

Jacek KAMIŃSKI*

Wyniki analizy wrażliwości modelu równowagi cząstkowej na krajowym rynku energii elektrycznej

STRESZCZENIE. W artykule przedstawiono wyniki analizy wrażliwości modelu równowagi cząstkowej na krajowym rynku energii elektrycznej. Analiza wrażliwości jest integralnym elementem procesu budowy matematycznych modeli systemów paliwowo-energetycznych. Głównym jej celem jest sprawdzenie, czy model właściwie odpowiada na zadane zmiany parametrów (danych) modelu, oraz które z nich mają największy wpływ na badany system. W przyjętej metodyce analizy wrażliwości zmieniano następujące parametry modelu: (i) referencyjne zapotrzebowanie na moc elektryczną, (ii) sprawność wytwarzania energii elektrycznej, (iii) cena węgla kamiennego, (iv) cena węgla brunatnego. Model był rozwiązywany dla zadanych, skokowych zmian wyszczególnionych parametrów wejściowych (w krokach co 5%). Analiza wrażliwości prowadzona była w zakresie 80–120% wartości bazowych. Jako wskaźniki czułości modelu wybrano następujące zmienne: (i) roczną produkcję energii elektrycznej, (ii) średnią roczną cenę hurtową energii elektrycznej, (iii) całkowitą roczną emisję CO₂ (związaną z produkcją energii elektrycznej), (iv) całkowitą roczną emisję SO₂ (związaną z produkcją energii elektrycznej), (v) zagregowane koszty zmienne wytwarzania energii elektrycznej, (vi) nadwyżkę producentów, (vii) zużycie węgla kamiennego do produkcji energii elektrycznej. Podobnie jak większość modeli budowanych dla systemów paliwowo-energetycznych zbudowany model jest najbardziej czuły na zmiany referencyjnych wartości zapotrzebowania na moc elektryczną. W wyniku przeprowadzonej analizy wrażliwości modelu równowagi cząstkowej stwierdzono, że poprawnie odpowiada on na zadane wymuszenia. Tym samym można go zastosować do prowadzenia badań ilościowych funkcjonowania sektora wytwarzania energii elektrycznej.

* Dr inż. – adiunkt, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Pracownia Polityki Energetycznej i Ekologicznej, Kraków; e-mail: kaminski@meeri.pl

Wprowadzenie

Model matematyczny odzwierciedlający funkcjonowanie dowolnego systemu realnego, po jego implementacji w odpowiednim środowisku modelowania, powinien być zawsze poddany walidacji, która polega na zbadaniu, czy poprawnie odwzorowuje on zjawiska rzeczywiste w kontekście jego planowanego wykorzystania w procesie podejmowania decyzji. Walidacja modelu jest zwykle stosunkowo skomplikowana do przeprowadzenia, ponieważ badacz zazwyczaj nie ma możliwości przeprowadzenia eksperymentu potwierdzającego jego właściwe funkcjonowanie na systemie realnym. Szczególnie złożonym problemem jest walidacja długoterminowych modeli wykorzystujących metodykę programowania matematycznego (szerzej: Suwała 2011). Ponadto, sama walidacja modelu, która powinna być całkowicie obiektywna, jak słusznie zauważył Greenberg (1988), w praktyce sprowadza się do subiektywnego porównania i oceny wyników modelu.

Jedną z podstawowych metod walidacji – wykorzystywanych na szeroką skalę, zwłaszcza w przypadku modeli systemów paliwowo-energetycznych – jest analiza wrażliwości modelu, często nazywana również analizą czułości. Głównym celem jej przeprowadzania jest odpowiedź na pytanie, czy model właściwie reaguje na zadane przez użytkownika wymuszenia. W przypadku modeli systemu wytwarzania energii elektrycznej zazwyczaj badany jest wpływ najważniejszych parametrów (takich jak popyt na energię elektryczną, podaż nośników energii pierwotnej, limity emisji itp.) na kluczowe zmienne obliczane w modelu (produkcja i ceny energii elektrycznej, emisje zanieczyszczeń gazowych i pyłowych, koszty wytwarzania, zyski producentów, wartość funkcji celu itp.).

W praktyce budowy modeli matematycznych systemów wytwarzania energii elektrycznej badanie czułości modelu przeprowadza się zazwyczaj według następującej procedury:

- (i) zmienia się w określonych granicach analizowany parametr modelu,
- (ii) rozwiązuje się model matematyczny przy różnych wartościach tego parametru,
- (iii) zapisuje się wyniki (wartości zmiennych) dla poszczególnych rozwiązań,
- (iv) po uzyskaniu wszystkich rozwiązań porównuje się wartości zmiennych modelu.

Procedura ta najczęściej programowana jest przez badacza w sposób umożliwiający automatyczne wykonanie wszystkich niezbędnych obliczeń (czyli punktów (i) do (iii)). Warto zwrócić uwagę, że czas potrzebny do przeprowadzenia analizy wrażliwości jest wielokrotnością czasu rozwiązania pojedynczego scenariusza modelu. Dlatego też – zwłaszcza w przypadku modeli, których czas rozwiązania jest stosunkowo długi (np. kilka godzin) – szczególnie zalecane jest odpowiednie zaplanowanie, zaprojektowanie i zaprogramowanie automatycznej analizy wrażliwości. Inną możliwością jest przeprowadzenie jedynie pewnej ograniczonej liczby obliczeń modelowych (np. wysokie/niskie ceny paliw, wysokie/niskie ceny uprawnień do emisji CO₂ – takie podejście wykorzystano w badaniach, których celem było między innymi określenie, czy model WILMAR (Larsen 2006; Meibom i in. 2006a,

Meibom i in. 2006b) poprawnie odpowiada na zadane przez użytkownika wymuszenia, opublikowane w (Kamiński 2010a). Warto również podkreślić, że niektóre modele deterministyczne, w których zakładane są mało elastyczne ograniczenia (limity emisji, podaż paliw, popyt na energię elektryczną), istotne zwiększenie jednego z parametrów bez odpowiedniego dostosowania pozostałych z nich (co jest sprzeczne z zasadami analizy wrażliwości) może spowodować, że numeryczne rozwiązanie modelu będzie niemożliwe.

Prawidłowość funkcjonowania zbudowanego modelu na podstawie analizy wrażliwości określa się poprzez ocenę racjonalności wyników, która bazuje na wartościach, kierunku oraz tempie zmian. Oprócz podstawowego celu przeprowadzania analizy wrażliwości modelu, umożliwia ona także określenie, które czynniki (parametry) i z jaką intensywnością wpływają na funkcjonowanie badanego systemu. Wyniki analizy czułości prezentuje się zwykle w formie graficznej lub tabelarycznej.

Choć zdarza się to bardzo rzadko, w wyniku analizy wrażliwości modelu, konieczny może się okazać powrót do etapu kalibracji, ponownego sprawdzenia poprawności implementacji modelu lub nawet zmiany modelu konceptualnego i w konsekwencji matematycznego.

1. Przyjęte założenia w zakresie analizy wrażliwości modelu równowagi cząstkowej na krajowym rynku energii elektrycznej

Zaprezentowana w niniejszym artykule analiza wrażliwości przeprowadzona została w celu zweryfikowania poprawności funkcjonowania matematycznego modelu równowagi cząstkowej zbudowanego dla polskiego systemu wytwarzania energii elektrycznej, bazującego na podejściu Cournot z uwzględnieniem oczekiwanych zmian. Podejście to umożliwia zbudowanie elastycznego modelu, który może służyć między innymi do ilościowej oceny skutków wykorzystania siły rynkowej w sektorze wytwarzania energii elektrycznej. Konceptyjnie model poddany analizie wrażliwości zgodny jest z modelem opisanym w (Kamiński 2011a), stworzonym na potrzeby badań opublikowanych w (Kamiński 2011b). Jednak w celu prowadzenia dalszych badań siły rynkowej w krajowym sektorze wytwarzania energii elektrycznej, w stosunku do tej wersji został on istotnie rozbudowany oraz skalibrowany dla 2009 r.

Model konceptualny, w którym odwzorowane zostały relacje występujące w sektorze wytwarzania energii elektrycznej transponowany został do postaci matematycznej, która pozwalała na jego implementację w odpowiednim środowisku modelowania matematycznego. Model sformułowany został jako zadanie programowania mieszanego komplementarnego (*Mixed Complementarity Problem* – MCP). Do implementacji komputerowej modelu matematycznego wybrany został system GAMS (*General Algebraic Modelling System*) (Brook i in. 1992), a sam model został zapisany w charakterystycznych dla tego systemu następujących blokach (Kamiński 2010b):

- 1) deklaracje używanych w modelu: zbiorów, indeksów, parametrów (nazw danych),
- 2) import danych (macierzy parametrów) oraz obliczenie wielkości stałych używanych w modelu,
- 3) deklaracje zmiennych,
- 4) deklaracje, a następnie zapis równań i nierówności matematycznie sformułowanego modelu,
- 5) deklaracja równań i nierówności, które mają być włączone w generowanym modelu,
- 6) rozwiązanie modelu (układu równań) – (do rozwiązania numerycznego modelu wykorzystano solver PATH w wersji 4.6 (Ferris, Munson 2000; Dirkse, Ferris 1995; Ferris, Pang 1997), który jest obecnie najefektywniejszym *solverem* stosowanym do rozwiązywania zadań programowania mieszanego komplementarnego (MCP)),
- 7) obliczenia końcowe bazujące na wynikach modelu (wartościach zmiennych),
- 8) przygotowanie i eksport wyników do arkusza kalkulacyjnego.

Etap badania czułości modelu miał na celu nie tylko sprawdzenie poprawności jego funkcjonowania, ale również uzyskanie odpowiedzi na pytanie, które parametry i w jakim stopniu wpływają na kluczowe zmienne modelu. Badanie czułości modelu przeprowadzone zostało dla scenariusza odzwierciedlającego funkcjonowanie w pełni konkurencyjnego rynku energii elektrycznej, na którym żadne z przedsiębiorstw energetycznych funkcjonujących w Polsce nie wykorzystuje siły rynkowej.

W przyjętej metodyce analizy wrażliwości zmieniano następujące parametry modelu:

- ✧ referencyjne zapotrzebowanie na moc elektryczną,
- ✧ sprawność wytwarzania energii elektrycznej,
- ✧ cena węgla kamiennego,
- ✧ cena węgla brunatnego.

Model rozwiązywano numerycznie dla wymuszonych, skokowych zmian wymienionych powyżej parametrów wejściowych (w krokach co 5%). Przyjęto, że analiza wrażliwości prowadzona będzie w zakresie 80–120% wartości bazowych. Jako wskaźniki czułości modelu wybrano następujące zmienne:

- ✧ roczną produkcję energii elektrycznej [TWh],
- ✧ średnią ważoną roczną cenę hurtową energii elektrycznej [zł/MWh],
- ✧ całkowitą roczną emisję CO₂ (związaną z produkcją energii elektrycznej) [Mt],
- ✧ całkowitą roczną emisję SO₂ (związaną z produkcją energii elektrycznej) [kt],
- ✧ zagregowane koszty zmienne wytwarzania energii elektrycznej [mln zł],
- ✧ nadwyżkę producentów [mln zł],
- ✧ zużycie węgla kamiennego do produkcji energii elektrycznej [PJ].

2. Wyniki analizy wrażliwości modelu

W tabelach 1–6 przedstawiono wyniki obliczeń modelowych, które wskazują odchylenia analizowanych zmiennych w stosunku do wartości bazowych. Zbudowany model, jak

TABELA 1. Wyniki badania czułości modelu, roczna produkcja energii elektrycznej [TWh]

TABLE 1. Results of the sensitivity analysis, annual electricity production [TWh]

Odchylenie [%]	Roczna produkcja energii elektrycznej dla zmian następujących parametrów:			
	zapotrzebowanie na moc	sprawność wytwarzania	cena węgla kamiennego	cena węgla brunatnego
80	131,9	145,9	154,3	151,3
85	137,9	147,3	153,5	151,3
90	143,7	148,5	152,7	151,3
95	147,7	150,0	152,0	151,3
100	151,3	151,3	151,3	151,3
105	153,6	152,3	150,5	151,3
110	155,6	153,0	149,6	151,3
115	157,6	153,7	148,7	151,3
120	158,6	154,3	147,9	151,3

większość tego typu narzędzi konstruowanych do analiz ilościowych funkcjonowania sektora wytwarzania energii elektrycznej, jest najbardziej czuły na zmiany referencyjnych wartości zapotrzebowania na moc elektryczną. Zgodnie z oczekiwaniem wzrost referencyjnego popytu na energię elektryczną skutkuje zwiększeniem produkcji energii elek-

TABELA 2. Wyniki badania czułości modelu, średnia hurtowa cena energii elektrycznej [zł/MWh]

TABLE 2. Results of the sensitivity analysis, average wholesale price of electricity [zł/MWh]

Odchylenie [%]	Średnia cena energii elektrycznej dla zmian następujących parametrów:			
	zapotrzebowanie na moc	sprawność wytwarzania	cena węgla kamiennego	cena węgla brunatnego
80	136,84	188,27	165,97	172,83
85	142,99	184,24	167,77	172,83
90	149,70	180,98	169,51	172,83
95	161,09	176,56	171,20	172,83
100	172,83	172,83	172,83	172,83
105	188,80	170,12	174,87	172,83
110	206,66	168,55	177,27	172,83
115	225,50	167,07	179,62	172,83
120	247,16	165,69	181,92	172,83

TABELA 3. Wyniki badania czułości modelu, emisja CO₂ [Mt]TABLE 3. Results of the sensitivity analysis, CO₂ emissions [Mt]

Odchylenie [%]	Emisja CO ₂ dla zmian następujących parametrów:			
	zapotrzebowanie na moc	sprawność wytwarzania	cena węgla kamiennego	cena węgla brunatnego
80	133,82	146,25	153,97	151,22
85	139,14	147,48	153,22	151,22
90	144,32	148,54	152,53	151,22
95	147,84	149,97	151,84	151,22
100	151,22	151,22	151,22	151,22
105	153,36	152,22	150,52	151,22
110	155,15	152,81	149,70	151,22
115	156,90	153,39	148,92	151,22
120	157,92	153,95	148,17	151,22

trycznej (tab. 1), czego konsekwencją jest wzrost średnich hurtowych cen energii elektrycznej (tab. 2) oraz emisji zanieczyszczeń gazowych: CO₂ (tab. 3) i SO₂ (tab. 4). Wzrost sprzedaży energii elektrycznej, w badanej w analizie czułości strukturze rynku konkurencyjnego, prowadzi do wzrostu nadwyżki producentów (tab. 5). Ponadto, konsekwencją

TABELA 4. Wyniki badania czułości modelu, emisja SO₂ [kt]TABLE 4. Results of the sensitivity analysis, SO₂ emissions [kt]

Odchylenie [%]	Emisja SO ₂ dla zmian następujących parametrów:			
	zapotrzebowanie na moc	sprawność wytwarzania	cena węgla kamiennego	cena węgla brunatnego
80	311,28	337,04	353,88	348,15
85	322,28	339,62	352,31	348,15
90	333,02	341,83	350,89	348,15
95	340,36	345,09	349,44	348,15
100	348,15	348,15	348,15	348,15
105	353,05	350,73	346,80	348,15
110	356,79	351,95	345,11	348,15
115	360,42	353,15	343,52	348,15
120	363,13	354,31	341,96	348,15

TABELA 5. Wyniki badania czułości modelu, nadwyżka producentów [mln zł]

TABLE 5. Results of sensitivity analysis, producer surplus [Mzł]

Odchylenie [%]	Nadwyżka producentów dla zmian następujących parametrów:			
	zapotrzebowanie na moc	sprawność wytwarzania	cena węgla kamiennego	cena węgla brunatnego
80	5 934,8	10 599,2	12 418,2	12 262,2
85	6 870,6	10 964,9	12 211,6	12 094,0
90	7 955,8	11 345,4	12 004,7	11 925,7
95	9 746,1	11 456,7	11 797,8	11 757,5
100	11 589,3	11 589,3	11 589,3	11 589,3
105	14 131,4	11 819,2	11 441,4	11 421,0
110	17 039,7	12 179,7	11 348,2	11 252,8
115	20 172,4	12 506,1	11 254,7	11 084,6
120	23 645,7	12 806,5	11 161,0	10 916,3

wzrostu zapotrzebowania na moc elektryczną jest zwiększony popyt na węgiel kamienny do produkcji energii elektrycznej. W związku z tym wzrasta również zużycie tego paliwa pierwotnego w sektorze wytwarzania energii elektrycznej (tab. 6).

TABELA 6. Wyniki badania czułości modelu, zużycie węgla kamiennego do produkcji energii elektrycznej [PJ]

TABLE 6. Results of sensitivity analysis, hard coal consumption for power generation [PJ]

Odchylenie [%]	Zużycie węgla kamiennego do produkcji energii elektrycznej dla zmian następujących parametrów:			
	zapotrzebowanie na moc	sprawność wytwarzania	cena węgla kamiennego	cena węgla brunatnego
80	593,8	648,9	702,6	737,6
85	902,5	863,4	827,6	795,1
90	792,2	784,6	777,5	770,5
95	764,0	764,0	764,0	764,0
100	593,8	648,9	702,6	737,6
105	902,5	863,4	827,6	795,1
110	792,2	784,6	777,5	770,5
115	764,0	764,0	764,0	764,0
120	593,8	648,9	702,6	737,6

Badanie odpowiedzi modelu na wymuszone zmiany sprawności wytwarzania energii elektrycznej prowadzi do następujących wniosków. Wraz ze zwiększeniem sprawności maleją koszty paliwowe wytwarzania energii elektrycznej, w związku z czym spada średnia hurtowa cena energii elektrycznej (tab. 2), co skutkuje odpowiednim wzrostem popytu. W konsekwencji zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną, wzrasta poziom produkcji energii (tab. 1), co pociąga za sobą odpowiedni wzrost emisji zanieczyszczeń powietrza: CO₂ (tab. 3) i SO₂ (tab. 4). Wymuszone w analizie czułości zmiany sprawności wytwarzania energii elektrycznej wpływają bezpośrednio na koszty produkcji, co w połączeniu ze zmianami popytu na energię elektryczną przekłada się na: (i) wzrost nadwyżki producentów w przypadku zwiększonych wartości sprawności wytwarzania oraz (ii) spadek nadwyżki producentów w przypadku zmniejszonych wartości sprawności (tab. 5).

Ponieważ węgiel kamienny jest paliwem o największym udziale w strukturze paliw zużywanych w procesie wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, wzrost jego ceny bezpośrednio przekłada się na wzrost kosztów wytwarzania. Tym samym prowadzi to do wzrostu średnich hurtowych cen energii elektrycznej (tab. 2) i zmniejszenia popytu na energię, a w konsekwencji jej wytwarzania (tab. 1). Zgodnie z oczekiwaniem skutkuje to odpowiednią redukcją emisji zanieczyszczeń gazowych CO₂ (tab. 3) i SO₂ (tab. 4). Jednocześnie wzrost cen węgla kamiennego oraz spadek popytu na energię elektryczną powoduje spadek nadwyżki (zysku) producentów (tab. 5).

Choć udział węgla brunatnego w strukturze paliw zużywanych w produkcji energii elektrycznej jest znaczny, wymuszone zmiany cen tego paliwa nie wpływają na roczną wielkość produkcji energii elektrycznej (tab. 1) oraz na średnie hurtowe ceny energii elektrycznej (tab. 2). Wynika to przede wszystkim z dużej konkurencyjności cenowej węgla brunatnego jako paliwa zużywanego w krajowym sektorze wytwarzania energii elektrycznej. W przyjętym do analizy wrażliwości scenariuszu w pełni konkurencyjnej struktury rynku energii elektrycznej, nawet założenie maksymalnego zwiększenia ceny węgla brunatnego (o 20%) nie jest wystarczające, by spowodować na tyle duży wzrost kosztów wytwarzania, aby wytwórca bazujący na węglu brunatnym stał się krańcowym producentem wyznaczającym cenę rynkową. Konsekwentnie, wymuszone w przyjętym w analizie wrażliwości zakresie zmiany cen węgla brunatnego nie wpływają także na popyt na węgiel kamienny do produkcji energii elektrycznej (tab. 6) oraz na emisje CO₂ (tab. 3) i SO₂ (tab. 4). Zgodnie z logiką, zauważalny jest natomiast spadek nadwyżki producentów w przypadku wzrostu cen węgla brunatnego, który jest spowodowany koniecznością zakupu tego paliwa po wyższych cenach (tab. 5).

Podsumowanie

Integralną częścią budowy każdego matematycznego modelu systemu paliwowo-energetycznego jest sprawdzenie poprawności odwzorowania zjawisk występujących w systemie realnym. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy wrażliwości matema-

tycznego modelu równowagi cząstkowej zbudowanego dla systemu wytwarzania energii elektrycznej dla warunków Polski, bazującego na podejściu Cournot z uwzględnieniem oczekiwanych zmian. Zgodnie z metodyką analizy wrażliwości modelu badano wyniki modelu (obliczone zmienne) dla różnych poziomów zmian parametrów (danych) wejściowych.

Przeprowadzona analiza wrażliwości wskazuje, że zbudowany model poprawnie odpowiada na wymuszone zmiany parametrów modelu, a regularność i kierunek zmian są logiczne i zgodne oczekiwaniami. Potwierdza to, że przyjęto właściwą koncepcję odwzorowania zależności występujących w sektorze wytwarzania energii elektrycznej, a sformułowany na jej podstawie model matematyczny został zbudowany i zaimplementowany w sposób prawidłowy. Tym samym model ten można uznać za gotowe narzędzie, które może być wykorzystywane do prowadzenia badań ilościowych, dotyczących funkcjonowania sektora wytwarzania energii elektrycznej.

Literatura

- BROOK A., KENDRICK D., MEERAUS A., 1992 – GAMS Users' Guide, release 2.54. The Scientific Press, San Francisco.
- DIRKSE S.P., FERRIS M.C., 1995 – The PATH solver: A non-monotone stabilization scheme for mixed complementarity problems. *Optimization Methods and Software*, vol. 5, pages 123–156.
- FERRIS M.C., PANG J.S., 1997 – Engineering and Economic Applications of Complementarity Problems. *Society for Industrial and Applied Mathematics*. vol. 39, no. 4, pp. 669–713, December 1997.
- FERRIS M.C., MUNSON T.S., 2000 – Complementarity problems in GAMS and the PATH solver. *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 24, issue 2, February 2000, pages 165–188.
- GREENBERG H.J., 1988 – Validation of Decision Support Systems. *Mathematical Models for Decision Support*. Edited by G. Mitra. NATO ASI Series, vol. F48. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- KAMIŃSKI J., 2010a – Wpływ kosztów paliwowych oraz cen pozwoleń na emisję CO₂ na ceny rynkowe energii elektrycznej: zastosowanie modelu WILMAR. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 1, IGSMiE PAN, Kraków.
- KAMIŃSKI J., 2010b – Modelowanie systemów energetycznych: ogólna metodyka postępowania przy budowie modelu. *Polityka Energetyczna* t. 13, z. 2, IGSMiE PAN, Kraków.
- KAMIŃSKI J., 2011a – Równowaga rynków energii elektrycznej i paliw: podejście modelowe. *Rynek Energii* nr 1(92), Kaprint.
- KAMIŃSKI J., 2011b – Market power in a coal-based power generation sector: the case of Poland. *Energy*, vol. 36, issue 11, November 2011, pages 6634–6644.
- LARSEN H.V., 2006 – Wilmar Planning Tool User guide, Wilmar Deliverable D6.2 (a), Risø-R-1551(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- MEIBOM i in. 2006a – MEIBOM P., LARSEN H.V., BARTH R., BRAND H., WEBER Ch., VOLL O., 2006a – Wilmar Joint Market Model Documentation, Wilmar Deliverable D6.2 (b), Risø-R-1552(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- MEIBOM i in. 2006b – MEIBOM P., BARTH R., KIVILUOMA J., HOLTINEN H., UHLEN K., SÖDER L., 2006b – Base Configuration and Case Studies, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- SUWAŁA W., 2011 – Modelowanie systemów paliwowo-energetycznych. IGSMiE PAN, Kraków.

Jacek KAMIŃSKI

A partial equilibrium model of the Polish power market: results of the sensitivity analysis

Abstract

The paper presents results of the sensitivity analysis of the partial equilibrium model of the Polish power market. The sensitivity analysis is an essential part of the development process of fuel and energy sectors' mathematical models. Its main purpose is to check whether the model correctly responds to changes in the values of model parameters (input data), and which ones of them have the greatest impact on the modelled system. A change in the following parameters was assumed while carrying out the sensitivity analysis: (i) the reference demand for electric power, (ii) the efficiency of electricity generation, (iii) the price of steam coal, (iv) the price of brown coal. The model was solved for the specified step changes in input parameters (an increment of 5% was assumed). A sensitivity analysis was conducted for the range of 80% to 120% of the base values of the parameters. As indicators of the sensitivity of the model the following variables were selected: (i) the annual electricity generation, (ii) the average annual wholesale price of electricity, (iii) the total annual CO₂ emissions (associated with electricity production), (iv) the total annual emissions of SO₂ (associated with the electricity production), (v) the aggregated variable costs of electricity generation, (vi) producer surplus, (vii) steam coal consumption for electricity production. Like most fuel and energy systems' models the model in question is the most sensitive to changes in the reference demand for electric power. The results of the sensitivity analysis of the partial equilibrium model of the Polish power system confirmed that the model correctly responds to enforced changes in initially assumed parameters. Therefore, the model can be applied as a tool for quantitative analyses carried out for the Polish power generation sector.

KEY WORDS: modeling, power generation sector, validation, sensitivity analysis