



RENEWABLE ENERGY SOURCES - TREND ESTIMATION AND FORECAST OF THE PRODUCTION OF ELECTRICITY

ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII - TENDENCJA ROZWOJOWA I PROGNOZA PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Grażyna Karmowska, Agnieszka Barczak

Westpomeranian University of Technology in Szczecin/
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Karmowska G., Barczak A. (2014), *Renewable energy sources – trend estimation and forecast of the production of electricity/ Odnawialne źródła energii – tendencja rozwojowa i prognoza produkcji energii elektrycznej*. Economic and Regional Studies, vol. 7, no. 4, pp. 54-64.

Summary: The use and development of renewable energy sources is one of the basic issues in the Poland's Energy Policy until 2030. It is planned that the renewable energy technologies should constitute 25.4% of the overall power capacity in 2020. Solid biomass dominates in the structure of the production of renewable energy, whereas biofuels and solar energy constitute a fraction of one percent. The analysis of the dynamics of changes in the consumption of energy indicates the constant use of electricity, and a decreasing energy intensities GDP. The production of electricity based on renewable energy is increasing dynamically (indicated by the exponential form of the trend line) and the short-term forecast has a small error of predication – below 15%.

Keywords: renewable energy sources, energy consumption efficiency, forecasts of the production of energy

Streszczenie: Wykorzystanie i rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) jest jednym z podstawowych kierunków Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku. Przewiduje się, że technologie odnawialne będą stanowić w 2020 roku 25,4% całkowitej mocy wytwórczej. W strukturze produkcji z odnawialnych źródeł energii dominuje biomasa stała, zaś biopaliwa i energia słoneczna stanowią jej ułamek procenta. Analiza dynamiki zmian zużycia energii wskazuje na ciągły wzrost zużycia energii elektrycznej oraz malejącą energochłonność PKB. Produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii rośnie dynamicznie (opisana przez postać wykładniczą linii trendu) a jej prognoza krótkoterminowa jest obciążona małym błędem predykcji, poniżej 15%.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, efektywność zużycia energii, prognozy produkcji energii

Introduction

Renewable energy sources derive their energy from the conversion of wind power, solar energy, geothermal energy, sea swell energy, marine current energy, hydro power, biomass, landfill gas, and disintegration of stored plant and animal remains (Energy Law, art. 3 subsection 20)¹. A systematic increase in gaining energy from renewable sources appeared in the EU27 countries. In Poland, the share of renewable energy in primary energy² generally increased from 6.7% (in 2007) to 10.9% (in 2011), whereas the average share in the UE27 in that time increased from 15.6% to 20.3%. The solid biomass provided the biggest amount of energy – circa 85.6%.

The use and development of the renewable energy sources is one of the basic issues in the

Wstęp

Odnawialne źródło energii (OZE) wykorzystuje w procesie przetwarzania energii wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków, albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych (Prawo energetyczne, art. 3 pkt 20)¹. W krajach UE27 występował systematyczny wzrost ilości energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych. Udział energii odnawialnej w energii pierwotnej² ogółem w Polsce wzrósł od 6,7% (w 2007) do 10,9% (w 2011), a średnio w UE27 wzrósł w tym okresie od 15,6% do 20,3%. Biomasa stała dostarczyła najwięcej energii bo około 85,6%.

¹ The development and use of renewable sources of electricity, 2012.

² Primary energy – the energy of the primary energy carriers obtained directly from natural renewable and non-renewable resources.

¹ Rozwój i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii elektrycznej, 2012.

² Energia pierwotna - energia zawarta w pierwotnych nośnikach energii pozyskiwanych bezpośrednio z zasobów naturalnych odnawialnych i nieodnawialnych.

Address for correspondence: dr hab., prof. ZUT Grażyna Karmowska, dr Agnieszka Barczak, Westpomeranian University of Technology in Szczecin, Faculty of Economy, Department of System Analysis and Finances, K. Janickiego 31 Street, 71-270 Szczecin, Poland;
Phone: +48 91 449 68 90; e-mail: grazyna.karmowska@zut.edu.pl, agnieszka-barczak@zut.edu.pl
Full text PDF: www.ers.edu.pl; Open-access article.

Copyright © Pope John Paul II State School of Higher Education in Białą Podlaską, Sidorska 95/97, 21-500 Białą Podlaską;

Indexation: Index Copernicus Journal Master List ICV 2013: 6.48; Polish Ministry of Science and Higher Education 2013: 4 points.

Poland's Energy Policy until 2030 (PEP 2030). The issue is forced by the EU requirements concerning the reduction of the emission of carbon dioxide. The goals set for 2020, and practically for 2050, give Poland the possibility to develop new technologies, but at the same time they are a danger for the economic development barriers. The estimated increase in the use of final energy in 2020, in comparison to 2006 (according to the Ministry of Economy), should make 11%. The structure of the consumption by the sectors estimates that transport will reach 31.7%, services 31.3%, farming 13.6%, and households only 0.5%. The forecasted consumption of energy by the industry should not change. According to PEP 2030, the relatively biggest dynamics of change in 2006-2020 is expected in case of wind power – exceeding 50 times. The increase in solar energy is expected to reach over 30 times. The forecasts suggest that the renewable technologies will constitute 25.4% of the overall capacity in 2020, and the four areas: wind power, biogas and solid biomass, and transport biofuels will make in total circa 94% of renewable sources.³

This study is to analyse the dynamics of changes in the consumption of energy, production of energy from renewable sources and the short-term forecast with the use of econometric models.

The production of the primary energy

In 2010, 6.9 Mtoe⁴ of the primary energy from renewable sources was acquired in Poland. Both in Poland, and in the whole European Union since 2003 the increase in the share of renewable energy sources has been observed. In 2010, in comparison to 2002, the increase made 70,9% in Poland and 68.3% in the European Union (EU), and until 2006 – 34.9% in Poland and 44.3% in the EU. Having studied the dynamics with the use of chain index (comparison to the previous year), it appears that in 2010 the increase was the biggest and -12% in the EU and 13.7% in Poland, whereas in 2011 it was one percentage point more than in the previous year.

In 2011, the share of solid biomass in the production of electricity with the use of renewable sources comprised 54.4%, wind power – 24.4%, hydro power – 17.7%, biogas – 3.4%, biofuels – 0.011%, and solar energy – 0.008%⁵ (Figure 1).

Wykorzystanie i rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) jest jednym z podstawowych kierunków Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku (PEP 2030). Kierunek ten wymuszony jest przez Unię Europejską, która ustaliła wymogi dotyczące redukcji emisji dwutlenku węgla. Cele wyznaczone do roku 2020, a praktycznie do 2050, są dla Polski szansą na rozwój nowych technologii, a jednocześnie są zagrożeniem związanym z barierami rozwoju gospodarczego. Prognozowany wzrost zużycia energii finalnej w roku 2020, w porównaniu do 2006 r. (według Ministerstwa Gospodarki); wyniesie 11%. Struktura zużycia według sektorów przewiduje, że transport będzie stanowił 31,7%, usługi 31,3%, rolnictwo 13,6%, a gospodarstwa domowe jedynie 0,5%. Prognozowane zużycie energii w przemyśle nie zmieni się. Według PEP 2030, relatywnie największą dynamikę wzrostu, bo aż ponad pięćdziesięciokrotną, w latach 2006-2020 przewiduje się dla energetyki wiatrowej. Dla ciepła słonecznego wzrost ma wynosić ponad 30-krotność. Przewiduje się, że technologie odnawialne będą stanowić w 2020 roku 25,4% całkowitej mocy wytwórczej, a ich cztery obszary: energetyka wiatrowa, produkcja biogazu i biomasy stałej oraz biopaliwa transportowe stanowią będą łącznie ok. 94% zużycia energii ze wszystkich źródeł odnawialnych.³

Celem opracowania jest analiza dynamiki zmian zużycia energii, produkcji energii z odnawialnych źródeł energii oraz jej prognoza krótkoterminowa z wykorzystaniem modeli ekonometrycznych.

Produkcja energii pierwotnej

W 2010 roku w Polsce pozyskano 6,9 Mtoe⁴ energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych. Zarówno w Polsce, jak i całej Unii Europejskiej od 2003 roku następował wzrost udziału odnawialnych źródeł energii. W roku 2010, w porównaniu do roku 2002, wzrost ten wyniósł odpowiednio 70,9% w Polsce i 68,3% w Unii Europejskiej (UE), a do roku 2006 – o 34,9% w Polsce i 44,3% w UE. Badając dynamikę, z wykorzystaniem indeksu łańcuchowego (w porównaniu do roku ubiegłego), w roku 2010 wzrost ten był największy i wyniósł 12% w UE oraz 13,7% w Polsce, natomiast w roku 2011 wyniósł o jeden punkt procentowy więcej niż w roku poprzedzającym.

W roku 2011 w strukturze produkcji energii elektrycznej wytworzonej z OZE (rys.1) udział biomasy stałej wyniósł 54,4%, energii wiatru - 24,4%, energii wody – 17,7%, biogazu – 3,4%, biopaliw - 0,011% i promieniowania słonecznego - 0,008%⁵.

³ http://www.euractiv.pl/energia-i-srodowisko/spis_linie/odnawialne-rodza-energii--szanse-i-koszty-000020, 17.01.2014.

⁴ Mtoe – unit of crude oil equivalent; 1 Mtoe=1,163 10¹⁰ kWh.

⁵ <http://chronmyklimat.pl/energetyka/odnawialne-zrodla-energii/15308-odnawialne-zrodla-energii-w-polsce-w-2011-roku>, 17.01.2014.

³ http://www.euractiv.pl/energia-i-srodowisko/spis_linie/odnawialne-rodza-energii--szanse-i-koszty-000020, 17.01.2014.

⁴ Mtoe – jednostka ekwiwalentu ropy naftowej; 1 Mtoe=1,163 10¹⁰ kWh.

⁵ <http://chronmyklimat.pl/energetyka/odnawialne-zrodla-energii/15308-odnawialne-zrodla-energii-w-polsce-w-2011-roku>, 17.01.2014.

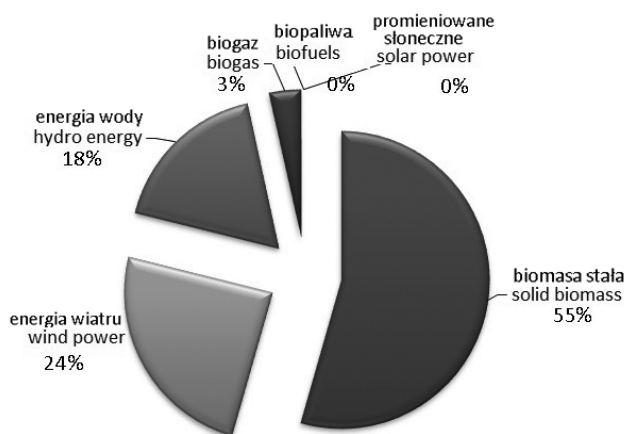


Figure 1. The production of energy with the use of renewable energy sources in 2011

Rysunek 1. Struktura produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w 2011 r.

Source: Authors on the basis of data from www.euroactiv.pl

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z www.euroactiv.pl

The consumption of electricity⁶

The total consumption of the primary energy⁷ in Poland grew in 2001-2011 by 13.3%, from 90 Mtoe to 102 Mtoe. The decrease in consumption was observed twice – in 2002 and 2009, that is in years of the low economic development.

Taking into consideration the final consumption of energy⁸ (in absolute terms) the growth by 14.5%, from 55 Mtoe to over 63 Mtoe was observed. In this case, the decrease in use (apart from years shown) also appeared in 2011 (Fig.2).

Zużycie energii elektrycznej⁶

Całkowite zużycie energii pierwotnej⁷ wzrosło w Polsce w latach 2001-2011 o 13,3%, z poziomu 90 Mtoe do 102 Mtoe. Spadek zużycia został zanotowany dwukrotnie, w roku 2002 i w roku 2009, czyli w latach niskiego wzrostu gospodarczego.

Biorąc pod uwagę finalne zużycie energii⁸ (w wielkościach bezwzględnych) nastąpił wzrost o 14,5%, z 55 Mtoe do ponad 63 Mtoe. W tym przypadku spadek zużycia zanotowano, oprócz wymienionych wcześniej lat, także w roku 2011 (rys. 2).

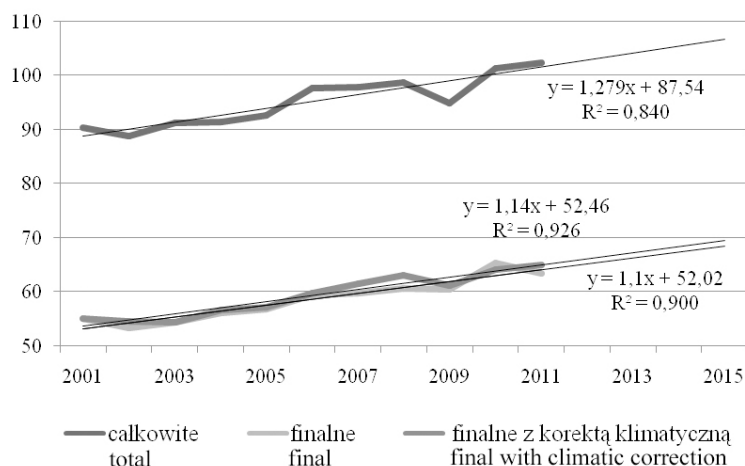


Figure 2. The consumption of energy in Poland in 2001-2011 [in Mtoe]

Rysunek 2. Zużycie energii w Polsce w latach 2001-2011 [w Mtoe]

Source: Authors on the basis of data of the Central Statistical Office (GUS).

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

⁶ Based on data contained in the study: Efektywność wykorzystania energii w latach 2001-2011, Informacje i opracowania statystyczne GUS, Warszawa 2013.

⁷ The total consumption of the primary energy comprises the use of the primary energy carriers, recycling, exchange, bunker, and change of reserves of derived energy products, according to Eurostat methodology.

⁸ The final consumption of energy is the final consumption of energy for energetic purposes, calculated in accordance with Eurostat/IEA. The consumption of energy in the industry does not involve the energetic transformation sector. The climate correction is based on the relation between the use of energy and the outside temperature.

⁶ Opracowano na podstawie danych zawartych w opracowaniu: Efektywność wykorzystania energii w latach 2001-2011, Informacje i opracowania statystyczne GUS, Warszawa 2013.

⁷ Całkowite zużycie energii pierwotnej obejmuje zużycie nośników energii pierwotnej, a także odzysk, saldo wymiany, bunker i zmianę zapasów pochodnych nośników energii wg metodologii Eurostatu.

⁸ Finalne zużycie energii oznacza finalne zużycie energii na cele energetyczne obliczane zgodnie z metodologią Eurostatu/IEA. Zużycie finalne w przemyśle nie obejmuje sektora przemian energetycznych. Korekta klimatyczna bazuje na relacji pomiędzy zużyciem energii a temperaturą zewnętrzną.

The consumption of electricity is growing systematically. To describe the changes, the linear trend was used. It determines the annual average growth in the consumption of electricity (the coefficient of linear regression describes the annual average changes). The analyzed consumption of electricity in 2001-2011 (the upper line in Fig.1) indicates the annual average growth by 1.28 Mtoe, and the final consumption with climatic correction (the bottom line) by 1.14 Mtoe.

A measure of the efficiency of consumption in relation to gross domestic product (GDP) is used to analyze the consumption of electricity. In 2001-2012 the GDP was increasing constantly and at the end of that period its value was two times bigger than at the beginning. The pace of growth of the gross value added (GVA) in constant prices was slightly lower (by 14%) than the pace of growth of the GDP. The dynamics of changes are shown by the lines of the linear trend (with a very high coefficient of determination 0.98). the average annual growth of the GDP in 2001-2011 was 78 865 million zlotys, and the GVA – 69 153 million zlotys (Figure 3.).

Zużycie energii elektrycznej systematycznie rośnie. Dla opisu tych zmian wykorzystano trend liniowy, który określa średnioroczne wzrosty zużycia energii elektrycznej (współczynnik regresji liniowej oznacza średnioroczne zmiany). Analizowane zużycie całkowite energii elektrycznej w latach 2001-2011 (linia górna na rysunku) wskazuje na wzrost średnioroczny o 1,28 Mtoe, a zużycie finalne z korektą klimatyczną (linia dolna) o 1,14 Mtoe.

W analizach zużycia energii elektrycznej używa się miar efektywności zużycia w relacji do produktu krajowego brutto (PKB). W latach 2001-2012 produkt krajowy brutto wzrastał nieprzerwanie, osiągając na koniec tego okresu wartość dwukrotnie większą niż na jego początku. Tempo wzrostu wartości dodanej brutto (WDB) w cenach stałych było nieznacznie niższe (o 14%) od tempa wzrostu PKB. Dynamikę tych zmian opisują linie trendu liniowego (z bardzo wysokim współczynnikiem determinacji 0,98). Średnioroczny wzrost PKB w latach 2001-2011 wynosił 78 865 mln zł a WDB – 69 153 mln zł (rys. 3).

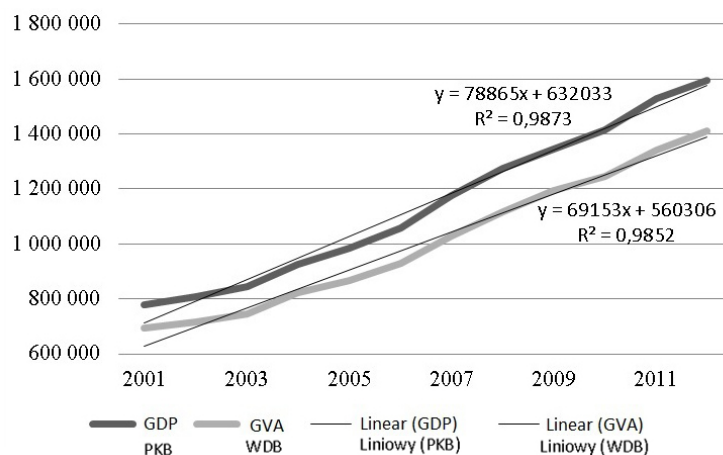


Figure 3. The changes in GDP and GVA in Poland in 2001-2011 [mln zł]

Rysunek 3. Zmiany PKB i WDB w Polsce w latach 2001-2011 [mln zł]

Source: Authors on the basis of data of the Central Statistical Office (GUS).

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

The basic measures of the efficiency of consumption of electricity are the primary energy intensity of the GDP and the final energy intensity of the GDP. These measures are expressed in kilograms of oil equivalent to 1 Euro, according to the exchange rates in 2000. The primary energy intensity of the GDP is a relation of the total consumption of the primary energy the final energy to the GDP, and the final energy intensity – a relation of the final consumption of energy to the GDP. The dynamics of changes in 2001-2011 is shown in Figure 4.

Podstawowymi miarami efektywności zużycia energii elektrycznej są energochłonność pierwotna PKB i energochłonność finalna PKB. Miary te wyrażone są w kilogramach oleju ekwiwalentnego na 1 euro według kursu w roku 2000. Energochłonność pierwotna PKB jest relacją całkowitego zużycia energii pierwotnej do PKB, a energochłonność finalna PKB - relacją zużycia finalnego energii do PKB. Dynamikę ich zmian w latach 2001-2011 przedstawia rysunek 4.

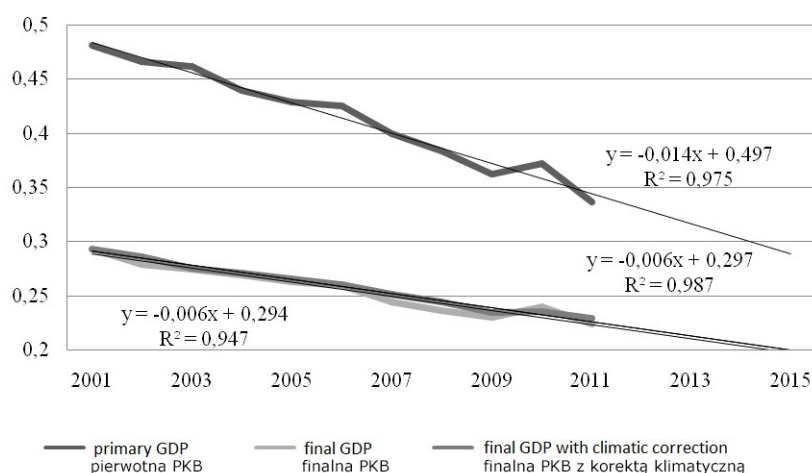


Figure 4. The energy intensity of the GDP in Poland in 2001-2011 [in kgoe/euro00]

Source: Authors on the basis of data of the Central Statistical Office (GUS).

Rysunek 4. Energochłonność PKB w Polsce w latach 2001-2011 [w kgoe/euro00]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

As a result of the faster growth of the GDP than the consumption of energy, the decreasing primary and final energy intensity of the GDP is observed. 2010 is an exceptional year (compare Figure4). The energy intensity decreased by over 2% annually in 2001-2006. In the next period (2006-2009), the primary and final energy intensity improved. The pace of the primary energy intensity exceeded 5% and the final energy intensity nearly 4%. In 2009-2011 the pace of improvement decreased significantly, for instance because of growth in the energy intensity of Polish economy in 2010.

The increase in prices of energy, and the increasing dependence on energy suppliers outside the EU are dangerous for energy security, and European competitiveness. During the last few years, many documents concerning these issues were accepted in the EU. The most significant of them is the Climate and Energy Package (so called three times 20%), which was published in January 2008. According to the Package, the member states of the EU are obliged:

- to reduce the CO₂ emission in 2020, in contrast to 1990,
- to increase the share of consumption of energy from renewable sources by 20% in the EU in 2020; in case of Poland the 15% share is set,
- to increase the energy efficiency by 20% in 2020

The goals of the EU concerning energy were also taken into consideration in the "Europe 2020: a strategy for smart, sustainable and inclusive growth", which was accepted by the European Council in 2010, as well as in the "Energy 2020" communicate in which

W efekcie szybszego tempa wzrostu PKB niż zużycia energii, obserwowana jest malejąca energochłonność pierwotna i finalna PKB. Wyjątkiem jest tu rok 2010 (por. rys. 4). Energochłonność ulegała obniżeniu o ponad 2% rocznie w latach 2001-2006. W kolejnym okresie (lata 2006-2009), nastąpiła poprawa energochłonności pierwotnej i finalnej. Tempo energochłonności pierwotnej przekroczyło 5% a finalnej blisko 4%. W latach 2009-2011 prędkość poprawy znacząco spadła, m.in. w wyniku wzrostu energochłonności polskiej gospodarki w roku 2010.

Rosnące ceny energii, jak również coraz większa zależność od dostawców energii spoza UE są zagrożeniem dla bezpieczeństwa energetycznego oraz konkurencyjności przemysłu unijnego. Przez kilka ostatnich lat, w UE przyjęto wiele dokumentów dotyczących tego zakresu. Do najważniejszych z nich zalicza się pakiet klimatyczno - energetyczny (tzw. 3 razy 20%), który został opublikowany w styczniu 2008 r. Zgodnie z nim, państwa członkowskie UE są zobowiązane do:

- 20% redukcji emisji CO₂ w roku 2020, w porównaniu do roku 1990,
- 20% wzrostu udziału poboru energii ze źródeł odnawialnych w UE w 2020 r.; dla Polski udział ten ustalono na poziomie 15%,
- 20% zwiększenia efektywności energetycznej w 2020 roku.

Cele UE dotyczące zużycia energii zostały uwzględnione także w strategii „Europa 2020 na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu”, którą Rada Europejska przyjęła w 2010 r., jak również w komunikacie „Energia 2020”, w którym Komisja Europejska przedstawiła nową strategię energetyczną na rok 2020. Dotyczy ona konkurencyjnej, zrównoważonej oraz bezpiecznej energii. W krajowym planie działań, który odnosi się do efektywności energe-

⁹ kgoe - a kilogramme of oil equivalent; euro00 - the exchange rate according to the market rate in 2000.

¹⁰ kgoe - kilogram oleju ekwiwalentnego; euro00 - wartość euro wg kursu rynkowego w 2000 r.

the European Council presented the new energy strategy for 2020 – it concerns the competitive, sustainable, and safe energy. In the National Action Plan, which concerns the energy efficiency, the means for improving the energy efficiency were established in the Operational Programme “Energy saving and promotion of renewable sources of energy”, in order to make use of the financial resources in terms of the EEA Financial Mechanism, and the Norwegian Financial Mechanism in 2012-2017¹¹.

Research Object

In the research data of the Central Statistic Office for 2005-2012 were used. The analysis concerns the volume of electricity with the use of renewable energy carriers in Poland, divided into six regions consisting of several voivodeships (according to the Central Statistic Office (GUS)):

1. North: Kujawsko-pomorskie, Pomorskie, and Warmińsko-mazurskie,
2. North-West: Lubuskie, Wielkopolskie, and Zachodniopomorskie,
3. South-West: Dolnośląskie, and Opolskie,
4. Central: Łódzkie, and Mazowieckie,
5. South: Małopolskie, and Śląskie,
6. East: Lubelskie, Podkarpackie, Podlaskie, and Świętokrzyskie.

tycznej, zostały określone środki poprawy efektywności w Programie Operacyjnym „Oszczędność energii i promocja odnawialnych źródeł energii” dla wykorzystania środków finansowych w ramach Mechanizmu Finansowego EOG oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego w latach 2012-2017⁹.

Obiekt badań

W badaniach wykorzystano dane Głównego Urzędu Statystycznego za lata 2005-2012. Analiza obejmuje wielkość produkcji energii elektrycznej z odnawialnych nośników energii (OZE) w Polsce, z podziałem na sześć regionów obejmujących po kilka województw (według klasyfikacji GUS):

1. Północny: kujawsko-pomorskie, pomorskie i warmińsko-mazurskie,
2. Północno-zachodni: lubuskie, wielkopolskie i zachodniopomorskie,
3. Południowo-zachodni: dolnośląskie i opolskie.
4. Centralny: łódzkie i mazowieckie,
5. Południowy: małopolskie i śląskie,
6. Wschodni: lubelskie, podkarpackie, podlaskie i świętokrzyskie.



Figure 5. The regional division of Poland, according to the Central Statistic Office (GUS)

Rysunek 5. Podział Polski na regiony według klasyfikacji GUS

Source: Źródło: http://www.stat.gov.pl/gus/5840_5959_PLK_HTML.htm.

Źródło: http://www.stat.gov.pl/gus/5840_5959_PLK_HTML.htm.

¹¹ The efficiency of the use of energy in 2001-2011. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2013, s. 16-17.

⁹ Efektywność wykorzystania energii w latach 2001-2011. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2013, s. 16-17.

In Table 1 the selected statistic measures are shown and indicate value of the production of electricity with the use of renewable sources of energy in the individual regions.

W tabeli 1 przedstawiono wybrane miary statystyczne charakteryzujące wielkość produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, w poszczególnych regionach.

Table 1. The selected statistic measures showing the production of electricity with the use of renewable sources of energy in 2005-2012 in the individual regions of Poland [GWh]

Tabela 1. Wybrane miary statystyczne charakteryzujące produkcję energii elektrycznej z OZE w latach 2005-2012, według regionów Polski [GWh]

Region/Region	Minimal value/ Wartość minimalna	Maximal value/ Wartość maksymalna	Median/ Mediana	Average/ Średnia	Współczynnik zmienności /Coefficient of variation
Central/Centralny	239,40	2863,60	820,85	1078,93	84,75%
South/Południowy	582,20	3110,00	1422,25	1631,50	57,78%
East/Wschodni	516,50	2075,30	1089,15	1119,06	50,19%
North-West/ Północno-Zachodni	547,70	3956,10	1456,20	1701,60	66,42%
South-West/ Południowo-Zachodni	349,20	1237,60	630,35	713,63	44,64%
North/Północny	1611,80	3636,40	2223,50	2474,90	32,89%

Source: Authors on the basis of data of the Central Statistical Office (GUS).

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

The biggest average production of renewable energy during the period considered was reported in case of the Northern region, and four times lower in case of the South-West. In all regions a high range of the production value is observed – from 2.5 thousands in the Central and Southern region to circa 900 in the South-West. The value of variation coefficients show diversification in the amount of energy produced in the separate regions. During the period considered, the biggest production was reported in the North-West region in 2012, and the lowest in 2006 – in the Central region.

Methods of Analysis

This study is to analyze and forecast the production of renewable energies with the use of statistic methods, an examination of time-series and trend estimation models, and try to create a short-term forecast concerning the production of electricity from renewable sources in 2014 and 2015.

The trend function model which is used to specify the forecasted variable Y in the moment or period forecasted $t - y_t^*$, is a formal model. Its explanatory variables may be only time variable, and former values or forecasts of variable Y (Farnum, Stanton 1989). The models may have different form of the trend function, including the linear form. In many cases, the application of the linear trend function may cause extensive deformations in describing the actual course of the phenomenon examined. Therefore, in the analysis the function with an accelerated pace of increase was used – an exponent function: $y_t = e^{\alpha + \beta t}$. It was chosen from many different forms of trend functions after an analysis of

Najwyższą średnią produkcję energii z OZE, w badanym okresie, zanotowano dla regionu północnego, a czterokrotnie niższą dla południowo-zachodniego. We wszystkich regionach obserwuje się dużą rozpiętość w wielkości produkcji energii od około 2,5 tys. dla regionu centralnego i południowego, do około 900 dla regionu południowo-zachodniego. Również wartości współczynników zmienności wskazują na duże zróżnicowanie ilości produkowanej energii w poszczególnych regionach. W badanym okresie, największą produkcję zanotowano w regionie północno-zachodnim w roku 2012, a najniższą w roku 2006 – w regionie centralnym.

Metody analizy

Celem opracowania jest analiza i prognoza produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych z wykorzystaniem metod statystycznych analizy szeregów czasowych a także modeli funkcji trendu oraz próba oszacowania na ich podstawie krótkoterminowej prognozy produkcji energii elektrycznej z OZE na lata 2014 i 2015.

Model funkcji trendu, który służy do określania przyszłej wartości zmiennej prognozowanej Y w momencie lub okresie prognozowanym t , czyli y_t^* , jest modelem formalnym. Jego zmiennymi objaśniającymi mogą być tylko zmienna czasowa i przeszłe wartości bądź prognozy zmiennej Y (Farnum, Stanton 1989). Modele te mogą przyjmować różne postaci funkcji trendu, w tym i postać liniową. W wielu przypadkach, zastosowanie liniowej funkcji trendu może spowodować bardzo duże zniekształcenia podczas dokonywania opisu rzeczywistego przebiegu badanego zjawiska, dlatego w analizie zastosowano funkcję o przyspieszonym tempie wzrostu, czyli funkcję wykładniczą postaci: $y_t = e^{\alpha + \beta t}$. Postać

charts and statistic verification of model parameters, and their quality (Dittmann 1997).

Having determined and verified the trend models the process of prediction was performed. The basic tenets of the prediction theory were applied:

1. Every forecast should be calculated along with an appropriate accuracy measure.
2. While choosing a method to create a forecast, one must aspire to reach the highest prediction effectiveness possible, that is to reach the satisfactory value of a chosen accuracy measure (Zeliaś and others, 2003).

The evaluation of accuracy and precision of forecasts was carried out by calculating the expected values of actual deviation of the variable to the forecast (accuracy measure *ex ante*) (Zeliaś 2003). The absolute average and the relative average prediction error were applied.

The absolute average prediction error was appointed from the formula:

$$V_T = S_e \cdot \sqrt{\frac{(T - \bar{t})^2}{\sum (t - \bar{t})^2} + \frac{1}{n} + 1}$$

where:

S_e - standard deviation of the trend model reminders,
 T - number of period or moment for which the forecast is made,
 t - time variable,
 n - a sample size

The relative average prediction error was appointed from the formula:

$$V_T^* = \frac{V_T}{y_{\bar{t}}} \cdot 100\%$$

where:

$y_{\bar{t}}$ - value of the forecasted variable.

The results of analyses performed

The value of the production of electricity from renewable sources in Poland and in separate regions was presented with the use of trend function and confidence intervals.

Based on the analysis carried out, the hypothesis was formulated that in all cases the data is shaped in the form of exponential trend function.

In Table 1 the results of parameters estimation and elements of statistic verification of their value are shown. In all cases, values of determination parameters are high and exceed 96% which signifies the slight divergence between the theoretical and actual values of the explanatory variable. The measured values of random variability coefficients

tą wybrano z wielu różnych form funkcji trendu po przeprowadzeniu analizy wykresów oraz statystycznej weryfikacji parametrów modeli i ich jakości (Dittmann 1997).

Po wyznaczeniu i weryfikacji modeli trendów przeprowadzono proces predykcji. Kierowano się podstawowymi postulatami teorii predykcji, a mianowicie:

1. Każda prognoza powinna być obliczona wraz z odpowiednim miernikiem rzędu dokładności.
2. Przy wyborze sposobu budowania prognozy należy dążyć do możliwie wysokiej efektywności predykcji, czyli do osiągnięcia możliwie zadowalającej wartości wybranego miernika rzędu dokładności predykcji (Zeliaś i in., 2003).

Przeprowadzono ocenę dokładności i trafności prognoz, która została dokonana przez oszacowanie spodziewanej wielkości odchyień rzeczywistych realizacji zmiennej prognozowanej od prognoz (mierniki dokładności *ex ante*) (Zeliaś 2003). Zastosowano średni absolutny i średni względny błąd prognozy.

Średni absolutny błąd prognozy wyznaczono ze wzoru:

$$V_T = S_e \cdot \sqrt{\frac{(T - \bar{t})^2}{\sum (t - \bar{t})^2} + \frac{1}{n} + 1}$$

gdzie:

S_e - odchylenie standardowe reszt modelu trendu,
 T - numer okresu lub momentu, dla którego wyznacza się prognozę,
 t - zmienna czasowa,
 n - liczebność próby.

Średni względny błąd prognozy wyznaczono ze wzoru:

$$V_T^* = \frac{V_T}{y_{\bar{t}}} \cdot 100\%$$

gdzie:

$y_{\bar{t}}$ - wartość zmiennej prognozowanej.

Wyniki przeprowadzonych analiz

Kształtowanie się wielkości produkcji energii elektrycznej z nośników odnawialnych w Polsce i poszczególnych regionach zaprezentowano za pomocą funkcji trendu oraz przedziałów ufności.

Na podstawie dokonanej analizy sformułowano hipotezę, iż we wszystkich przypadkach dane kształtują się w formie funkcji trendu wykładniczego.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki estymacji parametrów modeli i elementy statystycznej weryfikacji ich jakości. We wszystkich przypadkach wartości współczynników determinacji są wysokie i przekraczają 96 %. Świadczy to o niewielkich rozbieżnościach pomiędzy teoretycznymi a rzeczywistymi wartościami zmiennej objaśnianej. Otrzymane war-

prove the little share of randomness parameter in the average value of the explanatory variable (it was assumed, that it should not exceed 15%). Moreover, the importance of the structural model parameters was verified with the use of the t-Student test (in all models they are of statistic importance). All estimated models fulfil the conditions to be used to create forecasts (Table 2).

tości współczynników zmienności losowej świadczą o niewielkim udziale składnika losowego w średniej wartości zmiennej objaśnianej (założono, że nie powinien on przekroczyć 15%). Ponadto, zweryfikowano istotność parametrów strukturalnych modeli z wykorzystaniem testu t-Studenta (we wszystkich modelach charakteryzują się one statystyczną istotnością). Wszystkie oszacowane modele spełniają warunki by można było je wykorzystać do wyznaczenia prognoz (tab. 2).

Table 2. Trend models of the value of the production of renewable energy in Poland and its regions

Tabela 2. Modele trendu wielkości produkcji energii elektrycznej z OZE w Polsce i jej regionach

Regions/Regiony	Trend function/ Funkcja trendu	Determination coefficient/ Współczynnik determinacji	Random variable coefficient/ Współczynnik zmienności losowej
Central/Centralny	$y_t = 141e^{0,3752t}$	0,9835	7,95%
South/Południowy	$y_t = 445,74e^{0,2522t}$	0,9784	11,50%
East/Wschodni	$y_t = 386,79e^{0,2102t}$	0,9687	7,86%
North-West/ Północno-zachodni	$y_t = 425,65e^{0,2662t}$	0,9842	11,92%
South-West/ Południowo-zachodni	$y_t = 284,93e^{0,1842t}$	0,9844	5,81%
North/Północny	$y_t = 1310,3e^{0,1302t}$	0,9678	6,32%
Poland/Polska	$y_t = 2889,4e^{0,2172t}$	0,9951	2,99%

Source: Authors on the basis of data of the Central Statistical Office (GUS).

Źródło: opracowanie własne w oparciu o dane GUS.

Based on the obtained exponential trend models, the point forecasts and their average forecast errors were made. For 2014, the average relative forecast error did not exceed 12%, and for 2015, it was slightly higher but did not exceed 16%. The period forecasts for 2014 and 2015 were created with the probability of 0.95 (Table 3 and 4).

W oparciu o uzyskane modele trendów wykładniczych uzyskano prognozy punktowe i ich średnie błędy prognozy. Dla roku 2014 średni względny błąd prognozy nie przekraczał 12% a dla roku 2015 był nieco wyższy i nie przekraczał 16%. Zbudowano prognozy przedziałowe dla lat 2014 i 2015 z prawdopodobieństwem 0,95 (tab. 3 i 4).

Table 3. The forecasted production of renewable electricity in 2014 [GWh]

Tabela 3. Prognozowana produkcja energii elektrycznej z OZE w 2014 r. [GWh]

Regions/ Regiony	Bottom range limit/ Granica dolna przedziału	Upper range limit/ Granica górna przedziału
Central/Centralny	5 866,60	6 148,36
South/Południowy	5 248,66	5 864,48
East/Wschodni	3 023,69	3 312,47
North-West/Północno-zachodni	5 782,79	6 448,65
South-West/Południowo-zachodni	1 729,65	1 865,68
North/Północny	4 594,67	5 108,01

Source: Authors on the basis of data of the Central Statistical Office (GUS).

Źródło: opracowanie własne w oparciu o dane GUS.

In 2014, the biggest renewable energy production is forecasted in the Central and North-West regions – about 6 thousands GWh, and the lowest in the South-West – about 1.8 thousands GWh.

W roku 2014 najwyższą produkcję z OZE przewiduje się w regionie centralnym i północno-zachodnim, około 6 tys. GWh, a najniższą w południowo-zachodnim – około 1,8 tys. GWh.

Table 4. The forecasted amounts of renewable electricity in 2015 [GWh]

Tabela 4. Prognozowane wielkości produkcji energii elektrycznej z OZE w 2015 r. [GWh]

Regions/Regiony	Bottom range limit/ Granica dolna przedziału	Upper range limit/ Granica górna przedziału
Central/Centralny	8 576,08	8 909,06
South/Południowy	6 787,31	6 787,31
East/Wschodni	3 738,92	4 080,20
North-West/Północno-zachodni	7 589,92	8 376,84
South-West/Południowo-zachodni	2 003,70	2 318,80
North/Północny	5 226,49	5 833,15

Source: Authors on the basis of data of the Central Statistical Office (GUS).

Źródło: opracowanie własne w oparciu o dane GUS

Also in 2015, the Central region will produce the most energy – about 9 thousands GWh, in contrast to the South-West region in which the predicted production of renewable energy is to reach about 2 thousands GWh.

Figure 5. shows the predicted share structure of separate regions in the production of electricity from the renewable sources.

W roku 2015 również region centralny będzie produkować najwięcej, bo około 9 tys. GWh, wobec regionu południowo-zachodniego, gdzie przewidywana produkcja energii z OZE ma wynosić około 2 tys. GWh.

Na rys. 5 przedstawiono prognozowaną strukturę udziału poszczególnych regionów w produkcji energii elektrycznej z OZE.

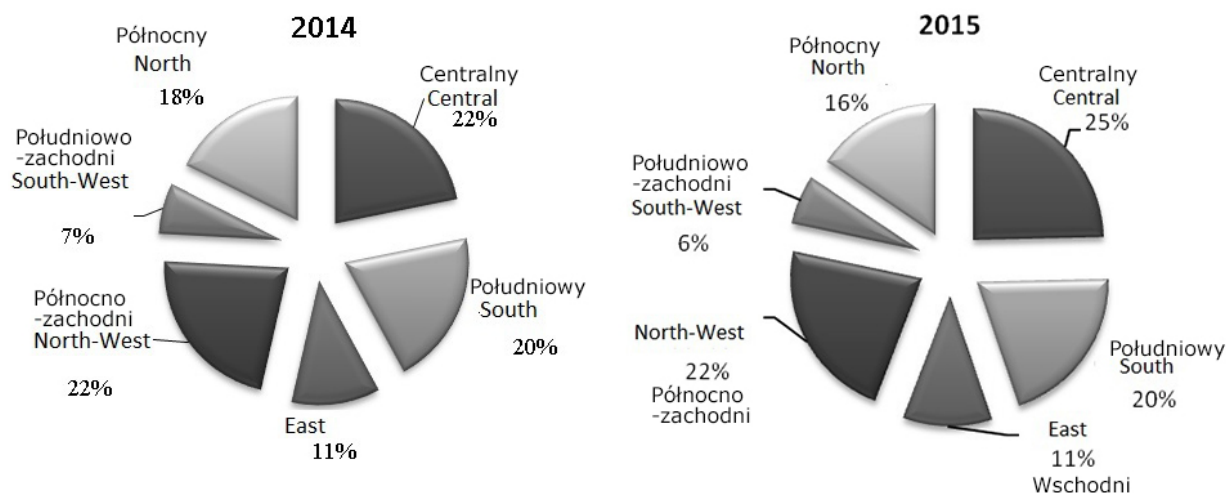


Figure 5. The share structure of regions in the predicted production of electricity from the renewable sources in 2014 and 2015

Rysunek 5. Struktura udziału regionów w prognozowanej produkcji energii elektrycznej z OZE w latach 2014 i 2015.

Source: Authors.

Źródło: opracowanie własne.

Changes in the structure concern mainly the North region (decrease by 2 percentage points) in favour of the Central region (increase by 3 percentage points). The share of the South and North-West regions remained unchanged, and in the South-West region there was a decrease by 1 percentage point. These predictions indicate a bigger concentration of activities for the production of electricity from renewable sources in the Central region, which is actually applicable.

Zmiany w strukturze dotyczą głównie udziału regionu północnego (spadek o 2 p.p.) na rzecz centralnego (wzrost o 3p.p.). Udział regionów południowego i północno-zachodniego i wschodniego pozostał bez zmian, a w południowo-zachodnim zmalał o 1 p.p. Te prognozy wskazują na większe skoncentrowanie działań skierowanych na produkcję energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w regionie centralnym, co ma potwierdzenie w rzeczywistości.

Conclusion

As a result of the faster pace of the growth in the GDP than the consumption of energy, the decreasing primary and final energy intensity is observed in Poland.

Wnioski

W efekcie szybszego tempa wzrostu PKB niż zużycia energii, obserwowana jest malejąca energochłonność pierwotna i finalna PKB w Polsce.

The biggest average production of renewable energy in the period considered was reported in the North region, and four times lower in the South-West region.

The forecasts indicate that in the Central region the activities for the production of electricity from the renewable sources is the most concentrated – 25%, whereas in the South it reaches 20%, and in the South-West region – only 7%.

The share structure of regions in the predicted production of electricity from the renewable sources in 2014 and 2015 is stable.

Najwyższą średnią produkcję energii z OZE, w badanym okresie, zanotowano dla regionu północnego, a czterokrotnie niższą dla południowo-zachodniego.

Prognozy wskazują na większe skoncentrowanie działań skierowanych na produkcję energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w regionie centralnym w wysokości 25% i południowym – 20% oraz bardzo małym, 7% udziałem regionu południowo-zachodniego.

Struktura udziału regionów w prognozowanej produkcji energii elektrycznej z OZE w latach 2014 i 2015 jest stabilna.

References / Literatura:

1. Dittmann P. (1997), *Prognozowanie na podstawie szeregów czasowych*. w: M. Cieślak (red.), *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*. PWN, Warszawa, s. 78, 81.
2. Efektywność wykorzystania energii w latach 2001-2011. Informacje i opracowania statystyczne (2013), GUS, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa.
3. Farnum D. J., Stanton W. (1989), *Quantitative Forecasting Methods*. PWS-Kent Publishing Company, Boston, s. 31.
4. Zeliaś A., Pawełek B., Wanat S. (2003), *Prognozowanie ekonomiczne. Teoria, przykłady, zadania*. PWN, Warszawa, s. 22, 45.
5. http://www.stat.gov.pl/gus/5840_5959_PLK_HTML.htm (dostęp: 15.01.2014).
6. <http://chronmyklimat.pl/energetyka/odnawialne-zrodla-energii/15308-odnawialne-zrodla-energii-w-polsce-w-2011-roku> (dostęp: 15.01.2014).

Submitted/ Zgłoszony: May/ maj2014

Accepted/ Zaakceptowany: June/ czerwiec 2014