

Leszek Jurdziak, Witold Kawalec**

ELEKTROWNIA JAKO ZAKŁAD PRZERÓBK KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO — NOWE MOŻLIWOŚCI OPTYMALIZACJI ŁĄCZNYCH DZIAŁAŃ

1. Wprowadzenie — korzyści z integracji pionowej

W ramach koncernu PGE prowadzona jest integracja pionowa kopalń węgla brunatnego i elektrowni mająca doprowadzić do instytucjonalnego połączeniu obu podmiotów. Już od dawna zalety takiego rozwiązania były propagowane przez autorów. W 2004 na przykładzie złoża „Szczerców” pokazano, że korzystając z optymalizacji kopalń odkrywkowych [3] można znaleźć zdeterminowane rozwiązania dla bilateralnego monopolu kopalni i elektrowni wskazując optymalną kształt wyrobiska docelowego oraz cenę węgla. Opisano także strategiczne korzyści z pionowej integracji w ujęciu Portera oraz wskazano na możliwość redukcji kosztów transakcyjnych i efekty synergii z punktu widzenia Nowej Ekonomii Instytucjonalnej [4]. Omówiono również wpływ struktury organizacyjno — właścicielskiej na funkcjonowanie bilateralnego monopolu kopalni węgla brunatnego i elektrowni wskazując, że jedynie zintegrowany pionowo koncern energetyczny zapewnia możliwość realizacji strategii optymalnej — maksymalizacji łącznego zysku [5].

Pełną analizę ekonomiczną funkcjonowania kopalni węgla brunatnego i elektrowni z wykorzystaniem modelu bilateralnego monopolu, metod optymalizacji kopalń odkrywkowych i teorii gier zawiera monografia [6]. Konieczność prowadzenia integracji działań obu podmiotów niezależnie od korzyści z integracji instytucjonalnej wykazano w pracy [7] zaś dodatkowe korzyści z pionowej integracji w postaci możliwości eksploatacji większych wyrobisk oraz istotnej redukcji ryzyka podkreślono m.in. w [8]. Te argumenty dowiodły, że planując działalność kopalni i elektrowni w przyszłości należy oba podmioty traktować łącznie, jako zintegrowany pionowo koncern energetyczny. Otwiera to nowe możliwości wszechstronnych analiz oraz optymalizacji jego działania.

* Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wroclaw

Dotychczasowe próby badania tzw. łańcucha wartości w kompanii energetycznej produkującej energię elektryczną z węgla brunatnego ogniskowały się raczej na doskonaleniu procesu spalania węgla i traktowały kopalnię, jako rozwinięty dział nawęglania (wzorem elektrowni opalanych węglem kamiennym). Zasadnicza różnica tkwi w tym, że węgiel kamienny jest surowcem rynkowym i elektrownia nie jest związana z dostawcą, podczas gdy elektrownia spalająca węgiel brunatny jest projektowana i budowana na bazie zasobów konkretnego złoża. Jeżeli wielkość i parametry technologiczne elektrowni spalającej węgiel brunatny są zależne od danego złoża, to w tandemie: kopalnia węgla — elektrownia, większą wagę na etapie prac koncepcyjnych i studiów wykonalności należy poświęcić kopalni.

Celowe jest zatem odwrócenie pozycji obu przedsiębiorstw: zamiast sprowadzać kopalnię do roli działu nawęglania należy wyciągnąć wnioski z technologicznej zależności elektrowni od kopalni i skupić się na analizie kopalni, jako głównego producenta energii. W takim ujęciu, elektrownia jest traktowana jako swoisty zakład przeróbczy, przetwarzający energię pierwotną węgla (chemiczną) na energię elektryczną. Ten formalny zabieg otwiera możliwości zaadaptowania metod ekonomicznej optymalizacji kopalń odkrywkowych. Dotychczas jedną z poważniejszych przeszkód ich implementacji w górnictwie węgla brunatnego był brak jego rynkowej ceny (na wzór giełdowej ceny metali, będącej podstawą do optymalizacji wyrobisk odkrywkowych eksploatujących rudy). Jeżeli zaś przyjmiemy koncepcję sprzedaży węgla „przez druty”, cena węgla w modelu ekonomicznym znika, potrzebne są natomiast formuły określające produktywność przemiany węgla w energię oraz funkcje identyfikujące koszty produkcji i sprzedaży energii. Wartość energii elektrycznej *in-situ* (tj. w złożu węgla) jest w ten sposób bezpośrednio uzależniona od sprawności elektrowni (podobnie jak wartość rudy metali od sprawności przeróbki).

Tak potraktowane górnictwo węgla brunatnego, po latach państwowej własności i odgórnie ustalanych cen, staje się w pełni rynkowe. Powinno to mieć również konsekwencje w konieczności zastąpienia nakazanych państwowym rozporządzeniem kryteriów bilansowości węgla brunatnego (uzasadnionych technicznie, ale niezwiązanych z rynkiem energii [10]) kryterium maksymalizacji wartości złoża, w pełni uzależnionym od uwarunkowań ekonomicznych w tym poziomie rynkowych cen energii elektrycznej, a nie negocjowanych dwustronnie (lub urzędowych) cen węgla.

Kryterium maksymalizacji wartości złoża pozwala ponadto uwzględnić nowe elementy, które pojawiły się na rynku energii w wyniku wdrażania polityki redukcji emisji gazów cieplarnianych — pozwolenia na emisję CO₂, których limitowanie bądź nabywanie na aukcjach (zwłaszcza po 2020 r.) znacząco wpływa na wynik finansowy produkcji energii elektrycznej z węgla (zwłaszcza brunatnego, charakteryzującego się największą jednostkową emisją). Model kopalni węgla brunatnego zintegrowanej z elektrownią jako jej zakładem przeróbczym okazuje się zatem elastycznym i otwartym na modyfikacje.

2. Koncepcja zintegrowanego modelu ekonomicznego

W warunkach bilateralnego monopolu kopalni i elektrowni zasoby bilansowe złoża eksploatowanego przez kopalnię (wielkość decydująca o skali całego przedsięwzięcia) jest

wyznaczana z uwzględnieniem całego łańcucha tworzenia wartości — od wydobycia węgla poprzez jego przygotowanie i spalanie w paleniskach elektrowni aż do sprzedaży energii dystrybutorom. Jest to wykonywane z zastosowaniem metody optymalizacji wyrobiska docelowego — wyrobiska, które dla danych wartości ekonomicznych obliczonych dla komórek cyfrowego, przestrzennego modelu blokowego złoża ma największą niezdyktowaną wartość spośród wszystkich możliwych wyrobisk spełniających ograniczenia dotyczące generalnego kąta zbocza oraz ochrony terenów wyłączonych z eksploatacji górniczej. Standardowo stosowanym algorytmem optymalizacji wyrobiska docelowego jest algorytm Lerchs’a-Grossmann’a [3].

Podejście do analizy bilateralnego monopolu kopalni i elektrowni zaprezentowane w pracy [7] umożliwiło ocenę funkcjonowania obu podmiotów z osobna oraz analizę łącznego zysku. W zintegrowanym modelu ekonomicznym oba podmioty są traktowane jako jeden zakład. Wyeliminowano w ten sposób cenę węgla z analizy, natomiast jakość modelu (oprócz standardowych zagadnień identyfikacji kosztów wydobycia) sprowadza się do znalezienia formuł określających:

- efektywność przetworzenia na energię elektryczną węgla o zmiennych parametrach jakościowych — funkcja identyfikująca jakość węgla w odniesieniu do uśrednionego węgla, dla którego projektowany jest ciąg technologiczny w elektrowni;
- koszty produkcji energii elektrycznej (traktowane jako koszty „przeróbki”);
- koszty sprzedaży energii do dystrybucji (np. koszty emisji CO₂).

Powyższe formuły są składowymi modelu ekonomicznego; ich ewentualna zamiana oznacza konieczność jego ponownego przeliczenia i uruchomienia algorytmu optymalizacji dla wyznaczenia wyrobiska docelowego.

2.1. Identyfikacja jakości węgla

Dla identyfikacji jakości węgla w złożu potrzebny jest wskaźnik jakościowy agregujący parametry jakościowe [6]. Uzasadnione jest w tym celu użycie wskaźnika stosowanego w formułach cenowych węgla używanych dla rozliczania dostaw węgla z kopalni do elektrowni (będących przecież wynikiem wieloletnich doświadczeń). Przykładowy wskaźnik jakościowy (według jednej z kilku stosowanych formuł ceny węgla) ma postać:

$$QI = \frac{Q_R}{Q_B} - \frac{A_R^{50} - A_B^{50}}{180} - \frac{S_R - S_B}{10} \quad (1)$$

gdzie:

- Q_R i Q_B — rzeczywista i bazowa wartość opałowa węgla brunatnego, kJ/kg,
- A_R^{50} i A_B^{50} — rzeczywista i bazowa zawartość popiołu w węglu brunatnym, %,
- S_R i S_B — rzeczywista i bazowa zawartość siarki w węglu brunatnym, %.

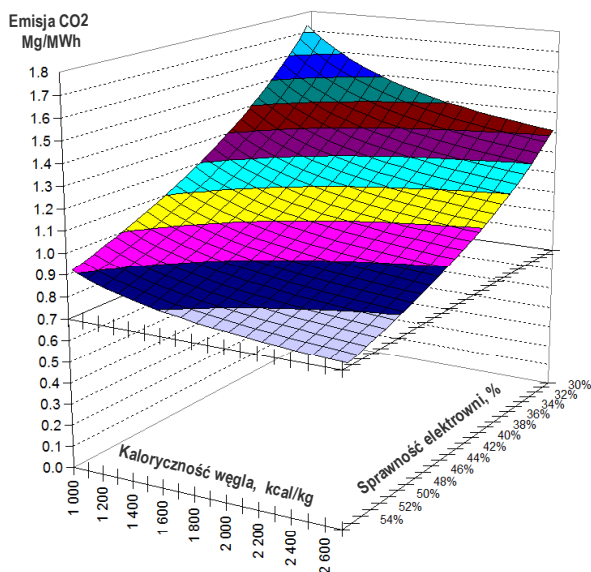
Parametry węgla bazowego są określane na podstawie wartości średnich dla złoża.

Zalecane byłoby zbudowanie wskaźnika na podstawie badań procesu spalania węgla; przyjęta formuła powinna ściśle odpowiadać parametrom pracy bloku energetycznego i technologii przygotowania węgla do spalania. Jest to już zadanie dla specjalisty energetyka.

2.2. Identyfikacja kosztów produkcji energii oraz kosztów emisji CO₂

W Polsce większość bloków energetycznych jest przestarzałych i ma sprawność rzędu 30–36%. Wzrost sprawności powoduje, że większa część energii chemicznej zmagazynowanej w węglu zamieniana jest na energię elektryczną. Oznacza to nie tylko zmniejszenie zużycia węgla do wyprodukowania 1 MWh, ale również zmniejszoną emisję CO₂ do atmosfery w procesie spalania. W warunkach konieczności wykupu pozwoleń na emisję CO₂ (wprowadzenie limitów emisji i handlu pozwoleniami ETS) wzrost sprawności daje podwójną korzyść: zmniejszenie kosztów zakupu paliwa oraz wykupu pozwoleń na emisję CO₂.

Zagadnienie wpływu sprawności oraz kaloryczności węgla brunatnego na poziom emisji CO₂ przy produkcji energii elektrycznej było rozważane w pracach [2, 8, 9]. Wyznaczone tam zależności (rys. 1) wykorzystano w modelu zintegrowanej pionowo kopalni i elektrowni do prowadzonych analiz.



Rys. 1. Zależność emisji CO₂ od sprawności elektrowni i kaloryczności węgla brunatnego

Dla danych ze złoża „Legnica” oraz planowanej elektrowni o sprawności netto 48,5% [1] szacowany tą metodą wskaźnik emisji wynosi 0,84 Mg CO₂/MW (co oznacza redukcję przekraczającą 25% w stosunku do stanu bieżącego).

2.3. Zmienność parametrów zewnętrznych

Głównym źródłem zmienności skali przedsięwzięcia górniczego jest złożo. Dzięki zastosowaniu metod symulacji warunkowej (np. ConSim w Datamine Studio) oraz wiązki harmonogramów w module GeoRisk Assessment programu NPVScheduler v.4, możliwe jest badanie i oszacowanie ryzyka geologicznego, co może stanowić kolejny etap analizy [8].

W rozważanym modelu uwzględniony jest wpływ następujących parametrów zewnętrznych — spoza górnictwa:

- rynkowa cena energii elektrycznej — produktu końcowego zintegrowanego zakładu górniczno-energetycznego,
- sprawność elektrowni (przyjęta arbitralnie, z uwzględnieniem kryterium BAT lub zgodnie z przewidywanym rozwojem technologicznym),
- koszty wykupu pozwoleń na emisję CO₂.

Należy zaznaczyć, że te parametry nie są niezależne. Można przewidywać, że poziom cen energii będzie dodatnio i silnie skorelowany z poziomem cen pozwoleń na emisję CO₂, a nawet szacować wskaźnik przeniesienia tej ceny na cenę energii elektrycznej, jednak prognozowanie poziomu cen pozwoleń jest złożone i nie gwarantuje dokładności nawet przy użyciu skomplikowanych modeli symulacyjnych.

Wszechstronna analiza zakłada zatem przyjęcie wariantowych wartości parametrów z odpowiedniego przedziału: poziomów sprawności, kosztów wykupu pozwoleń na emisję CO₂ oraz spodziewanego poziomu cen energii. Wynikiem optymalizacji wariantowego modelu ekonomicznego złoża jest zbiór wyrobisk docelowych. Jego analiza pozwoliła na zidentyfikowanie wartości progowych (decyzyjnych) dla całego przedsięwzięcia górniczno-energetycznego [9].

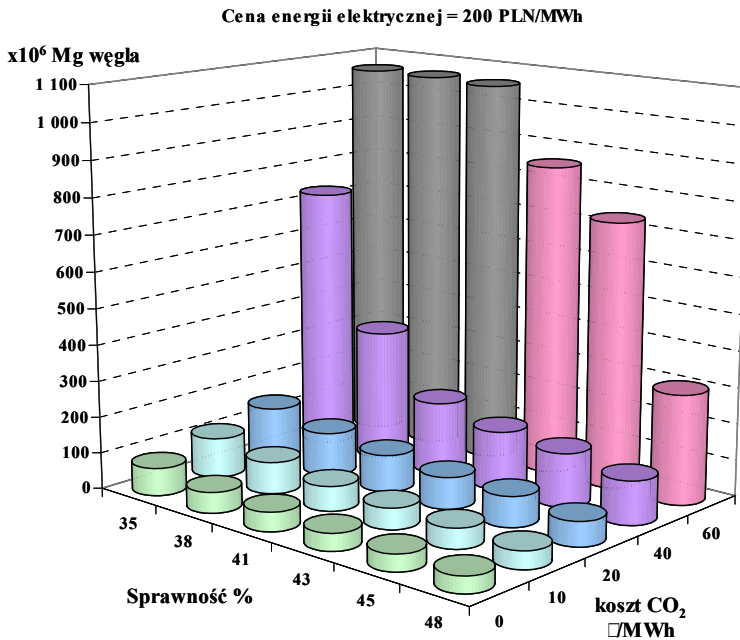
3. Przykładowa implementacja modelu

Opracowany model i nowe podejście zaprezentowano na podstawie studialnego modelu części złoża Legnica (Legnica Wschód). Celem analizy była identyfikacja straty zasobów bilansowych w zależności od poziomu cen energii, sprawności elektrowni oraz kosztów wykupu pozwoleń na emisję CO₂.

Wykorzystany w tym celu jakościowy model złoża został przetworzony na model ekonomiczny, zgodnie z generalnymi założeniami oraz przedstawioną koncepcją modelu zintegrowanego producenta energii. Wygenerowano w sumie 435 wyrobisk docelowych reprezentujących wielkość zasobów bilansowych dla różnych cen energii, kosztów i sprawności elektrowni (czyli „zakładu przerobczego” kopalni).

Na rysunku 2 przedstawiono zależność utraty zasobów węgla brunatnego analizowanego złoża, wyznaczonych zgodnie z prezentowaną koncepcją dla kilku wybranych poziomów sprawności elektrowni oraz przewidywanych kosztów wykupu pozwoleń na emisję

CO₂ w wypadku obowiązywania na rynku aktualnej ceny energii (ok. 200 zł/MWh). Jako zasoby odniesienia (maksymalne) przyjęto zasoby wyznaczone dla ceny 400 zł/MW, maksymalnej sprawności elektrowni (48%) i braku kosztów wykupu pozwoleń na emisję CO₂.



Rys. 2. Bezwzględne straty zasobów węgla dla ceny energii elektrycznej 200 zł/MWh w zależności od sprawności elektrowni i kosztów wykupu pozwoleń na emisję CO₂

Więcej wyników oraz opis modelu można znaleźć w artykule [9]. Powyższy wykres ilustruje niektóre możliwości analizowania wpływu zewnętrznych (wobec planowanej kopalni węgla brunatnego) parametrów technicznych oraz ekonomicznych rynku energetycznego na wielkość zasobów kopalni określających skalę całego przedsięwzięcia górnictwo-energetycznego.

4. Wnioski

Zaproponowana koncepcja umożliwia wszechstronne analizy zintegrowanych działań kopalni i elektrowni. Zastosowanie optymalizacji Lerchsa-Grossmanna szybko wyznacza zasoby bilansowe dla zadanych warunków ekonomicznych uwzględniających rynek energii elektrycznej, ceny pozwoleń na emisję CO₂, poziom sprawności bloków elektrowni, koszty wdrożenia technologii CCS i innych, dotąd nie uwzględnianych parametrów.

Możliwości tego podejścia na tym się nie kończą. Można je wykorzystać do tworzenia harmonogramów rozwoju kopalni pod kątem potrzeb elektrowni. Poziom cen energii oraz popyt na nią warunkują zachowania elektrowni na rynku w kwestii ile energii, gdzie (na jakim rynku) i kiedy sprzedać. Łatwo można przejść od przyszłych planów elektrowni do sterowania rozwojem kopalni tak by dynamicznie (na tyle ile pozwala ten układ) dopasowywać się do zmieniającej się sytuacji na rynku. Obecnie to nie zawarty kontrakt na dostawę węgla będzie decydował o działaniach obu stron, lecz rynkowe potrzeby elektrowni.

LITERATURA

- [1] *Bednarczyk J.*: Scenariusze zagospodarowania złoża węgla brunatnego Legnica. Technologia udostępnienia złoża węgla brunatnego Legnica, Redakcja „Górnictwa odkrywkowego”, Wrocław 2007
- [2] *Galetakis M., Vamvuka D.*: Lignite Quality Uncertainty Estimation for the Assessment of CO₂ Emissions. *Energy & Fuels* 23, 2009
- [3] *Jurdziak L.*: Wpływ optymalizacji kopalń odkrywkowych na rozwiązanie modelu bilateralnego monopolu: kopalnia & elektrownia w długim okresie. *Górnictwo Odkrywkowe* Nr 7–8, 2004, 2004
- [4] *Jurdziak L.* 2005a: Czy integracja pionowa kopalń odkrywkowych węgla z elektrowniami jest korzystna i dla kogo?. *Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki*, Nr 2
- [5] *Jurdziak L.* 2005b: Wpływ struktury organizacyjno-właścicielskiej na funkcjonowanie bilateralnego monopolu kopalni węgla brunatnego i elektrowni. IV Międzynarodowy Kongres Górnictwo Węgla Brunatnego. Bełchatów, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 112, Seria: Konferencje nr 34, Oficyna Wydaw. Pol. Wroc., 2005
- [6] *Jurdziak L.*: Analiza ekonomiczna funkcjonowania kopalni węgla brunatnego i elektrowni z wykorzystaniem modelu bilateralnego monopolu, metod optymalizacji kopalń odkrywkowych i teorii gier. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej
- [7] *Jurdziak L.*: Integracja działań czy integracja instytucji? *Systems (Wrocław)*. vol. 13, spec. iss. 1/2, 2008
- [8] *Jurdziak L., Kawalec W.*, 2010a: Risk Analysis of Electric Energy Production From Lignite Upon the Basis of Mining Scenarios Bundle Generated With The Use Of Geo-Risk Optimisation. Referat na 11th IAEE European Conference in Vilnius, Lithuania, August 25–28, 2010
- [9] *Jurdziak L., Kawalec W.*, 2010b. Wpływ wzrostu sprawności elektrowni oraz polityki CCS na wielkość zasobów bilansowych węgla brunatnego w warunkach bilateralnego monopolu kopalni i elektrowni, *Polityka Energetyczna*, tom 13, zeszyt 2
- [10] Ustawa „Prawo geologiczne i górnicze”, 2008, (wg stanu prawnego na dzień 10 września 2008 r.)