

Kazimierz DAŚAL*, Tomasz POPLAWSKI**, Karolina RUSEK***

Ocena długoterminowych prognoz zużycia energii i mocy szczytowych w systemach elektroenergetycznych

STRESZCZENIE. W artykule skoncentrowano się na zagadnieniu dotyczącym oceny wykonywanych prognoz w dłuższych horyzontach. Przeprowadzono analizę kilku prognoz wykonanych w różnych instytucjach. Dokonano oceny prognoz energii i mocy szczytowych na podstawie kształtowania się rocznych stopni obciążeń.

SŁOWA KLUCZOWE: systemy elektroenergetyczne, modelowanie, prognoza długoterminowa, moc szczytowa, zużycie energii.

1. Charakterystyka problemu

Długoterminowe prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną są ważnym czynnikiem w planowaniu przyszłych źródeł wytwarzania i związanym z tym wzrostem wartości przesyłanych mocy. W horyzoncie długoterminowym prognozy wykonywane są przy założeniach probabilistycznych, zarówno przy ocenie zużycia energii, jak i określenia po-

* Dr inż. — Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Częstochowska, Zakład Urządzeń i Gospodarki Elektroenergetycznej, Częstochowa; e-mail: daka@el.pcz.czyst.pl.

** Prof. nadzw. dr hab. inż. — Instytut Elektroenergetyki, Politechnika Częstochowska, Zakład Urządzeń i Gospodarki Elektroenergetycznej, Częstochowa; e-mail: poptom@el.pcz.czyst.pl.

*** Mgr — Raiffeisen Bank.

ziomu wymaganych mocy maksymalnych (szczytowych) w systemie [8, 9]. Coraz częściej rozważa się, a nawet podejmuje próby wykonywania prognoz (w naturalny sposób obarczonych niepewnością) z jednoczesnym określeniem prawdopodobieństwa rozkładów przyszłych obciążeń oraz poziomem zużycia energii. Podejście takie związane jest z wymogami gospodarki rynkowej, w której określania ryzyka finansowego jest koniecznością [6]. Niezależnie, o którym rodzaju prognozy myślimy, jedno nie ulega zmianie – ocena realności wyznaczanych prognoz.

Wiedza o właściwościach modeli, na podstawie których wyznaczono prognozy, o wykonanych symulacjach badających wrażliwość modelu, zawsze zwiększa ich wiarygodność, zaufanie odbiorcy. Jest to szczególnie istotne w przypadku prognoz długoterminowych. Niektóre publikowane prognozy takich informacji są pozbawione. Najczęstszy standard to trzy scenariusze danych wejściowych, z których powstają trzy prognozy, pozwalające określić pasmo dopuszczalnych wartości. Nie są podawane oceny modeli, a można i należy oceniać je w wielu aspektach; przykładowo takim jak chociażby ich wrażliwość na zmiany wartości danych wejściowych czy stabilność parametrów strukturalnych. W sytuacji braku tych informacji ocena prezentowanych prognoz jest znacząco ograniczona.

Na pewno pełniejszą ocenę prognozy zużycia energii czy też obciążeń szczytowych można wykonać znając w tym samym czasie obie te prognozy wykonane dla tego samego horyzontu. Pomocne mogą być wskaźniki dobrze zdefiniowane, a czasem nawet unormowane, wiążące te dwie wielkości w każdym systemie [2]. Przykładami są względny roczny przyrost energii α_A , względny roczny przyrost mocy szczytowych α_S , czy też ważny wskaźnik określający strukturę odbiorców, nazywany średnim rocznym statycznym względnie dynamicznym stopniem obciążenia (przymiotnik „średni” na ogół jest pomijany). Dynamiczny – roczny stopień obciążenia:

$$m_r = \frac{A_r}{T_r P_{Sr}} \quad (1)$$

Statyczny roczny stopień obciążenia:

$$m_r^{stat} = \frac{A_r}{T_r P_{Sr}} \cdot \frac{1 + \frac{\alpha_S + \alpha_A}{2}}{1 + 0,54\alpha_A} \quad (2)$$

gdzie: A_r – energia roczna [MWh],
 T_r – czas trwania roku 8760 h,
 P_{Sr} – moc szczytowa roku [MW],

α_S – względny roczny przyrost mocy $\alpha_S = \frac{P_{Sr}}{P_{Sr-1}} - 1$,

α_A – względny roczny przyrost energii $\alpha_A = \frac{A_r}{A_{r-1}} - 1$.

Teoretycznie m_r zawiera się w przedziale (0–1). Im bliższe jedności, tym dobowy przebieg obciążenia jest bardziej wyrównany.

1. Wybrane modele stosowane w prognozowaniu zużycia energii

Dla potrzeb planowania eksploatacji oraz rozwoju systemu elektroenergetycznego opracowano wiele metod prognozowania opisanych szeroko w fachowej literaturze [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12], opartych m.in. na prognozowaniu realistycznym i badawczym, punktowym i przedziałowym, ilościowym i jakościowym. Grupą najbardziej rozpowszechnioną są metody ilościowe (statystyczne), określające prawdopodobieństwo przyszłych zdarzeń na podstawie danych historycznych. Złożoność problematyki prognostycznej implikuje podział i klasyfikację stosowanych metod ze względu na:

- ✧ rozmiar badanego systemu elektroenergetycznego,
- ✧ horyzont czasowy prognozy oraz zakres informacji wejściowych i wyjściowych,
- ✧ model predykcji.

Zużycie energii czy mocy szczytowych w horyzontach długoterminowych można modelować korzystając jedynie z szeregów czasowych i wykorzystując ich właściwości (rzadszy przypadek) lub, co obecnie ma miejsce znacznie częściej, modelami ekonometrycznymi czy też modelami typu *end-use*. Jeżeli prognoza zużycia energii elektrycznej jest wynikiem z modelu ekonometrycznego, to koniecznie powinny być podane zmienne objaśniające wraz z ich scenariuszami (prognozami). Niezbędne dla oceny prognozy zużycia energii są także wyniki przeprowadzonych symulacji, wskazujące na wrażliwość modelu na wahania poszczególnych zmiennych objaśniających.

W prognozowaniu modelami ekonometrycznymi zderzamy się z trudnym problemem typowania zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających proces zużycia energii, ich dostępnością na etapie budowy modelu i później w czasie eksploatacji modelu. Ważną właściwością modelowania ekonometrycznego jest możliwość badania wpływu poszczególnych czynników na przebieg badanego procesu, wykonanie wielu symulacji umożliwiających wnikliwą analizę ich wpływu na prognozowany proces. Problemem jest to, że do wykonania prognozy badanego procesu, już po zbudowaniu modelu, konieczna jest znajomość prognoz lub scenariuszy zmiennych objaśniających. Dokładność scenariuszy, czy też prognoz w sposób oczywisty wpływa na dokładność prognoz końcowych.

W Polsce wiodące instytucje w tym zakresie – przykładowo ARE S.A. – stosują, między innymi, do przygotowania prognoz metodykę stosowaną na świecie w badaniach energetycznych, w której za generalną siłę sprawczą wzrostu zapotrzebowania na energię jest uznawany wzrost gospodarczy, opisany za pomocą zmiennych makroekonomicznych.

Do wyznaczenia prognozy zużycia energii elektrycznej używany jest model zużycia końcowego (*end-use*) o nazwie MAED. Tworzone są w nim projekcje zapotrzebowania na energię użyteczną, dla każdego kierunku użytkowania energii w ramach każdego sektora gospodarki. Rezultaty z modelu MAED są wejściem do modelu energetyczno-ekologicznego BALANCE, wyznaczającego zużycie energii finalnej w podziale na poszczególne nośniki oraz krajowe bilanse energii i wielkości emisji zanieczyszczeń. Jest to więc kompleksowe podejście dla całego sektora energetyki.

Możliwe, a nawet zalecane, jest także wykonywanie kombinacji prognoz (w literaturze funkcjonują nazwy: kombinacja, hybryda, komitet prognoz) [1]. Chodzi o to, że podobnie jak w przypadku wykonywania testów statystycznych badających określoną cechę zbiorowości czy procesu, zalecane jest wykonanie kilku testów, aby zwiększyć pewność wnioskowania, tak również w przypadku wykonywania prognoz kilkoma modelami można wykonać proces łączenia, stosując różne kombinacje prognoz. Kombinacja prognoz ma przynajmniej trzy cechy:

- ✧ wyznaczone w ten sposób prognozy mają większą obiektywność,
- ✧ eliminuje się, chociaż w części, obciążenie prognoz,
- ✧ minimalizuje się subiektywizm oceny.

Wykonano wiele prac i testów [1] które wykazały, że kombinacje prognoz często wykazują mniejsze błędy *ex-post* niż każda z oddzielnych prognoz. Taki przypadek zachodzi wówczas, gdy prognozy indywidualne są obciążone błędem systematycznym lub gdy prognozy są obciążone, ale ich błędy mają różne znaki.

Prognozy kombinowane można wyznaczać – jako średnie proste, jednak częściej wyznaczane są – jako średnie ważone. Wagi wyznacza się na podstawie błędów *ex-post* prognoz wykonanych różnymi modelami, minimalizując błąd średniokwadratowy prognozy kombinowanej.

Poniżej zaprezentowano kilka wybranych modeli ekonometrycznych stosowanych w prognozowaniu zużycia energii lub mocy szczytowych.

Model 1

Autorzy w [4] zastosowali ciekawe podejście do prognozowania zużycia energii elektrycznej. Wzorując się na znanej w ekonomii funkcji produkcji Cobb–Douglasa, zaproponowali pewną jej modyfikację do wyznaczenia prognozy zużycia energii elektrycznej w Chinach w okresie 2000–2010 roku. Model ma następującą postać:

$$E_t = \left(\frac{GDP_t}{GDP_{t-k}} \right)^\alpha \left(\frac{P_t}{P_{t-k}} \right)^\beta (1-\gamma)E_{t-k} \quad (3)$$

gdzie: E_t – roczne zużycie energii elektrycznej,
 GDP_t – Produkt Krajowy Brutto,
 P_t – cena energii elektrycznej w roku t ,
 P_{t-k} – cena energii elektrycznej w roku $t-k$,
 α – wskaźnik elastyczności dochodu (przyjmuje wartość około 0,7),
 β – wskaźnik elastyczności cenowej (przyjmuje wartość około 0,2),
 γ – wskaźnik wzrostu efektywności energetycznej,
 k – opóźnienie.

Model 2

Ranjan i Jain [14] zastosowali model ekonometryczny służący do wyznaczania zużycia energii elektrycznej. Użyto go w Indiach, prognozując zużycie energii elektrycznej dla aglomeracji Delhi. Ogólna postać modelu jest następująca:

$$E_t = f(\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_5, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) \quad (4)$$

gdzie: E_t – miesięczne zużycie energii elektrycznej,
 X_1 – średnia miesięczna populacja ludności,
 X_2 – średnia temperatura w miesiącu,
 X_3 – względna średnia wilgotność w miesiącu,
 X_4 – liczba słonecznych godzin w miesiącu,
 X_5 – miesięczny opad deszczu,
 $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_5$ – parametry strukturalne modelu.

Autorzy opracowali oddzielne modele dla czterech pór roku: zimy, lata, pory przedmonsunowej i pory pomonsunowej.

Model 3

W Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Częstochowskiej opracowano model używany do wyznaczania prognoz. Jest to model wykorzystujący rozkład kanoniczny wektora losowego, nazywany w skrócie modelem MRK. Zakładając, że pewien proces opisany jest wektorem losowym X , którego składowe X_i ($i = 1, 2, \dots, m$) są ze sobą skorelowane, przekształca się wektor X o składowych skorelowanych na inny wektor V , o składowych nieskorelowanych, które są funkcjami liniowymi składowych wektora X . Po przekształceniach model dla jednej chwili czasowej (indeks czasu pominięto) można zapisać następująco:

$$\begin{aligned} X_{01} &= V_1, \\ X_{02} &= a_{21}V_1 + V_2, \\ X_{03} &= a_{31}V_1 + a_{32}V_2 + V_3, \\ &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ X_{0m} &= a_{m1}V_1 + a_{m2}V_2 + \dots + a_{m,m-1}V_{m-1} + V_m \end{aligned} \quad (5)$$

Nieznane współczynniki a_{ij} otrzymuje się w wyniku rozkładu kanonicznego,

gdzie: m – liczba składowych wektorów X, V ,
 V_i – składowe wektora V ,
 X_i – składowe wektora X ,
 $X_{0i} = X_i - \bar{x}_{X_i}$ – zmienna scentrowana,
 $\bar{x}_{X_i}$ – wartość średnia składowej X_i ,
 X_X – wektor wartości średnich wektora X ,
 a_{ij} – współczynniki rozkładu kanonicznego tak dobrane, aby zapewnić brak korelacji dla zmiennych V_i .

Prognozowana jest zmienna X_{0m} , rolę zmiennych objaśniających pełnią zmienne $X_{01} \dots X_{0m-1}$. Pełny opis procedury rozkładu kanonicznego wraz z jej zastosowaniem w procesie predykcji zamieszczono w [2].

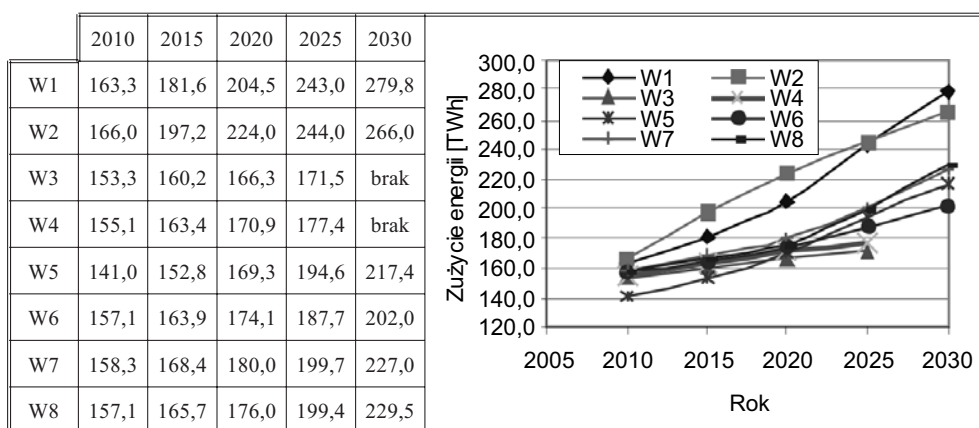
Model wykorzystano między innymi do prognozy szczytów zimowych w KSE, w perspektywie do 2030 roku [13].

3. Przegląd prognoz wykonanych dla KSE

W celu zaakcentowania wagi problemu związanego z wykonywaniem długoterminowych prognoz energetycznych, w tym przypadku zużycia energii i mocy szczytowych, zamieszczono kilka prognoz wykonanych w ostatnim okresie przez różne ośrodki lub indywidualne osoby. Część prognoz wykonano do 2025 roku, część do 2030. W kilku przypadkach wykonano jedynie prognozę zużycia energii bez prognozy szczytów, bądź prognozowano wymaganą moc zainstalowaną w systemie adekwatną dla prognozowanych zużyć energii. Wartości liczbowe prognoz zawarte są w tabelach 1 i 2. Znane są także również inne prognozy, takie jak przykładowo opracowane przez Ministerstwo Gospodarki i Pracy z 2004 roku. Były to cztery warianty prognoz zakładające zużycie energii brutto na poziomie od 252,7 do 273,1 TWh i to już w roku 2025. Wyznaczone wartości znacznie odbiegają od zawartych w tabeli 1, z wyjątkiem prognozy W1.

TABELA 1. Wariantowa prognoza zużycia energii elektrycznej [TWh]

TABLE 1. The variant forecast of energy consumption [TWh]



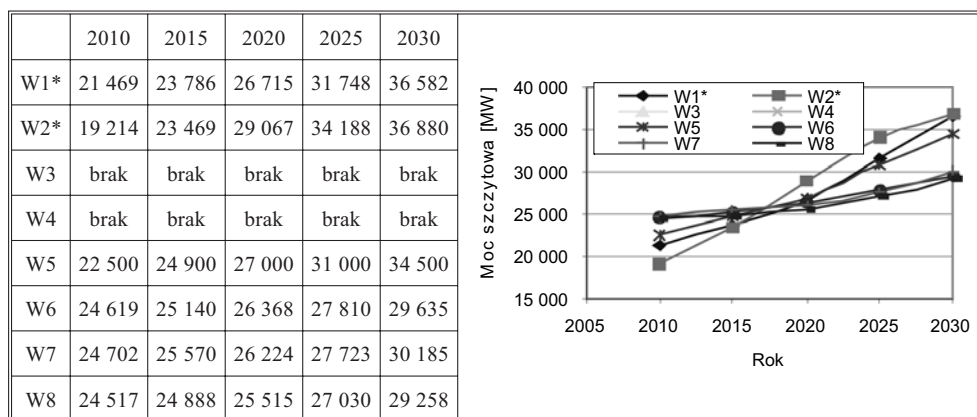
Źródło: opracowanie własne

Warianty W1, W2,...,W8 nie oznaczają w każdym przypadku różnych prognoz. Oznaczenie takie przyjęto jedynie dla skrótowego ich zapisu w tabelach oraz w opisie. I tak prognoza W3 i W4 jest jedną prognozą wykonaną dla dwóch scenariuszy wejściowych nazwanych – dolnym i górnym. Podobnie prognoza oznaczona W6, W7, W8 jest jedną prognozą wykonaną dla trzech scenariuszy danych wejściowych.

Prognozy wykonano w przedziale czasu 2005 do 2009 roku. Skrajne wartości prognoz dotyczące zużycia energii różnią się około 40% dla 2025 i 2030 roku, w przypadku prognoz mocy szczytowych różnica wynosi 26%. Są to znaczące różnice. Jak wytłumaczyć te rozbieżności? Przyczyn jest zapewne wiele. Prognozy wykonano różnymi modelami i metodami. Przyjmowano różne zmienne wejściowe, a także różne mogły być scenariusze dla tych samych zmiennych. Przykładowo, zmienną objaśniającą często stosowaną ze względu

TABELA 2. Wariantowa prognoza mocy szczytowych [MW]

TABLE 2. The variant forecast of peak power [MW]



Oznaczenia źródeł:

W1 – Najważniejsze zagadnienia dotyczące funkcjonowania sektora elektroenergetycznego w Polsce, praca zbiorowa, luty 2008.

W2 – Raport 2030 Badania Systemowe „EnergSys” Sp. z o.o. czerwiec 2008 r.

W3 – Polityka Energetyczna T8, Zeszyt specjalny 2005 PL ISSN 1429-6675. Prognoza autorska Z. Maciejewski z 2005 r. [8].

W4 – Polityka Energetyczna T8, Zeszyt specjalny 2005 PL ISSN 1429-6675. Prognoza autorska Z. Maciejewski z 2005 r. [8].

W5 – Raport Polityki energetycznej Polski do 2030 roku Listopad 2009 r. Prognoza ARE, Warszawa luty 2009 r. [15].

W6 – K. Lipko, Z. Parczewski i inni ELEKTROENERGETYKA Współczesność i rozwój nr 1 [3] 2010 r. [6].

W7 – K. Lipko, Z. Parczewski i inni ELEKTROENERGETYKA Współczesność i rozwój nr 1 [3] 2010 r. [6].

W8 – K. Lipko, Z. Parczewski i inni ELEKTROENERGETYKA Współczesność i rozwój nr 1 [3] 2010 r. [6].

W1* – Prognozę mocy szczytowej dla wariantu 1 określono na podstawie podanej przez W1 prognozy mocy zainstalowanej, jako 70% mocy zainstalowanej.

W2* – Prognozę mocy szczytowej dla wariantu 2 określono na podstawie podanej przez W2 prognozy mocy zainstalowanej, jako 70% mocy zainstalowanej.

Źródło: opracowanie własne

na stwierdzoną na podstawie wielu badań silną korelację między zużyciem energii elektrycznej jest wielkość PKB, wyrażana procentowo lub jako wartość pieniężna (mogą to być także przyrosty). Doświadczenie wskazuje, że chociaż jest to parametr syntetyczny, bardzo istotny dla opisu rozwoju całej gospodarki, to jednak możliwe są znaczące wahania jego wartości. Przykładem nieodległym w czasie są istotnie różniące się wartości wzrostu PKB choćby dla Polski podawane przez różne wyspecjalizowane światowe ośrodki. W tabeli 3 i 4 podano kilka wariantów prognozy PKB wykonanych prawie w tym samym czasie przez różne instytucje.

Zapewne zmienna PKB jest szczególnym przypadkiem wahań wartości, pokazuje jednak istotę problemu tworzenia prognoz w długich horyzontach. Dlatego tak ważne jest wszechstronne badanie właściwości modeli prognostycznych, w szczególności wrażliwości na zmiany wielkości wejściowych, a także wykonanie różnych dostępnych analiz wzbogaca-

TABELA 3. Projekcja rozwoju gospodarczego do 2030 r. opracowana przez Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową w 2007 r.

TABLE 3. The projection of economic growth for 2030, developed by the Institute for Market Economics in 2007

Tempo wzrostu PKB						
		2011–2015	2016–2020	2021–2025	2026–2030	2007–2030
	PKB [%]	105,8	105,2	105,7	104,6	105,1

Źródło: [15]

TABELA 4. Warianty kształtowania się PKB według różnych opracowań

TABLE 4. Variants of formation of the GDP according to various studies

Rodzaj prognozy i rok opracowania						
Okres	Polityka Energetyczna Polski do 2030	Raport 2030 Bazowy	Raport 2030 Umiarkowany	Aktualizacja Raport 2030 Bazowy	Aktualizacja Raport 2030 Umiarkowany	Euroelectric 2050
	2008/2009	2008	2008	2009	2009	2009
2006–2010	4,4	5,3	5,8	4,4	3,8	3,4
2011–2015	5,8	5,5	3,9	5,2	4,1	3,5
2016–2020	5,2	4,0	4,2	3,8	3,4	2,8
2021–2025	5,7	6,1	4,6	4,9	4,8	2,8
2026–2030	4,6	4,6	3,3	4,0	3,2	2,2
2006–2030	5,1	5,1	4,4	4,5	3,9	2,9

Źródło: [5]

jących wiedzę potrzebną do krytycznej oceny prognoz. Jedną z takich analiz jest analiza porównawcza stopni obciążenia. Jest ona stosunkowo prosta, a jednak sporo mówiąca o strukturze badanych systemów.

4. Analiza stopni obciążenia jako narzędzie wspomagające ocenę prognoz

W artykule zamieszcza się analizę stopni obciążenia dotyczącą danych historycznych oraz danych prognozowanych. Wykonano porównanie rocznych stopni obciążenia Polski

z kilkoma wybranymi krajami europejskimi w latach 1999–2008. Przeprowadzono również analizę zmienności rocznego stopnia obciążenia dla horyzontu wykonanych prognoz. Roczny stopień obciążenia jest ważnym wskaźnikiem, gdyż z jednej strony pozwala ocenić realność i spójność prognoz energii oraz szczytów obciążenia, z drugiej zaś daje ważną syntetyczną informację na temat pracy systemu w kontekście wyrównywania obciążeń. Badanie tego wskaźnika pozwala szybko ocenić realność scenariuszy wejściowych i otrzymanych z nich prognoz, poprzez fakt niemożności przekroczenia przez ten wskaźnik wartości teoretycznej zawierającej się w przedziale (0–1). Wyznaczone roczne stopnie obciążenia na podstawie założonego scenariusza zapotrzebowania na energię brutto oraz prognoz szczytów rocznych, umożliwiają dokonanie oceny realności przyrostów tych stopni w horyzoncie prognozy. Wyniki rocznych stopni obciążenia dla każdego z wariantów prognozy zawarte są w tabeli 6.

W okresie 1999–2008 przyrost zużycia energii brutto w Polsce wyniósł około 10%, a przyrost mocy szczytowej około 6%. W tabeli 5 zamieszczono wartości rocznego stopnia obciążenia dla Polski oraz wybranych krajów w latach 1999–2008. Podano wartości średnie, odchylenia standardowe oraz 10-letnie przyrosty wyznaczone według wzoru:

$$\Delta m_r = \frac{m_{r,2008}}{m_{r,1999}} - 1 \quad (6)$$

TABELA 5. Roczne stopnie obciążenia w wybranych krajach europejskich

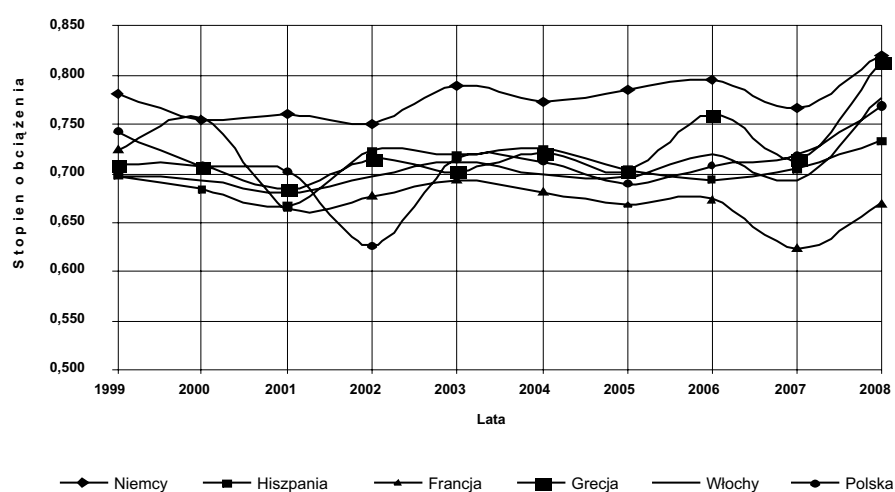
TABLE 5. Annual load level in the selected European countries

Lata	Niemcy	Hiszpania	Francja	Grecja	Włochy	Polska
1999	0,781	0,698	0,724	0,709	0,697	0,742
2000	0,755	0,685	0,756	0,707	0,694	0,708
2001	0,761	0,667	0,665	0,683	0,680	0,702
2002	0,751	0,723	0,677	0,715	0,698	0,627
2003	0,790	0,719	0,694	0,702	0,712	0,714
2004	0,773	0,725	0,681	0,722	0,700	0,712
2005	0,785	0,704	0,669	0,702	0,697	0,690
2006	0,796	0,694	0,674	0,761	0,719	0,708
2007	0,766	0,704	0,624	0,714	0,694	0,718
2008	0,821	0,735	0,670	0,814	0,777	0,732
średnia	0,778	0,705	0,684	0,723	0,707	0,709
Odch. stand.	0,021	0,021	0,036	0,038	0,027	0,037
Δm_r [%]	5,1	5,22	-7,4	14,8	11,5	3,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie UCTE Database.

Analizując dla kilku krajów zmienność rocznego stopnia obciążenia w latach 1999 do 2008 (tab. 5), wyznaczono średnie wartości stopni, odchylenie standardowe oraz przyrosty rocznych stopni obciążenia, obliczone według wzoru (6), wykazując zmianę tego wskaźnika w ciągu 10 lat. Wykresy na rysunku 2 pokazują porównanie kształtowania się rocznego stopnia obciążenia w systemie krajowym na tle kilku wybranych krajów. Zaskoczeniem jest Francja, w której występuje malejący trend i stosunkowo niskie wartości stopni obciążenia.

Wyniki liczbowe wskazują na dużą dynamikę. W Grecji przyrost wyniósł prawie 15%, a we Włoszech niespełna 12%. We Francji nastąpiło zjawisko odwrotne, czyli zmniejszenie rocznego stopnia obciążenia. W Polsce na tle prezentowanych krajów wzrost był umiarkowany, a nawet mały 3,7%.



Rys. 1. Przebiegi rocznych stopni obciążenia dla wybranych krajów
Źródło: opracowanie własne

Fig. 1. The course of annual load levels in the selected countries

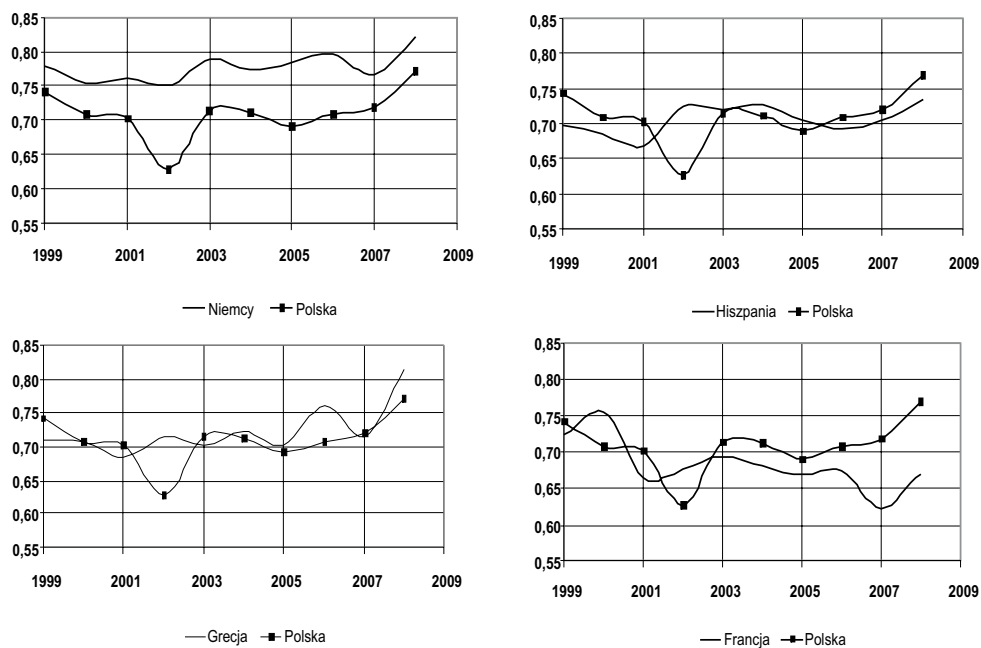
TABELA 6. Wariantowa prognoza stopnia obciążenia

TABLE 6. The variant forecast of annual load levels

	2010	2015	2020	2025	2030
W1*	0,868	0,872	0,874	0,874	0,873
W2*	0,986	0,959	0,880	0,815	0,823
W3	brak	brak	brak	brak	brak
W4	brak	brak	brak	brak	brak
W5	0,715	0,701	0,716	0,717	0,719
W6	0,729	0,744	0,754	0,771	0,778
W7	0,731	0,752	0,784	0,822	0,858
W8	0,732	0,760	0,788	0,842	0,895

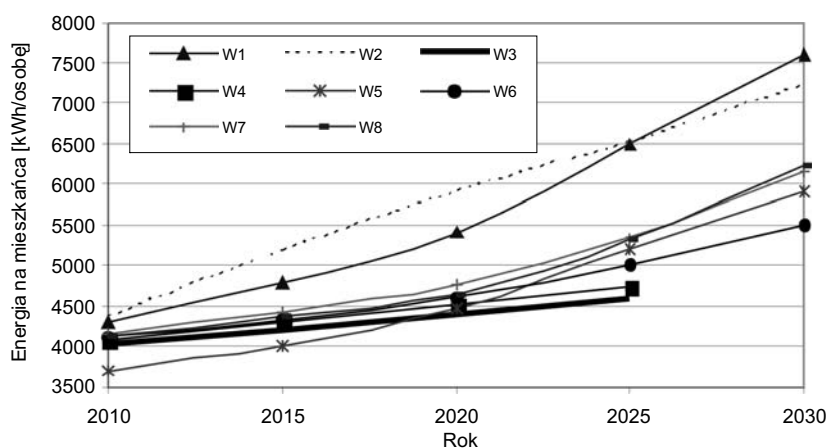
Źródło: opracowanie własne

W tabeli 6 zamieszczono wyznaczone z prognoz dla rozpatrywanych wariantów wartości rocznych stopni obciążenia dla krajowego systemu w latach 2009–2030.



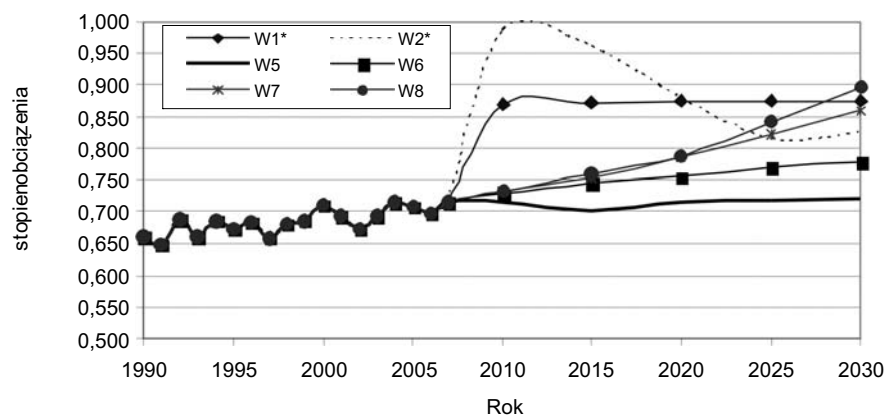
Rys. 2. Przebieg rocznych stopni obciążenia na tle wybranych krajów
Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. The course of the annual load levels on Polish compared to selected countries



Rys. 3. Zużycie energii elektrycznej na osobę według przyjętych wariantów
Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. The consumption of electricity energy per capita according to the adopted variants



Rys. 4. Przebieg rocznych stopni obciążenia dla Polski dla wybranych wariantów prognozy
Źródło: opracowanie własne

Fig. 4. The course of the annual load levels on Polish according to the adopted forecasting variants

Podsumowanie i wnioski

Interesujące jest porównanie prognoz zużycia energii elektrycznej z realizacją, wyrażone błędami *ex post*. Porównania można dokonać dla 2010 roku. Rzeczywiste zużycie energii elektrycznej na poziomie kraju w 2010 roku wyniosło 154 988 TWh. Uszeregowanie prognoz pod względem uzyskanych dokładności zamieszczono w tabeli 7.

TABELA 7. Uporządkowana wariantowa prognoza zużycia energii elektrycznej

TABLE 7. Sorted variant forecast of energy consumption

Wariant	Prognoza [TWh]	Realizacja [TWh]	Błąd bezwzględny [TWh]	MAPE [%]
W4	155 100	154 988	-112	-0,07
W3	153 300	154 988	1 688	1,09
W6	157 100	154 988	-2 112	-1,36
W8	157 100	154 988	-2 112	-1,36
W7	158 300	154 988	-3 312	-2,14
W1	163 300	154 988	-8 312	-5,36
W2	166 000	154 988	-11 012	-7,11
W5	141 000	154 988	13 988	9,03

Źródło: opracowanie własne

Najdokładniejszą jest prognoza oznaczona W4 i W3, mimo że wykonana została najwcześniej w 2005 roku. Prognozy oznaczone W6 i W8 wyznaczone w 2009 roku także można uznać za dobre. Prognozy W1, W2 oraz W5 wykazują niestety duży błąd.

Prezentacja różniących się co do wartości prognoz zużycia energii elektrycznej oraz rocznych mocy szczytowych ukazuje dwa ważne problemy. Pierwszy, to decyzja o wyborze i zbudowaniu odpowiedniego modelu, wybór danych wejściowych do modelu, testowanie i ocena właściwości modelu, badanie stabilności parametrów modelu i wrażliwości na możliwe zmiany wartości danych wejściowych. Drugi problem jest w oczywisty sposób związany z pierwszym, jest to ocena realności wykonanych prognoz.

W artykule skoncentrowano się na jednej z możliwych analiz wspomagających dokonanie takiej oceny. Jest to szeroko ujęta analiza kształtowania się w czasie rocznego stopnia obciążenia na tle innych parametrów dotyczących pracy systemu elektroenergetycznego. Przykładowo, analizując wykresy z rysunku 3 i 4 zauważa się niespójność wariantów W1, W2 z rysunku 3, wyrażających zmianę zużycia energii elektrycznej na mieszkańca, z wariantami W1* oraz W2* z rysunku 4, przedstawiających kształtowanie się rocznego stopnia obciążenia. Obserwując zwiększające się zużycie energii na mieszkańca można nie dostrzec w tym nic niepokojącego. W przodujących w tym względzie krajach UE już obecne zużycie niewiele odbiega od tych wartości. Analizując jednak dla tych samych wariantów stopień obciążenia zauważamy wyraźny brak korelacji między prognozą energii a prognozą mocy szczytowych. Jest to ważny sygnał do wnikliwej analizy.

Zmienność w czasie rocznych stopni obciążenia pokazana na rysunku 4 wydaje się wątpliwa dla niektórych wariantów, a nawet niemożliwa. Wykonanie analizy zmienności stopni obciążenia wymaga oczywiście znajomości dwóch prognoz: energii i mocy szczytowych. W przypadku dysponowania jedynie prognozą zużycia energii elektrycznej możliwe są inne analizy, przykładowo porównania energochłonności PKB, wybranych produktów czy gałęzi gospodarki w wybranych krajach. Jeszcze innym, powszechnie stosowanym wskaźnikiem jest roczne zużycie energii elektrycznej na osobę. Prognozy ludności są jednymi z lepiej dopracowanych, stąd ten wskaźnik może być dobrym odniesieniem przy porównywaniu prognoz. Przykładowo w założeniach zamieszczonych w „Polityce energetycznej Polski do 2030” zakłada się zmniejszenie elektrochłonności tworzenia PKB z wartości 110,4 w roku 2010 do 60,6 [MWh/mln zł 2007] w 2030 roku. Zakłada się także w tym dokumencie znaczące obniżenie zużycia energii pierwotnej na jednostkę PKB z poziomu około 89,4 toe/mln zł 2007 w 2006 r. do około 33,0 toe/mln zł 2007 w 2030 r.

Konfrontując prezentowane warianty prognoz energii i mocy z wyznaczonymi na tej podstawie stopniami obciążenia można wnioskować, że najbardziej realne wydają się warianty W6, W7 i W8, wskazujące ponadto na korzystną tendencję dla KSE, czyli wyrównanie obciążeń. Wydaje się to realne, zważywszy fakt powszechnie podkreślany, że zużycie energii elektrycznej na osobę będzie wzrastać do poziomu krajów takich jak Niemcy czy Francja. Na zakończenie warto jeszcze raz zaakcentować, szczególnie dla prognoz długoterminowych, istotność wykonywania symulacji pozwalających ocenić wrażliwość modelu na niepewność danych wejściowych (scenariuszy). Brak tego rodzaju analiz, brak wyników z przeprowadzonych testów, uniemożliwiają wykonanie wiarygodnej oceny przygotowanych prognoz.

Ciekawe byłoby np. porównanie wyników prognoz wykonanych dla tych samych danych wejściowych różnymi modelami (pod warunkiem, że możliwe jest wprowadzenie ich do każdego z tych modeli).

Literatura

- [1] DITTMANN P., 2004 – Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie. Oficyna Ekonomiczna, Kraków.
- [2] DOBRZAŃSKA I., DĄSAL K., ŁYP J., POPLAWSKI T., SOWIŃSKI J., 2002 – Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- [3] HENLEY A., PEIRSON J., 1998 – Residential energy demand and the interaction of price and temperature: British experimental evidence, *Energy Economic* 20, no 2, 157–171.
- [4] von HIRSCHHAUSEN C., ANDRES M., 2000 – Long-Term Electricity Demand in China -From Quantitative to Qualitative Growth. *Energy Policy* vol. 28, 231–241.
- [5] JANKOWSKI B., UMER A., 2009 – Badania Systemowe „EnergSys” Sp. z o.o., Uwagi do oceny skutków unijnej polityki dekarbonizacji dla Polski. Warszawa, 5 listopada. Źródło: Projekt Eurelectric 2050: Roadmap for a carbon-neutral european electricity sector by 2050.
- [6] JURDZIAK L., WIKTOROWICZ J., 2009 – Prognozowanie poziomu ryzyka finansowego dla układu kopalni węgla brunatnego i elektrowni. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 205–216. PL ISSN 1429-6675.
- [7] LIPKO K., PARCZEWSKI Z., TATAREWICZ I., KLIMPEL A., 2010 – EPC S.A., Długoterminowe prognozy popytu na energię i moc elektryczną w kraju dla potrzeb rozwojowych PSE Operator SA, *Elektroenergetyka* nr 1 (3).
- [8] MACIEJEWSKI Z., 2005 – Prognozy a możliwości krajowego systemu elektroenergetycznego. *Polityka Energetyczna* t. 8, z. spec. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 205–215, PL ISSN 1429-6675.
- [9] MACIEJEWSKI Z., 2008 – Sieci przesyłowe jako element bezpieczeństwa elektroenergetycznego Polski. *Polityka Energetyczna* t. 11, z. 1. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 285–298, PL ISSN 1429-6675.
- [10] MALKO J., 1995 – Wybrane zagadnienia prognozowania w elektroenergetyce. OWPW, Wrocław.
- [11] CARCEDO M.J., OTERO V.J., 2005 – Modelling the non-linear response of Spanish electricity demand to temperature variations, *Energy Economic* 27, no 3, 477–494.
- [12] PARDO A., MENEU V., VALOR E., 2002 – Temperature and seasonality influences on Spanish electricity load, *Energy Economics* 24, no 1, 55–70.
- [13] POPLAWSKI T., DĄSAL K., DUDEK G., ŁYP J., SOWIŃSKI J., STARCZYŃSKA E., 2010 – Opracowanie i weryfikacja modeli do prognozowania zapotrzebowania na moc elektryczną w krajowym systemie elektroenergetycznym (KSE) dla potrzeb opracowania w PSE Operator S.A. planów koordynacyjnych. Centrum Zastosowań Zaawansowanych Technologii Sp. z o.o., Warszawa (niepubl.).
- [14] RANJAN M., JAIN V.K., 1999 – Modeling of Electricity Energy Consumption in Delhi. *Energy*, Volume 24, pp. 351–361.
- [15] Załącznik 2. do „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku” Warszawa, 10 listopada 2009 r.

Kazimierz DAŚAL, Tomasz POPLAWSKI, Karolina RUSEK

The problem of assessing long-term forecasts of energy consumption and peak power in the Power Systems

Abstract

The article focuses on the issue concerning the assessment carried out at longer forecast horizons. An analysis of several forecasts made in different institutions. The assessment of forecasts of energy and peak power on the basis of formation of the annual load levels.

KEY WORDS: power systems, modeling, long-term forecasting, peak power, energy consumption