

Tomasz POPLAWSKI\*, Kazimierz DAŚAL\*\*

## Zastosowanie modelu MRK do prognozy cen wybranych paliw biomasowych

**STRESZCZENIE.** Artykuł porusza problematykę odnawialnych źródeł energii, skupiając się na szczególnym rodzaju biomas, którymi uznane są niektóre zboża. Przedstawiono analizę porównawczą cen kilku wybranych zbóż na rynkach krajów Unii Europejskiej. Wykonano testy na danych liczbowych szeregów historycznych cen, badające głównie stacjonarność oraz występowanie wahań okresowych, których wyniki pozwalają na wybór metody i modelu predykcyjnego. Zaproponowano dwa modele prognostyczne dla przewidywania cen w horyzoncie tygodniowym. Wykonano prognozy wygasłe wraz z oceną dokładności oraz prognozy walidacyjne umożliwiające ocenę użyteczności prezentowanych modeli.

**SŁOWA KLUCZOWE:** odnawialne źródła energii, biomas, ceny, system elektroenergetyczny, modelowanie, prognozowanie krótkoterminowe

### 1. Energetyka światowa i krajowa w kontekście ochrony klimatu

Nie jest łatwo przewidzieć, co zdarzy się w energetyce w ciągu nadchodzących miesięcy, a tym bardziej przewidzieć trendy światowej energetyki w horyzoncie długoterminowym. Niewątpliwie, czyste źródła energii staną się priorytetem dla wielu państw.

---

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

Prognozy jako takie są bytem wirtualnym i nie mogą stanowić jedynej podstawy podejmowania przemyślanych decyzji w kształtowaniu się polityki energetycznej. Należy je jednak świadomie wykorzystywać do opracowywania strategii, ponieważ uwzględniają różnorodne punkty widzenia i informacje pochodzące z różnych źródeł. Mogą stanowić wyjściowy materiał do debaty, wskazywać możliwe kierunki rozwoju branży, pomagać w przewidywaniu i kształtowaniu się możliwych scenariuszy rozwoju [5].

Choć świat stopniowo wychodzi z recesji, to sektor energetyczny nadal przeżywa trudności. Bezpieczeństwo energetyczne kojarzone przede wszystkim z wyczerpywaniem się zasobów ropy naftowej i gazu oraz z wynikającymi stąd konsekwencjami dla dalszego rozwoju gospodarki, musi być skorelowane z ochroną środowiska przyrodniczego. Analizując trendy światowe należy stwierdzić, że energetyka jądrowa przeżywa obecnie renesans na całym świecie, nawet w regionach, które trudno byłoby posadzić o możliwość jej wykorzystania. Chociaż na Bliskim Wschodzie znajduje się niemal 75% światowych zasobów naftowych oraz największy producent ropy naftowej, to obecnie wielu potentatów naftowych rozpoczyna realizację nowego kształtowania się oblicza energetycznego tego rejonu. Przykładem może być Kuwejt, gdzie planuje się budowę czterech reaktorów jądrowych do 2022 roku. Innym przykładem wzrastającego zainteresowania energetyką jądrową mogą być Chiny. Aktualnie kraj ten posiada 12 czynnych elektrowni jądrowych, 24 w budowie i planuje budowę kolejnych 75.

W wielu krajach świata coraz większe środki finansowe inwestuje się w lepsze wykorzystanie energii słonecznej do celów energetycznych. W ciągu godziny słońce dostarcza więcej energii niż cały świat jest w stanie zużyć w ciągu całego roku. W momencie, gdy koszty energii słonecznej staną się konkurencyjne wobec kosztów energii z sieci, pozyskiwanej ze źródeł konwencjonalnych lub z reaktorów jądrowych, stanie się ona jednym z podstawowych źródeł zasilania. Do czynników o tym decydujących należy zaliczyć: lokalne warunki klimatyczne, stawki za kilowat oraz dotacje rządowe. Analizy przeprowadzone przez Międzynarodową Agencję Energetyki (IEA) w odniesieniu do paneli fotowoltaicznych i technologii CSP dowodzą, że w niektórych przypadkach ich masowe wdrożenie nie jest wcale odległe w czasie. Z analiz wynika, że w wielu regionach panele fotowoltaiczne na budynkach mieszkalnych i biurowych mogą dorównać sieci konwencjonalnej (również w zakresie cen detalicznych) do 2020 roku, a do 2030 r. mogą stać się wobec niej konkurencją w najbardziej nasłonecznionych miejscach globu. Oczekuje się, że technologia CSP w nadchodzącej dekadzie może stanowić konkurencję dla sieci energetycznej w godzinach szczytu w najlepiej nasłonecznionych miejscach pod warunkiem prowadzenia odpowiedniej polityki. Już powstają inicjatywy budowy specjalnych linii przesyłowych do transmisji energii słonecznej z pustyń na tereny zurbanizowane. Przykładem może być zaopatrzenie Europy w energię słoneczną pozyskiwaną z paneli solarnych i farm wiatrowych zlokalizowanych na Saharze i przesyłaną liniami wysokiego napięcia ułożonymi na dnie Morza Śródziemnego.

Gospodarka krajowa, a w szczególności sektor energetyki, zobligowane są Dyrektywą UE 2009/28 do osiągnięcia celu ilościowego odnośnie wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej z użyciem odnawialnych źródeł energii (OZE). Jak wiadomo jest to zadanie bardzo trudne dla energetyki, problem ten poruszono między innymi w pracach [8, 10]. Najwięk-

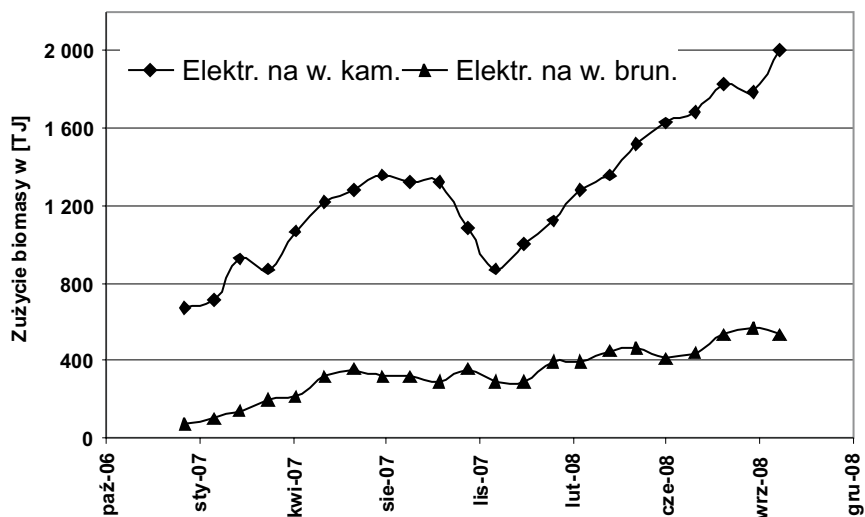
szym wyzwaniem dla sektora energetyki w Polsce są starzejące się moce wytwórcze i brak lub opóźnienia odpowiednich inwestycji w nowe projekty [10]. Do 2030 roku powinny w Polsce powstać bloki w elektrowniach konwencjonalnych o mocy około 15 tys. MW oraz 10 tys. MW w ramach odnawialnych źródeł. Do tego należy doliczyć moc pozyskaną z pierwszej elektrowni jądrowej, której wybudowanie planuje się ukończyć około 2020 roku. Niezbędnych jest wiele regulacji prawnych wspierających realizację polityki państwa w zakresie promocji wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych, począwszy od ustawy Prawo energetyczne w 1997 roku z późniejszymi poprawkami, a kończąc na jednym z ostatnich aktów, Polityka energetyczna Państwa do roku 2030 (z załącznikami) przyjęta przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r. W opracowaniu [6] wymienia się przykładowo 12 różnego rodzaju aktów prawnych dotyczących problematyki OZE.

Definicję odnawialnych źródeł energii zawiera Ustawa z 10 kwietnia 1997 roku – Prawo energetyczne. W Ustawie zdefiniowano odnawialne źródło energii jako źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, szeroko rozumianą energię wód oraz energię pozyskiwaną z biomasy, z biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątek roślinnych i zwierzęcych [6]. Rozporządzeniem wicepremiera i ministra gospodarki w styczniu 2010 roku, definicja dotychczasowa została poszerzona, zaliczając do odnawialnych źródeł biomasowych także zboża. Produkcja z odnawialnych źródeł uprawnia do sprzedaży tzw. zielonych certyfikatów, czyli praw majątkowych stwierdzających, że energia została wyprodukowana z odnawialnych źródeł energii. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w kraju prowadzone jest w trzech obszarach: produkcja energii elektrycznej, produkcja ciepła oraz wytwarzanie biokomponentów, wykorzystywanych w paliwach ciekłych i biopaliwach ciekłych. Potencjał odnawialnych źródeł energii w Polsce szacuje się na ogół na około 450 PJ czyli około 125 TW·h/rok – co pod względem energetycznym równoważne jest spaleniowi około 15,3 mln tpu i stanowi jednocześnie około 13% obecnego krajowego zużycia paliw pierwotnych.

W warunkach polskich za najbardziej perspektywiczne – a przy tym ekonomicznie uzasadnione – uważa się:

- ✧ energię z biomasy,
- ✧ energię wiatru,
- ✧ energię geotermalną,
- ✧ energię słoneczną,
- ✧ energię wody.

W [6] podkreśla się, że biomasa jest najmniej kapitałochłonnym źródłem energii odnawialnej. Podobnie kształtuje się sytuacja na świecie. W najnowszych prognozach światowych, w tym m.in. Międzynarodowej Agencji Energetycznej – IEA, zakłada się, że roczne przyrosty podaży energii ze źródeł odnawialnych w najbliższych latach będą wynosić około 9%, co oznacza podwajanie tej podaży średnio co 8 lat. Procentowy udział biomasy w zasobach światowych ocenia się na prawie 35%, czyli dwukrotnie wyższy niż energia wiatru (17%) oraz wody, także z 17% udziałem. Dynamikę zużycia biomasy w krajowych elektrowniach zawodowych na węgiel brunatny i kamienny oraz w elektrociepłowniach zawodowych w okresie 20 miesięcy, pokazano na wykresie (rys. 1). Wzrost jest znaczący



Rys. 1. Spalanie biomasy w elektrowniach zawodowych na węgiel brunatny i kamienny oraz w elektrociepłowniach zawodowych

Źródło: opracowanie na podstawie: Biuletyn ARE i GUS

Fig. 1. Combustion of biomass in power plants on coal and lignite and power generation plants

szczególnie dla węgla brunatnego. Zużycie biomasy od stycznia 2007 roku wzrosło przeszło 7-krotnie.

W tabeli 1 zamieszczono przewidywane do roku 2020 wykorzystanie dwóch najważniejszych rodzajów energii odnawialnych w energetyce krajowej.

TABELA 1. Przewidywana moc zainstalowana i produkcja energii elektrycznej brutto dla wybranych technologii energii odnawialnej w Polsce do roku 2020

TABLE 1. Estimated installed capacity and gross electricity generation for selected renewable energy technologies in Poland until 2020

Wyszczególnienie	2015		2020	
	MW	GWh	MW	GWh
Energia wiatrowa:				
lądowa	3 010	6 321	6 110	13 541
morska	0	0	0	0
Biomasa:	504	7 489	1 425	14 383
stała	196	5 852	623	10 377
biogaz	308	1 637	802	4 006
biopłyny	0	0	0	0

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3]

W oszacowaniach tych udział spalania biomasy w produkcji energii elektrycznej jest nawet nieco większy niż produkcja z wiatru. Biomasa jak wiadomo może pochodzić z różnych źródeł. Biomasa leśna to głównie drewno energetyczne. Zasoby tego asortymentu biomasy szacowane są na około 3,5 mln m<sup>3</sup>. Zasoby biomasy z przemysłu drzewnego (trociny, zrębki itd.) szacowane są według Instytutu Technologii Drewna na około 8,3 mln m<sup>3</sup>. Wykorzystywana jest także słoma jako paliwo stałe lub substrat do wytwarzania biogazu. Zakłada się [6], że realnie rocznie można pozyskać około 5 mln ton słomy. Z wykonanych bilansów wynika, że zakładane powyższe ilości pozyskiwania biomasy nie wystarczą dla osiągnięcia celu ilościowego zawartego w Dyrektywie 2009/28 UE, dlatego konieczne będzie zakładanie wieloletnich plantacji roślin energetycznych. Zwiększenie wykorzystania biomasy pochodzącej z upraw energetycznych wymaga utworzenia całego systemu obejmującego produkcję, dystrybucję i wykorzystanie biomasy. W Polsce według [6] na jednego mieszkańca przypada około 0,41 ha użytków rolnych, a w państwach starej Unii wartość ta wynosi zaledwie 0,19 ha. Z tego względu Polska jest postrzegana jako kraj, który może mieć bardzo znaczący udział w produkcji biomasy na cele energetyczne w UE. Szacuje się, że w Polsce można przeznaczyć na produkcję roślin energetycznych od 1,0 do 4,3 mln ha do 2020 r. Wspomniane wcześniej rozporządzenie wicepremiera i ministra gospodarki zaliczające zboża do biomasy, spowoduje najpewniej wzrost zainteresowania wytwórców energii elektrycznej i ciepłej zbożami traktowanymi jako paliwo biomasowe. Spalać będzie można zarówno zboże nieobjęte zakupami interwencyjnymi, jak i objęte nimi, ale nie spełniające norm jakościowych określonych w rozporządzeniu. Plan wprowadzenia paliw biomasowych na Towarową Giełdę spowoduje konieczność stworzenia modeli i narzędzi umożliwiających wykonywanie prognoz cen tych paliw. W tabeli 2 zamieszczono przewidywania odnośnie struktury zużycia paliw do wytwarzania energii elektrycznej w 2030 roku. Udział paliw z OZE sięga prawie 19%.

TABELA 2. Prognozowany udział paliw pierwotnych w produkcji energii elektrycznej netto w Polsce do 2030 roku [%]

TABLE 2. The projected share of primary fuels in electricity net production in Poland until 2030 [%]

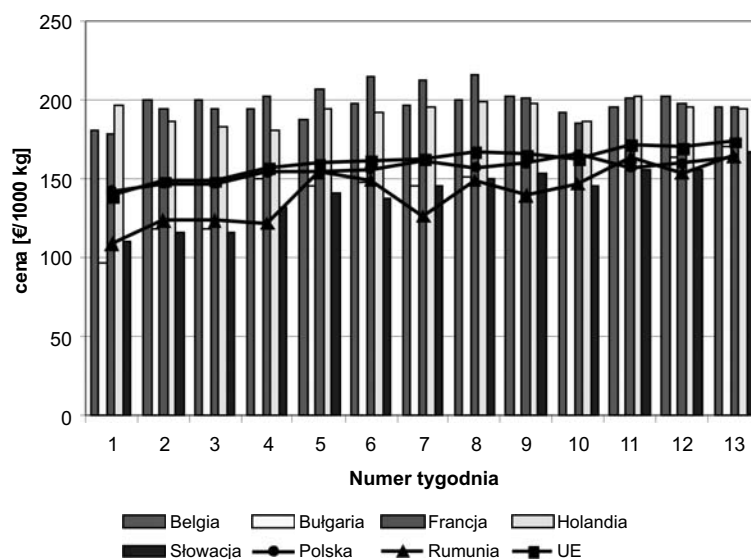
Węgiel kamienny	35,8 (71,2 TW h)
Węgiel brunatny	21,0 (42,3 TW h)
Gaz ziemny	6,6 (13,3 TW h)
Produkty naftowe	1,5 (2,98 TW h)
Paliwo jądrowe	15,7 (31,6 TW h)
OZE	18,8 (37,4 TW h)

Źródło: Energetyka Ciepła i Zawodowa 12/2009, 1/2010

## 2. Rynek biomasy w UE

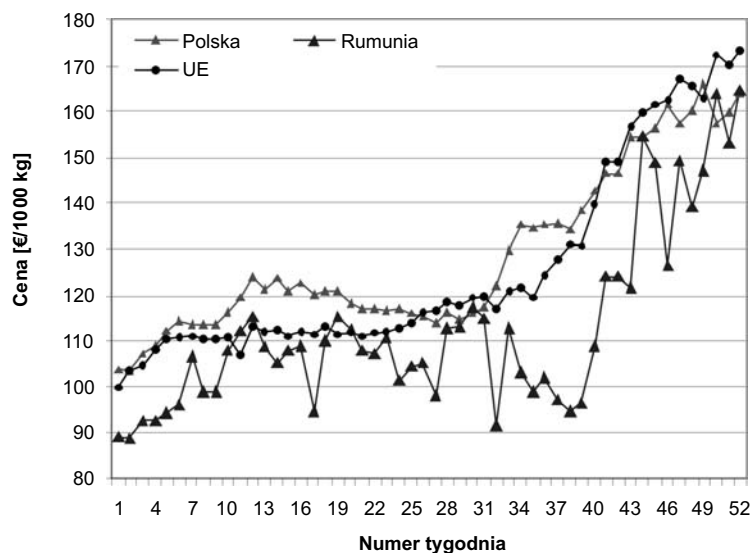
Informacje odnośnie kształtowania się cen paliw zaliczanych do biomasy są skąpe. Mimo różnorodności asortymentu w tej grupie jedynie rynek zbóż jest systematycznie i metodycznie monitorowany z częstotliwością tygodniową, miesięczną i roczną. Ceny pozostałych paliw odnawialnych notowane są nieregularnie i bardzo trudno dotrzeć do wiarygodnych źródeł na temat ich kształtowania. Notowania cen, między innymi zbóż podstawowych, roślin oleistych, przygotowywane są przez Zintegrowany System Rolniczej Informacji Rynkowej (ZSRIR), agencji Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ośrodki Doradztwa Rolniczego, Izby Rolnicze, rynki hurtowe oraz giełdy. Wyniki zamieszczane są w biuletynach informacyjnych, publikowanych w wydawnictwach Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi przez Departament Rynków Rolnych Rolnictwa i Rozwoju Wsi. W artykule zamieszczono wyniki analizy obejmujące okres od 19 października 2009 r. do 24 października 2010 r. – 52 tygodnie.

Wykres (rys. 2) pokazuje kształtowanie się cen pszenicy paszowej z okresu 13 tygodni w krajach UE, z podkreśleniem zmienności cen w Polsce, UE – jako średniej, oraz kraju o największej fluktuacji cen. Największą zmiennością charakteryzują się ceny w Rumunii. Ceny pszenicy w Polsce i UE kształtują się podobnie. Skala wykresu na rysunku 2 nie pozwala zobrazować faktycznej zmienności, pokazując jedynie ogólną tendencję w poszczególnych krajach. Znacznie wyraźniej różnice w cenach widoczne są na rysunku 3. Do szczegółowej analizy wykorzystano ceny pszenicy paszowej dla wybranych dwóch państw, Polski i Rumunii oraz UE.



Rys. 2. Ceny pszenicy paszowej w Polsce i w wybranych krajach UE w trzynastu tygodniach  
Źródło: opracowanie własne

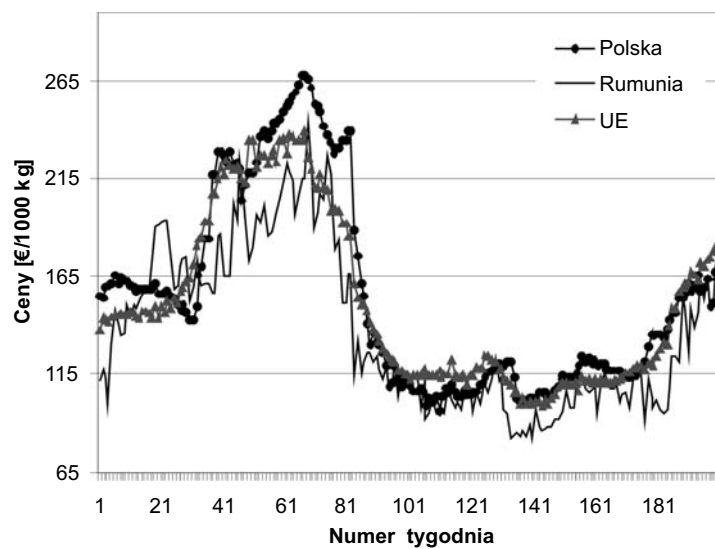
Fig. 2. Feed wheat prices in Poland and selected countries EU in the thirteen weeks



Rys. 3. Ceny pszenicy paszowej w Polsce, Rumunii i UE w pięćdziesięciu dwóch tygodniach  
Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Feed wheat prices in Poland, Romania and the EU in fifty-two weeks

Kształtowanie się cen w dłuższym okresie obejmującym 4 lata (2007 do 2010) przedstawia wykres (rys. 4). Występuje trend rosnący jak i malejący.



Rys. 4. Ceny pszenicy paszowej w Polsce, Rumunii i UE w latach 2007 do 2010  
Źródło: opracowanie własne

Fig.4. Feed wheat prices in Poland, Romania and the EU in 2007 to 2010

Przedstawione szeregi zmienności cen jednego z paliw biomasowych zawierają zmienny trend oraz wahania o dużej amplitudzie. Modelowanie przebiegów o tym typie zmienności jest trudne. W artykule przedstawiono zastosowanie modelu MRK. Jest to model zaliczany do modeli ekonometrycznych o szczególnych właściwościach, wykorzystujący rozkład kanoniczny wektora losowego. W prezentowanym przykładzie składowymi wektora są zmienne opóźnione.

### 3. Zastosowanie modelu MRK do prognozy cen paliw biomasowych

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 [3, 4] przedstawiono ideę metody.

Składowe wektora  $V$  wyznaczymy z układu równań:

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

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  $V_i$ .



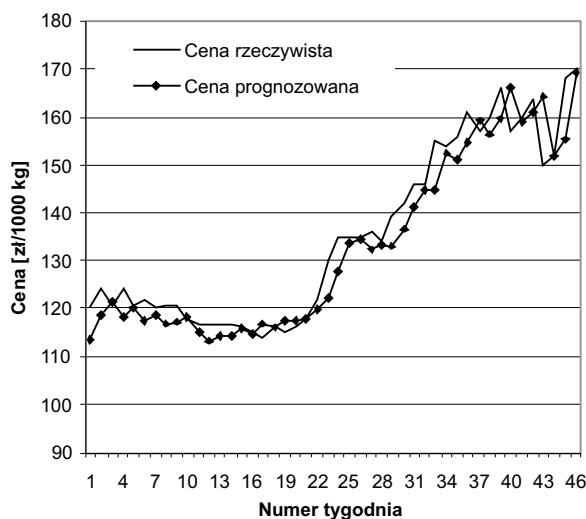
W dalszym zapisie w celu uproszczenia pominięto indeks oznaczający kolejną obserwację, a model predykcyjny opisano przekształconym układem równań:

$$\begin{aligned}
 X_{01} &= V_1, \\
 X_{02} &= a_{21}V_1 + V_2, \\
 X_{03} &= a_{31}V_1 + a_{32}V_2 + V_3, \\
 &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\
 X_{0m} &= a_{m1}V_1 + a_{m2}V_2 + \dots + a_{m,m-1}V_{m-1} + V_m
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

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

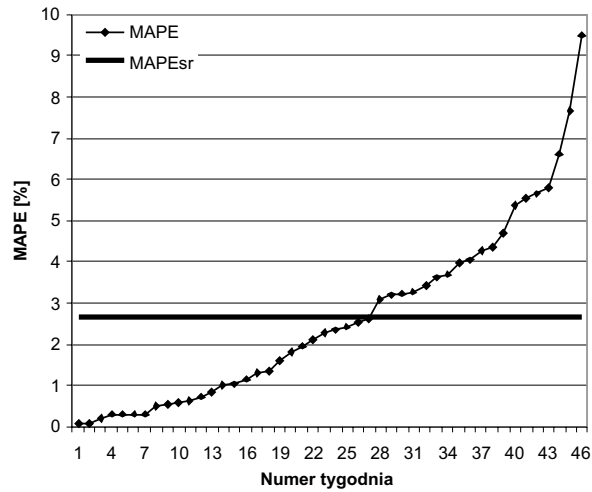
Pełny opis procedury rozkładu kanonicznego wraz z jej zastosowaniem w procesie predykcji zamieszczono w [4].

Przykład obliczeniowy wykonano, korzystając z danych obejmujących lata 2009 i 2010. Prognozowano ceny tygodniowe dla Polski. Wykonano dwa modele, model statyczny oraz model dynamiczny (krokowy). W pierwszym przypadku model uczono na danych z roku 2009, a prognozę walidacyjną wykonano dla 2010 roku. W przypadku modelu krokowego, model uczono na podstawie danych z 48 tygodni i wykonywano prognozę na tydzień 49, przesuwając się o tydzień i tak kolejno. Po wykonaniu wielu prób ustalono trzy zmienne objaśniające i są to dla modelu statycznego ceny opóźnione dla Polski, Litwy i Portugalii. Dla modelu krokowego zmiennymi opóźnionymi były ceny dla Polski, Czech, Irlandii, Portugalii, Niemiec oraz UE. Na rysunku 5 pokazano wykres cen rzeczywistych i prognozowanych z modelu statycznego. Rysunek 6 przedstawia kształtowanie się błędu MAPE



Rys. 5. Model statyczny. Wartość rzeczywista i prognozowana ceny  
Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Static model. The real value and forecast prices

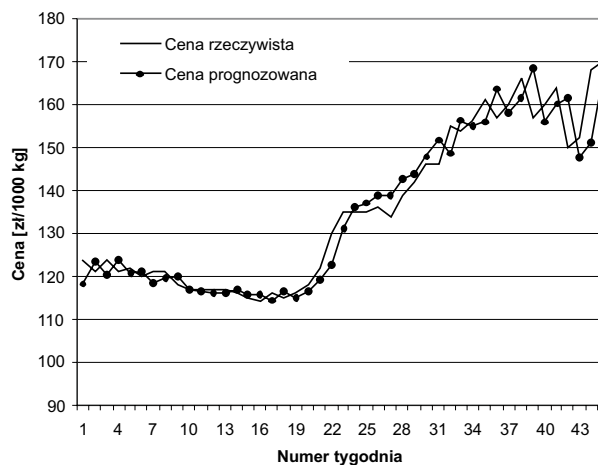


Rys. 6. Model statyczny. Uporządkowany i błąd średni MAPE  
Źródło: opracowanie własne

Fig. 6. Static model. Average and serialized in ascending order MAPE error

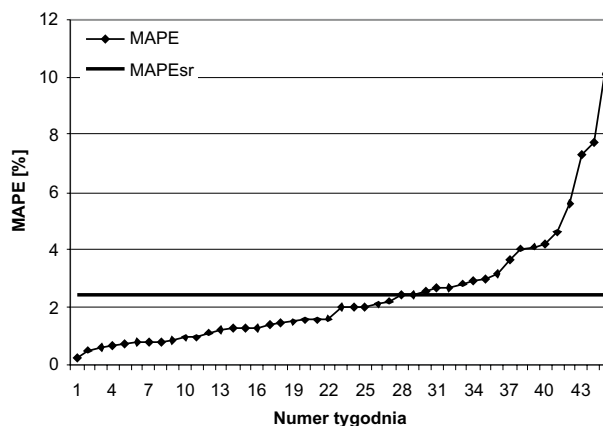
prognozy. Błąd średni wynosi 2,65%. Błędów mniejszych od średniego jest blisko 60%. Błąd prognozy wygasłej (dopasowanie modelu) wynosi 1,9%.

Na rysunku 7 pokazano wykres cen rzeczywistych i prognozowanych z modelu krokowego. Rysunek 8 przedstawia kształtowanie się błędu MAPE prognozy. Błąd średni wynosi 2,42%. Błędów mniejszych od średniego jest blisko 65%. Błąd dopasowania w przypadku modelu kroczącego wynosi 1,47%.



Rys. 7. Model krokowy. Wartość rzeczywista i prognozowana ceny  
Źródło: opracowanie własne

Fig. 7. Step-by-step model. The real value and forecast prices



Rys. 8. Model krokowy. Uporzędowany i błąd średni MAPE  
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 8. Step-by-step model. Average and serialized in ascending order MAPE error

## Podsumowanie

Wzrastające zużycie energii elektrycznej w kraju, realizacja pakietu  $3 \times 20$ , analizy porównawcze kosztów wytwarzania energii [9], w oczywisty sposób powodują wzrost zainteresowania jej produkcją z odnawialnych źródeł energii. Polska posiada znaczący potencjał techniczny energii możliwy do pozyskania z tych źródeł. W obecnym stanie prawnym skutecznym narzędziem zwiększającym podaż energii ze źródeł odnawialnych, jest obowiązek zakupu przez spółki dystrybucyjne energii elektrycznej z OZE i energii elektrycznej wytworzonej w skojarzeniu z ciepłem. Także plan budowy w każdej gminie bloków pracujących w kogeneracji, jeśli znacznie być realizowany, będzie miał duży wpływ na zwiększenie zapotrzebowania na paliwa z grupy OZE. Biomasa jest jednym z ważniejszych paliw odnawialnych jeśli idzie o zasoby, stad jej udział z zużyciu paliw odnawialnych będzie wzrastał. Wprowadzenie paliw biomasowych na Giełdę Towarową wpłynie znacząco na kształtowanie się cen tych paliw.

Zasadniczym celem artykułu było zasygnalizowanie problemu przewidywania cen paliw biomasowych, w szczególności zbóż uznanych za paliwo. Zainteresowanie kształtowaniem się cen będzie wzrastać wraz ze wzrostem zużycia paliw odnawialnych. Można założyć, z dużym poziomem ufności, że zakup paliw odnawialnych przez wytwórców energii elektrycznej i ciepłej będzie przebiegał dwutorowo. Obok długoterminowych kontraktów na zakup paliw odnawialnych będzie funkcjonował zakup i sprzedaż paliw na giełdzie. Z tego względu warto już teraz podejmować próby z modelami i narzędziami, które będą wspomagać wykonywanie tego rodzaju prognoz.

Do badań wybrano model rozkładu kanonicznego wektora zmiennych losowych nazywany w skrócie MRK. Prognozy wygasłe posłużyły do weryfikacji dobroci dopasowania

modelu. Prognozy walidacyjne umożliwiają rzeczywistą przydatność modelu. Z badanych i opisanych w artykule modeli lepszym pod względem dokładności okazał się model krokowy. Uzyskane dokładności uprawniają do stosowania tych modeli w praktyce.

## Literatura

- [1] CIEŚLAK M. i in., 2001 – Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowanie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [2] CONTRERAS J., ESPÍNOLA R., NOGALES F.J., CONEJO A.J., 2003 – ARIMA models to predict next-day electricity prices, *IEEE Trans. Power Syst.* vol. 18, no. 3, pp. 1014–1020.
- [3] DAŚAL K., POPLAWSKI T., 2009 – Model trendu pełzającego w prognozowaniu zużycia energii elektrycznej małych odbiorców. *Rynek energii Nr II (IV)*.
- [4] DOBRZAŃSKA I., DAŚAL K., ŁYP J., POPLAWSKI T., SOWIŃSKI J., 2002 – Prognozowanie w elektroenergetyce. *Zagadnienia wybrane*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej.
- [5] KAMIŃSKI J., 2010 – Modelowanie systemów energetycznych – ogólna metodyka budowy modeli. *Polityka Energetyczna* tom 13, z. 2. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 219–226. PL ISSN 1429-6675.
- [6] Krajowy Plan Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych – Projekt. Opracowanie Ministerstwa Gospodarki Warszawa 2010 r.
- [7] MALKO J., 2010 – Mapa drogowa do gospodarki niskowęglowej. *Rynek energii Nr 4 (89)*.
- [8] NOGALES F.J., CONTRERAS J., CONEJO A.J., ESPÍNOLA R., 2002 – Forecasting next-day electricity prices by time series models. *IEEE Trans. Power Syst.* vol. 17, no. 2, pp. 342–348.
- [9] SOWIŃSKI J., 2008 – Analiza porównawcza kosztów wytwarzania energii. *Rynek Energii nr I (II)*.
- [10] ŻMIJEWSKI K., 2009 – Harmonogram Programu Energetyki Jądrowej w Polsce. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków, s. 675–685. PL ISSN 1429-6675.

Tomasz POPLAWSKI, Kazimierz DAŚAL

## Application of the MRK model to price forecast selected biomass fuels

### Abstract

The article discusses the issue of renewable energy focusing in particular on the specific type of biomass, which are considered some of the grain. Presents a comparative analysis of prices of cereals on a few selected markets in European Union countries. Performed tests on the figures of the historical series of prices, mainly exploring the stationary and the presence of periodic fluctuations, the results of

which allow to choose the method and the prediction model. Proposed two forecasting models to predict prices in the weekly horizon. Taken together with forecasts of expired and the forecast evaluation of the accuracy of validation for the assessment of utility models.

KEY WORDS: renewable energy sources, biomass, prices, power system, modeling, short-term forecasting