

Wojciech SUWAŁA\*

## Problemy budowy i wykorzystania modeli komputerowych w gospodarce paliwami i energią

**STRESZCZENIE.** Złożoność problemów gospodarki paliwami i energią powoduje, że modele komputerowe są obecnie podstawowym narzędziem dla ich analiz. Żadna decyzja o wprowadzeniu regulacji w zakresie polityki energetycznej i ekologicznej nie obejdzie się bez wcześniejszych badań skutków, które można oszacować właśnie za pomocą modeli. Mimo dekad doświadczeń istnieje jednak w niektórych środowiskach pewna rezerwa, co do racjonalności ich stosowania. Najczęściej wynika to z niezrozumienia czym jest modelowanie i niedowierzania, że można modelować złożone procesy gospodarcze. Artykuł jest próbą wyjaśnienia tych wątpliwości i uzasadnienia stosowania modeli w gospodarce, zwłaszcza paliwowo-energetycznej. Artykuł rozpoczyna dyskusja o roli modeli jako narzędzia dla wspomagania podejmowania decyzji, bo jest to ich podstawowa rola. Wskazano na dynamikę procesów decyzyjnych i konieczność posiadania narzędzi dla zmniejszenia poziomu niepewności decyzji. Modele są jedynym narzędziem dostarczającym wskazówek ilościowych, niezależnie od stopnia skomplikowania samego modelu. W dalszej części artykułu omówiono podstawowe metody modelowania wykorzystywane w gospodarce paliwami i energią, to jest programowanie matematyczne, dynamikę systemową i ekonometrię. Kolejno omówiono proces budowy modeli, wskazując na rolę wiedzy teoretycznej i praktycznej jako podstawy formułowania modeli, przy czym pewne limity stanowi także dostęp do wymaganych danych. Konstruowanie scenariuszy dla obliczeń modelowanych jest ważne ze względu na takie ich dobranie, aby wyznaczyć granice obszaru zawierającego możliwe trajektorie rozwoju systemu. Przez to określa się względny zakres niepewności, uświadamiając stopień ryzyka podejmowania

---

\* Dr hab. inż., prof. AGH – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków, e-mail: wojciech.suwala@agh.edu.pl

decyzji. W ostatniej części podano przykłady wykorzystania wyników ze zwróceniem uwagi na ich praktyczne znaczenie dla decyzji o budowie systemów regulacji czy wykorzystanie wyników wprost jako działań optymalnych.

Artykuł podkreśla dużą rolę modeli w przygotowaniu racjonalnych decyzji gospodarczych, które przy stale narastającej złożoności i dynamice warunków ich podejmowania wymagają odpowiedniego wsparcia.

SŁOWA KLUCZOWE: systemy paliwowo-energetyczne, metodyka modelowania, programowne matematyczne, ekonometria, dynamika systemowa

## 1. Miejsce modelowania w procesie podejmowania decyzji

Modele są tworzone dla wspomagania podejmowania decyzji gospodarczych, nie zastępują decydenta, jedynie dostarczają mu informacji potrzebnych dla podjęcia racjonalnych decyzji lub oceniają skutki proponowanych działań.

Najtrudniejszym zadaniem w procesach gospodarczych jest podejmowanie decyzji w warunkach niepewności. Wynika ona między innymi z:

- ✧ niepełnej znajomości czynników warunkujących podejmowanie decyzji,
- ✧ roli czynników losowych, politycznych i subiektywnych,
- ✧ braku ilościowej oceny skutków decyzji.

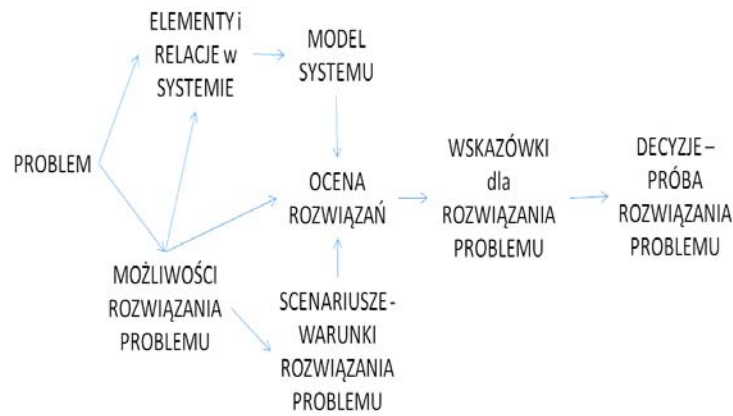
Warunki te powodują, że decydent jest często skazany na podejmowanie decyzji po części „w ciemno”, czy też na podstawie swojego zdrowego rozsądku, bazując na doświadczeniach z przeszłości. Decyzje takie są często racjonalne i najlepsze z możliwych, ale decydent chciałby znać wcześniej ich skutki, zwłaszcza ocenę ilościową. Jak dotąd jedynie modele są narzędziem, które się w tym sprawdza. Nie muszą to być modele bardzo zaawansowane, złożone, o tysiącach zmiennych i równań. Często wystarczy prosty model, ujmujący zależności podstawowe dla danego problemu, dostarczając jednak informacje konieczne dla jego rozwiązania.

Wykorzystanie mniej lub bardziej złożonego modelu jest częścią procesu rozwiązywania problemu podejmowania decyzji, którego uproszczony schemat pokazano na rysunku 1.

Przedstawione podejście i postępowanie wywodzi się z metod systemowych (obecnie często nazywanych holistycznym), praktycznie jednak jest stosowane w wielu naukach i przy poszukiwaniu rozwiązań problemów (złożonych) w wielu obszarach gospodarki czy polityki.

Istotą przedstawionego procesu jest wykorzystanie obrazu systemu do budowy modelu, a tego z kolei do oceny skutków ilościowych proponowanych rozwiązań problemu.

Identyfikacja systemu, wyróżnienie elementów i łączących je relacji jest podstawą nie tylko dla budowy modelu, ale przede wszystkim do ustalenia takich działań, które mogą się przyczynić do rozwiązania postawionego problemu. Obraz systemu nie jest jednoznaczny, jest tworzony dla rozwiązania konkretnego problemu, a więc inny dla każdego z nich. Z tego obrazu trzeba wywieść sposoby rozwiązania problemu, a te z kolei uwzględnić w strukturze



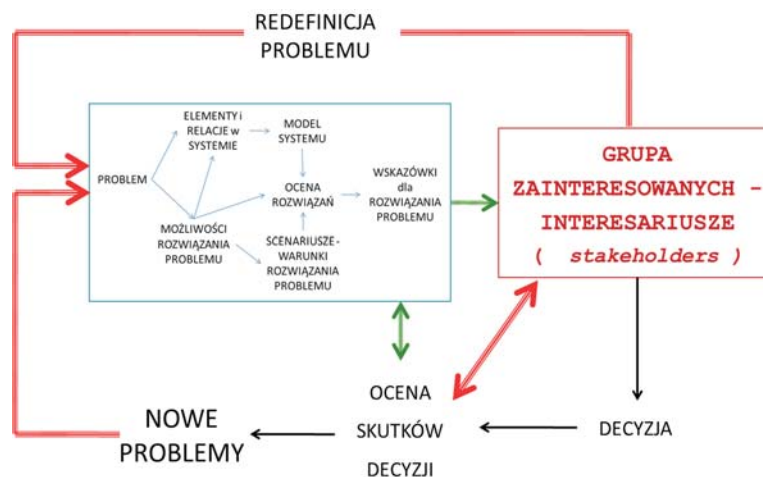
Rys. 1. Proces rozwiązywania problemu i podejmowania decyzji z wykorzystaniem modelu

Fig. 1. Problem solving and decision making using models

modelu, który ocenia ilościowo skutki proponowanych rozwiązań. Modele często są również budowane tak, aby wskazać optymalne decyzje wiodące do rozwiązania problemu.

Podjęcie decyzji wymaga oceny jej skutków, jeśli nie zostały wcześniej oszacowane. Decyzja nie musi być całkowicie zgodna ze wskazaniami modelu, ten zawiera wiele uproszczeń, ponadto mogą ulec zmianie warunki rozwiązywania problemu. Sytuacja nie jest więc statyczna i odpowiednie badania są prowadzone w sposób niemal ciągły (rys. 2).

Model buduje się zazwyczaj dla rozwiązywania określonej grupy problemów. Nie ma modeli uniwersalnych mogących rozwiązać nawet najważniejsze problemy sektora (przeгляд metod można znaleźć w Labys 1999). Stąd konieczność budowy nawet kilku modeli dla potrzeb analiz jednego problemu, np. dla oceny skutków regulacji środowiskowych potrzebne są modele:



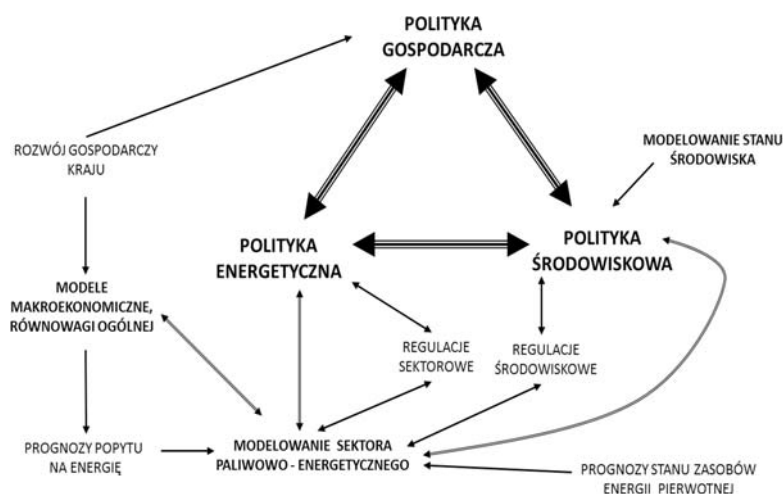
Rys. 2. Miejsce procesu rozwiązywania problemu i podejmowania decyzji w dynamice zarządzania systemami

Fig. 2. Problem solving and decision making using models

- ❖ sektora paliwowo-energetycznego, dla oceny skutków różnych regulacji i ich skali oraz wybrania racjonalnego sposobu regulacji,
- ❖ dyspersji zanieczyszczeń, dla oszacowania korzyści z regulacji i wyboru racjonalnej skali regulacji,
- ❖ równowagi ogólnej dla oszacowania skutków regulacji dla całej gospodarki.

Każdy z tych modeli jest tworzony inną metodą wykorzystującą odpowiednią wiedzę.

Na rysunku 3 pokazano powiązania decyzji politycznych i wykorzystanie modeli dla ich wspomagania.



Rys. 3. Powiązania decyzji politycznych i wykorzystanie modeli

Fig. 3. Policies decisions and models' use

W trójkącie polityki gospodarczej, energetycznej i środowiskowej powstają najważniejsze decyzje o kierunkach rozwoju energetyki, a modele są jednym z podstawowych narzędzi wspomagania podejmowania tych decyzji. Dostarczają informacji, które redukują stopień niepewności decyzji, w niektórych przypadkach mogą wręcz jednoznacznie wskazać optymalną decyzję.

## 2. Podstawowe metody modelowania

Wskazówki dla rozwiązania problemu można uzyskać przez wskazanie decyzji optymalnych lub ocenę proponowanych rozwiązań. Oba te zadania spełniają modele optymalizacyjne i symulacyjne, stąd też są dwiema podstawowymi metodami w gospodarce paliwowo-energetycznej. Niejako pomocniczą rolę, choć w innych naukach jest to metoda podstawowa, pełnią metody szacowania parametrów (współczynników) równań. Te trzy ogólne metody (paradygmaty) to w szczególności:

- ✧ programowanie matematyczne,
- ✧ dynamika systemowa,
- ✧ ekonometria.

Podział ten nie jest jednoznaczny, bo niekiedy programowanie matematyczne włącza się do metod ekonometrycznych.

Z metod programowania matematycznego najczęściej stosuje się liniowe oraz komplementarne. To pierwsze pozwala budować i stosować modele o dużych rozmiarach, pozwalające na ujęcie rozbudowanych systemów paliwowo-energetycznych. Celem jest optymalizacja rozwoju systemu w warunkach określonych ograniczeniami. Model minimalizuje całkowity koszt funkcjonowania systemu lub maksymalizuje sumę nadwyżek konsumenta i producenta, to jest ustala równowagę cząstkową na rynkach paliw i energii.

Ogólna postać modelu programowania liniowego jest następująca:

$$\max \sum_{j \in J} c_j x_j$$

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \leq b_i \quad \forall i \in I$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{dla } \forall j \in J$$

- gdzie:  $j$  – indeks zmiennych,  
 $J$  – zbiór zmiennych,  
 $i$  – indeks równań (nierówności),  
 $I$  – zbiór równań (nierówności),  
 $x_j$  – zmienna decyzyjna,  
 $c_j$  – współczynniki funkcji celu,  
 $a_{ij}$  – parametry modelu,  
 $b_i$  – wartości ograniczeń.

Powyżej pokazano zadanie maksymalizacji, odpowiednio można sformułować zadanie minimalizacji z odwrotnym kierunkiem ograniczeń.

Zmiennymi decyzyjnymi są najczęściej moce produkcyjne technologii, przepływy paliw i energii, poziomy emisji i inne charakterystyki funkcjonowania systemu. Ograniczenia tworzą warunki, w jakich rozwija się modelowany system, i najczęściej określają:

- ✧ dostępność energii pierwotnej, przede wszystkim źródeł odnawialnych,
- ✧ popyt na energię końcową,
- ✧ dopuszczalne przepływy paliw i energii, np. z powodu ograniczeń transportowych,
- ✧ wymagana struktura produkcji, np. udział energetyki odnawialnej,
- ✧ limity emisji,
- ✧ ograniczenia lub wymuszenia dotyczące zdolności produkcyjnej określonych technologii, np. wymuszenie lub ograniczenie budowy elektrowni jądrowej.

Przez ograniczenia lub inne parametry modelu (opłaty emisyjne) można wprowadzać scenariusze warunków funkcjonowania lub charakterystyki regulacji i badać ich wpływ na rozwój systemu. Metoda ta wymaga liniowych relacji łączących zmienne i formułujących równania, ponadto specyficznych warunków dotyczących charakterystyk systemu (całkowalności).

Metoda dynamiki systemowej pozwala uwzględniać złożone relacje między elementami systemu, zwłaszcza nieliniowe, ciągłe i nieciągłe, a takie często odpowiadają realnym warunkom funkcjonowania systemów i podejmowania decyzji. Stwarza to niebagatelne możliwości symulowania zachowania się systemu i uzyskiwania ocen złożonych oddziaływań. Wadą tej metody jest brak rozwiązań optymalnych; nie uzyskuje się tu najkorzystniejszych rozwiązań, te trzeba znaleźć przez wielokrotne symulacje z różnymi parametrami systemu. Podstawy tej metody to symulowanie stanów systemu w kolejnych okresach czasu (latach). Ogólna postać równania tej metody to:

$$X_{i,t} = C + \sum_{j=1}^{i-1} f_{i,j}(X_{j,t}) + \sum_{j=1}^N \sum_{\tau=1}^{t-1} g_{i,j}(X_{j,\tau}) \quad \forall i = 1, \dots, N; \quad \forall t = 1, \dots, T;$$

gdzie:  $X$  – zmienna zależna,  
 $i, j$  – indeksy zmiennych,  
 $\tau, t$  – indeksy czasu,  
 $C$  – stała, najczęściej wartość początkowa zmiennej ( $X_{i,0}$ ),  
 $f_{i,j}, g_{i,j}$  – funkcje zależności zmiennej  $i$ , od zmiennej  $j$ ,  
 $N$  – liczba zmiennych,  
 $T$  – liczba okresów czasu.

Podręczniki tej metody mówią o elementach typu zbiornik i przepływy strumieni, jednak podana postać jest zgodna z takim ujęciem.

Metoda ekonometryczna wykorzystywana jest do szacowania parametrów równań, zwłaszcza takich, które formułują relacje między zmiennymi ekonomicznymi. Daje relacje, które są wykorzystywane w innych modelach, zwłaszcza dynamiki systemowej. Przykładem może być złożona funkcja popytu z asymetrycznymi reakcjami na zmiany cen.

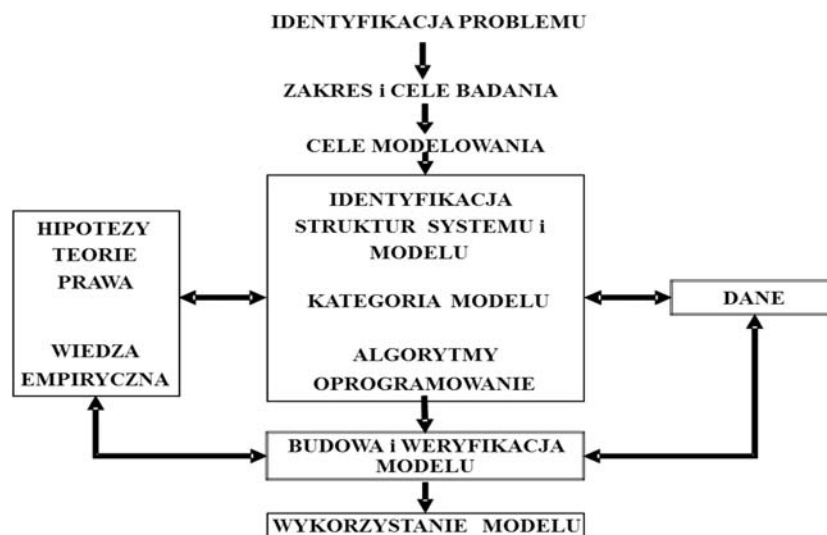
Tendencją ostatnich lat jest budowanie modeli hybrydowych, wykorzystujących wszystkie metody. Doświadczenia z prostszymi modelami wykazały ich wady, przede wszystkim brak możliwości ujęcia wszystkich istotnych a złożonych relacji. Systemy modeli takie jak NEMS *National Energy Modeling System* (NEMS Overview) czy PRIMES (The PRIMES Model) są konstrukcjami złożonymi z modułów, z których każdy jest odrębnym modelem sektora podaży lub popytu, a moduł integrujący koordynuje obliczenia poprzez odpowiednie przesyłanie danych między modułami. Wymieniane między modułami dane to głównie ceny, podaż i popyt na energię. Ponieważ obliczenia te mają charakter iteracyjny (moduły nie są rozwiązywane równocześnie), moduł integrujący modyfikuje dane tak, aby osiągnąć zbieżność w jak najmniejszej liczbie iteracji.

Modele podlegają weryfikacji pod względem zbieżności wyników z danymi rzeczywistymi oraz walidacji, czyli oceny zdolności do rozwiązywania postawionego problemu.

Dopiero po takim badaniu modele nadają się do wykorzystania w praktyce. Trzeba jednak zaznaczyć, że wyniki modeli – zwłaszcza programowania matematycznego – mogą odbiegać od danych rzeczywistych. Powodów jest wiele, a do najważniejszych należą: brak teorii czy znajomości mechanizmów wyjaśniających modelowane procesy, uproszczenia zastosowane w modelach, czynniki losowe i subiektywne, błędy w modelach. Mimo tego, jak dotąd nie znaleziono lepszych metod wspomagania podejmowania decyzji, zwłaszcza w energetyce.

### 3. Proces budowy modelu

Budowa modelu jest procesem wieloetapowym, z koniecznością wielokrotnych modyfikacji struktury modelu, w sensie układu równań, a nawet koncepcji modelu. Na rysunku 4 przedstawiono zasadnicze elementy związane z budową modeli. Najważniejsze z nich to cel modelowania, wiedza o relacjach w systemie i dane; decydują o tym jaki model powstanie i jakie będą możliwości jego wykorzystania. Należy jednak podkreślić rolę wiedzy, zarówno teoretycznej jak i praktycznej, które dają podstawy dla budowy modelu, to jest wskazówki co do wyboru istotnych relacji między elementami systemu, które ujmowane są w równania i nierówności modelu. Praktycznie dotyczą one związków, które nie mają złożonej formuły matematycznej, bo związki te to bilanse paliw i energii, związki technologiczne wiążące proporcje produkcji, wcześniej wspomniane ograniczenia i w końcu relacje ekonomiczne. Te ostatnie mogą być bardziej złożone dla modeli rynków oligopolistycznych, a takie dominują w sektorach paliwowych i energetycznych (niektóre problemy



Rys. 4. Proces budowy modelu

Fig. 4. Model building process

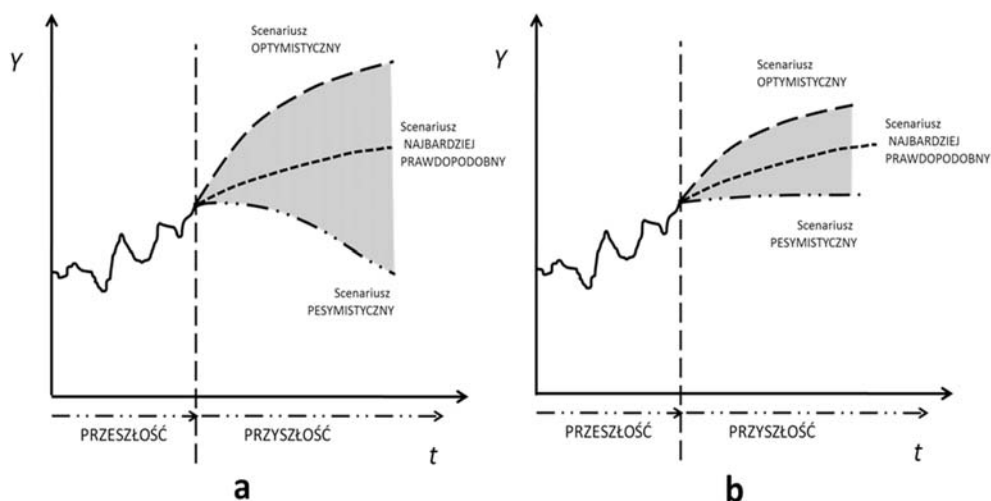
poruszono w publikacji Suwała 2010, modele oligopolistycznych rynków energii elektrycznej są przedmiotem pracy Kamiński 2012).

## 4. Scenariusze dla obliczeń

Obliczenia modelu mają dać rezultat w postaci danych wspomagających rozwiązanie postawionego problemu. Warunki, w jakich problem jest rozwiązywany lub możliwe warianty działań są przedstawiane w formie scenariuszy, zestawu wartości parametrów charakteryzujących otoczenia systemu lub proponowane rozwiązania problemu. Scenariuszy jest zazwyczaj kilka, tak aby ująć najbardziej prawdopodobne stany systemu lub proponowane rozwiązania. W pewnym sensie powinny one pokryć cały obszar, w którym mogą znaleźć się przeszłe trajektorie rozwoju i funkcjonowania systemu. W typowym przypadku tworzy się scenariusze optymistyczne, najbardziej prawdopodobne i pesymistyczne, właśnie dla oznaczenia granic obszaru, w którym system będzie się rozwijał i zostanie oszacowany zakres niepewności – jej relatywna ocena (rys. 5). Jest to jeden z ważniejszych wyników modelu, przyczyniający się do zmniejszenia stopnia niepewności.

Często formułowanym scenariuszem jest zbiór charakterystyk odniesienia, referencyjnych albo nazywanych *business as usual*, dla ustalenia poziomu, do którego porównuje się inne scenariusze.

Ważną cechą scenariuszy jest ich wewnętrzna zgodność, to jest takie zestawy wartości parametrów, które wystąpią razem z największym prawdopodobieństwem. Scenariusz optymistyczny zakłada silny wzrost gospodarczy, wzrost popytu i zaostrenie regulacji śro-



Rys. 5. Przykład określenia dużego (a) i małego (b) obszaru niepewności

Fig. 5. Examples of large (a) and small (b) uncertainty area



dowiskowych, których koszty będzie można w takich warunkach ponieść, a które nie byłyby akceptowalne dla warunków niskiego rozwoju i popytu.

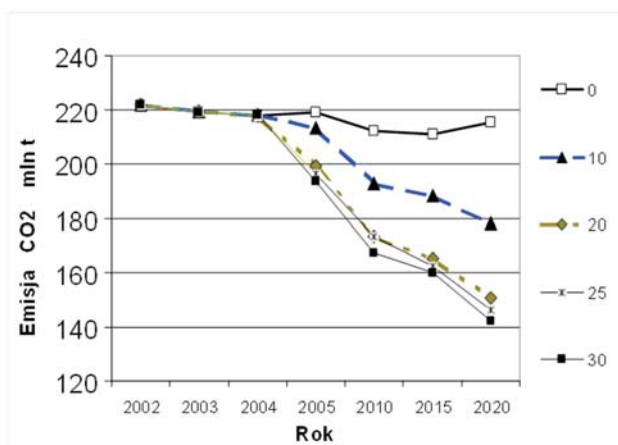
Możliwość wskazania rozwiązań dla wielu scenariuszy jest jedną z najważniejszych zalet stosowania modelowania. Pozwala ocenić ilościowo skutki wielu decyzji, porównywać je, modyfikować scenariusze, po to aby uzyskać jak najwięcej informacji potrzebnych do podjęcia racjonalnych decyzji.

## 5. Wykorzystanie wyników modeli

Wyniki modeli to zbiór nierzadko tysięcy szeregów wartości zmiennych dla różnych scenariuszy obliczeń. Należy spośród nich znaleźć te, które będą wskazówkami dla podejmowania decyzji. Widać więc, że należy model budować tak, aby takie wskazówki dawał bezpośrednio lub ich uzyskanie wymagało niewielkich przeliczeń.

Analiza wyników może iść w dwóch kierunkach: jeden związany z prognozowaniem stanu systemu, drugi z poszukiwaniem rozwiązań problemu. W przypadku pierwszego ocenia się skutki pewnych działań i ich skali, przez porównanie charakterystyk stanu systemu. Przykładem niech będzie poniższy rysunek, który pokazuje poziom emisji CO<sub>2</sub> w polskim systemie wytwarzania energii elektrycznej i ciepła przy wzroście cen uprawnień do emisji w skali od zera do 30 €/t od roku 2005 (rys. 6).

Przy zerowej cenie uprawnień uzyskuje się pewien spadek emisji, który jest wynikiem stosowania technologii o wysokich sprawnościach i o niższych emisjach wszystkich polutantów. Wzrost ceny uprawnień zmniejsza poziom emisji, z tym że wyraźnie widać, że ceny powyżej 20 €/t nie prowadzą do istotnego jej obniżenia. Wyniki te skonfrontowane



Rys. 6. Przykład wyników, poziom emisji dla różnych scenariuszy wzrostu cen uprawnień (€/t) do emisji CO<sub>2</sub>  
Źródło: Suwała 2007

Fig. 6. Examples of results, emissions for different levels of CO<sub>2</sub> emissions allowances prices (€/t)

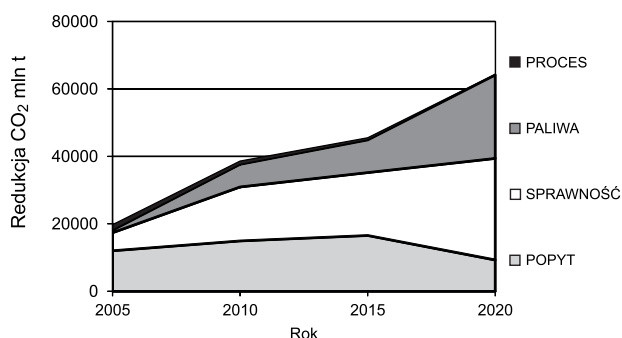
z kosztami dostaw energii pozwolą wybrać taki wariant, który da obniżenie emisji przy akceptowalnym poziomie wzrostu cen energii. Warto tu zwrócić uwagę na podejście do wyników. Dla okresów przeszłych powinny dać wyniki zbieżne z danymi historycznymi. Najczęściej występują pewne różnice (Suwała 2011), ale to nie deprecjonuje ich wartości, bo duży ładunek informacyjny mają wyniki względne. W przedstawionym powyżej przykładzie ważne jest to, że zwiększanie opłat powyżej pewnej granicy, rzędu 20 € nie da efektów, że np. wzrost cen energii elektrycznej będzie rzędu kilku procent nie kilkunastu.

Innym przykładem tych wyników jest dekompozycja efektów redukcji emisji CO<sub>2</sub> (rys. 7). Wyróżniono efekt procesowy, tu minimalny związany tylko z wykorzystaniem węgla o lepszej jakości, paliwowy to zamiana paliw na niskoemisyjne, sprawności – poprawy efektywności przemian energetycznych i popytowy związany ze zmniejszeniem popytu reagującego na zwiększenie ceny energii elektrycznej.

Wyniki takie są wskazówkami dla przygotowania regulacji. Widać, że nie ma skutków zwiększania cen uprawnień do emisji ponad pewną granicę, dalej w krótkim czasie najsilniej działa zmniejszenie popytu, w długim efekt poprawy sprawności jest nieco większy niż zamiany paliw. Innym bardzo wartościowym wynikiem jest tak zwany mix energetyczny, który daje inwestorom wskazówki, jakie technologie są optymalne w warunkach określonych np. regulacjami środowiskowymi.

Wyniki drugiego typu – rozwiązania optymalne, to na przykład system optymalizacji dostaw węgla brunatnego w zespole kopalni i elektrowni PAK, gdzie optymalizowano wydobywanie pod kątem spełnienia wymagań jakościowych dostaw (Suwała i in. 2002).

Jednym z interesujących, choć często pomijanych wyników, są wartości zmiennych dualnych ograniczeń, które wyznaczają wartość jednostki danego ograniczenia dla systemu. Jeśli model minimalizuje koszty systemu przy ograniczeniu emisyjnym, to wartość dualna tego ograniczenia określi o ile spadną/wzrosną koszty systemu przy zwiększeniu/zmniejszeniu limitu emisji. Koszt ten włącza różnego rodzaju działania, zmianę paliw czy koszty instalacji redukcji emisji, stąd jest bardzo wartościowym wynikiem. Wartością dualną dla ograniczenia minimalnego popytu na energię jest koszt jej wytworzenia, czyli cena. Można ją wykorzystać w innych obliczeniach czy modelach, ale byłoby pożądane jednocześnie



Rys. 7. Przykład wyników, dekompozycja efektów redukcji emisji CO<sub>2</sub>  
Źródło: Suwała 2008

Fig. 7. Examples of results, decomposition of CO<sub>2</sub> emissions effects

badanie jej wpływu na popyt czy inne charakterystyki systemu. Takie możliwości tworzy programowanie komplementarne, bardziej złożone w stosunku do programowania liniowego, w którym część zmiennych to właśnie dualne. Ponadto do tej metody można bezpośrednio transponować warunki równowagi rynkowej dla systemu (tzw. warunki Karusha–Kuhna–Tackera).

## Podsumowanie

Modele komputerowe stały się podstawowym narzędziem analiz rozwoju systemów gospodarczych, w tym przede wszystkim paliwowo-energetycznych. Każdy większy kraj, organizacje międzynarodowe i regionalne dysponują nawet kilkoma modelami dla badania perspektyw i optymalizowania decyzji. Podstawowym zastosowaniem modeli jest wspomaganie podejmowania decyzji, które dla współczesnych sektorów paliw i energii wiążą się z niespotykanym dotychczas poziomem niepewności.

Artykuł przybliży problematykę budowy i wykorzystania modeli w gospodarce paliwami i energią. Jego zadaniem jest przedstawienie celów i problemów budowy oraz kierunków i korzyści z ich stosowania.

Artykuł przygotowano w ramach prac statutowych AGH

## Literatura

- KAMIŃSKI J. 2012 – Siła rynkowa w krajowym sektorze wytwarzania energii elektrycznej: zagadnienia wybrane. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- LABYS W.C., 1999 – Modeling Mineral and Energy Markets. Kluwer Academic Publisher.
- NEMS Overview <http://www.eia.gov/oiaf/aeo/overview/>
- SUWAŁA W., 2007 – *Perspectives of clean coal technologies in Poland*, Proceedings of the NEEDS FORUM 2 – Energy Supply Security, Present and Future Issues, Krakow, 2007
- SUWAŁA W., 2008 – Perspektywy technologii węglowych w energetyce w warunkach ograniczenia emisji dwutlenku węgla. *Polityka Energetyczna* t. 11, z. 1, s. 489–499.
- SUWAŁA W., 2010 – Problemy ekonomiczne modelowania systemów paliwowo-energetycznych. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2, s. 435–449.
- SUWAŁA W., 2011 – Modelowanie systemów paliwowo-energetycznych. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 190.
- SUWAŁA i in. 2002 – SUWAŁA W., KUDEŁKO M., KASZTELEWICZ Z., KOZIOŁ W., 2002 – Model komputerowy dla sterowana jakością produkcji w Kopalni Węgla Brunatnego „Konin”. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* nr 98. Seria: Konferencje nr 34. III Międzynarodowy Kongres Górnictwa węgla brunatnego, Bełchatów, s. 447–455.
- The PRIMES Model – [http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/index.php?option=com\\_content&view=category&id=35&Itemid=80&lang=en](http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/index.php?option=com_content&view=category&id=35&Itemid=80&lang=en)

Wojciech SUWAŁA

## Design and use of models in the fuel and energy economy

### Abstract

The complexity of fuels and energy systems development makes mathematical modelling the basic tool for their analyses. Decisions on energy or environmental policy regulation are always preceded by impact assessment, which is an analysis performed using a variety of models. Despite decades of the application of models, they are still questioned as a reliable tool for such research. The doubts come mainly from the perceived impossibility of modeling such complex relationships. This paper is an attempt to clarify the doubts and justify the application of models, especially in fuels and energy systems.

The first section of this analysis is a description of the role of models as a tool for decision making support. The dynamics of the decision making processes are underlined as well as the necessity of support systems to lower the level of uncertainty. Models are a unique tool which can deliver quantitative assessment, irrespective of the complexity of the model. Even simple models which consider basic relationships in systems are useful. In the second part of the analysis, three methods of modelling of fuels and energy systems are briefly described: mathematical programming, systems dynamics, and econometrics. The analysis then characterizes the process of model building as the merger of theoretical knowledge, experiences, and access to required data. The formation of scenarios for the models' calculations are important, as their proper selection can provide boundaries for the area of possible trajectories of system development. In this way, the relative level of uncertainty as well as the level of decision risk are determined. The last part presents examples of using the results of the models with emphasis on their relevance for the decisions necessary to develop regulatory systems and their direct use for choosing optimal actions.

The paper underlines the role of models in decision making which requires support, especially under the present circumstances of the increasing complexity and dynamics of relations relevant for systems' development.

KEY WORDS: fuels and energy systems, modelling, mathematical programming, system dynamics, econometrics