

ZASTOSOWANIE GENERATORA MODELI MARKAL DO OPTIMALIZACJI SYSTEMÓW ENERGETYCZNYCH

Joanna Krzemień

Główny Instytut Górnictwa, e-mail: jkrzemien@gig.eu

Streszczenie

Do podstawowych celów europejskiej polityki energetycznej należą bezpieczeństwo dostaw energii, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych oraz rozwój efektywnych i czystych technologii energetycznych. Osiągnięcie tych celów wiąże się m.in. z optymalizacją rozwoju całego systemu energetycznego, czyli zespołu obiektów i urządzeń służących do pozyskiwania, przesyłania, przetwarzania, rozdzielania i użytkowania energii we wszystkich jej postaciach. Podstawowym narzędziem wykorzystywanym do modelowania systemów energetycznych są programy komputerowe typu MARKAL, TIMES, ENPEP, MIDAS, dzięki którym tworzone są modele optymalizacyjne, symulacyjne, makroekonomiczne. Stosuje się również metody wielokryterialne. W artykule przedstawiono wyniki prowadzonych badań, przede wszystkim charakterystykę programu MARKAL jako narzędzia optymalizacyjnego systemów energetycznych oraz podano przykład zastosowania tego programu do stworzenia modelu zaopatrzenia w ciepło województwa śląskiego.

Słowa kluczowe

MARKAL, modelowanie energetyczne, optymalizacja, system energetyczny

1. WPROWADZENIE

Jednym z głównych elementów wsparcia procesu decyzyjnego jest optymalizacja, określana jako proces wyznaczania najlepszego z możliwych rozwiązań z punktu widzenia określonego kryterium. W wyniku optymalizacji badanego systemu nie tylko osiąga się wymagany efekt, ale wybiera się najlepszy z możliwych scenariuszy, gwarantujący realizację tego celu.

Najczęściej stosowanym kryterium jest efekt ekonomiczny, środowiskowy, społeczny. Kryterium to określane jest funkcją celu. Stanowi ona jeden z podstawowych elementów matematycznego modelu optymalizacyjnego. Do pozostałych elementów należą m.in.: zmienne decyzyjne, pozostałe parametry opisujące system oraz ograniczenia (Pikoń 2011).

Funkcja celu opisuje cel, który należy osiągnąć; zmienne decyzyjne to narzędzia, jakimi dysponuje się, dążąc do osiągnięcia tego celu. Ograniczenia z kolei stanowią logiczne i fizyczne powiązania, które mogą zaistnieć w trakcie realizacji celu. Jeśli model posiada dwie zmienne, to wyznaczenie rozwiązania jest proste, w przypadku, gdy obliczenia są bardziej skomplikowane, wykorzystuje się programy komputerowe.

W artykule poświęcono uwagę optymalizacji systemów energetycznych, bezpośrednio powiązanych z innymi gałęziami gospodarki krajowej.

Podstawowym celem działania systemu energetycznego jest zaspokojenie potrzeb odbiorców energii zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Potrzeby energetyczne powinny być zaspokajane w sposób ciągły i nieprzerwany. System energetyczny obejmuje obiekty do: pozyskiwania energii, jej przetwarzania, przesyłu, rozdzielania i użytkowania. System energetyczny składa się z następujących podsystemów:

- elektroenergetycznego,
- ciepłnoenergetycznego,
- gazoenergetycznego,
- paliw stałych,
- paliw ciekłych.

Wymienione podsystemy tworzą krajowy przemysł paliwowo-energetyczny (Ziębik, Szargut 1995).

Do grupy narzędzi służących do modelowania systemów energetycznych należą m.in.:

- EFOM-ENV/GAMS – Energy Flow Optimization Model – Environmental, opracowany w Belgii na potrzeby Komisji Europejskiej (Kruijn 1994),
- TIMES – The Integrated MARKAL-EFOM System, opracowany przez Energy Technology Systems Programme (ETSAP), International Energy Agency (IEA) we Francji¹,
- MARKAL – MARKet ALlocation, opracowany przez Energy Technology Systems Programme (ETSAP), International Energy Agency (IEA) we Francji (Loulou, Goldstein, Noble 2004),
- MESSAGE III – Model of Energy Supply Systems Alternatives and General Environmental Impacts, opracowany przez The International Institute for Applied Systems Analysis w Austrii²,
- ENPEP – ENergy and Power Evaluation Program, opracowany przez International Atomic Energy Agency (IAEA) w Austrii, zawierający szereg modułów tech-

¹ <http://www.iea-etsap.org/web/applicationGlobal.asp>

² <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/models.html>

nicznych, np. MACRO-E, MAED, BALANCE, LOAD, WASP-IV (IAEA 2001),

- MIDAS – Mobile Integrated Dynamic Analysis System, stworzony w National Technical University of Athens w Grecji (Capros i in. 1995).

W artykule przedstawiono modelowanie z użyciem pakietu MARKAL, z wykorzystaniem w badaniach modelowych systemu ANSWER, wspomagającego pracę generatora MARKAL.

2. CHARAKTERYSTYKA PROGRAMU MARKAL

MARKAL jest dynamicznym programem o szerokim zakresie stosowania, wykorzystywanym do planowania energetycznego i środowiskowego w różnych obszarach działań. Charakterystykę programu MARKAL przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka programu MARKAL (Seebregts, Goldstein, Smekens 2000)

MARKAL (MARKet ALlocation)	
Pochodzenie	ETSAP, IEA, Francja
Cel	zintegrowana analiza energetyczna i planowanie przez minimalizację kosztów
Podjęcie	bottom-up
Metodologia	optymalizacja
Struktura	programowanie liniowe
Obszar działania	krajowy, regionalny
Obszar badania	energetyka
Horyzont czasowy	długoterminowy

Program MARKAL jest narzędziem optymalizacyjnym opartym na programowaniu liniowym. Zadaniem programu jest znalezienie optymalnej wartości liniowej funkcji celu dla jednej lub wielu zmiennych, spełniając jednocześnie nałożone przez użytkownika ograniczenia. Funkcją celu jest zdyskontowana suma zaktualizowanej wartości strumienia kosztów rocznych generowanych przez system energetyczny w każdym roku rozpatrywanego horyzontu czasowego oraz regionach (Jaskólski 2005). Strumień kosztów rocznych obejmuje ponoszone nakłady inwestycyjne, koszty eksploatacyjne stałe, zmienne (koszt materiałów, zakupu nośników energii, koszt dostawy) oraz koszty korzystania ze środowiska. Od wyznaczonych kosztów rocznych odejmowane są przychody, wynikające ze sprzedaży np. energii, towarów poza badany obszar.

Obsługa programu MARKAL związana jest z koniecznością przyswojenia oznaczeń: parametrów stosowanych w programie, nazw technologii, nośników energii itp., które definiowane są za pomocą skrótów, co powoduje, że struktura modelu jest nieczytelna, szczególnie podczas pierwszego zetknięcia z programem. Przykładowe zestawienie oznaczeń przedstawiono w tabeli 2.

Program MARKAL nie posiada wbudowanej bazy danych, dlatego użytkownik zobowiązany jest do wprowadzenia szeregu parametrów wejściowych. Program zawiera informacje jakościowe, np. rodzaje nośników energii, typy technologii oraz ilościowe (parametry charakterystyczne dla stosowanych technologii itp.). W programie MARKAL, oprócz technologii konwersji, występują również technologie popytowe oraz grupa technologii określana jako procesy. Model wybiera tę kombinację technologii, która minimalizuje całkowity koszt systemu energetycznego. W każdym przypadku model znajduje najtańsze połączenie technologii, z nośnikami energii, które zaspokajają zapotrzebowanie na energię. Zapotrzebowanie na energię może być podzielone na

sektory, np. usługi, przemysł, gospodarstwa domowe, rolnictwo, transport lub według sposobu wykorzystania, tj. c.o., c.w.u., chłodzenie. Występuje również tzw. zapotrzebowanie nieenergetyczne. Zaletą programu MARKAL jest możliwość wykorzystania do:

- zidentyfikowania najmniej kosztownych systemów energetycznych oraz opłacalnych sposobów ograniczeń emisji substancji szkodliwych do środowiska naturalnego,
- sporządzania analizy długoterminowych bilansów energetycznych dla różnych scenariuszy,
- oceny nowych technologii i wskazania priorytetów dla dalszych prac badawczo-rozwojowych,
- oceny skutków wprowadzanych regulacji, systemu podatków czy dotacji oraz innych opłat,
- oceny projektów związanych z emisją gazów cieplarnianych,
- oszacowania wartości współpracy regionalnej (Answer... 2004).

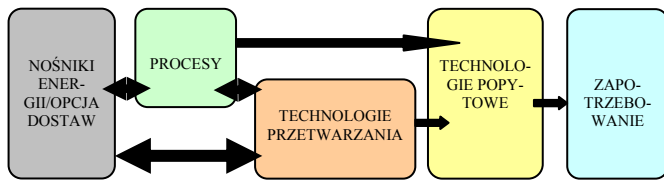
Tabela 2. Spis oznaczeń stosowanych w modelu

IMP	opcja dostaw: import
RNW	opcja dostaw: pozyskanie
BIO	biomasa
HCO	węgiel kamienny
NGA	gaz ziemny wysokometanowy
OLL	olej opałowy (lekki, ciężki)
OTH	pozostałe paliwa
ELC	energia elektryczna
LTH	ciepło (elektrownie i elektrociepłownie zawodowe, ciepłownie zawodowe)
L2H	ciepło (elektrociepłownie przemysłowe, ciepłownie niezawodowe)
L3H	ciepło (kotłownie lokalne i instalacje indywidualne)
RIB	zapotrzebowanie na ciepło – przemysł i budownictwo
RRES	zapotrzebowanie na ciepło – gospodarstwa domowe
RTRN	zapotrzebowanie na ciepło – transport i gospodarka magazynowa
RCOM	zapotrzebowanie na ciepło – pozostali odbiorcy
RRES1, RCOM1, RTRN1, RIB1	technologie odpowiadające zapotrzebowaniu na ciepło poszczególnych sektorów (LTH)
RRES2, RCOM2, RTRN2, RIB2	technologie odpowiadające zapotrzebowaniu na ciepło poszczególnych sektorów (L2H)
RRES3	technologie odpowiadające zapotrzebowaniu na ciepło poszczególnych sektorów (L3H)
RELC	ciepłownie na energię elektryczną (zdecentralizowane)
RLIQ	ciepłownie na paliwa płynne (zdecentralizowane)
RGAZ	ciepłownie na paliwa gazowe (zdecentralizowane)
RSOL	ciepłownie na paliwa stałe (zdecentralizowane)
RBIO	ciepłownie na biomasę (zdecentralizowane)
H10	elektrownie i elektrociepłownie zawodowe (+ kotły ciepłownicze energetyki zawodowej)
H20	elektrociepłownie przemysłowe
H30	ciepłownie zawodowe
H40	ciepłownie niezawodowe

3. ENERGETYCZNY SYSTEM ODNIESIENIA – RES (REFERENCE ENERGY SYSTEM)

Jednym z pierwszych kroków związanych z budową modelu w programie MARKAL jest opracowanie tzw. Energetycznego Systemu Odniesienia – RES. Energetyczny System Odniesienia można określić jako siatkę powiązań zasobów energii z zapotrzebowaniem na energię. Innymi słowy jest to graficzny schemat obrazujący model, jego elementy i złożoność. RES prezentuje przepływy energii, począwszy od energii zawartej w paliwach przez jej konwersję w wytypowanych technologiach, aż do zaspokojenia potrzeb energetycznych. Schemat

blokowy Energetycznego Systemu Odniesienia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy Energetycznego Systemu Odniesienia

4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA PROGRAMU MARKAL

W celu analizy badawczej zastosowania programu MARKAL do optymalizacji systemów energetycznych opracowano model zaopatrzenia w ciepło województwa śląskiego. Budowanie modelu energetycznego dla wydzielonego obszaru, np. województwa, wiąże się z kilkoma problemami. Użytkownik wydziela obszar, najczęściej zgodny z podziałem administracyjnym, ale w rzeczywistości przepływy energii odbywają się w sposób zupełnie nieograniczony administracyjnie. Energia elektryczna produkowana w jednym województwie przesyłana jest siecią przesyłową w inne regiony kraju – w województwie śląskim znajduje się duża liczba elektrowni systemowych o zasięgu ponadregionalnym. Krajowy system energetyczny współpracuje również z systemami międzynarodowymi. Ze względu na ograniczenia techniczno-ekonomiczne związane z niską efektywnością przesyłania nośnika ciepła na duże odległości, rynki ciepła mają charakter lokalny. Z tego też powodu w niniejszym artykule skupiono się na modelu zaopatrzenia w ciepło. Inną trudnością jest pozyskanie danych dotyczących lokalnego systemu zaopatrzenia w energię. Bardzo często modele energetyczne ograniczają się do optymalizacji części wytwórczej, z pominięciem części przesyłowo-rozdzielczej, tak jak ma to miej-

sce w przypadku modeli opartych na Energetycznym Systemie Odniesienia typu MARKAL.

4.1. Założenia modelowe

Przyjęte założenia dla modelu zaopatrzenia w ciepło województwa śląskiego:

Region: województwo śląskie.

Horyzont czasowy modelu: okres 2005–2030, podzielony na sześć okresów 5-letnich, przy czym każdy pojedynczy rok jest rokiem obliczeniowym w programie.

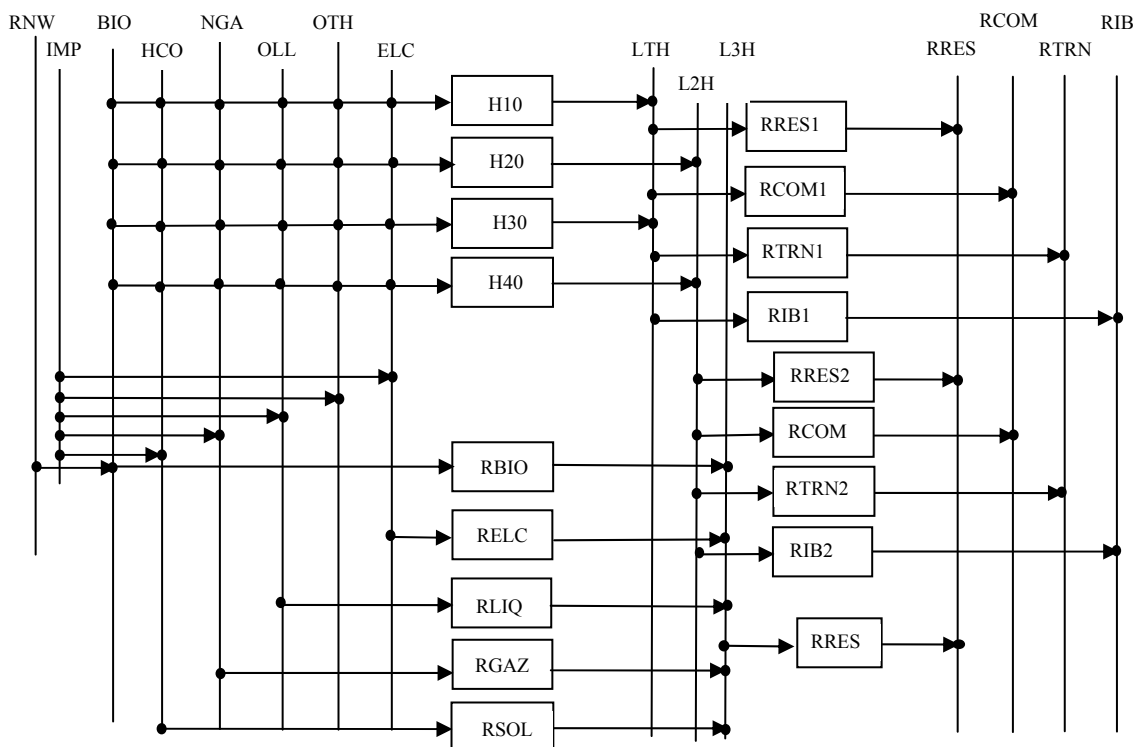
Nośniki energii/opcja dostaw: węgiel kamienny, gaz ziemny wysokometanowy, olej opałowy (lekki, ciężki), biomasa, pozostałe paliwa (klasyfikowane w programie indeksem OTH), energia elektryczna, ciepło podzielone według źródeł wytwórczych. Jako podstawową opcję pozyskania nośników energii wybrano import, z wyjątkiem biomasy, którą przydzielono do opcji pozyskania.

Technologie konwersji: w przedmiotowym modelu dla ciepła scentralizowanego zastosowano podział technologii konwersji zgodny z podziałem stosowanym w opracowaniach Agencji Rynku Energii SA (Statystyka... 2006–2011; 2008–2011). Elektrownie i elektrociepłownie zawodowe (+ kotły ciepłownicze energetyki zawodowej) zostały sklasyfikowane jako H10, elektrociepłownie przemysłowe jako H20, ciepłownie zawodowe – H30 i ostatnią grupę technologii stanowią ciepłownie niezawodowe – H40.

Dane ogólne: przyjęto stopę dyskontową na poziomie 6% (realna stopa oprocentowania kapitału).

W przedmiotowym modelu przyjęto kryterium ekonomiczne, tzn. minimalizację funkcji celu, która zapewni jak najniższe koszty pozyskania, przetworzenia, przesyłu i rozdziału ciepła.

Energetyczny System Odniesienia przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Energetyczny System Odniesienia dla przedmiotowego modelu

4.2. Obliczenia i opis

Obliczenia wykonane w trakcie budowy modelu: wprowadzono charakterystyki techniczno-ekonomiczne technologii konwersji H10, H20, H30, H40, RSOL, RGAZ, RLIQ, RBIO, RELC. Wyznaczono wydajność dystrybucji ciepła w każdym sezonie. Wprowadzono koszty eksploatacyjne związane z siecią dystrybucji oraz infrastrukturą przesyłową energii elektrycznej. Uwzględniono nakłady inwestycyjne na sieć przesyłową ciepła oraz koszty stałe eksploatacyjne infrastruktury przesyłowej ciepła. Wyznaczono ścieżkę starzenia się ciepłowni i elektrociepłowni. Określono górne ograniczenie mocy oraz górne i dolne ograniczenie wytwarzanej ilości ciepła. Ograniczono udziały poszczególnych typów ciepła (LTH, L2H, L3H) oraz wprowadzono ograniczenia na technologie RSOL, RGAZ, RLIQ według danych GUS o zużyciu paliw w gospodarstwach domowych (Zużycie... 2006–2010). Technologie RBIO i RELC zostały potraktowane jako technologie bilansujące produkcję i zapotrzebowanie na ciepło.

Dane niezbędne do budowy modelu zaopatrzenia w ciepło województwa śląskiego pochodzą głównie z opracowań Agencji Rynku Energii SA, Urzędu Regulacji Energetyki oraz Głównego Urzędu Statystycznego (Statystyka... 2006–2011; 2008–2011; Aktualizacja... 2011; Zużycie... 2007–2011; 2012; Infrastruktura... 2006–2012; Energetyka... 2009–2011). Stawki opłat za gazy i pyły emitowane do atmosfery zaczerpnięto z Obwieszczenia Ministra Środowiska w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska (Obwieszczenie... 2011).

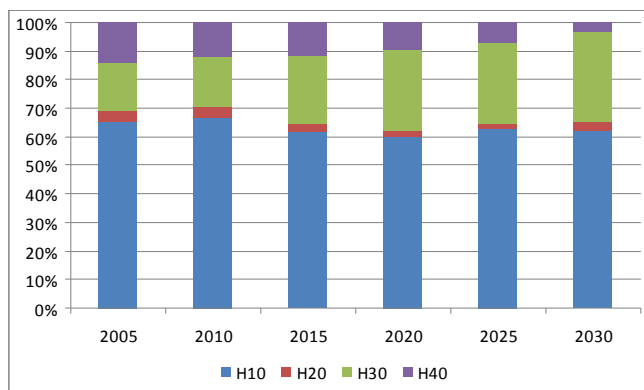
4.3. Wyniki i dyskusja

W wyniku optymalizacji modelu uzyskano najlepszą dla badanego systemu opcję pozyskania ciepła w województwie śląskim do roku 2030. Zgodnie z planowaną strukturą zaopatrzenia w ciepło opracowaną w programie MARKAL, w województwie śląskim do roku 2030 dominującym paliwem wykorzystywanym do produkcji ciepła będzie węgiel kamienny. Program „zapropozował” opcje technologiczne oparte na węglu kamiennym, zapewniając uzyskanie najniższego kosztu całego systemu energetycznego. Węgiel kamienny jest najtańszym nośnikiem energii, co przekłada się na konkurencyjność technologii wytwarzających ciepło z tego paliwa. Dominacja węgla kamiennego nad innymi paliwami wynika również z dostępności tego paliwa na rozpatrywanym obszarze modelowym (bliskość pokładów węgla) oraz posiadanej infrastruktury (układ nawęglania, składowisko węgla itp.). Obecnie największe zużycie węgla kamiennego występuje właśnie w województwie śląskim i stanowi blisko 30% zużycia krajowego, w przypadku gazu ziemnego udział wynosi 10% (Zużycie... 2011). Ceny ciepła sieciowego w dużych aglomeracjach są zwykle niższe od średnich cen krajowych. Ryzyko wzrostu cen węgla w stosunku do cen gazu w rozpatrywanym okresie jest również zdecydowanie mniejsze (Aktualizacja... 2011). Inne argumenty, przemawiające za tą opcją, to względy społeczne, ochrona miejsc pracy w górnictwie, brak ryzyka nieciągłości dostaw węgla i ryzyka politycznego w stosunku do gazu oraz aktualne i planowane porozumienia podmiotów wytwarzających energię elektryczną/ciepło z kopalniami węgla kamiennego. Na kolejnej pozycji wśród paliw wykorzystywanych do produkcji ciepła w województwie śląskim są sklasyfikowane paliwa gazowe z kilkunastoprocentowym udziałem w całym

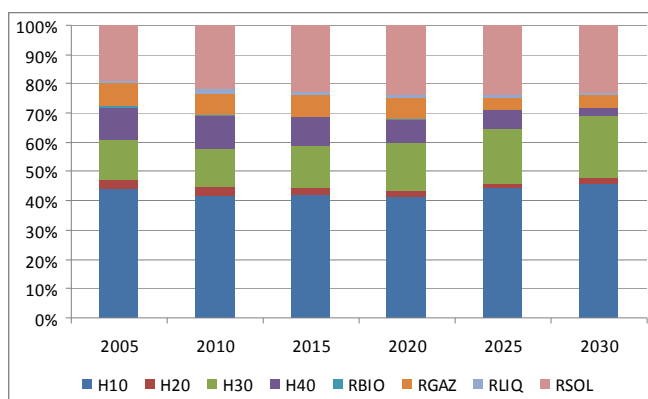
okresie badania. W przypadku oleju opałowego program wykazał systematyczną tendencję spadkową z poziomu 7% w roku bazowym do poziomu 2% w roku 2030.

Największy udział w produkcji ciepła na Śląsku mają obiekty energetyki zawodowej; w kolejnych latach zwiększy się udział ciepłowni zawodowych. Strukturę produkcji ciepła dla źródeł scentralizowanych przedstawiono na rysunku 3.

Strukturę mocy zainstalowanej źródeł wytwórczych przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 3. Struktura produkcji ciepła według źródeł scentralizowanych w województwie śląskim do roku 2030 [%]: H10 – elektrownie i elektrociepłownie zawodowe (+ kotły ciepłownicze energetyki zawodowej), H20 – elektrociepłownie przemysłowe, H30 – ciepłownie zawodowe, H40 – ciepłownie niezawodowe



Rys. 4. Struktura mocy zainstalowanej źródeł wytwórczych ciepła do roku 2030, województwo śląskie [%]: H10 – elektrownie i elektrociepłownie zawodowe (+ kotły ciepłownicze energetyki zawodowej), H20 – elektrociepłownie przemysłowe, H30 – ciepłownie zawodowe, H40 – ciepłownie niezawodowe, RSOL – ciepłownie na paliwa stałe (zdecentralizowane)

Bardzo ważne w modelowaniu MARKAL jest szczegółowe odwzorowanie systemu energetycznego oraz uwzględnienie wszystkich opcji i trendów przyszłościowych, mających wpływ na strukturę energetyczną rozpatrywanego obszaru modelowego. Przykładowo, źródła ciepła o mocy ≥ 20 MW oparte na paliwach kopalnych, muszą nabywać na rynku uprawnienia do emisji CO₂. Obowiązek zakupu tych uprawnień na aukcjach spowoduje wzrost cen ciepła. Największy wzrost cen będzie dotyczyć źródeł opartych na węglu pod koniec rozpatrywanego w modelu horyzontu czasowego¹. Z tych powodów zalecana jest rozbudowa modelu przez uwzględnienie wszystkich czynników oraz możliwych i dostępnych w przyszłości technologii wytwórczych i paliw, np. krajowego gazu łupkowego.

¹ <http://www.pwc.pl/>

5. PODSUMOWANIE

Program MARKAL został opracowany w celu optymalizacji rozwoju systemów energetycznych na różnych szczeblach: krajowym czy regionalnym. Wyniki modelowania MARKAL są cennym źródłem informacji w procesie decyzyjnym, szczególnie dla analityków i decydentów, ponieważ pomagają oszacować skutki zmian wprowadzanych w gospodarce określonego regionu.

Aby dobrać najmniej kosztowną konfigurację badanego systemu energetycznego użytkownik programu MARKAL musi dostarczyć kompletnych i szczegółowych danych dotyczących analizowanego systemu. Opracowanie kompletnej bazy danych dla rozpatrywanego systemu energetycznego do modelu MARKAL jest czasochłonne, co stanowi wadę nie tylko programu MARKAL, ale też większości modeli optymalizacyjnych.

Modele MARKAL dotyczą długoterminowego horyzontu czasu, dlatego niezbędne jest opracowanie prognoz, np. zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło, prawa majątkowe do świadectw pochodzenia energii, co wymaga poznania przyjętej metodyki opracowywania prognoz energetycznych, tj. model MAED, BALANCE lub skorzystania z metod regresyjnych. Popyt na energię w horyzoncie długoterminowym związany jest przede wszystkim z rozwojem gospodarczym, efektywnością energetyczną, liczbą ludności. Jest również zależny od panujących warunków atmosferycznych. Opracowanie prognoz zapotrzebowania na energię wymaga uwzględnienia wszelkich czynników wpływających na wielkość i koszt produkcji energii.

Program MARKAL ze względu na strukturę matematyczną opartą na programowaniu liniowym wybiera jedną opcję technologiczną, pomijając pozostałe, gdy brakuje zdefiniowanych ograniczeń (np. związanych z oddziaływaniem na środowisko). Otrzymane rezultaty modelowania potwierdzają liniowy charakter programowania. Model wybrał jako technologie priorytetowe w regionalnej strukturze systemu energetycznego opcje oparte na węglu kamiennym. Są to opcje technologiczne, zapewniające uzyskanie najniższego kosztu całego systemu energetycznego. Ze względu na uproszczoną strukturę modelu przedstawione wyniki mają charakter wy-

łącznie pokazowy i nie mogą stanowić podstaw strategii rozwoju systemu ciepłownictwa w województwie śląskim.

Literatura

1. Aktualizacja prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię do roku 2030. Warszawa, Agencja Rynku Energii SA 2011.
2. ANSWER v6 MARKAL, User Manual. Noble-Soft Systems Pty Ltd. 2004.
3. Capros P., Kokkolakis E., Mantzos L., Antoniou Y., Atsabet G. (1995): Midas 5.1 for EU-15. Model description.
4. Energetyka ciepła w liczbach w latach 2008–2010. Warszawa, Urząd Regulacji Energetyki 2009–2011.
5. IAEA (2001): International Atomic Energy Agency – Greenhouse Gas Mitigation Analysis Using ENPEP. A modeling guide. Vienna, Austria.
6. Infrastruktura Komunalna w 2005–2010. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny 2006–2012.
7. Jaskólski M. (2005): MARKAL – model matematyczny. Gdańsk, Politechnika Gdańska (niepublikowane).
8. Kruijn H. (1994): The EU Energy and Environmental Model EFOM-ENV Specified in Gams. Model description and users guide.
9. Loulou R., Goldstein G., Noble K. (2004): Energy Technology Systems Analysis Programme. Documentation for the MARKAL Family of Models.
10. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 4 października 2010 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2011. M. P. 2010 Nr 74, poz. 945.
11. Pikoń K. (2011): Model wielokryterialnej analizy środowiskowej złożonych układów technologicznych. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej.
12. Seebregts A.J., Goldstein G.A., Smekens K. (2000): Energy/Environmental Modeling with the MARKAL Family of Models. Washington, International Resources Group.
13. Statystyka Ciepłownictwa Polskiego (2007–2010). Warszawa, Agencja Rynku Energii (ARE) SA, 2008–2011.
14. Statystyka Elektroenergetyki Polskiej (2005–2010). Warszawa, Agencja Rynku Energii (ARE) SA 2006–2011.
15. Ziębik A., Szargut J. (1995): Podstawy gospodarki energetycznej. Gliwice, Politechnika Śląska.
16. Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2009 r. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny 2012.
17. Zużycie paliw i nośników energii w latach 2006–2010. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny 2007–2011.