



PROGNOZY ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ W POLSCE DO 2015 ROKU – OPTYMALIZACYJNA ROLA BUSINESS INTELLIGENCE¹

FORECASTS OF ELECTRICITY DEMAND IN POLAND IN THE PERIOD TO 2015 – OPTIMIZATION ROLE OF BUSINESS INTELLIGENCE

*Kamil AUGUSTYN**

STRESZCZENIE

W polskim sektorze elektroenergetycznym można zauważyć wieloletnie zaniedbania inwestycyjne. W celu racjonalnego zaplanowania inwestycji niezbędne jest wykonywanie predykcji elektroenergetycznych. Mnogość metod prognozowania oraz zróżnicowane metodologie prowadzenia analiz sprawiają, że w środowisku naukowym istnieje spór co do długookresowego kształtowania się popytu na energię elektryczną w Polsce. W artykule przedstawiono prognozę autorską zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce do 2015 roku, uzyskaną za pomocą metody trendu pełzającego z wagami harmonicznymi. Otrzymaną predykcję porównano z prognozami wybranych autorów. Na tym tle ukazano ważną rolę, jaką odgrywają systemy Business Intelligence w procesie budowy modeli prognostycznych, za pomocą których można uzyskać stosunkowo wysoką jakość wyników.

SŁOWA KLUCZOWE: prognozowanie, elektroenergetyka, energia elektryczna, Business Intelligence

¹ Tekst jest rezultatem badań realizowanych w ramach projektów: MNSzW ID 92640 N N115 408840 *Kapitał intelektualny jako akcelerator rozwoju społeczeństwa informacyjnego.*

* Mgr – absolwent Wydziału Ekonomii Uniwersytetu Rzeszowskiego w Rzeszowie (kierunek: Ekonomia, specjalność: Ekonomia Przedsiębiorstwa). kamil.augustyn@yahoo.com



ABSTRACT

Many years of investment neglect can be seen in Polish electricity sector. For rational investment planning in sector, it is necessary to perform electricity consumption forecasts. A wide range of different forecasting methods and analysis methodology makes, there is a disagreement in the scientific community, in the matter of the long-term development of the electricity demand in Poland. In the paper is given an original forecast of electricity demand in Poland to 2015 year, obtained by the method of creeping trend with harmonic weights. The result of the prediction was compared with forecasts of selected authors. The important role of Business Intelligence systems was illustrated in the process of creating forecasting models. Such models offer relatively good results.

KEYWORDS: forecasting, electric power engineering, electricity, Business Intelligence

WPROWADZENIE

Zasadniczym zadaniem polskiego sektora elektroenergetycznego jest zapewnienie długookresowego bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Oczywiście jest to kwestia nader skomplikowana, a jednoznaczna ocena stopnia skuteczności podejmowanych w tym zakresie działań nie jest łatwa, bowiem efektywność funkcjonowania elektroenergetyki zależy od trzech głównych czynników:

- poziomu energochłonności gospodarki narodowej,
- krajowej struktury produkcji energii elektrycznej,
- przepisów Unii Europejskiej dotyczących ochrony środowiska naturalnego.

W celu trafnej oceny długookresowego bezpieczeństwa elektroenergetycznego Polski należałoby uwzględnić w analizie łączny efekt powyższych czynników.

Energochłonność rozumiana jako zużycie krajowe w ciągu roku wszystkich surowców energetycznych (energii pierwotnej) przypadające na jednostkę wytwarzanego produktu krajowego brutto [1], jest w Polsce stosunkowo wysoka w porównaniu do innych, bardziej



rozvinutých krajův UE. Prichynou takieho stanu rzezy jest niewatpliwie rosnące zużycie krajowe energii elektrycznej, będące wynikiem rozwoju gospodarczego Polski.

Niekorzystna krajowa struktura produkcji energii elektrycznej również wpływa negatywnie na poziom energochłonności polskiej gospodarki. Polska jest krajem wyjątkowo silnie uzależnionym od węgla, o czym świadczy fakt, że ponad 90% energii elektrycznej jest wytwarzane w elektrowniach opalanych węglem [2]. Krajowe elektrownie zużywają do tego celu średnio rocznie 43 mln ton węgla [3]. Węgiel kamienny i brunatny należą do grupy mało kalorycznych surowców energetycznych. Prichynou stosunkowo wysokiej energochłonności polskiej gospodarki jest również stosowanie przestarzałych, energochłonnych maszyn i urządzeń. Polska nie posiada obecnie elektrowni atomowych, do produkcji energii elektrycznej nie wykorzystuje się także ropy naftowej, a zastosowanie do tego celu gazu ziemnego jest nieznaczne. Odnawialne źródła energii mają marginalny udział w polskim bilansie energetycznym. Poza energią z elektrowni wodnych i spalaniem drewna, eksploatacja energii odnawialnej w Polsce znajduje się nadal w początkowym stadium rozwoju [4].

Duży wpływ na efektywność funkcjonowania polskiego sektora elektroenergetycznego wywierają czynniki zewnętrzne, mianowicie unijne dyrektywy. Sektor jest zatem zmuszony systematycznie dostosowywać się do warunków, na które nie ma wpływu. Adaptacja powinna przebiegać w warunkach racjonalności ekonomicznej, biorąc pod uwagę rachunek efektywności ekonomicznej przedsięwzięć. Monokultura węgla jako paliwa dla polskiej elektroenergetyki powoduje, że wymogi unijnych regulacji w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego są dla Polski szczególnie kosztowne. Do najważniejszych dyrektyw unijnych dotyczących ochrony środowiska naturalnego należy zaliczyć [5]:

- Dyrektywa 96/61/EC – reguluje zasady otrzymywania tzw. pozwoleń zintegrowanych.
- Dyrektywy 2001/80/EC oraz 2001/81/EC – drastycznie redukują emisję szkodliwych substancji do atmosfery, jak również ustalają krajowe ograniczenia na łączną dopuszczalną ich ilość.
- Dyrektywa 2003/87/EC – reguluje kwestię wykorzystywania węgla jako paliwa w energetyce. Wprowadziła ona handel pozwoleniami na emisję gazów cieplarnianych.



Dla polskiej elektroenergetyki szczególne znaczenie ma ponadto protokół z Kioto, w którym poszczególne kraje zobowiązały się do obniżenia skali emisji CO₂ w porównaniu z jej poziomem w 1986 roku.

Należy zauważyć, że zasygnalizowane powyżej determinanty efektywności funkcjonowania polskiego sektora elektroenergetycznego są ze sobą wzajemnie powiązane. Na przykład wzrost krajowego popytu na energię elektryczną pociągnie za sobą automatycznie zwiększenie poziomu energochłonności gospodarki narodowej. Taka sytuacja w długim okresie, przy niekorzystnej strukturze produkcji energii elektrycznej, doprowadzi do częściowego braku zdolności wywiązania się z unijnych porozumień w zakresie ochrony środowiska naturalnego. Tak więc, przy aktualnym stanie polskiej elektroenergetyki, systematyczny wzrost zużycia energii elektrycznej będzie stopniowo doprowadzał do wieloaspektowych wymuszanych zmian, które w skrajnym przypadku mogą doprowadzić do kryzysu energetycznego. Taka sytuacja jest oczywiście uproszczona, jednakże przy założeniu *ceteris paribus* – nieunikniona.

Jak wynika z powyższego kluczową rolę odgrywa trafne określenie przyszłych potrzeb energetycznych Polski. Bowiern znając długoterminowe zapotrzebowanie krajowe na energię elektryczną można racjonalnie zaplanować kosztowne inwestycje w sektorze, jak również obrać optymalny kierunek dywersyfikacji struktury produkcji energii elektrycznej (polegający np. na wprowadzeniu energetyki jądrowej), a tym samym spełnić wymagania UE w zakresie ochrony środowiska naturalnego. W literaturze podkreśla się często duże znaczenie modelowania i prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną, w skomplikowanym procesie podejmowania długofalowych decyzji, dotyczących polskiego sektora elektroenergetycznego.

1. ISTOTA PREDYKCJI ELEKTROENERGETYCZNEJ W POLSCE

Znaczenie prognozowania elektroenergetycznego w Polsce wynika z faktu, iż zarówno koszt, jak i niezawodność wytwarzania energii elektrycznej oraz jej dostawy odbiorcom, w decydującym stopniu są uzależnione od trafności przewidywania.

Ponadto powstanie i rozwój konkurencyjnego rynku energii elektrycznej w Polsce wymusza na jego uczestnikach odkrywanie nowych



narzędzi umożliwiającym prognozować popyt na energię elektryczną. Najistotniejszą tego przyczyną jest uniezależnienie się podmiotów gospodarczych funkcjonujących w krajowym sektorze elektroenergetycznym, a w dalszej konsekwencji uruchomienie procesów rynkowych w granicach sektora [5].

Obecnie w Polsce kwestia bezpieczeństwa energetycznego jest jednym z najczęściej poruszanych tematów i niewątpliwie wzbudza najwięcej kontrowersji. Polityka rządu w tym zakresie budzi sprzeciw wśród grup ekologicznych i znacznej części społeczeństwa polskiego. Plany Ministerstwa Gospodarki dotyczące budowy pierwszej w Polsce elektrowni jądrowej są po katastrofie w Fukushima w marcu 2011 r. ostro krytykowane. Sytuacja jest zatem mocno skomplikowana, tym bardziej że zdaniem wielu ekonomistów nie widać żadnej alternatywy dla przyszłej struktury produkcji energii elektrycznej opartej m. in. na atomie. Jak zatem w świetle zarysowanego powyżej problemu wygląda sprawa przyszłego bezpieczeństwa energetycznego Polski, a zwłaszcza kwestia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej? Jeśli chodzi o bezpieczeństwo krótkookresowe to panuje zgoda co do tego, że nie jest ono zagrożone. Znacznie gorzej wygląda sprawa bezpieczeństwa długookresowego, w perspektywie do roku 2030 a nawet do 2020. Rosnące od wielu lat zapotrzebowanie na energię elektryczną przy obecnej strukturze jej produkcji oraz ogólnym stanie funkcjonowania krajowej elektroenergetyki może w przyszłości doprowadzić w pierwszej kolejności do licznych blackoutów, a następnie do znacznego zachwiania bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, co doprowadziłoby do zahamowania rozwoju gospodarczego Polski. Oczywiście można by uniknąć takiego scenariusza, ale żeby to osiągnąć to potrzebne są gigantyczne inwestycje w sektorze. Rodzi się zatem pytanie skąd pozyskać na nie środki finansowe. Polski sektor bankowy jest zbyt słaby, aby w całości sfinansować potrzeby inwestycyjne polskiej energetyki. Pomoc instytucji multilateralnych (np. EBI, EBOiR) może z kolei okazać się niewystarczająca. Nie ulega wątpliwości fakt, że wielkość przyszłych nakładów inwestycyjnych w polskim sektorze elektroenergetycznym będzie zależała w największej mierze od kształtowania się popytu na energię elektryczną. Bowiem wzrost zapotrzebowania na energię naturalnie wymusi wzrost nakładów inwestycyjnych nie tylko w nowe moce wytwórcze, ale także w modernizację sieci przesyłowych już istniejących oraz w budowę nowych. Im większa będzie dynamika



wzrostu popytu na energię elektryczną, tym bardziej polska gospodarka odczuje wieloletnie zaniedbania inwestycyjne w sektorze elektroenergetycznym.

Modelowanie i prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną odgrywa obecnie kluczową rolę w procesie oceny długookresowego bezpieczeństwa energetycznego Polski. Predykcje popytu na energię elektryczną mają zasadnicze znaczenie przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych. Długoterminowe prognozy kształtowania się poziomu energochłonności polskiej gospodarki pozwalają stwierdzić, czy długookresowe bezpieczeństwo elektroenergetyczne (przy obecnym stanie funkcjonowania elektroenergetyki) jest zagrożone, czy też nie. Niestety, ocena ta nie jest jednoznaczna. Długoterminowe prognozy popytu na energię elektryczną różnią się od siebie, w zależności od stosowanych metod i przyjętej metodologii badań. Problemem tym zajmuje się Ministerstwo Gospodarki oraz m. in. Marcin Zawada, Mirosław Wójciak oraz Zygmunt Maciejewski.

Z powyższego wynika, że to czy aktualny stan funkcjonowania krajowego sektora elektroenergetycznego jest w stanie zapewnić długookresowe bezpieczeństwo energetyczne Polski, zależy od kształtowania się przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną. Z tego względu problemowi modelowania i prognozowania poświęca się coraz więcej uwagi. Bardzo pomocnymi narzędziami przy budowie prognoz zużycia energii mogą być modele szeregów czasowych oraz modele ekonometryczne.

2. PROGNOZA AUTORSKA METODA TRENDU PELZAJACEGO Z WAGAMI HARMONICZNYMI

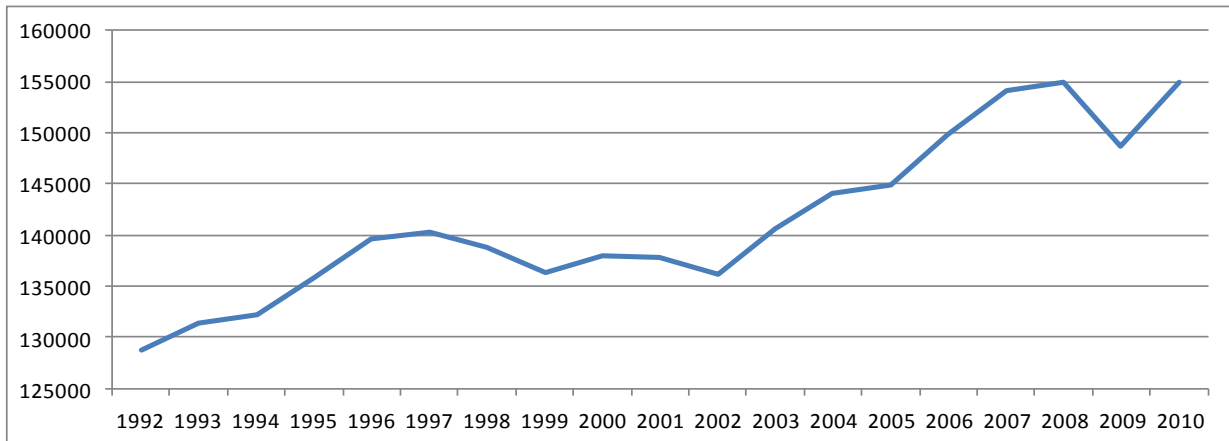
W celu wykonania prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce w perspektywie do 2015 roku posłużono się danymi statystycznymi przedstawiającymi zużycie energii elektrycznej w Polsce w latach 1992 – 2010. Dane te zawarto w tabeli 1, na podstawie której sporządzono rysunek 1, ilustrujący kształtowanie się badanego zjawiska ekonomicznego w analizowanym okresie.



TABELA 1. Zužycie energii elektrickej w Polsce w latach 1992 - 2010 (GWh)

Rok	Zužycie energii elektrickej w Polsce (GWh)
1992	128803
1993	131336
1994	132211
1995	135900
1996	139593
1997	140228
1998	138770
1999	136351
2000	138043
2001	137843
2002	136165
2003	140590
2004	144069
2005	144838
2006	149847
2007	154170
2008	154890
2009	148718
2010	154988

Źródło: <http://www.pse-operator.pl/index.php?dzid=152&did=842> z
22.12.2011.



Rys. 1. Zužitie elektriny v Poľsku w latach 1992 – 2010 (GWh)

Szczegółowy opis zastosowanej metody jest następujący [6]:

„Metoda trendu pełzającego z wagami harmonicznymi należy do klasy modeli adaptacyjnych. Dla danego szeregu czasowego Y_1, \dots, Y_n oraz arbitralnie ustalonej stałej wygładzania $k < n$ szacuje się na podstawie kolejnych fragmentów szeregu:

$$\begin{array}{c}
 Y_1, \dots, Y_k, \\
 Y_2, \dots, Y_{k+1} \\
 (1) \\
 \vdots \\
 Y_{n-k+1}, \dots, Y_n
 \end{array}$$

parametry liniowych funkcji trendu. Niech będą to funkcje:

$$\begin{array}{ll}
 f_1(t) = a_1 + b_1 t & \text{dla } 1 \leq t \leq k, \\
 f_2(t) = a_2 + b_2 t & \text{dla } 2 \leq t \leq k + 1, \\
 \vdots & \\
 f_{n-k+1}(t) = a_{n-k+1} + b_{n-k+1} t & \text{dla } n - k + 1 \leq t \leq n.
 \end{array} \quad (2)$$

Dla dowolnego t ($1 \leq t \leq n$) wartościom Y_t odpowiadają wygładzone wartości (wartości teoretyczne) otrzymane za pomocą niektórych spośród podanych wyżej funkcji $f_j(t) = a_j + b_j t$ ($j = 1, \dots, n - k + 1$). Są to mianowicie te funkcje, dla których:

$$d(t) \leq j \leq g(t), \quad (3)$$

gdzie:

$$d(t) = \begin{cases} 1 & \text{dla } t = 1, \dots, k, \\ t - k + 1 & \text{dla } t = k + 1, \dots, n; \end{cases} \quad (4)$$



$$g(t) = \begin{cases} t & \text{dla } t = 1, \dots, n - k + 1, \\ n - k + 1 & \text{dla } t = n - k + 2, \dots, n; \end{cases}$$

Ostatečným wygładzeniem są średnie wartości wszystkich takich wygładzeń, to znaczy:

$$\bar{Y}_t = \frac{1}{1+g(t)-d(t)} \sum_{j=d(t)}^{g(t)} f_j(t). \quad (5)$$

Łącząc kolejne punkty (t, \bar{Y}_t) odcinkami liniowymi, otrzymuje się wykres tendencji rozwojowej szeregu czasowego w postaci funkcji segmentowej, zwanej trendem pełzającym.

W celu ekstrapolacji modelu w przyszłość należy zastosować następujący algorytm, zwany metodą wag harmonicznych:

1. Oblicza się przyrosty funkcji trendu:

$$w_{t+1} = \bar{Y}_{t+1} - \bar{Y}_t, \quad t = 1, \dots, n - 1. \quad (6)$$

2. Określa się średnią przyrostów:

$$\bar{w} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n w_{t+1}, \quad (7)$$

gdzie C_{t+1}^n to wagi harmoniczne realizujące postulat postarzania informacji. Nadawane są one przyrostom w taki sposób, aby najstarsze miały najmniejsze znaczenie, najnowsze zaś największe. Wagi te są liczbami dodatnimi z przedziału $(0, 1]$, o sumie równej jedności i o następującej konstrukcji:

$$C_{t+1}^n = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^t \frac{1}{n-i}, \quad t = 1, \dots, n - 1. \quad (8)$$

3. Wyznacza się odchylenie standardowe przyrostów trendu pełzającego, ważonych wagami harmonicznymi:

$$S_w = [\sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n (w_{t+1} - \bar{w})^2]^{0,5}. \quad (9)$$

4. Przez „doklejenie” do ostatniego punktu trendu pełzającego (n, \bar{Y}_n) prostej o nachyleniu \bar{w} dokonuje się ekstrapolacji trendu. Prognozę punktową na moment lub okres T wyznacza się według wzoru:

$$Y_T^* = \bar{Y}_n + (T - n)\bar{w}. \quad (10)$$

5. Dla zadanej wiarygodności prognozy p konstruuje się przedział prognozy:

$$P \{Y_T^* - u_T S_w \leq Y_T \leq Y_T^* + u_T S_w\} = p, \quad (11)$$

gdzie:

$$u_T = u \sum_{i=1}^{T-n} C_{n-i+1}^n, \quad n < T \leq 2n - 1; \quad (12)$$

u – współczynnik wyznaczany, w zależności od rozkładu przyrostów trendu pełzającego, z nierówności Czebyszewa, tablic rozkładu normalnego lub z tablic rozkładu t-Studenta.

Rozpiętość przedziału prognozy zależy od: wiarygodności prognozy (p), rozkładu przyrostów trendu pełzającego oraz od numeru momentu



lub okresu, na ktorý jest budowana prognoza (im dalszego momentu lub okresu dotyczy prognoza, tym u_T jest większe)''.

Zmienną endogeniczną Y jest krajowe zużycie energii elektrycznej (GWh), natomiast zmienną egzogeniczną jest zmienna czasowa numerowo ujęta t ($t = 1, 2, \dots, 19$) reprezentująca kolejne lata. Przyjmując wartość stałej wygładzania $k = 11$ szereg zawarty w tabeli 1 należy wygładzić metodą trendu pełzającego. Dla analizowanych danych otrzymano podciągi zawarte w poniższej tabeli.

TABELA 2. Segmentacja szeregu czasowego na podciągi o długości $k = 11$

t1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Yt	128803	131336	132211	135900	139593	140228	138770	136351	138043	137843	136165
t2	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Yt	131336	132211	135900	139593	140228	138770	136351	138043	137843	136165	140590
t3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Yt	132211	135900	139593	140228	138770	136351	138043	137843	136165	140590	144069
t4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Yt	135900	139593	140228	138770	136351	138043	137843	136165	140590	144069	144838
t5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Yt	139593	140228	138770	136351	138043	137843	136165	140590	144069	144838	149847
t6	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Yt	140228	138770	136351	138043	137843	136165	140590	144069	144838	149847	154170
t7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Yt	138770	136351	138043	137843	136165	140590	144069	144838	149847	154170	154890
t8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Yt	136351	138043	137843	136165	140590	144069	144838	149847	154170	154890	148718
t9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Yt	138043	137843	136165	140590	144069	144838	149847	154170	154890	148718	154988

Źródło: opracowanie własne w aplikacji *MICROSOFT OFFICE EXCEL*

Dla szeregów zawartych w powyższej tabeli wykorzystując narzędzie *Analiza danych: Regresja* aplikacji *MICROSOFT OFFICE EXCEL*, policzono KMNK równania segmentowych trendów liniowych. Zgodnie z formułą (1) oraz (2), otrzymano:

$$\begin{aligned}
 Y_{1t} &= 131545,0182 + 731,0272727t && (t = 1,2, \dots, 11); \\
 Y_{2t} &= 133124,8545 + 553,9818182t && (t = 2,3, \dots, 12); \\
 Y_{3t} &= 133631,6182 + 566,0818182t && (t = 3,4, \dots, 13); \\
 Y_{4t} &= 134402,2 + 545,1090909t && (t = 4,5, \dots, 14); \\
 Y_{5t} &= 132193,6364 + 838,2454545t && (t = 5,6, \dots, 15); \\
 Y_{6t} &= 126473,4727 + 1402,527273t && (t = 6,7, \dots, 16); \\
 Y_{7t} &= 120414,3273 + 1901,654545t && (t = 7,8, \dots, 17); \\
 Y_{8t} &= 119342,1091 + 1907,418182t && (t = 8,9, \dots, 18);
 \end{aligned}$$

$$Y_{9t} = 118171,6182 + 1975,8t \quad (t = 9,10, \dots, 19).$$

Wykorzystując wyznaczone równania regresji segmentowych obliczono wartości teoretyczne $\hat{Y}_{1t}, \hat{Y}_{2t}, \dots, \hat{Y}_{9t}$ oraz średnie wygładzeń \bar{Y}_t zgodnie z wzorami (4) i (5). Wyniki obliczeń przedstawiono w poniższej tabeli.

TABELA 3. Wartości teoretyczne dla podciągów, oraz średnie wygładzeń

t	\hat{Y}_{1t}	\hat{Y}_{2t}	\hat{Y}_{3t}	\hat{Y}_{4t}	\hat{Y}_{5t}	\hat{Y}_{6t}	\hat{Y}_{7t}	\hat{Y}_{8t}	\hat{Y}_{9t}	\bar{Y}_t
1	132276									132276
2	133007	134233								133620
3	133738	134787	135330							134618
4	134469	135341	135896	136583						135572
5	135200	135895	136462	137128	136385					136214
6	135931	136449	137028	137673	137223	134889				136532
7	136662	137003	137594	138218	138061	136291	133726			136794
8	137393	137557	138160	138763	138900	137694	135628	134601		137337
9	138124	138111	138726	139308	139738	139096	137529	136509	135954	138122
10	138855	138665	139292	139853	140576	140499	139431	138416	137930	139280
11	139586	139219	139859	140398	141414	141901	141333	140324	139905	140438
12		139773	140425	140944	142253	143304	143234	142231	141881	141755
13			140991	141489	143091	144706	145136	144139	143857	143344
14				142034	143929	146109	147037	146046	145833	145165
15					144767	147511	148939	147953	147809	147396
16						148914	150841	149861	149784	149850
17							152742	151768	151760	152090
18								153676	153736	153706
19									155712	155712

Źródło: obliczenia własne w aplikacji *MICROSOFT OFFICE EXCEL*

Dla wygładzonych wartości szeregu obliczono przyrosty funkcji trendu w_t zgodnie z wzorami (6) i (7) oraz wagi harmoniczne C_t zgodnie z wzorem (8). Obliczenia zawarto w tabeli 6. Zgodnie z wzorem (7) otrzymano wartość średnią przyrostów $\bar{w} \approx 1712$. Ekstrapolując liniowo ostatni segment trendu pełzającego zgodnie z wzorem (10) otrzymano wartości prognoz na kolejne okresy:

$$Y_{20}^* = \bar{Y}_{19} + \bar{w} = 155712 + 1712 = 157424$$

$$Y_{21}^* = \bar{Y}_{19} + 2\bar{w} = 155712 + 2 \cdot 1712 = 159136$$

$$Y_{22}^* = \bar{Y}_{19} + 3\bar{w} = 155712 + 3 \cdot 1712 = 160848$$

$$Y_{23}^* = \bar{Y}_{19} + 4\bar{w} = 155712 + 4 \cdot 1712 = 162560$$

$$Y_{24}^* = \bar{Y}_{19} + 5\bar{w} = 155712 + 5 \cdot 1712 = 164272$$

Przewidywana wielkość zużycia energii elektrycznej w Polsce wynosi więc odpowiednio:

w 2011 roku – 157424 GWh,
w 2012 roku – 159136 GWh,
w 2013 roku – 160848 GWh,



w 2014 roku – 162560 GWh,
w 2015 roku – 164272 GWh.

TABELA 4. Średnie przyrosty trendu oraz wagi harmoniczne
TABLE 4. The average trend growths and harmonic weights

\bar{Y}_t	w_t	C_t	$w_t C_t$
132276			
133620	1344	0,003	4,0317
134618	998	0,006	5,989854545
135572	954	0,01	9,538681818
136214	642	0,012	7,701458182
136532	318	0,017	5,409317576
136794	262	0,022	5,753866667
137337	543	0,026	14,12591818
138122	785	0,031	24,32781364
139280	1158	0,037	42,84536465
140438	1158	0,043	49,79326162
141755	1318	0,05	65,88864899
143344	1589	0,058	92,13429935
145165	1821	0,067	121,9852468
147396	2231	0,078	174,0425345
149850	2454	0,092	225,7691709
152090	2240	0,111	248,6749818
153706	1616	0,139	224,5587121
155712	2006	0,194	389,1622364
Σ			1711,733068

Źródło: obliczenia własne w aplikacji *MICROSOFT OFFICE EXCEL*

Korzystając z wzoru (9) obliczono odchylenie standardowe przyrostów trendu pełzającego, ważonych wagami harmonicznymi $S_w = 564,948104$. Następnie przyjmując wiarygodność prognozy $p = 0,95$, wykorzystując wzory (11) i (12) (przyjęto wartość współczynnika $u = 1,96$), wyznaczono prognozy przedziałowe wielkości zużycia energii elektrycznej w Polsce, które wynoszą odpowiednio (GWh):

- w 2011 roku – [157270; 157578],
- w 2012 roku – [158859; 159413],
- w 2013 roku – [160469; 161227],
- w 2014 roku – [162095; 163025],
- w 2015 roku – [163733; 164811].

Przykładowo dla roku 2015 interpretacja wyznaczonej prognozy przedziałowej jest następująca: z prawdopodobieństwem równym 0,95 twierdzimy, że zużycie energii elektrycznej w 2015 roku będzie nie mniejsze niż 163733 GWh i nie większe niż 164811 GWh. Tak twierdząc

mylimy się średnio 5 razy na 100, czy też prawdopodobieństwo pomyłki jest równe 0,05.

3. ZESTAWIENIE PROGNOZY AUTORSKIEJ Z WYBRANYMI PREDYKCJAMI

W poniższej tabeli przedstawiono prognozy autorskie wielkości zużycia energii elektrycznej w Polsce w roku 2015 skonfrontowane z predykcjami Ministerstwa Gospodarki Rzeczypospolitej Polskiej [7], Zygmunta Maciejewskiego [8], Tomasza Popławskiego i Kazimierza Dąsala [9].

TABELA 5. Wybrane prognozy zużycia energii elektrycznej w Polsce w 2015 roku (TWh)

	Prognoza	
	punktowa	przedziałowa
Prognoza autorska metodą trendu pełzającego z wagami harmonicznymi	164,3	163,7 – 164,8
Prognoza Ministerstwa Gospodarki	152,8	-
Prognoza Zygmunta Maciejewskiego	-	168,1 – 171,1
Prognoza Tomasza Popławskiego i Kazimierza Dąsala	-	158 - 166

Źródło: opracowanie własne

Jak wynika z powyższej tabeli, prognoza autorska zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce w 2015 roku jest zbliżona w największym stopniu do predykcji Tomasza Popławskiego i Kazimierza Dąsala. Prognoza Ministerstwa Gospodarki Rzeczypospolitej Polskiej różni się istotnie od prognozy autorskiej, co jest z pewnością spowodowane przyjęciem innej metodyki w procesie prognozowania. Jednakże biorąc pod uwagę wszystkie prognozy zawarte w tabeli 5 należy stwierdzić, że wielkość zużycia energii elektrycznej w Polsce utrzyma w perspektywie



do 2015 roku dotychczasową tendencję rosnącą. Oznacza to, że energochłonność polskiej gospodarki będzie w dalszym ciągu rosła. Długookresowe prognozy Ministerstwa Gospodarki Rzeczypospolitej Polskiej pokazują ponadto, że krajowy popyt na energię elektryczną w 2030 roku może wynieść nawet 217,4 TWh. Jednakże tak dalekosiężne prognozy, jeśli chodzi o stopień ich dokładności, należy traktować z dużym dystansem.

4. WPLYW ZASTOSOWANIA BUSINESS INTELLIGENCE W PROCESIE BUDOWY MODELI PROGNOSTYCZNYCH NA JAKOŚĆ UZYSKIWANYCH WYNIKÓW

Zawarte w tabeli 5 wybrane prognozy zużycia energii elektrycznej w Polsce w 2015 roku sygnalizują pewien problem. Otóż stosunkowo różnią się od siebie – np. różnica pomiędzy górną granicą prognozy przedziałowej Zygmunta Maciejewskiego a prognozą punktową Ministerstwa Gospodarki Rzeczypospolitej Polskiej wynosi aż 18,3 TWh. Taka sytuacja jest niedopuszczalna z punktu widzenia efektywności podejmowanych działań w kierunku usprawniania funkcjonowania polskiej elektroenergetyki. Bowiem od trafności przewidywania wielkości popytu na energię elektryczną zależą w największej mierze wielkość i charakter inwestycji w sektorze. Problem potęguje fakt, że prognozy zawarte w tabeli 5 są krótkoterminowe, a proces inwestycyjny w polskiej elektroenergetyce ma charakter długoterminowy. Oznacza to tyle, że skoro predykcje krótkoterminowe są tak zróżnicowane, to trafne przewidywanie długookresowego zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce jest zadaniem niesłychanie trudnym. Jest rzeczą oczywistą, że wraz z wydłużaniem horyzontu prognozy zwiększają się także błędy predykcji. Interesujący artykuł na temat problemów dotyczących prognozowania w polskiej elektroenergetyce napisali Kazimierz Dąsał i Tomasz Popławski [10]. Trudności w trafnym prognozowaniu zużycia energii elektrycznej w Polsce wynikają głównie z tego, że istnieje wiele skomplikowanych zmiennych objaśniających, które powinno się wziąć pod uwagę. Można do nich zaliczyć np.: liczbę ludności w Polsce, tempo wzrostu PKB, przeciętne zatrudnienie w energetyce, straty w sieci elektrycznej, czy też import energii elektrycznej.



W takiej sytuacji niezbędne jest zastosowanie systemów wspierających prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną. Taką rolę z powodzeniem mogą spełniać systemy Business Intelligence (BI), które są obecnie na różnych etapach wdrożenia w przedsiębiorstwach polskiego sektora energetycznego. Szczególne znaczenie mają centralne repozytoria danych pomiarowych oraz hurtownie danych, w których gromadzone są różnego typu dane (np. pogodowe, makroekonomiczne) pomocne w procesie budowy zaawansowanych modeli prognostycznych. Systemy BI stanowią wsparcie dla całości procesu prognozowania, od wstępnej analizy danych po wykorzystanie gotowego modelu w praktyce. Możliwa jest również wszechstronna weryfikacja jakości modelu. BI umożliwiają ponadto sprawne zarządzanie wieloma modelami. Systemy zawierają różnorodne metody analityczne, które umożliwiają budowę modeli predykcyjnych dla różnych horyzontów czasowych. Dużą zaletą jest również możliwość generowania wielu konkurencyjnych modeli dla tych samych szeregów czasowych (np. w scenariuszach pogodowych lub gospodarczych), lub z zastosowaniem odmiennych algorytmów [11].

Niestety, pomimo licznych zalet systemy BI posiadają także słabe strony, do których można zaliczyć [12]:

- niezbędność posiadania znacznej wiedzy dotyczącej technik analitycznych (systemy BI wytwarzają gigantyczne ilości danych, w związku z czym mogą pojawić się duże problemy z właściwą ich interpretacją),
- względnie kosztowna i czasochłonna implementacja,
- wysokie wymagania programowe i sprzętowe,
- czułość systemu na słabą jakość i niespójność danych.

Nie ulega wątpliwości fakt, że systemy BI spełniają kluczową rolę optymalizacyjną w procesie modelowania i prognozowania zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce. Ich optymalizacyjna rola polega na zwiększaniu jakości uzyskiwanych prognoz poprzez skuteczne pozyskiwanie, gromadzenie i analizowanie danych. Jednakże problem trafnego przewidywania popytu na energię elektryczną w Polsce nie został jeszcze do końca rozwiązany. Należy pamiętać, że w dalszym ciągu nie ma zgodności co do jednolitej metodologii sporządzania prognoz, o czym świadczy mnogość podejść do tego zagadnienia przez wielu badaczy. Niemniej jednak, zdaniem autora, należy iść w kierunku



jaki wskazują możliwości zaawansowanych systemów BI, które jednak wciąż są na etapie wdrażania w polskim sektorze elektroenergetycznym

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Trafne przewidywanie kształtowania się wielkości zużycia energii elektrycznej w Polsce jest niezbędne z punktu widzenia funkcjonowania całej gospodarki narodowej. W literaturze fachowej problem ten jest poruszany bardzo często, a prognozy wielu badaczy (również krótkoterminowe) są zróżnicowane. Nie ma zatem konsensusu co do przyszłego kształtowania się popytu krajowego na energię elektryczną. Istnieje bowiem wiele metod prognozowania, które można podzielić na:

- prognozowanie w oparciu o szereg czasowy,
- prognozowanie na podstawie modeli przyczynowo-skutkowych.

Modelowanie analizowanego procesu w oparciu o szereg czasowy nie wymaga dodatkowych zmiennych objaśniających, co jest dużą zaletą, a jednocześnie wadą – nieuwzględnienie istotnych regresorów przyczynia się do spadku jakości prognozy. W modelowaniu przyczynowo-skutkowym występuje problem właściwego doboru zmiennych egzogenicznych do modelu, jak również trudność związana z poprawną analizą zgromadzonych danych.

Na tym tle niemałą rolę do odegrania mają systemy BI. Wykorzystując je, można zbudować wiele modeli dla wszystkich możliwych kombinacji zmiennych objaśniających i wybrać optymalny, według przyjętego kryterium optymalności.

LITERATURA

- [1] KUCIŃSKI K. (red.), 2006 – Energia w czasach kryzysu. Difin, Warszawa.
- [2] FRĄCZEK P., 2008 – Rola branży gazowniczej w modernizacji sektora energii w Polsce. Wyd. Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów.
- [3] BACA K., 2009 – Pawlak godzi kopalnie i elektrownie. Rzeczpospolita nr 52, 3 marca 2009.



- [4] JABŁOŃSKI W., WNUK J., 2009 – Zarządzanie odnawialnymi źródłami energii. Aspekty ekonomiczno-techniczne. Oficyna Wydawnicza „Humanitas”, Sosnowiec.
- [5] PYKA J. (red.), 2007 – Szanse i zagrożenia rozwoju rynku energetycznego w Europie i Polsce. Wyd. Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice.
- [6] CIEŚLAK M. (red.), 2004 – Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- [7] Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, listopad 2009.
- [8] MACIEJEWSKI Z., 2007 – Prognoza krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną do 2012 roku. Polityka Energetyczna t. 10, z. spec. 2, Kraków.
- [9] POPŁAWSKI T., DAŚAL K., 2007 – Prognozowanie zapotrzebowania na moc i energię elektryczną metodą rozkładu kanonicznego. Polityka Energetyczna t. 10, z. spec. 2, Kraków.
- [10] DAŚAL K., POPŁAWSKI T., 2008 – Problemy związane z prognozowaniem zużycia energii elektrycznej w Polsce. Polityka Energetyczna t. 11, z. 1, Kraków.
- [11] FRANKOWSKI J., 2010 – Systemy wspierające prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną w OSD – perspektywy rozwoju. Zaczepnięte ze strony www.cire.pl/item,47199,2.html z 27.12.2011.
- [12] SOKOŁOWSKI S., 2006 – Business Intelligence w energetyce – mity i fakty. Rynek Energii nr 2. Zaczepnięte ze strony <http://www.cire.pl/item,22650,2,0,0,0,0,0,business-intelligence-w-energetyce---mity-i-fakty.html> z 27.12.2011.