

Tomasz POPLAWSKI\*, Kazimierz DAŚAL\*

## Prognozowanie zapotrzebowania na moc i energię elektryczną metodą rozkładu kanonicznego

**STRESZCZENIE.** Charakterystyczną cechą systemu elektroenergetycznego jest jego ciągła zmienność. W celu poprawnego prowadzenia eksploatacji systemu elektroenergetycznego jak również planowania jego rozwoju niezbędne jest wykonywanie prognoz elektroenergetycznych. Wykonanie poprawnej prognozy dla systemu jest zadaniem niełatwym i wymagającym dużego doświadczenia, wiedzy i wyczucia. Aby w sposób świadomy móc regulować i przewidywać procesy zachodzące w systemie elektroenergetycznym niezbędne są prace z dziedziny analizy obciążeń elektroenergetycznych. Wraz z przemianami społeczno-politycznymi i idącymi w ślad za nimi przemianami gospodarczymi obserwowanymi w kraju w ostatnim osiemnastoleciu, dostrzec można również ewolucję poglądów na temat roli prognozowania elektroenergetycznego. W artykule przedstawiono model prognostyczny (MRK) oparty o rozkład kanoniczny wektora zmiennych losowych. Jest to metoda prognostyczna w wyniku której można otrzymać krótkoterminowe i długoterminowe prognozy zapotrzebowania na energię i moc elektryczną, które mają wpływ na pracę systemu elektroenergetycznego w Polsce.

**SŁOWA KLUCZOWE:** krótkoterminowe i długoterminowe prognozowanie w elektroenergetyce, szeregi czasowe, rozkład kanoniczny

---

\* Dr inż. — Instytut Elektroenergetyki, Zakład Inżynierii Materiałów Elektrotechnicznych i Gospodarki Elektroenergetycznej, Politechnika Częstochowska, Częstochowa. [poptom@el.pcz.czest.pl](mailto:poptom@el.pcz.czest.pl); [daka@el.pcz.czest.pl](mailto:daka@el.pcz.czest.pl)

Recenzent: doc. dr hab. inż. Wojciech SUWAŁA

# 1. Prognozowanie dla potrzeb rozwoju systemu elektroenergetycznego

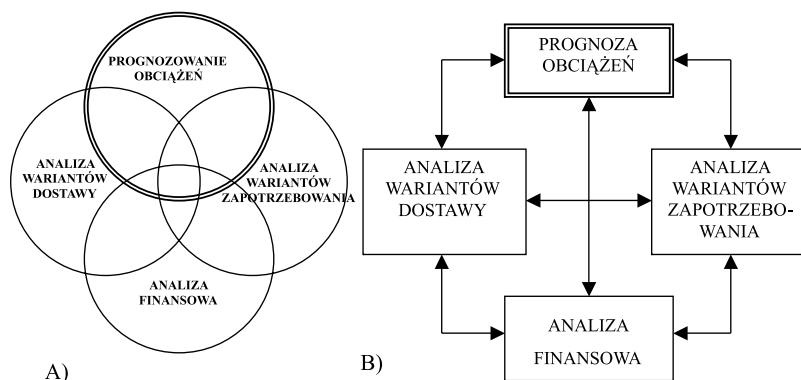
W szeroko dostępnej literaturze np. [1, 3] niekwestionowaną pozycję przypisuje się energii elektrycznej dla rozwoju i funkcjonowania gospodarek nowożytnych społeczeństw. Dużą rangę mają zagadnienia dotyczące zaspokajania potrzeb energetycznych, a wśród nich elektroenergetycznych. Różnorodne aspekty zjawisk związanych z kształtowaniem zapotrzebowania na energię elektryczną [7] wymagają różnych informacji o istocie tego procesu.

Złożoność problematyki prognostycznej implikuje podział i klasyfikacje stosowanych metod ze względu na:

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

W aktualnych realiach rozwoju rynku energii elektrycznej w Polsce rozmiar systemu może zmieniać się w szerokich granicach. Biorąc pod uwagę spójny obszar (system), można wyselekcjonować dla niego szereg wielkości opisujących jego: dynamikę, strukturę, zmienność, a bazując na tych relacjach wyodrębnić różne systemy elektroenergetyczne: krajowy system elektroenergetyczny (KSE), spółki dystrybucji energii (SD), okręgi elektroenergetyczne, województwa, miasta, gminy wiejskie itp. Do celów dotyczących planowania będą rozważane systemy w skali kraju i jego regionów, gdyż na takim poziomie są rozpatrywane decyzje, związane z ogólną strategią rozwoju społeczno-gospodarczego.

Współczesne planowanie rozwoju systemu elektroenergetycznego jest oparte na koncepcji zintegrowanego planowania zasobów (Integrated Resource Planning)[3]. Na rysunku 1 przedstawiono ideę takiego sposobu planowania.



Rys. 1. Zintegrowane planowanie rozwoju  
A) Model idealny, B) Model praktyczny [3]

Fig. 1. Integrated resource planning  
A) Ideal model, B) Practical approach

Wyróżniono tu cztery zasadnicze segmenty planistyczne wzajemnie się przenikające i zależne od siebie. W praktycznym ujęciu obszary te posiadają znaczną autonomię. Jak widać jednym z bloków wyróżnionych podwójną linią jest obszar prognozowania. Ogólnie do planowania niezbędne są długookresowe prognozy zapotrzebowania energii, a następnie wartości mocy szczytowych oraz przebiegi obciążeń.

W dotychczasowej praktyce dotyczącej długoterminowych prognoz zapotrzebowania na energię elektryczną i moc dla Polski, w zależności od celu, dostępnego materiału statystycznego, komplikacji zadania, używano różnych technik prognostycznych np:

- ✧ model MAED (Model of Analysis Energy Demand,
- ✧ modeli ekstrapolacji trendów,
- ✧ modeli ekonometryczne (pakiety oprogramowania ISP, SPSS, SAS, MINITAB, BIOMED),
- ✧ modele zużycia końcowego (end-use), (np. MEDE – Francja, CONAES – USA),
- ✧ modeli hybrydowych (np. AI+ szeregi czasowe).

W artykule proponuje się wykorzystanie do tych celów modelu prognostycznego MRK opartego o rozkład kanoniczny wektora zmiennych losowych. Jest to nowa metoda prognostyczna stosowana do tych celów, w wyniku której można otrzymać długoterminowe prognozy zapotrzebowania na energię i moc elektryczną lub innych wskaźników makroekonomicznych mających wpływ na rozwój systemu elektroenergetycznego w Polsce.

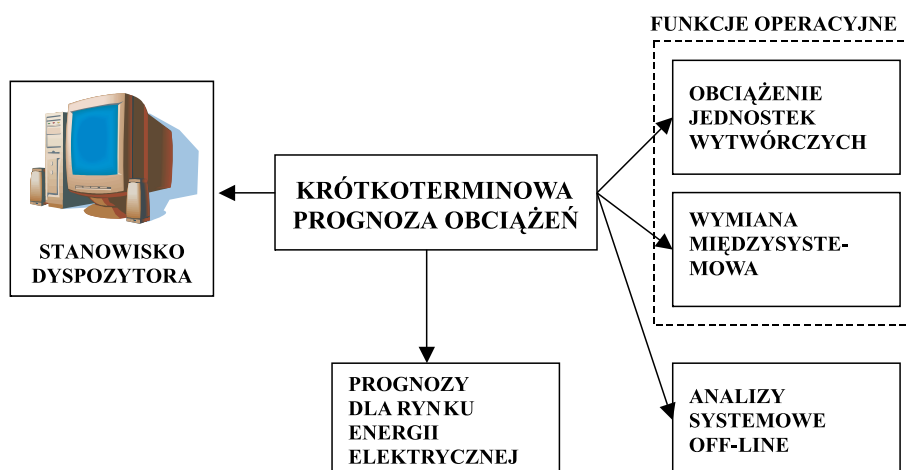
## 2. Prognozowanie dla potrzeb eksploatacji i sterowania systemem elektroenergetycznym w warunkach rynku energii

Podstawowym warunkiem prawidłowego funkcjonowania systemu elektroenergetycznego jest śledzenie przez system wytwórczy bieżącego obciążenia podsystemu odbiorczego. Wymaga to zastosowania szerokiego spektrum narzędzi prognostycznych o różnych horyzontach czasowych prognozowania. W większości dotyczy to krótkoterminowych prognoz obciążeń (Short-Term Load Forecasting, STLF). W zależności od przeznaczenia wyprzedzenia czasowe mogą wynosić – sekundy, jeśli do czynienia mamy z prognozami na wymogi samoczynnej regulacji obciążeń w systemie (ARCM), minuty – jeśli do czynienia mamy ekonomicznym rozdziałem obciążeń w systemie (ERO) w celu minimalizowania kosztów pokrycia zapotrzebowania. Zakres ERO można potraktować lokalnie mając na myśli podsystem jakim jest sama elektrownia, a poszczególne bloki elektrowni mają być prowadzone tak aby zapewnić ich najbardziej ekonomiczną pracę. W takim przypadku wyprzedzenia minutowe są jak najbardziej uzasadnione. W sytuacji deregulacji energetyki należy się także liczyć z lokalnymi systemami energetycznymi posiadającymi zespoły elektrowni. W celu minimalizacji kosztów pokrycia zapotrzebowania w takich systemach można również stosować ERO lub EERO (wersja „ekologiczna”) w związku procedurami uruchamiania i odstawiania jednostek wytwórczych, a wówczas uzasadnione są prognozy z wyprzedzeniem godzinowym i dobowym.

Rozważając prace globalnych systemów elektroenergetycznych na poziomie kraju lub kilku krajów w ramach Unii Europejskiej należy brać pod uwagę również wyprzedzenia tygodniowe a nawet miesięczne. Związane jest to z dążeniem do optymalizacji programu wyłączeń jednostek, doboru ich struktury remontów i zużycia paliwa.

Dokładność krótkoterminowych prognoz obciążeń odgrywa zasadniczą rolę we współczesnych systemach sterowania i zarządzania energią (Energy Management System EMS) [3].

Realia rozwijającej się gospodarki rynkowej powodują rosnące zapotrzebowanie na prognozy regionalne [2] i to nie tylko w elektroenergetyce [5], ale praktycznie niemal we wszystkich dziedzinach gospodarki [7]. Koncepcje rozwoju gminnej, zintegrowanej gospodarki energetycznej coraz częściej uwzględniają różne podmioty gospodarcze – takie między innymi jak: przedsiębiorstwa multienergetyczne/infrastrukturalne i usług multi-medialnych (PM/PI), które aktywnie włączają się w gospodarkę gminną surowcami energetycznymi na różnym poziomie agregacji [4]. Spółki te dążąc do zapewnienia klientowi szerszego zakresu usług energetycznych i kompleksowego zaspokojenia jego potrzeb zmuszone są do wykorzystywania różnego rodzaju narzędzi predykcji pozwalających określać zapotrzebowanie na dany nośnik energii lub przewidywać jego zużycie.



Rys. 2. Podstawowe funkcje prognozowania krótkoterminowego  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3]

Fig. 2. Major short-term load forecasting functions

Rynek energii elektrycznej wymusza na każdym z jego uczestników coraz dokładniejszych i szczegółowych prognoz. Prognoz zużycia energii elektrycznej w różnych horyzontach czasowych dokonywać muszą coraz częściej wielcy odbiorcy przemysłowi, a w niedalekiej perspektywie również wybrani odbiorcy bytowo-komunalni. Szerokie spektrum metod i modeli predykcji opisują autorzy w pracy [1] jednak brak lub bardzo skromnie jest opisana problematyka modelowania procesów dotyczących obciążeń małych odbiorców zarówno literaturze polskiej jak i zagranicznej.

### 3. Wykorzystanie rozkładu kanonicznego wektora losowego do celów prognozy

Zakłada się, że pewien proces opisany jest wektorem losowym  $X$ , którego składowe  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) są ze sobą skorelowane. Przekształcenie wektora  $X$  o składowych skorelowanych na inny wektor  $V$ , o składowych nieskorelowanych, które są funkcjami liniowymi składowych wektora  $X$ , można wykonać stosując metodę rozkładu kanonicznego. Poniżej za [1, 6] przedstawiono ideę metody.

Składowe wektora  $V$  wyznaczymy z układu równań:

$$\begin{aligned} V_{1n} &= X_{01n}, \\ V_{2n} &= X_{02n} - a_{21}V_{1n}, \\ V_{3n} &= X_{03n} - a_{31}V_{1n} - a_{32}V_{2n}, \\ &\vdots \\ V_{in} &= X_{0in} - a_{i1}V_{1n} - a_{i2}V_{2n} + \dots - a_{i,i-1}V_{(i-1)n} \end{aligned} \quad (1)$$

Układ równań układu (1) można zapisać w skrócie:

$$V_{in} = X_{0in} - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}V_{jn} \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, i-1; \quad n = 1, 2, \dots, N;$$

gdzie:  $i$  — numer składowej  $X_i$ ,  
 $m$  — liczba składowych wektorów  $X, V$ ,  
 $n$  — kolejna obserwacja,  
 $N$  — liczba realizacji każdej ze składowych,  
 $V_i$  — 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  $X_i$ ,  
 $\bar{X}_X$  — wektor wartości średnich wektora  $X$ ,  
 $a_{ij}$  — współczynniki rozkładu kanonicznego tak dobrane, aby zapewnić brak korelacji dla zmiennych  $V_i$ .

Na etapie budowy modelu współczynniki rozkładu kanonicznego są nieznanne i wyznaczane są według poniższych wzorów:

$$k_{ij} = E\{X_{oi}X_{oj}\} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_{oit}x_{ojt} \quad (3)$$

gdzie:  $k_{ij} = E\{X_{oi}X_{oj}\}$  — moment korelacyjny zmiennych  $i$  oraz  $j$ ,  
 $E\{X_i\}$  — wartość oczekiwana zmiennej  $X_i$ .

Ogólnie dla  $k$ -tej zmiennej zapis wzorów do obliczenia wariancji oraz współczynników rozkładu jest następujący:

$$a_{k1} = \frac{k_{k1}}{W_{11}} \quad (4)$$

$$W_{vk} = k_{kk} - \sum_{s=1}^{k-1} a_{ks}^2 W_{vs}$$

$$a_{kl} = \frac{1}{W_{vl}} \left( k_{kl} - \sum_{s=1}^{l-1} a_{ks} a_{ls} W_{vs} \right)$$

gdzie:  $W_{11}$  — wariancja zmiennej  $X_{0i}$ ,  
 $W_{Xs}, Var(X_s)$  — wariancja  $s$ -tej składowej w kategorii  $X$ ,  
 $W_{Vs}, Var(V_s)$  — wariancja  $s$ -tej składowej w kategorii  $V$ .

W dalszym zapisie w celu uproszczenia pominięto indeks  $n$  oznaczający kolejną obserwację, a model predykcyjny opisano przekształconym układem równań:

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

Wynikiem rozkładu kanonicznego otrzymamy symetryczną macierz współczynników  $a_{ij}$ , rozkładu kanonicznego oraz składowe  $V_1$ , wektora  $V$ .

Pełny opis procedury rozkładu kanonicznego wraz z jej zastosowaniem w procesie predykcji zamieszczono w [1].

## 4. Etapy konstrukcji modelu rozkładu kanonicznego (MRK) w procesie predykcji

W ogólnym przypadku stosowania modelu MRK w procesie prognozy, mogą wystąpić dwa przypadki:

1. Znana jest realizacja tylko pierwszej składowej  $X_1$ , wówczas wszystkie pozostałe składowe  $X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ , są prognozowane.
2. Znane są realizacje  $p$  składowych, wówczas prognozowanych jest  $(m - p)$  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:

$$\hat{X}_i = \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} V_j + \hat{V}_i + \bar{x}_{X_i} \quad (6)$$

Zazwyczaj prognozuje się tylko ostatnią składową  $X_m$ , a pozostałe  $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}$ , są wejściami do prognozy i traktowane są jako zmienne objaśniające. Fakt, że dla prognozy wystarczająca jest znajomość scenariusza (prognozy) tylko pierwszej zmiennej w modelu jest cenną własnością tego modelu, umożliwiającą prognozę w sytuacji ograniczonego dostępu do informacji w stosunku do informacji zawartej w historii procesu. W każdym kolejnym równaniu (6), nieznana pozostaje wartość  $\hat{V}_i$ , której wartość wynika z ogólnej zależności:

$$V_i = f_1(X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0i}) \quad (7)$$

Poniżej na schemacie blokowym przedstawiono dla jasności postępowania kolejne procedury predykcji.

W praktyce modelowania z zależności (7) nie można nie można by było skorzystać ze względu na brak korelacji pomiędzy zmiennymi objaśniającymi. Jednakże brak korelacji między zmiennymi  $V_i$  nie implikuje braku zależności między nimi. Można zatem wyznaczyć (na podstawie danych historycznych) empiryczne warunkowe rozkłady częstości i na ich podstawie dystrybuanty o następującej postaci:

$$F_1(v_2 | V_1 < v_1) \quad (8)$$

$$F_2(v_3 | V_1 < v_1, V_2 < v_2)$$

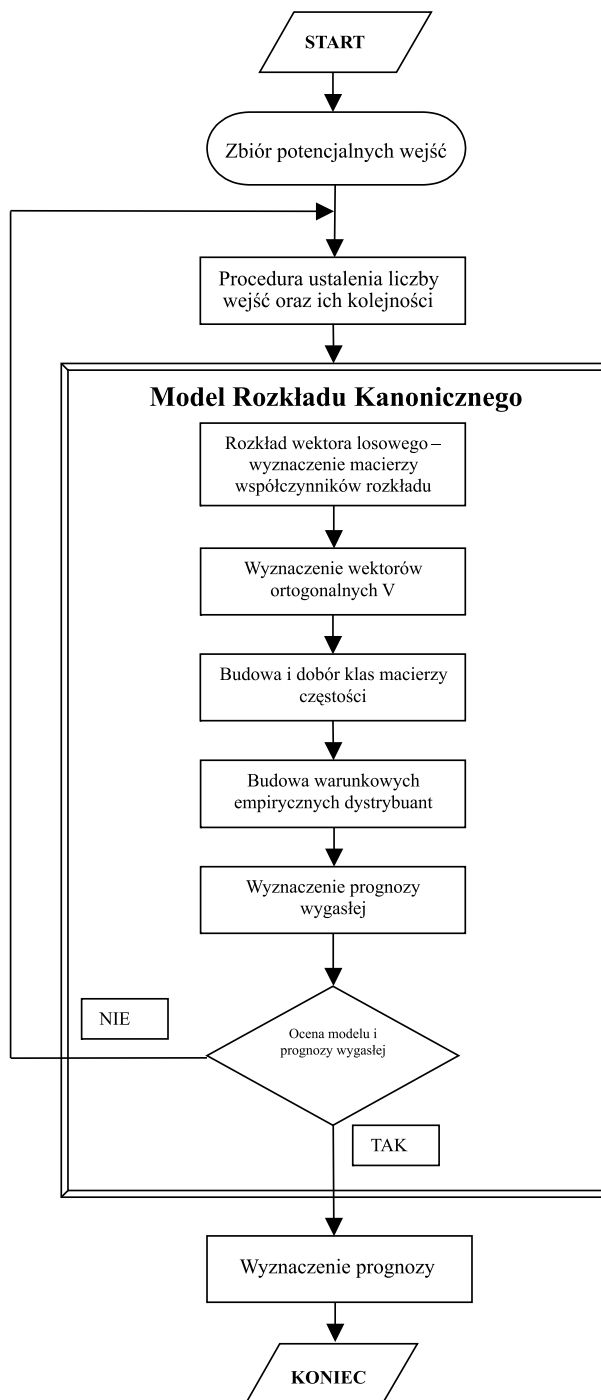
...

$$F_{m-1}(v_m | V_1 < v_1, V_2 < v_2, \dots, V_{m-1} < v_{m-1})$$

Tę właściwość wykorzystano w modelu MRK. W zastosowaniu praktycznym uwzględniając związki (5), funkcje gęstości prawdopodobieństwa buduje się według następującej ogólnej formuły:

$$F_i(V_{i+1} | x_{0igr} < x_{0i} \leq x_{0ig,r+1}) \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, m - 1$$



Rys. 3. Schemat blokowy procedur predykcji

Fig. 3. The block scheme predictions procedure



Z przedstawionego sposobu wyznaczania prognoz modelem MRK wynika, że macierze częstości i macierze dystrybuant warunkowych zbudowane na podstawie historii procesu będą miały istotny wpływ na dokładność predykcji, dlatego przy budowie modelu należy uwzględnić sposób ich tworzenia.

## 5. Krótkoterminowe prognozowanie obciążeń w KSE.

### Określenie wektorów wejścia i wyjścia dla modelu MRK

Mając do dyspozycji zbiór przebiegów obciążeń dobowych KSE godzina po godzinie dokonuje się jego dekompozycji wydzielając z niego do badań jedynie dni robocze (pominięto soboty, niedziele oraz cykliczne święta państwowe i religijne jako dni nietypowe). W następnej kolejności przygotowuje się odpowiednie wektory wejścia i wyjścia z modelu. Przykładowe wektory wejścia i wyjścia pokazano poniżej.

Jeżeli oznaczymy  $P_{t,h}$  – jako obciążenie w KSE w  $t$ -tej dobie i  $h$ -tej godzinie, to iloraz (10) nazwiemy wskaźnikiem wzrostu obciążenia w  $t$ -tej dobie.

$$u_{t,h} = \frac{P_{t,h}}{P_{t-1,h}} \quad (10)$$

Dla każdej  $h$ -tej godziny tworzy się wektor wejściowy i wyjściowy według schematu:

$$\begin{array}{cc} \text{Wektor wejściowy} & \text{Wektor wyjściowy} & (11) \\ \left[ \begin{array}{c} P_{t,h} \\ P_{t+1,h} \\ \vdots \\ P_{t+T,h} \end{array} \right] & \left[ \begin{array}{c} P_{t+1,h} \\ P_{t+2,h} \\ \vdots \\ P_{t+T+1,h} \end{array} \right] & \end{array}$$

Prognozę wyznacza się z zależności:

$$\hat{P}_{t+1,h} = P_{t,h} \cdot \hat{u}_{t+1,h} \quad (12)$$

Wskaźnik  $\hat{u}_{t+1,h}$  jest losowany z dystrybuant warunkowych wyznaczonych z wektorów po rozkładzie kanonicznym dla odpowiednio zdekomponowanych danych.

## 6. Weryfikacja modelu krótkoterminowej prognozy obciążeń w systemie

Opisany powyżej model prognostyczny poddano weryfikacji wykonując krokowe dobowe prognozy wygasłe dla Krajowego Systemu Elektroenergetycznego dla 2005 roku. Dane do weryfikacji pochodzą z lat 2004 i 2005. Zawierają dobowe przebiegi zmienności obciążeń notowane z interwałem czasowym 15 minutowym. Utworzono cztery niezależne modele prognostyczne o identycznej strukturze wewnętrznej, umożliwiające prognozy dobowych przebiegów zmienności obciążeń odpowiednio w 15 minutowych interwałach w rozstępie godzinowym.

Każdy z modeli zorganizowano w ten sposób, że do wyznaczania dystrybuant warunkowych wykorzystywano dane jedynie z 2004 roku natomiast prognozę wygasłą wykonywano dla danych z 2005 roku.

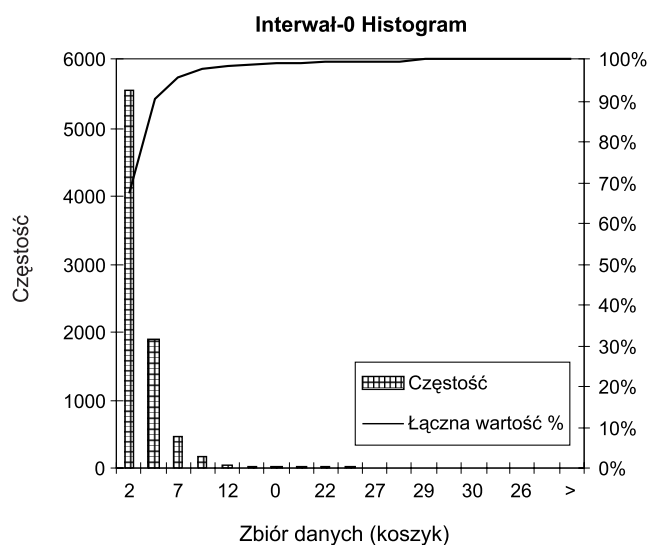
Po usunięciu ze zbioru prognoz dni nietypowych (święta państwowe i religijne oraz dni następujących bezpośrednio po nich, łącznie dla 2005 roku 21 dni) globalny błąd średni roczny MAPE (ang. Mean Absolute Percentage Error) dla KSE wyniósł 2,83%, najmniejszy wystąpił w przypadku typowych dni roboczych dla czwartków 1,83%. Średnie błędy MAPE w rozbiciu na poszczególne dni tygodnia dla odpowiednich modeli przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Błędy MAPE przebiegów obciążeń w poszczególnych dniach tygodnia w 2005 roku uzyskane modelem MRK

TABLE 1. MAPE errors of forecast electric power loads in respective days of week of 2005 obtained with MRK model

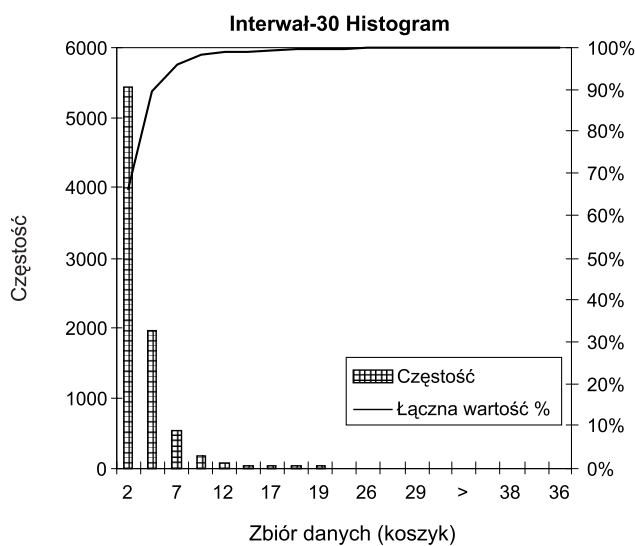
Dzień tygodnia	Średnie błędy MAPE [%] wyprognozowane dla 15 min wartości chwilowych				Średni dla dni tygodnia
	0	15	30	45	
Poniedziałki	2,88	2,46	2,33	2,56	<b>2,56</b>
Wtorki	3,33	3,67	3,76	3,88	<b>3,66</b>
Środy	1,99	2,12	2,22	2,25	<b>2,15</b>
Czwartki	1,62	1,58	2,12	1,99	<b>1,83</b>
Piątki	3,30	2,68	2,68	2,87	<b>2,88</b>
Soboty	2,56	3,13	2,47	3,17	<b>2,83</b>
Niedziele	3,16	2,76	2,89	2,99	<b>2,95</b>
<b>Ogółem</b>	2,69	2,63	2,64	2,78	<b>2,69</b>

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4. Histogram oraz dystrybuanta rozkładu błędów godzinowych MAPE dla 2005 roku uzyskanych Modelem MRK (interwał-0)

Fig. 4. Histogram and distribution of hourly MAPE errors for 2005 obtained with the Model MRK (interwał-0)



Rys. 5. Histogram oraz dystrybuanta rozkładu błędów godzinowych MAPE dla 2005 roku uzyskanych Modelem MRK (interwał-30)

Fig. 5. Histogram and distribution of hourly MAPE errors for 2005 obtained with the Model MRK (interwał-30)

## 7. Przykład długoterminowej prognozy zapotrzebowania na energię elektryczną dla Polski z wykorzystaniem modelu MRK

Weryfikacji modelu MRK dokonano na przykładzie długoterminowej prognozy zużycia energii elektrycznej w Polsce do 2015 roku. Jak wspomniano wcześniej w opisie modelu MRK jest on szczególnie przydatny w przypadku ubogiej wiedzy o badanym obiekcie, który w tym przypadku będzie krajowym systemem elektroenergetycznym. Wykorzystuje się w takim przypadku fakt, że generuje on pewien proces losowy. Nie znając analitycznych

TABELA 2. Wartości rzeczywiste wybranych zmiennych wejściowych do modelu MRK

TABLE 2. Real values of chosen input variables for the MRK model

Rok	PKB* [%]	Ludność [tys.]	Przemysł [GWh]	Eksport [GWh]	Krajowe zapotrzebowanie średnie roczne mocy [MW]	Krajowe zapotrzebowanie maksymalne mocy [MW]	Krajowe zużycie energii [GWh]
1990	-11,6	38 183,0	69 239	11 477	18 510	23 392	135 275
1991	-7,0	38 309,0	64 261	9 326	18 203	23 290	131 922
1992	2,6	38 418,0	62 409	9 066	17 625	21 495	128 803
1993	3,8	38 504,7	63 369	8 011	17 989	22 749	131 336
1994	5,2	38 580,0	68 944	7 242	18 019	22 050	132 211
1995	7,0	38 609,4	71 559	7 157	18 410	23 056	135 900
1996	6,2	38 639,3	75 658	7 925	18 657	23 439	139 593
1997	7,1	38 714,2	83 085	7 542	18 758	24 337	140 228
1998	5,0	38 721,0	74 155	8 082	18 576	23 384	138 770
1999	4,5	38 654,0	76 944	8 426	18 326	22 821	136 351
2000	4,2	38 644,2	71 350	9 663	18 549	22 289	138 043
2001	1,1	38 632,0	67 528	11 035	18 586	22 868	137 843
2002	1,4	38 218,5	66 240	11 537	18 372	23 207	136 165
2003	3,8	38 191,9	69 729	15 146	18 913	23 288	140 590
2004	5,3	38 160,1	74 130	14 605	19 512	23 108	144 069
2005	3,5	38 123,3	74 520	16 188	19 777	23 477	144 838

\* Przyrost PKB podany w procentach do roku poprzedniego. Źródło GUS.

Źródło: Statystyka energetyki Polskiej. GUS.

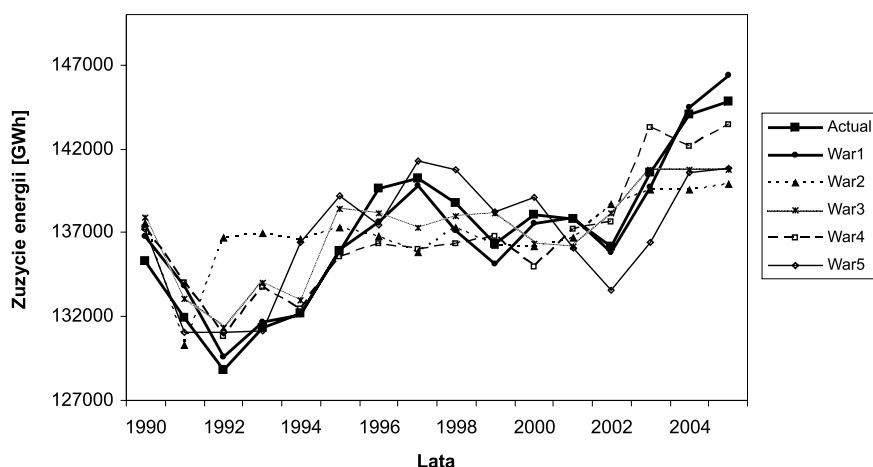
związków między zmiennymi objaśniającymi, takich aby można było podać pełny matematyczny opis obiektu, ale dysponując pewną wiedzą o tym obiekcie (znając przykładowo czynniki mające wpływ na rozważany obiekt) można wykorzystać rozkład kanoniczny zmiennych oraz warunkowe rozkłady realizacji tych zmiennych do opisu badanych procesów.

Zakłada się wykonanie wielu symulacji procesu w oparciu o postać kanoniczną wektora losowego. Proces prognozowany traktuje się jako część stanu obiektu, zaś odpowiednio przetworzone obserwacje statystyczne (historyczne) jako wejście obiektu. Po ustaleniu składowych modelu (zmiennych objaśniających), MRK (Metoda Rozkładu Kanonicznego) wymaga ustalenia kolejności zmiennych w wektorze stanowiącym wejście do modelu. Jest to jedno z kluczowych zagadnień, gdyż jak wcześniej wspomniano, buduje się i wykorzystuje w procesie prognozy, warunkowe rozkłady prawdopodobieństwa.

Zbiór danych wejściowych po przetworzeniu obejmował kilkanaście zmiennych. Z nich ostatecznie za pomocą metody analizy współczynników korelacji wybrano 6 istotnie oddziałujących na zmienną prognozowaną, a ich kolejność została ustalona metodą błędu średniokwadratowego, która jak wykazały badania w tym konkretnym przypadku dawała najlepszą poprawę dokładności metod predykcji.

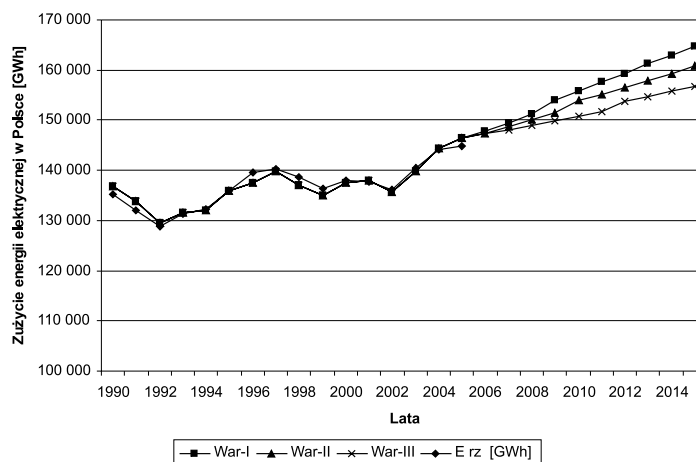
Dla zobrazowania wpływu poprawnego doboru liczby zmiennych do modelu i ich kolejności na jakość modelu na rysunku rysunku 6 przedstawiono przebieg rzeczywisty zużycia energii elektrycznej w kraju i przebiegi uzyskane z modelu MRK dla różnych kolejności składowych objaśniających. Z wielu symulacji kolejności wejść wybrano dla zobrazowania istotności wpływu wariant najlepszy dopasowania (błąd MAPE dopasowania modelu 0,65%) oraz cztery inne o większym błędzie dopasowania.

Prognozy zużycia energii elektrycznej dla Polski do 2015 roku skonstruowano w ten sposób, że opracowano trzy warianty prognoz scenariuszowych wyselekcjonowanych do modelu MRK zmiennych objaśniających. Założono warianty: optymistyczny (War1), pesymistyczny (War3) i pośredni (War2). Prognozę ludności dla Polski przyjęto według opraco-



Rys. 6. Zużycie energii elektrycznej w Polsce. Przebieg rzeczywisty i przebiegi uzyskane z modelu MRK

Fig. 6. Consumption of electric energy in Poland.  
The true time dependency and dependencies obtained from the MRK model



Rys. 7. Zużycie energii elektrycznej w Polsce. Przebieg rzeczywisty i przebiegi uzyskane z modelu MRK

Fig. 7. Consumption of electric energy in Poland. The true curve and forecasting curves

wania GUS w wariacie pesymistycznym. W pozostałych wariantach przyjęto założenia bardziej optymistyczne. Prognozy wzrostu PKB oparto o opracowania eksperckie. Na rysunku 7 przedstawiono graficznie wyniki uzyskanych prognoz.

## Podsumowanie i wnioski

Wyższość przedstawionego powyżej modelu MRK w stosunku do innych modeli predykcji jest związana między innymi z tym, że poprzez odpowiednie operacje na zmiennych objaśniających, uwalnia się je od korelacji. Jest to bardzo pozytywny efekt, gdyż w ten sposób pozbywamy bardzo niekorzystnego zjawiska w prognozowaniu jakim jest współliniowości zmiennych. Dodatkowym atutem modelu może być również to, że do prognozy w wielowarściowym modelu MRK niezbędna jest jedynie jedna zmienna sterująca zadana w postaci scenariusza prognozy, natomiast pozostałe zmienne objaśniające mogą być prognozowane przez sam model MRK.

- ✧ Uzyskane dokładności prognoz wygasłych dla każdego interwału czasowego i średni błąd prognozy MAPE nie odbiegają pod względem dokładności od innych modeli stosowanych do tych celów. Sugerowałoby to prowadzenie dalszych badań, w kierunku określania innych profili np. godzinowych w przekroju rocznym, wyodrębnianie dni świątecznych poświątecznych i roboczych itd.
- ✧ Z doświadczeń przy stosowaniu do celów predykcji modeli ekonometrycznych opartych na procesach stochastycznych wynika wniosek, że dokładność prognoz prawdopodobnie silniej zależy od wariancji badanego procesu niż stosowanej metodologii. Modele te są zdeterminowane w pewien sposób wariancją badanego procesu. Pomysłem na pozbycie

się tego „statystycznego balastu” mogło by być rozszerzenie stosowanej metodyki o logikę rozmytą lub inne mechanizmy zaczerpnięte ze sztucznej inteligencji lub z teorii chaosu zdeterminowanego.

## Literatura

- [1] DOBRZAŃSKA I., DAŚAL K., ŁYP J., POPLAWSKI T., SOWIŃSKI J., 2002 — Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa.
- [2] ŁYP J., 2000 — Metodyka analizy i prognozy obciążeń elektroenergetycznych systemów lokalnych. Częstochowa.
- [3] MALKO J., 1995 — Wybrane zagadnienia prognozowania w elektroenergetyce. OWPW, Wrocław.
- [4] POPLAWSKI T., 2005 — Problematyka analizy zmienności i prognoz obciążeń w systemach elektroenergetycznych w warunkach transformacji rynku. Rozdział w monografii: Metody i systemy komputerowe w automatyce i elektrotechnice. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, s. 144–149. ISBN 83-7193-288-X
- [5] POPLAWSKI T., ŁYP J., 1997 — Komputerowy system prognozowania zapotrzebowania na moc w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym; II Konferencja Naukowo-Techniczna Metody i Systemy Komputerowe w Automatyce i Elektrotechnice II MSKE'97, Częstochowa, 18–19 września 1997.
- [6] POPLAWSKI T., DAŚAL K., 2004 — Canonical distribution in short-term load forecasting. Technical and economic aspect of modern technology transfer in context of integration with european union. VOLUME I ISBN 80-89061-99-0, Kosice, s. 147–153.
- [7] SOWIŃSKI J., 2003 — Forecasting models of prices in analysis of power system investments under uncertainty, Polityka Energetyczna t. 6, p. 85–94, IGSMiE PAN, Kraków.

Tomasz POPLAWSKI, Kazimierz DAŚAL

## The electric load forecasting and energy demand using mrk model

### Abstract

The characteristic feature of a power engineering system is its constant variability. In order to operate a power engineering system, as well as to plan its development it is necessary to carry out forecasts. Carrying out a correct forecast is an uneasy task that requires a lot of experience, knowledge and intuition. In order to be able to control and foresee the processes that occur in a power engineering system it is necessary to carry out research in the field of analyses of power loads.

Along with social and political transformations and following economical transformations observed in our country during the past eighteen years, evolution of attitudes towards the role of power engineering forecasting is being noticed.

In the paper a forecasting model MRK, based on the canonical distribution of a vector of random variables, has been presented. It is a forecasting method, able to predict short-term and long-term forecasts on demands of either electric energy that influence the development of power engineering system in Poland. The MRK model, it is most suitable in the case when knowledge about the object under study is limited, which in this case is the domestic power engineering system. In this case the feature, that it generates a certain random process, is utilized. If no analytical relationships between explanatory variables, such that would be able to provide a full mathematical description of the object, are known, however if some knowledge about the object is available (e.g. on some factors influencing the considered object) is available, it would be possible to use the canonical distribution of the variables and the conditional distributions of realizations of these variables for a description of the processes under examination.

**KEY WORDS:** short-term and long-term load forecasting in electric power engineering, time series, canonical distribution