PROGNOZA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ I MOC SZCZYTOWĄ DLA POLSKI DO 2040 ROKU

Autor: Tomasz Popławski

(„Rynek Energii" – luty 2014)

Słowa kluczowe: rynek energii, prognozy długoterminowe, polityka energetyczna

Streszczenie. Polski sektor elektroenergetyczny stoi obecnie przed poważnymi wyzwaniami. Wysokie zapotrzebowanie na energię finalną, nieadekwatny poziom infrastruktury wytwórczej i przesyłowej, uzależnienie od zewnętrznych dostaw gazu ziemnego i ropy naftowej oraz zobowiązania w zakresie ochrony klimatu powodują konieczność podjęcia zdecydowanych działań. W celu realizacji zadań prawidłowego funkcjonowania systemu elektroenergetycznego niezbędnym elementem jest proces ciągłej obserwacji i przewidywania zmian stanu systemu w różnych horyzontach czasowych. W przypadku planowania rozwoju, horyzonty te określa się w kategoriach wieloletnich. Do klasycznych przykładów sytuacji, w której konieczne jest posłużenie się długoterminową prognozą, są decyzje dotyczące rozbudowy krajowego systemu pozyskiwania i dostarczania energii elektrycznej. Decyzje takie w sposób racjonalny można podejmować wyłącznie w oparciu o możliwie wiarygodną długoterminową prognozę popytu na energię oraz moc w obszarze działania krajowego systemu elektroenergetycznego. Wykonanie poprawnej prognozy dla systemu jest zadaniem niełatwym i wymagającym dużego doświadczenia, wiedzy i wyczucia. W artykule przedstawiono proces konstrukcji długoterminowej prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną i moc szczytową dla Polski w oparciu o rozkład kanoniczny wektora zmiennych losowych.

1. WPROWADZENIE

Ze względu na specyficzną pozycję energii elektrycznej jako produktu, badania dotyczące sektora energetycznego mają kluczowe znaczenie dla poprawnego funkcjonowania gospodarki. Duże fluktuacje cen nośników energii oraz istotne zachwiania dostaw zazwyczaj bardzo negatywnie wpływają na sytuację gospodarczą każdego kraju. Skutki podejmowania decyzji są zazwyczaj trudne do przewidzenia przede wszystkim ze względu na złożoność relacji występujących w tym sektorze oraz powiązania z pozostałymi sektorami.

Prognozując długoterminowo zapotrzebowanie na energię elektryczną dla Polski niewątpliwie należy uwzględnić tło przemian globalnych jakie dokonują się na świecie. Doskonałą analizę tych zmian przeprowadził autor w artykule [3], w którym na podstawie trzech raportów:

- Międzynarodowej Agencji Energii (IEA): World Energy Outlook 2012,
- Greenpeace: 4th Global Energy [R]evolution Scenario 2012,
- The World Bank: 4°C – Turn Down the Heat,

przedstawił główne trendy współczesnego świata w zakresie energii oraz ich ekstrapolację po rok 2025 z oceną skutków dla bezpieczeństwa zaopatrzenia w energię, rozwoju zrównoważonego i wzrostu gospodarczego. Zgadzając się z autorem w jego konkluzjach należy stwierdzić, że z punktu widzenia specyficznych uwarunkowań krajowego sektora energii najbardziej istotne znaczenie przypisać należy problemom następującym:

- tło przemian globalnych;
- perspektywy energetyki węglowej.
- perspektywy energetyki jądrowej,
- miejsce OZE.

Według [7] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku [6] posługuje się jednowariantową prognozą, którą oceniono jako realistyczną do 2015 roku i budzącą wątpliwości zwłaszcza w okresie 2020-2030 z powodu dynamicznego wzrostu zapotrzebowania.

Prognoza zapotrzebowania na energię finalną w horyzoncie roku 2030 zakłada ok. 29% wzrost w stosunku do 2006 roku. Dynamiczny rozwój źródeł energii odnawialnej zapewni 15% udział OZE w strukturze energii finalnej. Wzrost ten przekłada się na 21% wzrost zapotrzebowania na energię pierwotną. Prognozuje się, że wzrost ten nastąpi głównie po 2020 roku. Zakładana wysoka cena uprawnień do emisji gazów cieplarnianych na poziomie 60 Euro powoduje spadek zużycia węgla kamiennego (o ok. 16,5%) i brunatnego (o ok. 23%) przy jednoczesnym wzroście zużycia gazu ziemnego (o ok. 40%). W strukturze zapotrzebowania na energię pierwotną udział energii odnawialnej będzie wynosił 12,4% w 2030 r., a energii jądrowej 6,5%. Prognoza przewiduje wzrost finalnego zapotrzebowania na energię elektryczną z 111 TWh w 2006 r. do 172 TWh w 2030 r., co daje odpowiedni wzrost zapotrzebowania na energię brutto z 151 TWh w 2006 r. do 217 TWh w 2030 r.

Uwzględniając te uwagi oraz głosy pochodzące z kręgów rządowych i naukowych należałoby spróbować zweryfikować prognozy dotyczące zapotrzebowania na energię elektryczną i moc szczytową dla polski w dłuższym niż do tej pory szacowano horyzoncie do 2040 roku.

2. DŁUGOTERMINOWA PROGNOZA ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNA BRUTTO DLA POLSKI I MOC SZCZYTOWĄ – STUDIUM PRZYPADKU

Prace naukowe Zakładu Urządzeń i Gospodarki Elektroenergetycznej Politechniki Częstochowskiej skutkowały opracowaniem modelu rozkładu kanonicznego wektora zmiennych losowych (MRK), który wielokrotnie był wykorzystywany do prognoz i szczegółowo opublikowany w monografiach oraz renomowanych czasopismach naukowych [2,8,9,10,11]. Model ten między innymi wdrożono w PSE S.A. i wykorzystuje się do prognoz energii elektrycznej oraz mocy szczytowych w krajowym systemie elektroenergetycznym. W artykule opisano studium przypadku wykonania długoterminowej prognozy energii brutto i mocy szczytowej dla KSE w horyzoncie do 2040 roku.

2.1. Model matematyczny

Autorzy zakładają, że pewien proces opisany jest wektorem losowym **X**, którego składowe x_i (i = 1, 2, ...,m) są ze sobą skorelowane.

Wektor **X** o składowych skorelowanych przekształca się na inny wektor **V**, o składowych nieskorelowanych. Uzyskane składowe są funkcjami liniowymi składowych wektora **X**.

W ogólnym przypadku stosowania modelu MRK w procesie prognozy wybieramy przypadek, w którym znamy realizacje p składowych, a prognozujemy $(m-p)$ zmiennych. W prognozie zmienne X_1, X_2, aż do X_p są traktowane jak zmienne objaśniające, składowe X_{p+1} i dalsze są zmiennymi endogenicznymi. Równanie dla wyznaczenia prognozy $i-$tej składowej (zmiennej) jest następujące:

$$\hat{Y}_i = \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} V_j + \hat{V}_i + \bar{x}_{Xi} \qquad (1)$$

Rozpisując równanie (1) w każdym kolejnym równaniu nieznana pozostaje wartość $\hat{V}_i$ wynikająca z ogólnej zależności:

$$V_i = f_1(X_{01}, X_{02}, \ldots, X_{0i}) \qquad (2)$$

W praktyce modelowania z zależności (2) nie można by było skorzystać ze względu na brak korelacji pomiędzy zmiennymi objaśniającymi. Jednakże kolejne wektory V_i można wyznaczyć wykorzystując dane historyczne poprzez konstrukcję empirycznych warunkowych rozkładów częstości, a na ich podstawie dystrybuant o następującej postaci:

$$\begin{aligned} &F_1(v_2 | V_1 < v_1) \\ &F_2(v_3 | V_1 < v_1, V_2 < v_2) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &F_{m-1}(v_m | V_1 < v_1, V_2 < v_2, \ldots, V_{m-1} < v_{m-1}) \end{aligned} \qquad (3)$$

W zastosowaniu praktycznym uwzględniając związki (3), buduje się funkcje gęstości prawdopodobieństwa wg następującej ogólnej formuły:

$$F_i\left(V_{i+1} \middle| x_{0igr} < X_{0i} \le x_{0ig,r+1}\right), \; i = 1,2,\ldots,m-1 \qquad (4)$$

Pełny opis procedur rozkładu kanonicznego wraz z ich szczegółowym zastosowaniem w procesie predykcji zamieszczono w monografiach [2,8,9].

2.2. Zbiór danych wejściowych

Specjaliści zajmujący się modelowaniem rozwoju [1,2,3,4,7,8,9,10,11] zaznaczają, że jednym z kluczowych problemów każdego sformalizowanego procesu prognozowania jest tzw. kalibracja modelu,

czyli dopasowanie jego wyników do wartości bilansujących dla roku bazowego (wyjściowego) obliczeń. Zwykle rokiem bazowym jest rok dla którego można pozyskać wymagany komplet danych, co w przypadku procesów prognozowania makroekonomicznego, a z takimi procesami mamy do czynienia w niniejszym artykule, jest zadaniem dość złożonym. Model rozwoju powinien korespondować zarówno z polityką rozwojową UE zawartą w różnych aktach prawnych jak też z polityką krajową [5,6,13,15]. W sytuacji szybkich zmian w technologiach energetycznych brak jest szczegółowych wizji rozwoju elektroenergetyki, a wszelkie przewidywania cechuje wielka niepewność. Żadne zabiegi badawcze nie są w stanie wyeliminować niepewności, dotyczącej przyszłości systemów energetycznych. Zasadne jest tworzenie wariantowych scenariuszy tego, co się może z pewnym prawdopodobieństwem wydarzyć.

Dla potrzeb planowanego eksperymentu wyodrębniono zmienne objaśniające w modelu.

Zmienne objaśniające zewnętrzne kreujące tempo rozwoju Polski na skutek oddziaływania czynników zewnętrznych (polityka energetyczna UE, tempo rozwoju krajów UE, rozwój gospodarczy/kryzys, czynniki społeczne w UE, czynniki środowiskowe w UE) – dla europejskich krajów OECD. Do tych zmiennych zaliczono:

- całkowite zużycie energii pierwotnej w PBtu,
- zużycie ogółem energii elektrycznej netto w TW h,
- całkowita emisja CO_2 związana ze zużyciem energii w mln ton,
- energochłonność w Btu/USD2005.

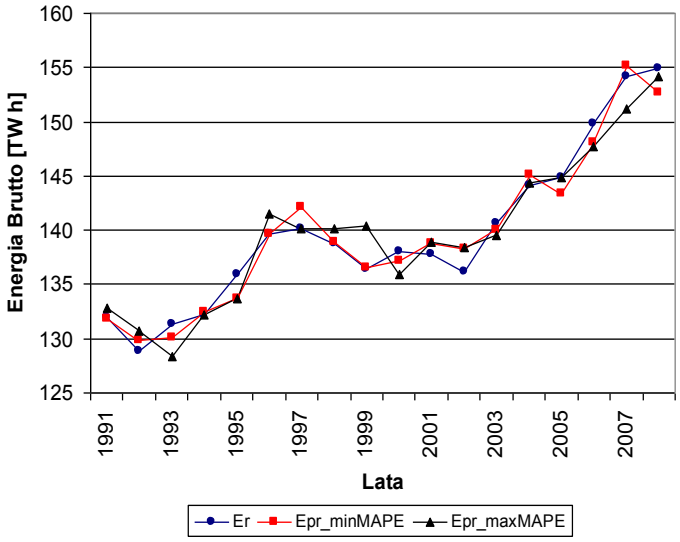
Zmienne objaśniające wewnętrzne kreujące tempo rozwoju Polski na skutek oddziaływania czynników wewnętrznych w Polsce (polityka gospodarcza rządu, rozwój gospodarczy/kryzys w Polsce, czynniki społeczne w Polsce, czynniki środowiskowe w Polsce).

Do tych zmiennych zaliczono:

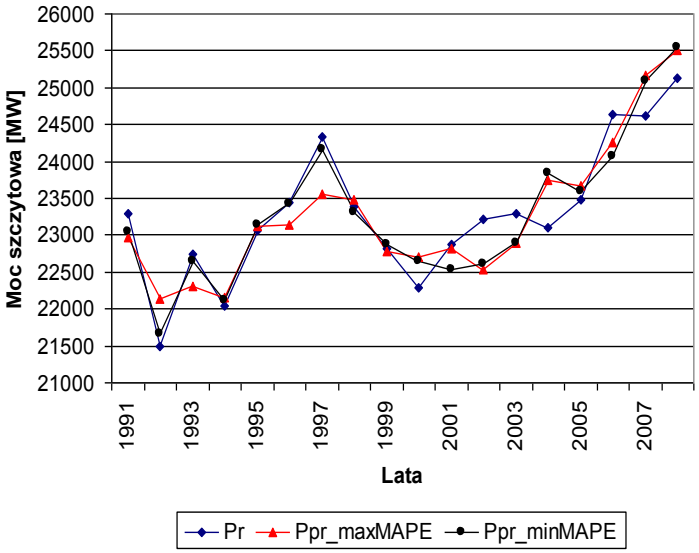
- ludność w mln osób,
- produkt krajowy brutto, w cenach bieżących w mln PLN,
- wartość dodana w przemyśle, w cenach bieżących w mln PLN,
- wartość dodana w pozostałych sektorach gospodarki, w cenach bieżących w mln PLN,
- całkowite zużycie energii pierwotnej w PJ,
- całkowita emisja CO_2 związana ze zużyciem energii w mln ton,
- energochłonność w Btu/USD2005,
- straty i różnice bilansowe (straty przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej) w GW h,
- zużycie bezpośrednie energii elektrycznej w przemyśle w GW h,
- zużycie bezpośrednie energii elektrycznej w grupie pozostali odbiorcy w GW h.

2.3. Kalibracja modelu

Wykonanie obliczeń dla wszystkich możliwych wariantów wyboru potencjalnych zmiennych objaśniających może być trudne do wykonania, a nawet niemożliwe w rozsądnym czasie. Jest to jeden z ważniejszych powodów zmuszający do szukania metod pozwalających ograniczyć liczbę kombinacji, a jednocześnie umożliwiających znalezienie kombinacji zmiennych spełniających zadany warunek optymalności. W opisywanym eksperymencie zastosowano metodę Hellwiga ograniczającą nam do niezbędnego minimum liczbę zmiennych objaśniających bez utraty własności i dokładności modelu. Dla zbadania własności modelu i wyznaczenia jego parametrów (kalibracji) wykonano próby z dziesięcioma wybranymi metodą Hellwiga najlepszymi kombinacjami zmiennych objaśniających. Wyniki dopasowania modelu do danych empirycznych przedstawiono na rysunkach rys.1. i rys.2.



Rys. 1. Przebiegi rzeczywisty i wyznaczone podczas kalibracji modelu MRK w prognozie energii brutto KSE dla najlepszej i najgorszej w sensie błędu dopasowania MAPE kombinacji kolejności zmiennych wyselekcjonowanych metodą Hellwiga



Rys. 2. Przebiegi rzeczywisty i wyznaczone podczas kalibracji modelu MRK w prognozie mocy szczytowej KSE dla najlepszej i najgorszej w sensie błędu dopasowania MAPE kombinacji kolejności zmiennych wyselekcjonowanych metodą Hellwiga

Dla lat 2009, 2010 oraz 2011 wykonano prognozy walidacyjne, a wyniki dla najlepszego i najgorszego wariantu w sensie dopasowania MAPE do danych rzeczywistych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1 Prognozy walidacyjne energii elektrycznej brutto i mocy szczytowej dla KSE za lata 2009 do 2011

		Prognoza energii brutto			
	E_r	$E_{pr\text{-}var\text{-}3\text{-}7\text{-}9}$	MAPE	$E_{pr_var\text{-}1\text{-}9\text{-}10\text{-}3\text{-}5}$	MAPE
Lata	TWh	TWh	%	TWh	%
2009	157,9	157	0,60	167,8	6,30
2010	157,9	159	0,70	162,7	3,03
2011	158,9	158,9	0,00	162,2	2,03
Błędy średnie			**0,43%**		**3,79%**
		Prognoza mocy szczytowej			
	P_r	$P_{pr_var\text{-}6\text{-}8\text{-}1}$	MAPE	$P_{pr_var\text{-}1\text{-}14\text{-}8\text{-}9\text{-}6}$	MAPE
Lata	MW	MW	%	MW	%
2009	24 594	24221	1,52	24108	1,98
2010	25 449	25984	2,25	25770	1,26
2011	24 780	26074	5,32	26101	5,33
Błędy średnie			**1,54%**		**1,18%**

2.4. Prognozy zmiennych zewnętrznych objaśniających w horyzoncie do 2040 roku

Prognozę zapotrzebowania rocznego na energię elektryczną brutto oraz moc szczytową w krajowym systemie elektroenergetycznym skonstruowano dla scenariusza bazowego. W scenariuszu tym wykorzystano założenia przyjęte przez amerykańską agencję EIA w sprawie prognozy dynamiki wzrostu gospodarczego krajów strefy OECD.

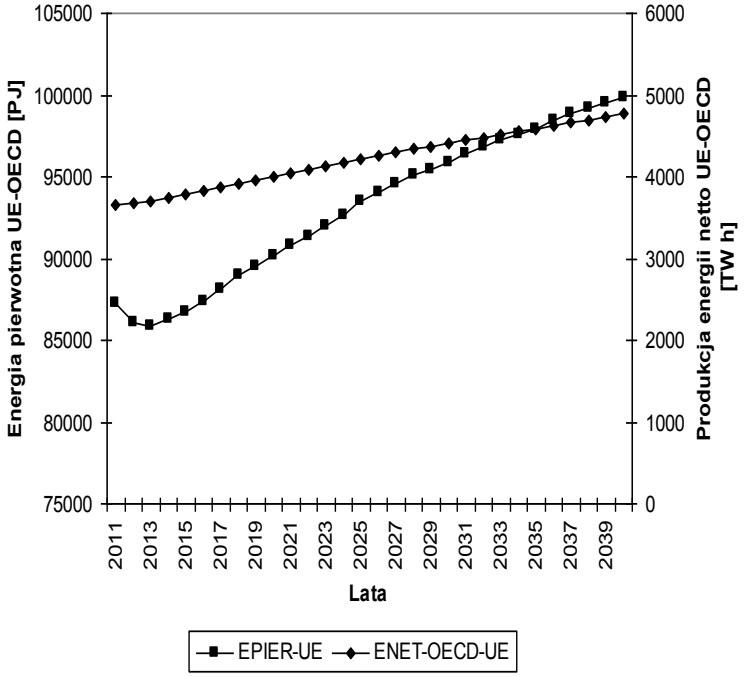
2.5. Prognozy zmiennych wewnętrznych objaśniających w horyzoncie do 2040 roku

W przypadku prognoz zmiennych objaśniających kreujących tempo rozwoju Polski w horyzoncie do 2040 roku wykorzystano dostępne dane z GUS dotyczące prognozy ludności dla Polski do 2035r [12]. W celu ujednolicenia horyzontu prognozy ostatnie pięć lat aproksymowano wielomianem drugiego stopnia do 2040 roku. Wyznaczona funkcja miała postać

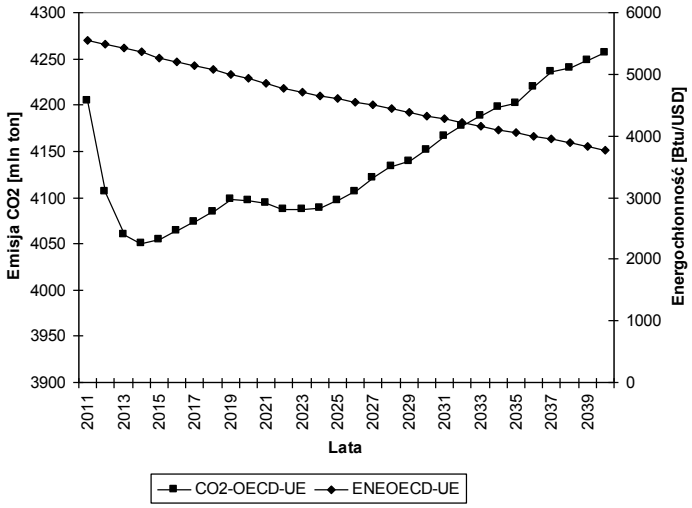
$y= -0{,}0021x^2 + 0{,}0495x + 38{,}29.$

Prognozę krajowego produktu brutto PKB wykonano jako autorską w oparciu o dokument „World In 2050" przygotowany przez PwC dawniej (Pricewotherhause Coopers) [15], w którym autorzy szacują na

tle świata również PKB dla Polski. W dokumencie tym przyjęto, że PKB dla Polski będzie wzrastał realnie około 3% rocznie do 2030r., a później około 2,5% rocznie do 2050 roku. Kierując się podobnymi przesłankami dokonano autorskiej prognozy PKB dla Polski w horyzoncie do 2040r.

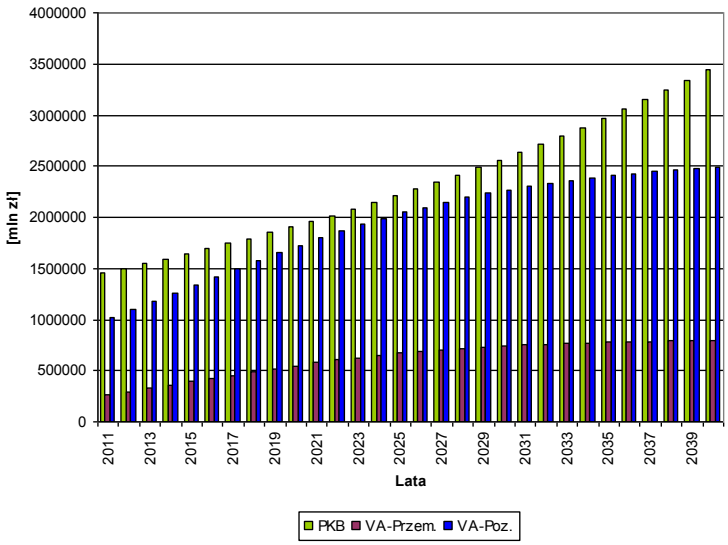


Rys. 3. Prognozy EIA dotyczące zapotrzebowania na energie pierwotną oraz produkcji energii elektrycznej netto przez europejskie kraje strefy OECD do 2040 roku



Rys. 4. Prognozy EIA dotyczące emisji CO_2 oraz energochłonności europejskich krajów strefy OECD do 2040 roku

W dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku" w załączniku nr 2 „ Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku" [13] zakłada się, że wartość dodana przemysłu zmniejszy się w 2030 roku do 19,3% natomiast w pozostałych sektorach utrzyma się na podobnym poziomie, jedynie w usługach wzrośnie z 57,6% w 2010r do 65,8% w 2030r. Kierując się podobnymi przesłankami dokonano również autorskiej prognozy wartości dodanych przemysłu i pozostałych sektorów razem do 2040r.

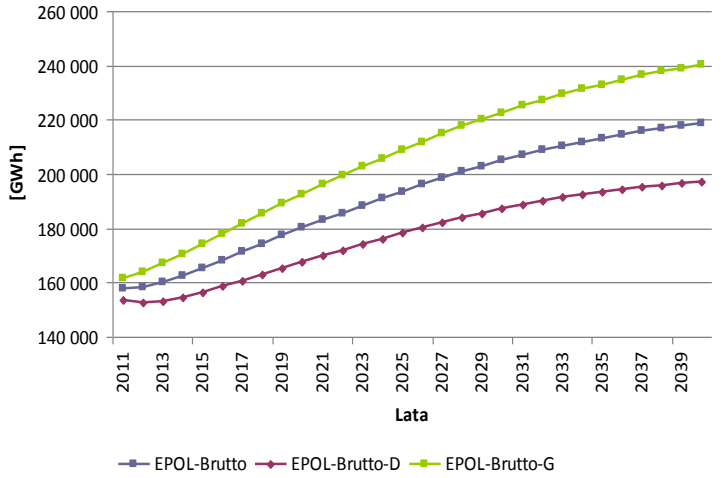


Rys. 4. Prognozy PKB dla Polski, wartości dodanej przemysłu oraz pozostałych sektorów łącznie w horyzoncie do 2040 roku

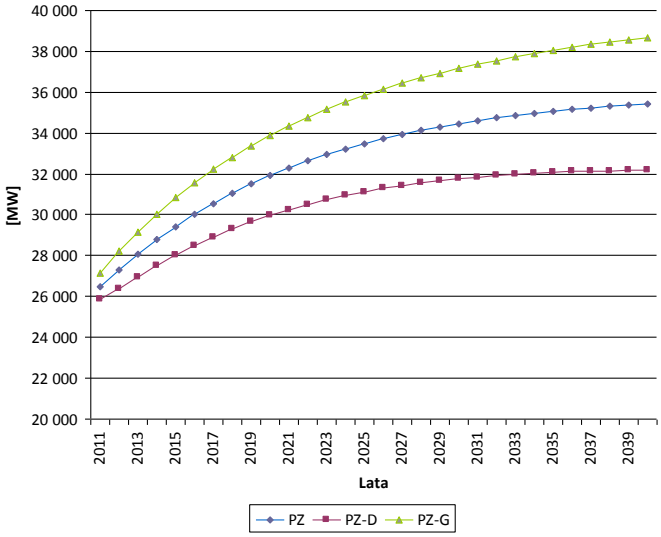
Rządowe plany zakładają spadek energochłonności z 73,1 [toe/mln zł 07] w roku 2010 do 33 [toe/mln zł 07] w 2030 roku. Zakładając podobne tempo spadku w 2040 roku uzyskalibyśmy spadek energochłonności do poziomu 64% w stosunku do 2011roku. Utrzymując te trendy uzyskalibyśmy w 2040 r. energochłonność niższą niż prognozowana dla Europy energochłonność przez amerykańską agencję EIA. W przypadku energii pierwotnej planuje się wzrost jej zapotrzebowania do 2030 r. o 21%. Utrzymując podobne tempo wzrostu szacuje się przyrost energii pierwotnej w 2040 r o około 30%.

2.6. Prognozy energii brutto i mocy szczytowej dla Polski w horyzoncie do 2040 roku

Przyjmując opisane powyżej założenia wykonano prognozę energii brutto oraz mocy szczytowej dla Polski. Jest to wariant bazowy, ale w efekcie końcowym model generuje również wariant górny oraz dolny prognozy.



Rys. 5. Prognozy energii brutto dla Polski w horyzoncie do 2040 roku



Rys. 6. Prognozy szczytu rocznego dla Polski w horyzoncie do 2040 roku

3. PODSUMOWANIE

W procesie budowy modelu aktualne są reguły parsymonii i ekonomii myślenia, zgodnie z którymi w wyjaśnianiu zjawisk (modelowaniu rzeczywistości) należy dążyć do prostoty, wybierając takie wyjaśnienia (modele), które opierają się na jak najmniejszej liczbie założeń i pojęć (parametrów). Prostsze modele obarczone są mniejszym prawdopodobieństwem nadmiernego dopasowania, a co za tym idzie, wzrostu błędu generalizacji. W pracy z modelami długoterminowymi występują pewne elementy, których wychwycenie w odpowiednim momencie budowy prognozy może spowodować zminimalizowanie ryzyka i niepewności prognozy. Są to:

- scenariuszowanie danych wejściowych,
- odpowiednie przygotowanie danych energetycznych (korzystanie z ujednoliconej statystyki weryfikowanej przez instytucje międzynarodowe),
- korzystanie z krajowych prognoz (demograficznej, finansowej, dotyczącej różnych postaci energii) przygotowywanych poprzez odpowiedzialne, powołane do tego instytucje,
- wielokrotne uruchamianie modelu na danych o kolejnych rangach obowiązywania w kolejności np. ich udostępniania,
- w aspekcie liczby wymaganych zmiennych do modelu, za najlepszy model uważa się taki, który przy jak najmniejszej liczbie zmiennych objaśniających wyjaśnia w zadawalający sposób wariancję badanego procesu

LITERATURA

[1] Dąsal K, Popławski T.: Dobór zmiennych wejściowych w modelu prognoz długoterminowych funkcją Q. Przegląd Elektrotechniczny PL ISSN 0033-2097, R.85 Nr 2/2009 s.144-148.

[2] Dobrzańska I.: Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2002.

[3] Malko J.: Wizja przyszłości - trzy punkty widzenia. Rynek Energii 2013, nr 2 (105).

[4] Malko J.: Uwarunkowania polskiej polityki energetycznej. Polityka Energetyczna, T.12 zeszyt 2/2:.369–391, 2009.

[5] Mix Energetyczny 2050. Analiza scenariuszy dla Polski. Ministerstwo Gospodarki. Warszawa 2011.

[6] Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku, Warszawa wrzesień 2010

[7] Popczyk J., Co współcześnie jest potrzebne: kontynuowanie dotychczasowego prognozowania, czy antycypowanie rozwoju technologii i procesów społeczno-gospodarczych?, mat. konf. X Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Prognozowanie w Elektroenergetyce" PE'2010, SWWZ, Częstochowa 2010, s.15-38;

[8] Popławski T.: Wybrane zagadnienia prognozowania długoterminowego w systemach elektroenergetycznych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2012

[9] Popławski T.: Teoria i praktyka w planowaniu rozwoju i eksploatacji systemów elektroenergetycznych. Wybrane aspekty. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2013

[10] Popławski T, Dąsal K.: Prognozowanie zapotrzebowania na moc i energie elektryczna metodą rozkładu kanonicznego. Polityka Energetyczna, T.10 z.specj.2:.289–304, 2007.

[11] Popławski T, Dąsal K.: Zastosowanie modelu MRK do prognozy cen wybranych paliw biomasowych. Polityka Energetyczna, T.14 z.2:335–347, 2011.

[12] Prognoza Ludności na lata 2008-2035. GUS Warszawa 2013

[13] Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energie do 2030 roku. Załacznik 2 do „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku". Ministerstwo Gospodarki.

[14] Uwarunkowania rozwoju energetyki krajowej, scenariusze makroekonomiczne i prognozy popytu na energię do roku 2030. Badania Systemowe „EnergSys" Sp. z o.o. Warszawa 2008.

[15] World in 2050 The BRICs and beyond: prospects, challenges and opportunities © 2013 PricewaterhouseCoopers LLP.

FORECAST DEMAND FOR ENERGY AND PEAK POWER FOR POLAND TO THE YEAR 2040

Key words: energy market, long-term forecasts, energy policy

Summary. Polish power engineering sector faces serious challenges at the moment. High demand for final energy, inadequate level of production and transfer infrastructure, dependence on external gas and crude oil supplies, requirements to comply with climate and environment protection, make it necessary to take serious actions.

In order to fulfill the tasks of correct functioning of power engineering system, a crucial element is to monitor and forecast instant changes of system state in different time horizons. In the case of development planning, these horizons are determined in multi-annual categories. To the typical situations, it is necessary to make use of a long term forecast, the decisions concerning development of national system of energy acquisition and supply. These decisions can be made on a rational basis only on the basis of the most credible long-term forecasts concerning energy and power demand for domestic power engineering system. Making a correct forecast for the whole system is a difficult task, which requires a lot of experience, knowledge and intuition. In the paper the process of producing a long-term forecast for electric energy demand for Poland on the basis of the canonical distribution of the vector of random has been presented.

Tomasz Popławski, dr hab. inż. prof. PCz. pracuje w Instytucie Elektroenergetyki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej. Aktualnie pełni funkcję Prodziekana ds. Nauki Wydziału Elektrycznego.

Jego naukowe badania skupiają się na analizach, modelowaniu i prognozowaniu zjawisk związanych z eksploatacją oraz programowaniem rozwoju systemów elektroenergetycznych. E-mail: poptom@el.pcz.czest.pl