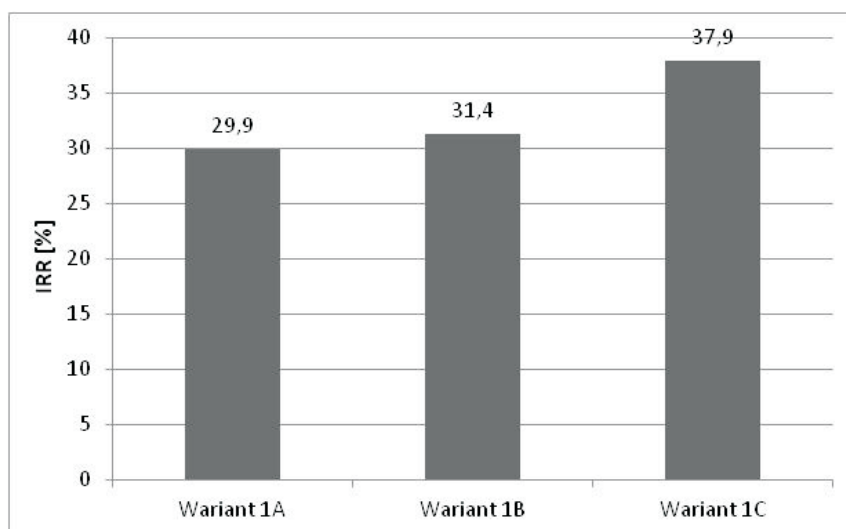
**Etap III** – Obliczanie przyrostowego NPV, IRR oraz NPVR dla wyznaczonego poziomu stopy dyskontowej. Na podstawie wartości przyrostowych przepływów pieniężnych dla każdego wariantu alternatywnego obliczono zdyskontowane wartości netto tych różnic w przepływach. Mierniki efektywności obliczone zostały dla różnych, potencjalnie możliwych, stóp dyskontowych tj. 4, 7 i 10%. Ostatecznie więc uzyskano macierze wartości przyrostowego NPV, IRR i NPVR obliczone dla różnych stóp dyskontowych i kolejnych wariantów alternatywnych.

### 3. Wyniki oceny efektywności ekonomicznej

Poszczególne warianty technologiczne cechuje istotne zróżnicowanie poziomu nakładów inwestycyjnych. Wariant 1A cechuje najwyższy poziom nakładów – 125,4 mln zł, zaś najniższy poziom nakładów – wariant 1C – 83,6 mln zł. Nakłady inwestycyjne dla wariantu 1B oszacowano na 104,5 mln zł. Tak istotna różnica nakładów decyduje w praktyce o efektywności inwestycji mimo różnic w sprawności procesów konwersji energii.

Efektywność inwestycji mierzona wskaźnikiem IRR z kapitału własnego – przy zakładanej dźwigni finansowej na poziomie 50% obrazuje rysunek 2. Wszystkie rozpatrywane warianty

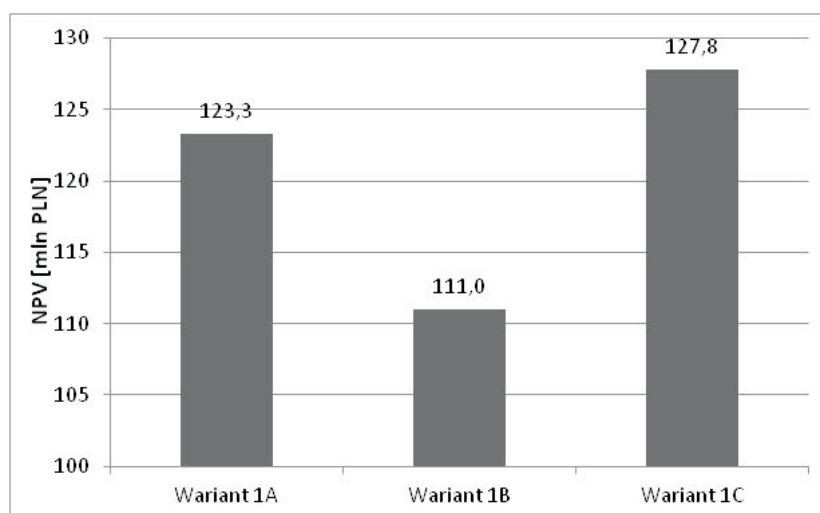




Rys. 2. Oszacowane wartości IRR dla poszczególnych wariantów podsuszania wsadu i przyjętej dźwigni finansowej na poziomie 50%

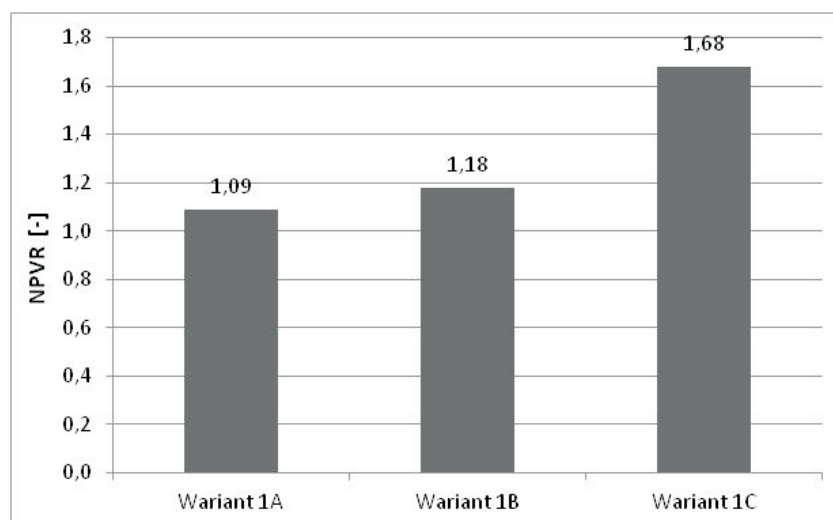
Fig. 2. Estimated values of IRR for particular coal charge predrying scenarios for assumed 50% financial leverage

charakteryzuje akceptowana stopa zwrotu (jako stopę graniczną dla cen stałych należy przyjąć IRR graniczne = 7%). Najlepszy z wariantów charakteryzuje stopa zwrotu na poziomie 37,9%. Wynik ten uważać należy za satysfakcjonujący z ekonomicznego punktu widzenia. Podobnie, korzystnie dla wariantu 1C, kształtują się pozostałe wskaźniki tzn. NPV = 127,8 mln zł oraz NPVR = 1,68 (odpowiednio rys. 3 i rys. 4)



Rys. 3. Oszacowane wartości NPV dla poszczególnych wariantów podsuszania wsadu i przyjętej stopy dyskontowej  $r = 7\%$

Fig. 3. Estimated values of NPV for particular coal charge predrying scenarios for assumed 7% discount rate



Rys. 4. Wartości NPVR dla poszczególnych wariantów podsuszania wsadu i przyjętej stopy dyskontowej na poziomie 7%

Fig. 4. Values of NPVR for particular coal charge predrying scenarios for assumed 7% discount rate

W tabeli 6 zestawiono wskaźniki ekonomiczne dla poszczególnych wariantów, które potwierdzają wariant 1C jako najkorzystniejszy z ekonomicznego punktu widzenia przy przyjętych do analizy parametrach techniczno-technologicznych będących konsekwencją zastosowanych technologii podsuszania wsadu węglowego.

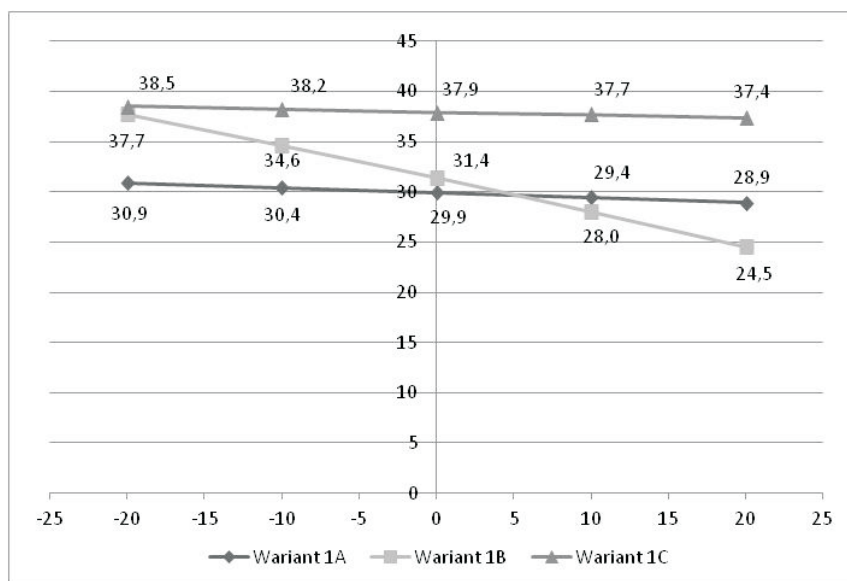
TABELA 6. Zbiorcze zestawienie wskaźników efektywności ekonomicznej wariantów podsuszania wsadu i założenia przyjęte dla wariantów

TABLE 6. Consolidated list of economic efficiency indicators for coal predrying scenarios and their assumptions

Pozycja	Jednostka	Wariant		
		1A	1B	1C
Średni ważony koszt kapitału (WACC)	%	7,00	7,00	7,00
Całkowity koszt inwestycji zdyskontowany	tys. zł	113 192,4	94 327,0	76 073,0
Wartość rezydualna	tys. zł	0,0	0,0	0,0
Wartość zaktualizowana netto (NPV)	tys. zł	123 326,9	111 011,5	127 780,9
NPVR		1,09	1,18	1,68
Wewnętrzna stopa zwrotu (IRR)	%	29,9	31,4	37,9
Koszt długu	%	5,92	5,92	5,92
Stopa amortyzacji	%	10,00	10,00	10,00
Podatek dochodowy	%	19,0	19,0	19,0
Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych	lata	3,4	3,3	2,6
Okres spłaty kredytu	lata	5,00	5,00	5,00

## 4. Analiza wrażliwości

Trendy cen energii nie mają istotnego znaczenia dla ekonomiki inwestycji. Wzrost cen energii powoduje zmianę IRR dla wszystkich wariantów (rys. 5). Jednak ekspozycja wariantu 1B na wzrost cen energii elektrycznej jest największa.

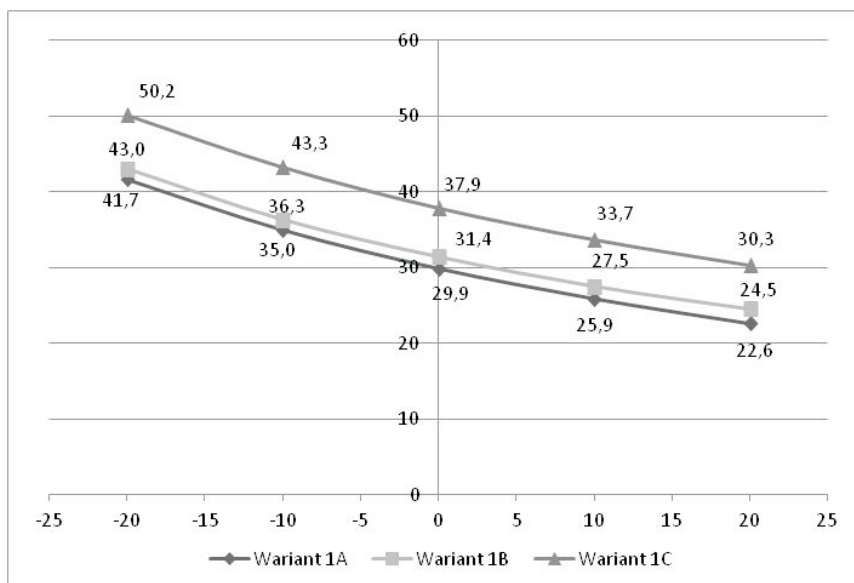


Rys. 5. Wpływ cen energii elektrycznej na IRR dla analizowanych wariantów

Fig. 5. Influence of electricity costs on IRR for examined scenarios

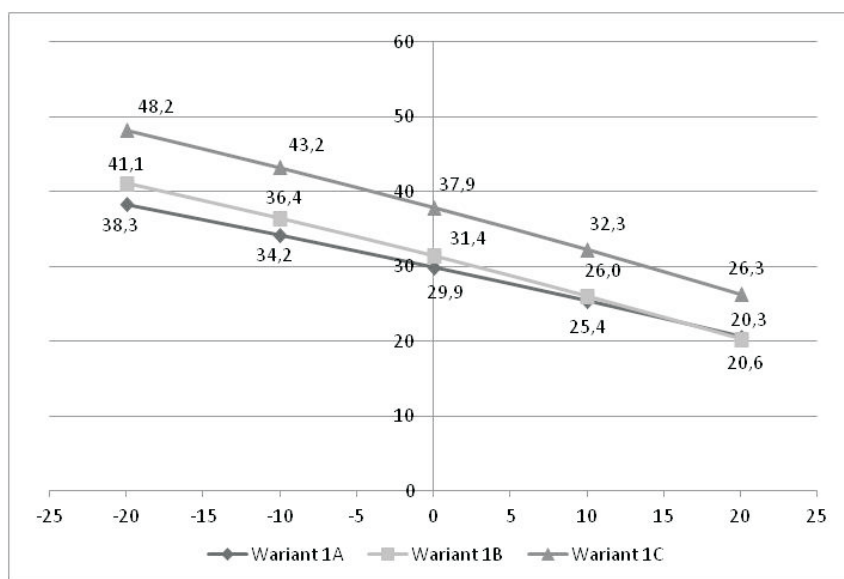
Wpływ wysokości nakładów inwestycyjnych na IRR przedstawiono na rysunku 6. Ryzyko związane z niedoszacowaniem poziomu nakładów inwestycyjnych w przypadku wszystkich wariantów jest podobne. Skala niedoszacowania nakładów inwestycyjnych w wysokości 20% w przypadku wariantu 1C oznacza redukcję wskaźnika IRR do poziomu około 30,3%.

Ekspozycję wariantów poduszania wsadu na zmianę cen węgla koksowego oraz powiązanej z tym ceny koksu uważa się za mało istotną (rys. 6). Jeśli przyjąć relacje ceny koksu do ceny wsadu węglowego jako stałą. Wskaźniki efektywności ekonomicznej nie ulegają istotnym zmianom. Dopiero zmiana relacji cen koksu do cen wsadu węglowego powoduje zmianę wskaźników efektywności. I tak najmniej wrażliwym pozostaje wariant 1C. Wzrost ceny węgla o 19% powoduje przekroczenie granicznej wartości IRR.



Rys. 6. Wpływ wysokości nakładów inwestycyjnych na IRR dla analizowanych wariantów

Fig. 6. Influence of investment costs on IRR for examined scenarios



Rys. 7 Wpływ cen węgla na IRR dla analizowanych wariantów

Fig. 7. Influence of coal prices on IRR for examined scenarios

## Podsumowanie

Wszystkie analizowane warianty poduszania wsadu węglowego w koksowni prowadzą do pozytywnych efektów ekonomicznych. Stopę zwrotu z zaangażowanego kapitału przy 50% dźwigni finansowej uznać należy za satysfakcjonującą. Wariant 1C skojarzenia poduszania wsadu węglowego z suchym chłodzeniem koksu uznać należy za rozwiązanie najbardziej obiecujące i obciążone najmniejszym ryzykiem. Zauważyć należy, że takie wnioski są uprawione jedynie przy założeniu, że efektem poduszania obok zmiany wskaźników bilansu energetycznego koksowni są wzrost jej zdolności produkcyjnych o 7% i skonsumowanie tego przyrostu w postaci sprzedaży koksu. Jeśli zaś tego przyrostu nie lokujemy na rynku (np. koksownia nie wykorzystuje pełnej zdolności) efektywność maleje.

Praca wykonana w ramach projektu kluczowego nr POIG.01.01.02-24-017/08 „Inteligentna koksownia spełniająca wymagania najlepszej dostępnej techniki” dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



## Literatura

- [1] CZAPLICKI, A. 2007. Poduszanie wsadu przed koksowaniem. *Karbo*, wydanie specjalne, s. 47–57.
- [2] KARCZ, A. i SIKORSKI, C. 2009. Wybrane uwarunkowania techniczno-technologiczne produkcji koksu w Polsce. *Karbo*, wydanie specjalne, s. 37–46.
- [3] KARCZ, A. i STRUGAŁA, A. 2008. Zwiększenie szans wykorzystania krajowej bazy węgla koksowych poprzez działania technologiczne w zakresie przygotowania mieszanek wsadowych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 1/1, s. 5–18.
- [4] NOJIMA, Y. 2013. Entwicklung der japanischen Kokereitechnik in den letzten 50 Jahren. *Fach-tugungKokereitechnik*, Essen.
- [5] ŻARCZYŃSKI i in. 2012 – ŻARCZYŃSKI, P., STRUGAŁA, A., SOBOLEWSKI, A. i SIKORSKI, C. 2012. Minimalizacja ryzyka wdrażania nowych technologii w przemyśle koksowniczym przez etapową realizację złożonego projektu badawczo-rozwojowego jako opcji rzeczowej. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 28, z. 3, s. 155–171.
- [6] ŻARCZYŃSKI i in. 2013 – ŻARCZYŃSKI, P., STRUGAŁA, A., SOBOLEWSKI, A. i KACZMAREK, W. 2013. Analiza możliwości poprawy efektywności energetycznej procesu koksowania przez wdrożenie operacji poduszania. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 29, z. 3, s. 151–165.

Piotr BURMISTRZ, Andrzej CZAPLICKI, Grzegorz CZERSKI, Krzysztof KOGUT,  
Wacław JANICKI, Krzysztof KWAŚNIEWSKI, Piotr ŻARCZYŃSKI

## Analysis of the effects of combining coke dry quenching with coal predrying

### Abstract

Coke quality and increasing environmental protection requirements are the biggest challenges in the modern coke making industry. The best results are obtained by comprehensive actions. This work studied an example of such actions, focusing on combining the processes of coal predrying and coke dry quenching. Apart from the basic scenario, which included coke production involving dry quenching only, 3 combined scenarios were also examined. These included indirect drum predrying with steam, fluidized bed predrying with flue gases from coke oven gas combustion, and predrying in the direct IChPW dryer using coke oven flue gas. IRR, NPV, and NPVR parameters were used for the assessment of economic efficiency. Additionally, a sensitivity analysis was conducted. All analyzed scenarios resulted in positive economic effects. The combination of coke dry quenching with coal predrying in the direct IChPW dryer using coke oven flue gas proved to be the most promising, and was burdened with the lowest risk. These conclusions are valid assuming that, apart from changing the energy balance of a coking plant, coal predrying also increases the production capacity of the coking plant.

KEY WORDS: coke dry quenching, coal predrying, coke, economic efficiency account