



JACEK KAMIŃSKI*, PIOTR SAŁUGA**

Pozyskanie surowców energetycznych na potrzeby wytwarzania energii elektrycznej – koncepcja budowy modelu matematycznego

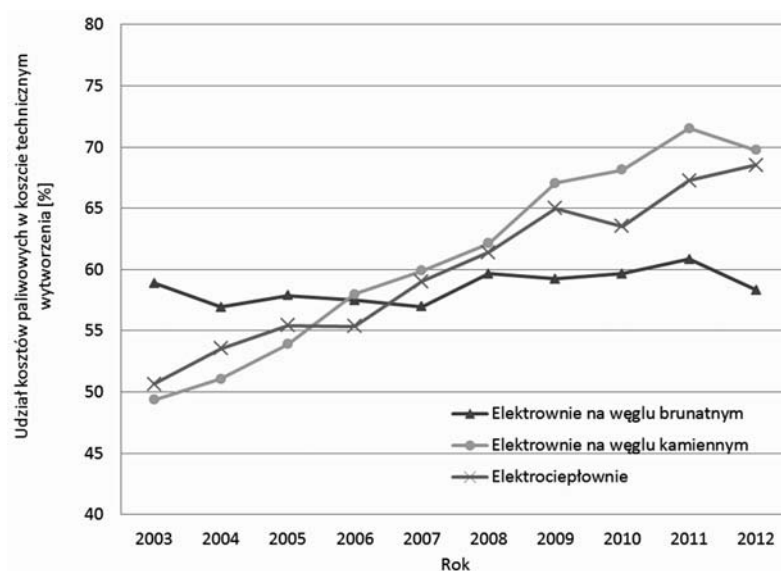
Wprowadzenie

Ukształtowana obecnie struktura krajowego sektora paliwowo-energetycznego jest bezpośrednią konsekwencją wdrażania reform liberalizujących rynki energii (szerzej Kamiński 2009). Integralnym elementem procesów liberalizacyjnych jest zasada rozdziału działalności, która wymusza, aby przedsiębiorstwa wytwarzające energię elektryczną funkcjonowały niezależnie od działalności sieciowej i dystrybucyjnej. W konsekwencji, w każdym koncernie energetycznym funkcjonującym w Polsce przedsiębiorstwa wytwórcze prowadzą działalność gospodarczą jako indywidualne spółki prawa handlowego, czego przykładem mogą być: Enea Wytwarzanie S.A., Tauron Wytwarzanie S.A., Tauron Ciepło S.A., PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. oraz Energa Hydro Sp. z o.o. Efektywność funkcjonowania tych spółek, a precyzyjniej skuteczność działań podejmowanych przez ich zarządy, których miernikiem może być zysk na działalności operacyjnej, jest zatem niezależna od działalności podejmowanych przez pozostałe spółki poszczególnych grup kapitałowych. Co oczywiste, zarządy przedsiębiorstw wytwórczych rozliczane są z wyników finansowych uzyskiwanych na poziomie danego przedsiębiorstwa oraz poziomu realizowanego OPEXU (*operating expenditures*).

* Dr hab. inż., prof. IGSMiE PAN, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: kaminski@meeri.pl

** Dr hab. inż., prof. AGH, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania w Energetyce, Kraków; e-mail: psaluga@zarz.agh.edu.pl

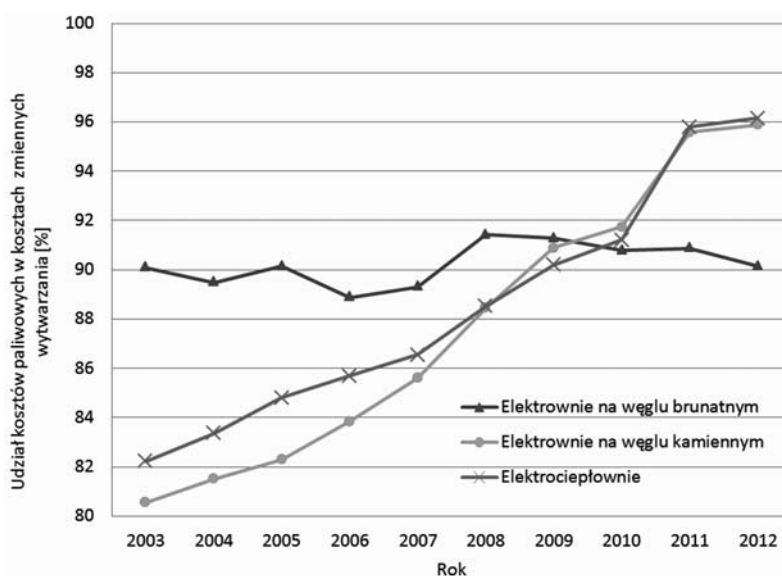
W ogólnym ujęciu wzrost zysku w przedsiębiorstwie wytwórczym generowany jest albo poprzez zwiększenie przychodów, albo poprzez redukcję kosztów. Każda z tych opcji stanowi problematykę, której można poświęcić odrębną publikację. Niniejszy artykuł zajmuje się jedynie stroną kosztową. Biorąc pod uwagę strukturę paliwową wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, wciąż około 85% energii elektrycznej produkowane jest z węgla kamiennego i brunatnego. Odzwierciedleniem takiej struktury wytwarzania jest odpowiednia struktura kosztów produkcji energii elektrycznej, w której przeważającym składnikiem są koszty paliw. O ile w przypadku energetyki na węglu brunatnym udział kosztów paliwowych pozostaje na względnie stabilnym poziomie około 57–61% kosztu technicznego wytworzenia (rys. 1), to w przypadku energetyki bazującej na węglu kamiennym udział kosztów paliwowych systematycznie rośnie, z około 50% w 2003 r. aż do 71,5% w 2011 r. (rys. 1).



Rys. 1. Udział kosztów paliwowych w koszcie technicznym wytworzenia energii elektrycznej
Źródło: ARE 2003–2012

Fig. 1. The share of fuel costs in total costs of electricity generation

Analiza kosztów zmiennych wytwarzania energii elektrycznej potwierdza wzrost udziału kosztów energii pierwotnej w energetyce bazującej na węglu kamiennym. Fakt ten ma bardzo istotne znaczenie dla przedsiębiorstwa wytwórczego, ponieważ w krótkim (operacyjnym) terminie przedsiębiorstwo ma wpływ właściwie jedynie na poziom kosztów zmiennych. W analizowanym okresie udział kosztów paliwowych zwiększył się z około 50% w 2003 r., aż do około 71,5% w latach 2011–2012. A zatem, wbrew powszechnej opinii, pomimo faktu, że intensywne wdrażanie regulacji ekologicznych (między innymi dyrektywy: EU ETS – *The EU Emissions Trading System* – 2009/29/WE, w mniejszym stopniu



Rys. 2. Udział kosztów paliwowych w kosztach zmiennych wytwarzania energii elektrycznej
Źródło: ARE 2003–2012

Fig. 2. The share of fuel costs in variable costs of electricity generation

IED – *Industrial Emissions Directive* – 2010/75/EU) zwiększa szeroko pojmowane koszty środowiskowe wytwarzania energii elektrycznej (Grudziński 2011), kluczowe pozostają nadal koszty pozyskania surowców energetycznych ujęte w nomenklaturze statystycznej jako koszty paliwowe (rys. 1 i 2).

Biorąc pod uwagę powyższe przesłanki – w tym kluczowe znaczenie kosztów energii pierwotnej w kosztach wytwarzania energii elektrycznej w przedsiębiorstwach wytwórczych bazujących na węglu kamiennym – konieczne wydaje się ponowne spojrzenie na problematykę kosztów pozyskania surowców energetycznych do wytwarzania energii elektrycznej przez pryzmat możliwości ich minimalizacji. Konsekwentnie, celem niniejszego artykułu jest analiza problematyki pozyskania surowców energetycznych (w szczególności węgla energetycznego) dla przedsiębiorstwa wytwarzającego energię elektryczną i ciepło oraz opracowanie wstępnej koncepcji budowy modelu matematycznego wspomagającego proces decyzyjny w tym zakresie.

1. Problematyka optymalizacji kosztów pozyskania surowców energetycznych – możliwość zastosowania modeli matematycznych

Jak zasygnalizowano we wprowadzeniu, koszty pozyskania surowców energetycznych do wytwarzania energii elektrycznej stanowią istotną część kosztów przedsiębiorstw wytwórczych. Co zrozumiałe, im większa jest skala działalności spółki, której miernikiem może

być wielkość produkcji energii elektrycznej, tym większe mogą być oszczędności kosztów pozyskania surowców energetycznych. Przykładowo, przedsiębiorstwo Enea Wytwarzanie S.A. zużywa rocznie około 5 mln ton węgla energetycznego, z czego największe zużycie tego paliwa występuje w kluczowej elektrowni Grupy, tj. Elektrowni Kozienice. W zależności od wielkości wyprodukowanej energii elektrycznej Elektrownia Kozienice spalała w ostatnich latach od 4,72 do 5,04 mln ton węgla, co stanowi około 92–95% wielkości spalanego w Enea Wytwarzanie S.A. węgla energetycznego (tab. 1). Z kolei dostawy węgla kamiennego do Grupy Kapitałowej Tauron Polska Energia S.A. osiągają poziom około 11 mln ton, z czego większość przypada na Tauron Wytwarzanie S.A. (tab. 2).

Tabela 1. Zużycie węgla kamiennego w Enea Wytwarzanie S.A. [mln Mg]

Table 1. Steam coal consumption in Enea Wytwarzanie S.A. [Mt]

| Wyszczególnienie | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Elektrownia Kozienice | 4,890 | 4,930 | 5,040 | 4,800 | 4,720 |
| Elektrociepłownia Białystok | 0,300 | 0,192 | 0,224 | 0,222 | 0,157 |
| MEC Piła | 0,035 | 0,036 | 0,045 | 0,038 | 0,039 |
| Razem | 5,225 | 5,158 | 5,309 | 5,060 | 4,916 |

Źródło: Enea S.A.

Tabela 2. Źródła i wielkość dostaw węgla kamiennego do GK Tauron Polska Energia S.A. [%]

Table 2. Steam coal supplies (sources and quantities) to GK Tauron Polska Energia S.A. [%]

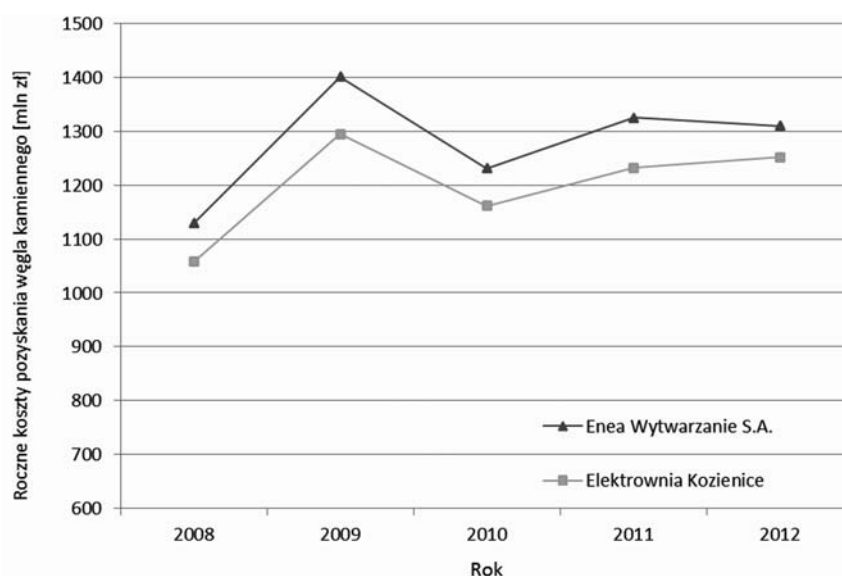
| Wyszczególnienie | Udział [%] |
|---|---------------------|
| Południowy Koncern Węglowy S.A. | 35 |
| Kompania Węglowa S.A. | 45 |
| Pozostałe źródła dostaw | 20 |
| Wielkość dostaw węgla do GK Tauron | 11,0 mln ton |

Źródło: Rusak 2013; Ciepela 2013

Zgodnie z zapisami strategii korporacyjnej Tauron zwiększa udział węgla z własnych źródeł. Obecnie Południowy Koncern Węglowy S.A. dostarcza do spółek Grupy ponad 35% paliwa, około 45% pochodzi z Kompani Węglowej, a pozostałe 20% od innych dostawców, m.in. Katowickiego Holdingu Węglowego S.A. oraz Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A.

Duże zużycie węgla energetycznego generuje w przedsiębiorstwach energetycznych odpowiednio wysokie całkowite koszty energii pierwotnej. W przypadku Enea Wytwarzanie S.A., w latach 2011–2012 roczne koszty pozyskania paliw, w skład których wchodzi

koszty zakupu paliw oraz koszty transportu, przekraczają poziom 1,3 mld zł. Natomiast koszty pozyskania paliw samej Elektrowni Kozienice w ostatnich latach osiągają poziom ponad 1,2 mld zł (rys. 3). Przy tak wysokich kosztach pozyskania węgla, oszczędność nawet na poziomie tylko 1% pozwala zredukować koszty operacyjne o około 12 mln zł rocznie, co bezpośrednio wpływa na wynik finansowy przedsiębiorstwa, a w konsekwencji na wzrost wartości spółki.



Rys. 3. Roczne koszty pozyskania węgla kamiennego w Enea Wytwarzanie S.A. i Elektrowni Kozienice [mln zł]

Źródło: Enea S.A.

Fig. 3. Total costs of steam coal in Enea Wytwarzanie S.A. and Kozienice Power Plant [Mzł]

Sama problematyka optymalizacji kosztów pozyskania lub zarządzania zapasami surowców energetycznych do wytwarzania energii elektrycznej nie jest zagadnieniem nowym. Przykładowo Garbol (2011) zaproponował optymalizację procesu zarządzania zapasami węgla w przedsiębiorstwie Energa Kogeneracja Sp. z o.o., wskazując na zalety metod tego rodzaju. W zasadzie praktycznie każde przedsiębiorstwo energetyczne wytwarzające energię elektryczną dąży do minimalizacji kosztów paliwowych. Różne są jednak metody wykorzystywane do osiągnięcia tego celu. Analiza dostępnych informacji wskazuje, że podstawowym sposobem minimalizacji kosztów pozyskania paliw (głównie węgla) wciąż pozostaje wykorzystanie doświadczeń pracowników odpowiedzialnych za gospodarkę paliwową w danym koncernie energetycznym, a najczęściej wykorzystywanym narzędziem jest arkusz kalkulacyjny. Nie umniejszając tym sprawdzonym metodom, bazującym na wieloletnich doświadczeniach kadry przedsiębiorstw wytwórczych, możliwe jest jednak ich rozwinięcie z wykorzystaniem zaawansowanych metod optymalizacyjnych, uwzględniając

przy tym istotny wymóg utrzymania określonego poziomu zapasów wynikający z krajowych regulacji prawnych. Zgodnie z art. 10, ust. 1 Ustawy Prawo energetyczne (tekst jednolity z 15 czerwca 2012 r. [Dz.U. z 2012 r., poz. 1059 z późn. zm.](#)) przedsiębiorstwa energetyczne zajmujące się wytwarzaniem energii elektrycznej lub ciepła są obowiązane utrzymywać zapasy paliw w ilości zapewniającej utrzymanie ciągłości dostaw energii elektrycznej lub ciepła do odbiorców. Wielkość zapasów paliw, którą są obowiązane utrzymywać przedsiębiorstwa energetyczne oraz sposób gromadzenia zapasów i ich rodzaje (węgiel kamienny, węgiel brunatny, olej opałowy) określone zostały w rozporządzeniu Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 lutego 2003 r. w sprawie zapasów paliw w przedsiębiorstwach energetycznych ([Dz.U. z 2003 r., nr 39, poz. 338 z późn. zm.](#)). Zmiana Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 19 maja 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie zapasów paliw w przedsiębiorstwach energetycznych ([Dz.U. nr 108, poz. 701](#)) dotyczyła jedynie zapasów węgla brunatnego, co nie jest przedmiotem artykułu.

Problemy związane z optymalizacją dostaw węgla do przedsiębiorstwa energetycznego, z uwzględnieniem wymogów ilościowych, technicznych i regulacyjnych, mogą być w naturalny sposób rozwiązywane za pomocą modeli matematycznych, które do takich celów wykorzystywane są w świecie od wielu lat. W najogólniejszej postaci model matematyczny może być zdefiniowany jako reprezentacja systemu rzeczywistego za pomocą elementów i relacji występujących między tymi elementami, w stopniu adekwatnym do późniejszego wykorzystania modelu. Zakres potencjalnych zastosowań modeli matematycznych w szeroko rozumianym sektorze paliwowo-energetycznym jest bardzo różnorodny. Oprócz rozważanej w niniejszym artykule problematyki pozyskania węgla kamiennego wymienić tu można między innymi takie zagadnienia jak:

- ◆ średnio lub długoterminowa analiza perspektyw rozwoju sektora wytwarzania energii elektrycznej w horyzoncie kilkunastu lub kilkudziesięciu lat, z uwzględnieniem uwarunkowań emisyjnych, paliwowych i ekonomicznych (możliwa jest również implementacja niepewności procesów inwestycyjnych z wykorzystaniem analizy drzew decyzyjnych oraz opcji rzeczowych; szerzej: [Zamasz 2011](#) oraz [Zamasz i Saługa 2010](#)),
- ◆ krótkoterminowa optymalizacja wytwarzania energii elektrycznej (w rozdzielczości godzinowej, z uwzględnieniem zmiennej produkcji źródeł odnawialnych wynikającej z czynników pogodowych),
- ◆ krótkoterminowa optymalizacja mieszanki węglowej do bloków energetycznych z uwzględnieniem ofert obecnych i potencjalnych dostawców,
- ◆ optymalizacja pracy elektrowni wodnych,
- ◆ optymalizacja polityki remontowej.

Oczywiście przedstawione powyżej zagadnienia nie wyczerpują listy możliwych aplikacji modeli matematycznych do rozwiązywania problemów decyzyjnych sektora paliwowo-energetycznego. Obszar zagadnień wykracza poza zagadnienia związane z funkcjonowaniem pojedynczych przedsiębiorstw, a modele matematyczne mają zastosowanie w analizie perspektyw rozwoju sektora paliwowo-energetycznego na poziomie globalnym

(szerzej: [Kamiński 2011](#)). Niemniej jednak problematyka ta nie jest celem rozważań podejmowanych w niniejszym artykule.

2. Cel i koncepcja budowy modelu matematycznego – kluczowe aspekty

Budowa modelu matematycznego, narzędzia które wykorzystywane jest w procesie podejmowania decyzji wymaga przyjęcia określonej procedury postępowania. Zazwyczaj konieczne jest zrealizowanie określonych etapów, które syntetycznie zestawione zostały w poniższych punktach (szerzej: [Sierksma 2002](#); [Kamiński 2010](#)):

- ◆ określenie celu budowy modelu,
- ◆ budowa modelu konceptualnego,
- ◆ budowa modelu matematycznego,
- ◆ komputerowa implementacja,
- ◆ przygotowanie danych wejściowych do modelu,
- ◆ kalibracja i walidacja modelu,
- ◆ analiza wrażliwości,
- ◆ opracowanie scenariuszy obliczeniowych,
- ◆ rozwiązania numeryczne modelu,
- ◆ opracowanie wyników i sformułowanie rekomendacji zarządczych.

Biorąc pod uwagę powyższą metodykę oraz dotychczasowe rozważania z zakresu problematyki zakupu i transportu surowców energetycznych, punktem wyjścia dla dalszych etapów jest określenie głównego celu budowy modelu, który można sformułować w następujący sposób. Celem budowy modelu jest optymalizacja procesu pozyskania węgla energetycznego na potrzeby spalania w blokach energetycznych przedsiębiorstwa wytwórczego.

Kolejnym krokiem jest opracowanie modelu konceptualnego, który stanowi opisową reprezentację systemu rzeczywistego. Integralną częścią budowy modelu konceptualnego jest identyfikacja elementów systemu oraz relacji występujących pomiędzy poszczególnymi elementami. Innymi słowy analizie poddane są wzajemne oddziaływania elementów systemu na siebie oraz przyjęte zostaną odpowiednie założenia w tym obszarze.

Konsekwentnie zakłada się, że po stronie dostawców będą występować wszystkie spółki węglowe wydobywające węgiel energetyczny na terenie Polski (tj. Kompania Węglowa S.A., Katowicka Grupa Kapitałowa S.A., Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., Lubelski Węgiel Bogdanka S.A., Południowy Koncern Węglowy S.A., Przedsiębiorstwo Górnicze Silesia Sp z o.o., ZG Siltech Sp. z o.o. oraz EKO-Plus) (tab. 3). Uwzględnieni zostaną również pośrednicy i importerzy oferujący węgiel kamienny energetyce zawodowej, co jest konieczne biorąc pod uwagę zmiany obserwowane w ostatnich latach na krajowym rynku węgla oraz potencjał dostaw węgla z importu do Polski ([Olkuski 2013](#); [Stala-Szlugaj 2013](#)).

Z kolei po stronie odbiorców zakłada się zaimplementowanie w modelu bloków energetycznych opalanych węglem kamiennym danego przedsiębiorstwa energetycznego. Odle-

Tabela 3. Producenci węgla kamiennego w Polsce

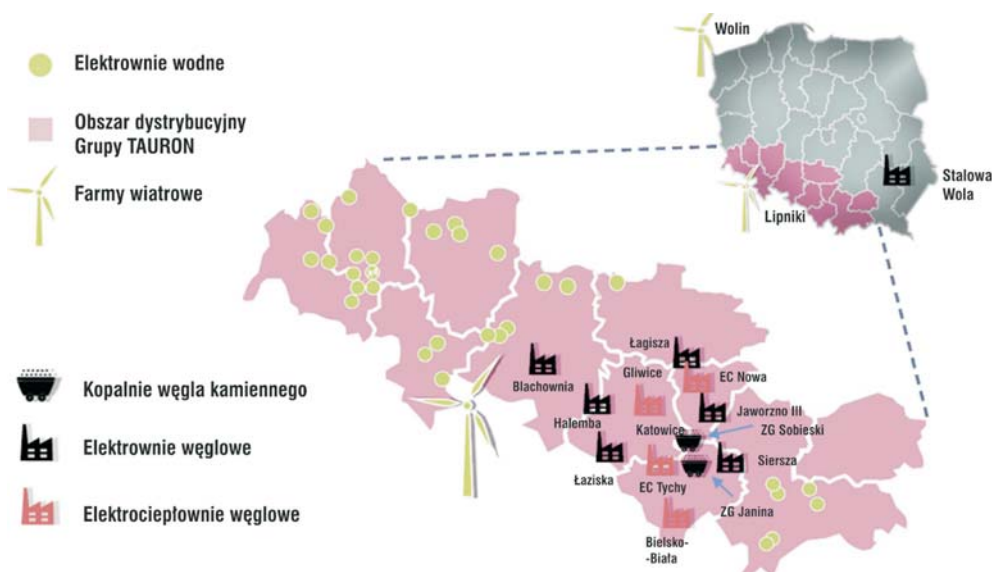
Table 3. Hard coal producers located in Poland

| Spółka | Liczba kopalń | Węgiel |
|---------------------------------|---------------|---|
| Kompania Węglowa S.A. | 15 | węgiel energetyczny – 90% węgiel koksowy – 10% |
| Katowicka Grupa Kapitałowa S.A. | 5 | węgiel energetyczny |
| Lubelski Węgiel Bogdanka S.A. | 1 | węgiel energetyczny |
| Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. | 6 | węgiel energetyczny – 30% węgiel koksowy – 70% |
| Południowy Koncern Węglowy S.A. | 2 | węgiel energetyczny |
| ZG SILTECH Sp. z o.o. | 1 | węgiel energetyczny |
| PG SILESIA Sp. z o.o. | 1 | węgiel energetyczny |
| EKO-PLUS Sp. z o.o. | 1 | węgiel energetyczny |

Źródło: opracowanie własne na podstawie Gawlik red. 2013

głości od poszczególnych źródeł podaży do poszczególnych punktów popytowych wpływają na koszty transportu węgla. W zależności od odległości możliwe jest włączenie do modelu rozróżnienia dostaw węgla prowadzonych transportem kolejowym i/lub samochodowym, uwzględniając tzw. rentę geograficzną.

Model powinien mieć strukturę otwartą i możliwość uwzględnienia innych struktur dostaw paliw węglowych, również z dostawami wewnątrz grupy kapitałowej. Przykładowo, ponieważ jednym z przedsiębiorstw funkcjonujących w GK Tauron jest Południowy Koncern Węglowy S.A. (PKW S.A.), Tauron Wytwarzanie S.A. i Tauron Ciepło S.A. mogą pozyskiwać węgiel z własnej spółki, uniezależniając się tym samym częściowo od fluktuacji cenowych na światowych rynkach węgla. Potwierdzeniem pozytywnych doświadczeń w tym zakresie jest wzrost wydobycia węgla kamiennego w PKW S.A. z około 4,6 mln ton w 2011 r. do 5,57 mln ton w 2012 roku. Natomiast sprzedaż węgla z PKW S.A. do spółek GK Tauron osiągnęła w 2012 r. 3,7 mln ton, co stanowi prawie 70% całkowitej sprzedaży ([Raport roczny Tauron 2012](#)). Tauron Wytwarzanie S.A. i Tauron Ciepło S.A. mają ponadto teoretycznie lepszą pozycję na rynku pozyskania paliw, ponieważ praktycznie całość aktywów wytwórczych bazujących na węglu energetycznym zlokalizowana jest w pobliżu źródeł podaży węgla (rys. 4). Tym samym koszty transportu węgla mogą być znacznie mniejsze niż w przypadku jednostek wytwórczych oddalonych od podstawowego źródła podaży węgla krajowego. Biorąc jednak pod uwagę import węgla z wykorzystaniem transportu morskiego, odległość od portów należy uznać za niewątpliwą wadę lokalizacji jednostek wytwórczych GK Tauron. Niemniej jednak istotną zaletą wykorzystania modeli matematycznych do optymalizacji procesu zakupu węgla energetycznego jest fakt, że to wyniki modelu wskażą najbardziej optymalną kosztowo wielkość dostaw paliw z poszczególnych źródeł z uwzględnieniem kosztów transportu.



Rys. 4. Lokalizacje aktywów wytwórczych Grupy Kapitałowej Tauron S.A.

Źródło: Skonsolidowany raport roczny Grupy Kapitałowej Tauron Polska Energia S.A. za 2012 r.

Fig. 4. Location of mines and power plants owned by Tauron SA

Zakłada się, że dostawcy zaimplementowani w modelu oferują określone ilości węgla energetycznego (wyrażone w tonażu lub w jednostkach energii [GJ]) o parametrach jakościowych: Q – wartość opałowa [MJ/kg], A – zawartość popiołu [%] i S – zawartość siarki [%], po określonej cenie [zł/Mg, zł/GJ]. Każdy z dostawców ma możliwość zaoferowania węgla o różnych parametrach jakościowych, w odpowiednich ilościach i cenach sprzedaży.

Po stronie popytowej zakłada się, że model będzie umożliwiał zdefiniowanie granicznych wartości jakości węgla indywidualnie dla każdego bloku. Jest to warunek konieczny w tego typu modelach, ponieważ bloki energetyczne zaprojektowane są do spalania węgla o określonych parametrach jakościowych. Konsekwentnie, oprócz zapotrzebowania każdego bloku (wyrażonego w tonach lub w jednostkach energii) konieczne jest również spełnienie wymogów jakościowych dostarczanego węgla, które matematycznie można ująć jako następujące warunki:

$$\text{Min}Q_b \leq Q_b \leq \text{Max}Q_b$$

$$\text{Min}A_b \leq A_b \leq \text{Max}A_b$$

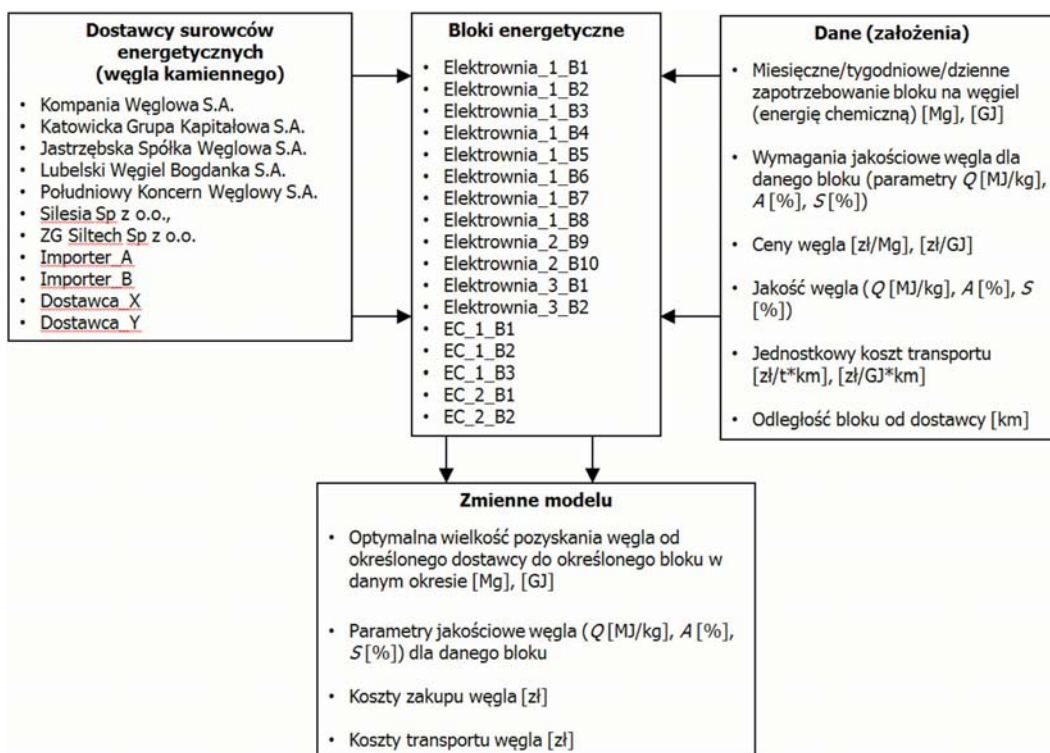
$$\text{Min}S_b \leq S_b \leq \text{Max}S_b$$

↗ b – blok energetyczny (b_1, b_2, b_3, \dots),

Q_b, A_b, S_b – zmienna – jakość mieszanki węglowej (odpowiednio parametrów jakościowych: Q, A, S) przeznaczanej do spalania w bloku energetycznym b ,
 $MinQ_b, MinA_b, MinS_b$ – dolna granica wartości parametru jakościowego mieszanki węglowej (odpowiednio: Q, A, S) przeznaczanej do spalania w bloku b ,
 $MaxQ_b, MaxA_b, MaxS_b$ – górna granica wartości parametru jakościowego mieszanki węglowej (odpowiednio: Q, A, S) przeznaczanej do spalania w bloku b .

Spełnienie powyższych warunków jest niezbędne dla zapewnienia optymalnych parametrów pracy jednostek wytwórczych. Chociaż w praktyce ograniczenia dopuszczalnych jakości węgla mogą być stosunkowo szerokie, niedotrzymywanie parametrów jakościowych może doprowadzić do przyspieszonego zużycia bloków, co może prowadzić do zwiększenia kosztów nieplanowanych remontów.

Zakłada się, że wyniki modelu mają wskazać optymalny poziom zakupu węgla energetycznego o określonych parametrach jakościowych (Q, A, S) od konkretnych dostawców, w odpowiednich ilościach spełniających ograniczenia jakościowe na poziomie indywidualnych bloków, z uwzględnieniem kosztów transportu węgla. Wynikiem modelu będzie zatem informacja o następującej treści: Dostawca – Blok – Ilość – Q – A – S – Cena.



Rys. 5. Uproszczona koncepcja budowy modelu matematycznego

Fig. 5. A simplified concept of the mathematical model

Dla zapewnienia odpowiedniej elastyczności modelu zakłada się, że rozdzielczość czasowa modelu może być dobierana w zależności od bieżących potrzeb zarządczych. Może to być: dzień, tydzień, miesiąc, kwartał lub rok.

Uproszczony schemat koncepcji budowy modelu zaprezentowany został na rysunku 5. W poszczególnych blokach wskazano na nim najważniejsze cechy charakterystyczne modelu matematycznego, tj.:

- ◆ dostawców surowców energetycznych,
- ◆ bloki energetyczne koncernu energetycznego,
- ◆ dane wejściowe odnoszące się do grupy dostawców i bloków energetycznych,
- ◆ zmienne, które są optymalizowane w modelu.

Podsumowanie

Celem artykułu było opracowanie wstępnej koncepcji modelu matematycznego, którego zastosowanie ma prowadzić do redukcji kosztów pozyskania surowców energetycznych przedsiębiorstwa energetycznego. Punktem wyjścia do dalszych badań była analiza udziału kosztów paliwowych w sektorze wytwarzania energii elektrycznej na węglu kamiennym. Następnie przeprowadzono analizę kształtowania się ilości pozyskiwanego węgla oraz jego kosztów w dwóch koncernach energetycznych, bazujących przede wszystkim na węglu energetycznym; analiza potwierdziła zasadność prowadzenia dalszych badań.

Koncepcja budowy modelu zakłada jego otwartą architekturę, która pozwoli na dostosowanie zarówno samych założeń modelowych, jak i danych wejściowych do modelu w zależności od zmieniających się warunków rynkowych. Uwzględniono specyficzne uwarunkowania krajowego sektora paliwowo-energetycznego, między innymi konieczność spełnienia wymogów jakościowych węgla spalanego w poszczególnych blokach, możliwe źródła podaży, ze szczególnym uwzględnieniem spółek węglowych zlokalizowanych w Polsce, oraz potencjalne źródła importowe. Założono również możliwość elastycznego doboru rozdzielczości czasowej modelu, w zależności od wymogów zarządczych.

Zgodnie z zaproponowaną metodyką, dalsze prace nad modelem matematycznym optymalizującym proces zakupu surowców energetycznych koncernu energetycznego poświęcone będą transpozycji modelu konceptualnego do postaci matematycznej modelu, a następnie jego implementacji w środowisku modelowania.

LITERATURA

- Ciepela, D. 2013. Tauron zawarł umowy na zakup węgla z KHW i PKW. Wirtualny Nowy Przemysł. http://energetyka.wnp.pl/tauron-zawarl-umowy-na-zakup-wegla-z-khw-i-pkw,193106_1_0_0.html.
- Dyrektywa 2009/29/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.

- Dyrektywa 2010/75/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola).
- Garbol, J. 2011. Optymalizacja zapasów paliwa w przedsiębiorstwach energetycznych na przykładzie Energa Kogeneracja Sp. z o.o. Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie XXXVIII – Zeszyt 404 – Toruń.
- Gawlik, L., red., 2013. *Węgiel dla polskiej energetyki w perspektywie 2050 roku – analizy scenariuszowe*. Wyd. IGSMiE PAN, 300 s.
- Grudziński, Z., 2011. Wpływ opłat środowiskowych wynikających z parametrów jakościowych węgla na koszty produkcji energii elektrycznej. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 27(1), s. 59–77.
- Kamiński, J., 2009. The impact of liberalisation of the electricity market on the hard coal mining sector in Poland, *Energy Policy* 37(3), pp. 925–939.
- Kamiński, J., 2010. Modelowanie systemów energetycznych: ogólna metodyka postępowania przy budowie modelu. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* 13(2), s. 219–226.
- Kamiński, J., 2011. Power generation and capacity planning modules for global energy sector models. *Rynek Energii* 4(95), s. 113–118.
- Olkusiński, T., 2013. Zależność Polski w zakresie importu węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 29(3), s. 115–130.
- Prawo energetyczne (tekst jednolity z 15 czerwca 2012 r. Dz.U. z 2012r., poz. 1059 z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 maja 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie zapasów paliw w przedsiębiorstwach energetycznych (Dz.U. nr 108, poz. 701).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 lutego 2003 r. w sprawie zapasów paliw w przedsiębiorstwach energetycznych (Dz.U. z 2003 r., nr 39, poz. 338 z późn. zm.).
- Rusak, J. 2013. Zmniejszanie zużycia energii na potrzeby własne w TAURON Wytwarzanie S.A. na przykładzie modernizacji układów wody chłodzącej. *Elektroenergetyka. Problemy Energetyki i Gospodarki Paliwowo-Energetycznej* 1(703), s. 43–47.
- Sierksma, G., 2002. *Linear and integer programming: the theory and practice – Second Edition*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Skonsolidowany raport roczny Grupy Kapitałowej Tauron Polska Energia S.A. za 2012 r. – GK Tauron Polska Energia S.A. 2012.
- Stala-Szlugaj, K., 2013. Nowe inwestycje w rosyjskim górnictwie węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 29(3), s. 131–150.
- Szurlej, A., 2008. Możliwości konkurencyjności gazu ziemnego jako surowca do wytwarzania energii elektrycznej. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 24(3), s. 327–338.
- Zamasz, K. i Saługa, P., 2010. Ocena efektywności ekonomicznej projektu rozbudowy mocy elektrociepłowni z wykorzystaniem analizy drzew decyzyjnych. *Rynek Energii* 2(87), s. 165–170.
- Zamasz, K., 2011. Metoda drzew decyzyjnych a analiza opcji rzeczowych w procesach oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć energetycznych. *Rynek Energii* 2(93), s. 141–145.

POZYSKANIE SUROWCÓW ENERGETYCZNYCH NA POTRZEBY WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ – KONCEPCJA BUDOWY MODELU MATEMATYCZNEGO**Słowa kluczowe**

surowce energetyczne, energia pierwotna, węgiel energetyczny, modele matematyczne, optymalizacja

Streszczenie

Ze względu na ukształtowaną historycznie strukturę paliwową wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, podstawowym surowcem energetycznym wykorzystywanym do generacji energii elektrycznej pozostaje węgiel kamienny i brunatny. Odzwierciedleniem takiej struktury wytwarzania jest odpowiednia struktura kosztów produkcji energii elektrycznej, w której przeważającym składnikiem są koszty pozyskania paliw. Celem artykułu jest opracowanie wstępnej koncepcji modelu matematycznego, którego zastosowanie ma prowadzić do redukcji kosztów pozyskania surowców energetycznych przedsiębiorstwa energetycznego. Punktem wyjścia jest analiza kosztów paliwowych w sektorze wytwarzania energii elektrycznej na węglu kamiennym, a następnie analiza ilości pozyskiwanego węgla oraz jego kosztów na przykładzie dwóch koncernów energetycznych, bazujących przede wszystkim na węglu energetycznym.

Koncepcja budowy modelu zakłada jego otwartą architekturę, która pozwoli na dostosowanie zarówno samych założeń modelowych, jak i danych wejściowych do modelu w zależności od zmieniających się warunków rynkowych. Uwzględniono specyficzne uwarunkowania krajowego sektora paliwowo-energetycznego, między innymi konieczność spełnienia wymogów jakościowych węgla spalanego w poszczególnych blokach, możliwe źródła podaży, ze szczególnym uwzględnieniem spółek węglowych zlokalizowanych w Polsce, oraz potencjalne źródła importowe. Założono również możliwość elastycznego doboru rozdzielczości czasowej modelu, w zależności od wymogów zarządczych. Zgodnie z zaproponowaną metodyką, dalsze prace nad modelem matematycznym optymalizującym proces zakupu surowców energetycznych koncernu energetycznego, poświęcone będą transpozycji modelu konceptualnego do postaci matematycznej modelu, a następnie jego implementacji w środowisku modelowania.

STEAM COAL SUPPLIES FOR POWER GENERATION – THE CONCEPT OF A MATHEMATICAL MODEL**Key words**

primary energy, steam coal, mathematical models, optimisation

Abstract

Given the historically shaped fuel mix of electricity generation in Poland, the main primary energy source used for power generation is still steam coal and lignite. This fuel mix directly impacts the cost structure of electricity production, the predominant component of which is the cost of fuel. The main

purpose of this paper is to develop the concept of a mathematical model that could be applied to reduce the cost of fuel supplies to a power generation company. The starting point for further research is an analysis of fuel costs in the hard coal-fired part of the electricity generation sector. The quantities consumed for power generation are then considered together with fuel costs, based on available data from two energy companies whose power generating units utilize mainly steam coal.

The development of the model assumes that the model's architecture will be open, which allows one to adjust not only the data input assumptions but also the model itself, depending on changing market conditions. For this exercise, domestic fuel and energy sector circumstances are taken into account, including steam coal quality requirements for each individual block, possible sources of steam coal supplies, as well as the detailed locations of Polish mining companies and potential sources of imported coal. Moreover, the model is assumed to be flexible so that temporal resolution of the model can be changed according to the requirements of management. Further efforts toward developing a mathematical model optimizing the processes of coal supplies will be dependent on the transposition of the conceptual model into a mathematical model, and subsequently this representation will be implemented in the modelling environment.