

Spatial Diversity of the Development of Investments in Renewable Energy in the Context of Potential Effect on Landscape

Piotr Hektus, Eliza Kalbarczyk

Zróżnicowanie przestrzenne rozwoju inwestycji z zakresu energetyki odnawialnej w Polsce w kontekście potencjalnego oddziaływania na krajobraz

Key words: wind power generation, solar power generation, installed power, electricity production

Introduction

For many decades the main source of renewable energy in Poland was hydropower [Sadowski et al. 2008]. Distinct changes in the structure of renewable energy production took place only after Poland's accession to the EU and the implementation of European regulations concerning the support schemes for renewable energy [Gnatowska 2009, Musiałkiewicz et al. 2014]. Poland in the 21st century has seen more intense utilisation of climatic energy sources due to the development of wind power generation, and after 2010 the development of solar power technologies [GUS 2014]. The last years have brought a record increase in the power generated by the installed wind and solar farms [Musiałkiewicz et al. 2014]. The appearance of such undertakings constitutes a new quality in the landscape. The construction of a wind power station is connected with a change in the structure of the landscape through location of new dominant and subdominant landscape elements [Badora 2013, Malczyk 2013]. The range of visual impact of wind farms is estimated to be from several to 20 km [Stryjecki, Mielniczuk 2011]. Until recently, the area occupied by a single 1 MW wind turbine with

its infrastructure was estimated at 0.01 km² [Boczar 2008] and within 1 km² it was possible to locate not more than 4 turbines [Banak 2010]. In the research carried out for Kujawsko-Pomorskie Province it was found that wind farms were visible from as much as 61.5% of the province area [Energetyka wiatrowa 2012]. In the case of solar power stations the range of visual impact of investments on the surroundings is lower and their impact on the landscape is often considered to be minor [Tsoutsos et al. 2005, Karta... 2014, Raport... 2014]. However, the area of solar park investments may occupy a lot of square metres. For example, Westmill Solar Park in Great Britain occupies an area of 0.121 km², the farm Pocking in Germany 0.32 km², and the solar farm Golmud in Central China approx. 5.5 km² [Biesiada 2015]. It is assumed that building a photovoltaic power station of a power of 1 MW requires about 0.02 km² [Pająk 2013]. Efforts at reducing investment costs per unit result in larger areas occupied by such power stations [Biesiada 2015], which may consequently result in an increased pressure on the landscape. The following hypothesis has been formulated for the purposes of this work: the development of renewable energy installations in Poland proceeds in a diverse way in terms of time and space, and particular types of renewable energy generation are developed at a different intensity. The aim of the work is to determine the temporal and spatial variability

Słowa kluczowe: energetyka wiatrowa, energetyka solarna, moc zainwestowana, produkcja energii elektrycznej

Wprowadzenie

Przez kilkadziesiąt lat głównym źródłem energii odnawialnej w Polsce była energia wodna [Sadowski i in. 2008]. Wyraźne zmiany w strukturze produkcji energii ze źródeł odnawialnych nastąpiły dopiero po przystąpieniu Polski do UE, a także implementacji unijnych przepisów dotyczących wsparcia energetyki odnawialnej [Gnatowska 2009, Musiałkiewicz i in. 2014]. W XXI wieku rozpoczęło się w Polsce bardziej intensywne wykorzystywanie klimatycznych zasobów energii dzięki rozwojowi energetyki wiatrowej, a po 2010 r. – energetyki solarnej [GUS 2014]. Ostatnie lata to rekordowe przyrosty mocy instalowanej w farmy wiatrowe i solarne [Musiałkiewicz i in. 2014]. Pojawienie się tego rodzaju przedsięwzięć stanowi nową jakość w krajobrazie. Powstanie elektrowni wiatrowej wiąże się ze zmianą struktury krajobrazu poprzez usytuowanie nowych dominant i subdominant krajobrazowych [Badora 2013, Malczyk 2013]. Zasięg wizualnego oddziaływania elektrowni wiatrowych szacowany jest w zakresie od kilku do 20 km [Stryjecki, Mielniczuk 2011]. Do niedawna powierzchnię zajętą przez pojedynczą turbinę wiatrową o mocy 1 MW wraz z in-

frastrukturą towarzyszącą szacowano na 0,01 km² [Boczar 2008], natomiast na jednym kilometrze kwadratowym możliwa była lokalizacja nie więcej niż 4 turbin [Banak 2010]. W badaniach wykonanych dla województwa kujawsko-pomorskiego stwierdzono, że elektrownie wiatrowe widoczne były aż w 61,5% powierzchni województwa [Energetyka wiatrowa... 2012]. W przypadku elektrowni solarnych zasięg wizualnego oddziaływania inwestycji na otoczenie jest mniejszy, a ich wpływ na krajobraz często oceniany jest jako niewielki [Tsoutsos i in. 2005, Karta... 2014, Raport... 2014]. Jednak wielkość powierzchni zajętej pod inwestycję solarną może sięgać wielu metrów kwadratowych. Przykładowo, Westmill Solar Park w Wielkiej Brytanii zajmuje powierzchnię 0,121 km², farma Pocking w Niemczech – 0,32 km², a farma solarna Golmud w centralnych Chinach ok. 5,5 km² [Biesiada 2015]. Przyjmuje się, że do budowy farmy fotowoltaicznej o mocy 1 MW potrzeba ok. 0,02 km² [Pająk 2013]. Dążenie do zmniejszenia jednostkowych kosztów inwestycji powoduje zwiększanie się powierzchni zajmowanej przez tego typu elektrownie [Biesiada 2015], czego konsekwencją jest rosnąca presja na krajobraz.

Na potrzeby pracy sformułowano następującą hipotezę badawczą: rozwój instalacji z zakresu energetyki odnawialnej w Polsce przebiega w sposób zróżnicowany czasowo i przestrzennie, a poszczególne rodzaje energetyki odnawialnej roz-

wijane są ze zróżnicowaną intensywnością. Celem pracy było określenie zmienności czasowej i przestrzennej inwestycji z zakresu energetyki odnawialnej w Polsce w kontekście potencjalnych oddziaływań na krajobraz.

Materiał i metody

Do sprawdzenia postawionej hipotezy wykorzystano dane Głównego Urzędu Statystycznego [GUS 2014, www.stat.gov.pl] dotyczące: a) wielkości produkcji energii elektrycznej (w GWh) ogółem, b) produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (w dalszej części pracy określanych skrótem OZE) w latach 2000–2014 ogółem dla Polski, c) mocy instalacji OZE według województw. Ponadto, posłużono się danymi Urzędu Regulacji Energetyki (www.ure.gov.pl), które obejmowały: a) wartość mocy (w MW) zainstalowanej w inwestycjach z zakresu poszczególnych źródeł energii odnawialnej w Polsce w latach 2005–2015, b) wartość pozyskania energii (w TJ) według nośników energii odnawialnej, c) wartość produkcji energii elektrycznej z OZE według województw (2004–2013). Obliczono udziały analizowanych nośników energii w pozyskaniu energii ogółem, a także produkcji energii elektrycznej ogółem i z OZE w województwach w wartościach ogółem dla Polski. Obliczono ponadto wielkość zmian analizowanego zjawiska, w porównaniu z przyjętym rokiem

of investments in renewable energy in Poland in the context of potential impact on landscape.

Material and Methods

To verify the above hypothesis, the study used data from the Central Statistical Office of Poland (Główny Urząd Statystyczny, www.stat.gov.pl) concerning: a) the volume of the total generated electricity (expressed as GWh), b) the total electricity generated from renewable energy sources (later referred to as RES) in 2000–2014 for Poland, c) the installed power of RES by provinces. Moreover, the study used data from the Energy Regulatory Office (Urząd Regulacji Energetyki, www.ure.gov.pl) which encompassed: a) the installed power (MW) of investments in particular renewable energy sources in Poland in 2005–2015, b) the value of energy production (expressed as Tj) by renewable energy carriers, c) the value of electricity generation from RES by provinces (2004–2013). The study calculated shares of the analysed energy carriers in the total energy generation as well as the total electricity generation and the electricity generation from RES in provinces expressed in total values Poland. In addition, the work calculated the extent of changes of the analysed phenomenon in comparison with the assumed starting year, in absolute values and in %. Also, it determined the spatial diversity of electricity

production from RES and the installed power by renewable energy carriers in Poland, in selected years. For the calculations, the study used the spreadsheet software Excel and the graphical tools: CorelDraw (Graphics Suite X7), and Quantum GIS (1.7.4 “Wrocław”).

Results

As recently as at the beginning of the 21st century, electricity production from RES accounted for only 1.3% of the total energy production and covered 1.4% of the domestic consumption, which was a value much below the EU average [Haas et al. 2011]. In the last years the share rose to approx. 10% [Paska, Surma 2014]. The comparison of the data from 2000 and 2014 shows that whereas the total electricity production in 2014 constituted 108% of the production from 2000 [GUS 2014], the electricity production from RES in that period increased more than 9.5 times (Fig. 1).

The balance of renewable energy carriers was dominated by biofuels, with a share of more than 88% in

2013 (Tab. 1). The downward trend of this share in recent years was caused by a faster growth rate of production from other renewable energy carriers. Among them, it was mainly the use of wind energy that rose in importance as its share of energy production increased from 0.3% in 2004 to more than 6% in 2013. Excluding biofuels, in 2013 wind energy accounted for 50% of the total energy produced from renewable sources (Fig. 2). Production of hydropower changed from approx. 4.2 to 2.5% (Tab. 1), and the biggest change concerned generating power from solar energy and municipal solid waste, due to their low initial values (Tab. 1, Fig. 2). In 2013 in Poland, most electrical energy from renewable sources was generated from solid biofuels (46%) and then from wind (35%) [Energi... 2014]. The comparison of particular energy carriers (excluding biofuels) in the power generation in 2014 and 2013 (Fig. 2) shows the scale of changes taking place in alternative power generation. Hydropower generation has lost its leading position; with a share of more than 70%

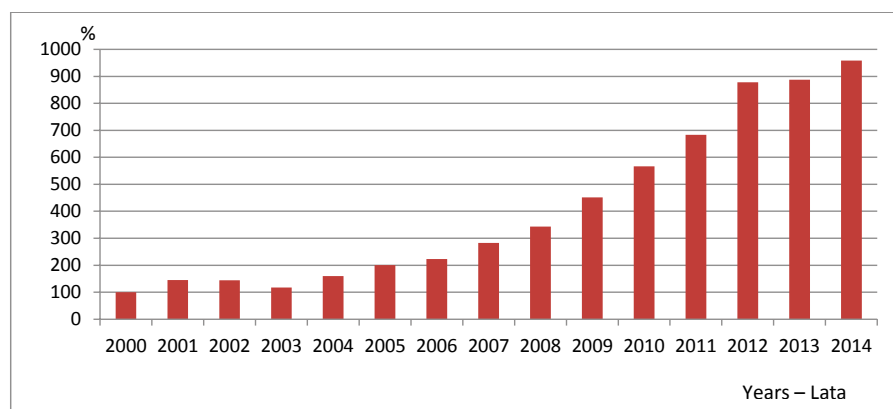


Fig. 1. Dynamics of change (%) of electricity production from RES in 2000–2014 in Poland

Ryc. 1. Dynamika zmian (w %) produkcji energii elektrycznej z OZE w latach 2000–2014 w Polsce

wyjściowym, w wartościach bezwzględnych i procentach. Określono również przestrzenne zróżnicowanie produkcji energii elektrycznej z OZE oraz wielkości i mocy instalacji według nośników energii odnawialnej w Polsce – w wybranych latach. W obliczeniach korzystano z arkusza kalkulacyjnego Excel oraz narzędzi graficznych: CorelDRAW (Graphics Suite X7), Quantum GIS (1.7.4 „Wrocław”).

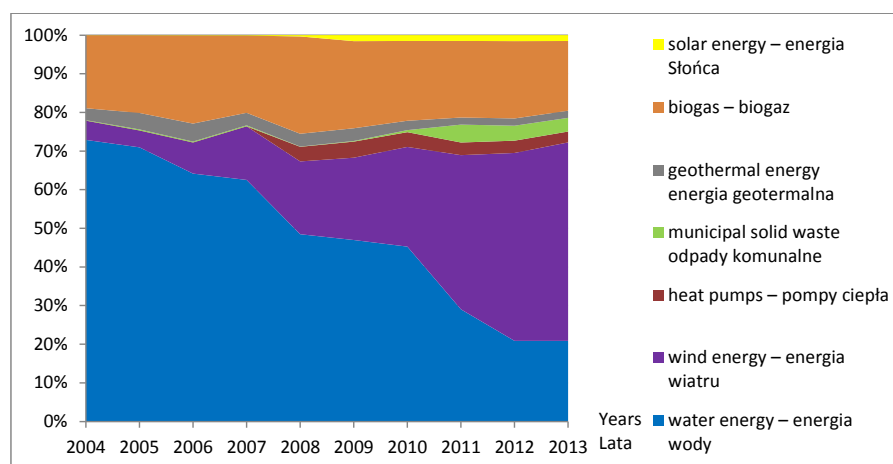
Wyniki

Jeszcze na początku XXI w. produkcja energii elektrycznej z OZE w Polsce stanowiła zaledwie 1,3% produkcji energii ogółem i zaspokajała 1,4% jej krajowego zużycia, co stanowiło wartość znacznie poniżej średniej w UE [Haas i in. 2011]. W ostatnich latach udział ten wzrósł do ok. 10% [Paska, Surma 2014]. Porównanie danych z lat 2000 i 2014 pokazuje, że o ile wielkość produkcji energii elektrycznej ogółem w roku 2014 stanowiła 108% produkcji z roku 2000 [GUS 2014], to produkcja energii elektrycznej z OZE zwiększyła się w tym okresie ponad 9,5 razy (ryc. 1).

W bilansie nośników energii odnawialnej dominowały biopaliwa, z udziałem powyżej 88% w 2013 roku (tab. 1). Występująca w ostatnich latach tendencja spadkowa ich udziału spowodowana była szybszym tempem wzrostu pozyskania pozostałych nośników

Fig. 2. Share (%) of particular energy carriers (excluding biofuels) in electricity production from renewable sources in 2004–2013 in Poland

Ryc. 2. Udział (w %) poszczególnych nośników energii (z wyłączeniem biopaliw) w pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w latach 2004–2013 w Polsce



energii odnawialnej. Wśród nich na znaczeniu zyskało przede wszystkim wykorzystanie energii wiatru, której udział w pozyskaniu energii wzrósł z 0,3% w 2004 r. do ponad 6% w 2013 roku. Wyłączając biopaliwa, w 2013 roku energia wiatru stanowiła 50% całkowitej pozyskanej energii ze źródeł odnawialnych (ryc. 2). Pozyskanie energii wodnej zmniejszyło się z ok. 4,2 do 2,5% (tab. 1), natomiast największe zmiany dotyczyły pozyskania energii ze Słońca i z odpadów komunalnych, ze względu na ich bardzo niskie wartości początkowe (tab. 1, ryc. 2). W Polsce w 2013 r. najwięcej energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych wytwarzano z biopaliw stałych (ok. 46%), druga pod tym względem (ok. 35%) była energetyka wiatrowa [Energia... 2014]. Porównanie udziału poszczególnych nośników energii (z wyłączeniem biopaliw) w pozyskaniu energii w roku 2004 i 2013 (ryc. 2) ukazuje skalę przemian, jakim podlegała energetyka niekonwencjonalna. Czołową pozycję utraciła energetyka wodna, z ponad 70% udziałem w produkcji energii elek-

trycznej w 2004 r. do poniżej 20% – jak ma to miejsce obecnie.

Produkcja energii z OZE podlegała w Polsce nie tylko ilościowym zmianom w czasie, ale i zmieniało się jej rozmieszczenie przestrzenne. W 2005 roku tylko w jednym województwie, kujawsko-pomorskim, poziom produkcji energii elektrycznej z OZE przekroczył 1500 GWh, po czterech latach dołączyło do tej grupy także województwo śląskie, natomiast w 2013 r. poziom 1500 GWh został przekroczony już w pięciu województwach, położonych w środkowej i północno-zachodniej Polsce (ryc. 3).

Aktualna wielkość produkcji energii elektrycznej z OZE jest bardzo zróżnicowana pod względem lokalizacji. Najwięcej energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych produkowano w 2013 r. w województwie zachodniopomorskim (ok. 15% produkcji krajowej), następnie kujawsko-pomorskim i mazowieckim, odpowiednio 12,6 i 10,5% (ryc. 4). Dzięki rozwojowi energetyki wiatrowej dwa pierwsze województwa miały również największą bez-

Table 1. Power generation (TJ) by renewable energy carriers and a share of power production (%) from renewable sources in chosen years in Poland

Tabela 1. Pozyskanie energii (w TJ) wg nośników energii odnawialnej i ich udział (w %) w pozyskaniu energii ze źródeł odnawialnych w wybranych latach w Polsce

Energy carriers Nośnik energii		Years Lata								Change Zmiana (2004 = 100%)
		2004	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
heat pumps pompy ciepła	TJ %	b.d. –	b.d. –	605 0,27	758 0,30	888 0,31	946 0,30	1118 0,31	1184 0,33	195,7*
municipal solid waste odpady komunalne	TJ %	13 0,01	27 0,01	9 0,00	29 0,01	123 0,04	1338 0,43	1360 0,38	1490 0,42	11461,5
geothermal energy energia geotermalna	TJ %	318 0,18	534 0,28	531 0,23	600 0,24	563 0,20	531 0,17	661 0,20	778 0,22	244,7
liquid biofuels biopaliwa ciekłe	TJ %	b.d. –	b.d. –	12 402 5,47	17 848 7,04	19 122 6,64	18 031 5,76	28 371 7,97	29 315 8,20	236,4*
biogas biogaz	TJ %	1941 1,08	2613 1,35	4026 1,78	4104 1,62	4797 1,67	5731 1,83	7032 1,97	7593 2,12	391,2
wind wiatr	TJ %	512 0,28	922 0,48	3012 1,33	3878 1,53	5992 2,08	11536 3,69	17088 4,80	21614 6,04	4221,5
water woda	TJ %	7494 4,15	7352 3,82	7748 3,42	8550 3,38	10512 3,65	8393 2,68	7333 2,06	8781 2,46	117,2
solar energy energia słoneczna	TJ %	4 0,00	10 0,01	54 0,02	283 0,11	350 0,12	434 0,14	544 0,15	639 0,18	15975,0
solid biofuels biopaliwa stałe	TJ %	170 056 94,30	181 107 94,05	198 401 87,48	217 302 85,77	245 606 85,29	265 888 85,00	292 562 82,16	286 144 80,03	168,3
in total – ogółem	TJ	180 337	192 566	226 788	253 351	287 953	312 827	356 069	357 538	198,3

in electricity generation in 2004 and less than 20% at present.

In Poland, power generation from RES has undergone not only quantitative changes but its spatial distribution has changed over time as well. In 2005 Kujawsko-Pomorskie was the only province where the value of electricity production from RES exceeded 1500 GWh; after four years the same occurred in Silesia Province. In 2013 the value of 1500 GWh was exceeded in 5 provinces located in central and north-western Poland (Fig. 3).

The volume of electricity generation from RES was very diverse in terms of location. Most electricity from renewable sources in 2013

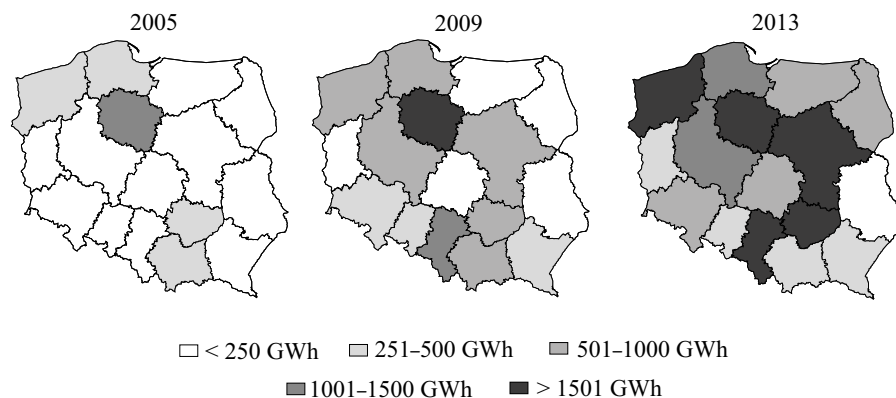
was produced in Zachodniopomorskie Province (about 15% of the domestic production), next in Kujawsko-Pomorskie Province and Mazowieckie Province, 12.6% and 10.5% respectively (Fig. 4). Owing to the development of wind power generation, the two first mentioned provinces also had the biggest absolute value of the installed power in power stations based on RES in Poland (Fig. 5). Lubelskie, Lubuskie and Podkarpackie were the provinces with the smallest shares in the domestic energy generation from RES (< 2.5%). In Lubelskie Province the installed power of RES installations was extremely low, 55 times lower than in leading West Pomerania

Province. Also the power of such installations in Lubuskie Province was one of the lowest in Poland.

The biggest energy generation from RES occurred both in provinces producing electricity in a conventional way, e.g. Śląskie Province, and in those with a small share of electricity generation, e.g. Kujawsko-Pomorskie Province (Fig. 4). The provinces of south-eastern Poland, i.e. Lubelskie and Podkarpackie, but also Lubuskie, had considerably small shares in the electricity production from RES (< 3.5% each). In total, the provinces: Lubelskie, Podkarpackie, Małopolskie and Podlaskie, accounted for approximately 13% of the domestic electricity production

Fig. 3. Volume of electricity production from RES (GWh) in selected years in Poland by provinces

Ryc. 3. Wielkość produkcji (w GWh) energii elektrycznej z OZE w wybranych latach wg województw w Polsce



względna wartość mocy instalacji elektrowni opartych na OZE w kraju (ryc. 5). Najmniejsze udziały w krajowej produkcji energii z OZE miały województwa: lubelskie, lubuskie i podkarpackie (< 2,5%). W województwie lubelskim moc instalacji OZE była skrajnie mała, 55 razy mniejsza niż w województwie zachodniopomorskim, będącym liderem pod tym względem. Również moc tych instalacji w województwie lubuskim była jedną z mniejszych w kraju.

Największa produkcja energii z OZE przypadała zarówno na województwa produkujące energię konwencjonalnie, np. śląskie, jak i z niewielkim jej udziałem, np. kujawsko-pomorskie (ryc. 4). Zdecydowanie niewielki wkład w krajową produkcję energii elektrycznej z OZE wносиły województwa południowo-wschodniej Polski, tj. lubelskie i podkarpackie, ale też województwo lubuskie (każde < 3,5%). Łącznie na województwa: lubelskie, podkarpackie, małopolskie i podlaskie przypadało ok. 13% krajowej produkcji energii elektrycznej z OZE. Z kolei dwa województwa – zachodniopomorskie i kujawsko-pomorskie, produkowały ponad 28% tej energii.

We wszystkich województwach północnej i centralnej Polski, wśród instalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii, największą moc miały elektrownie wiatrowe (ryc. 5). W wymienionych wcześniej dwóch województwach udział ten przekraczał 90%. Niewiele mniejszy, bo

>80% udział mocy, miały instalacje w województwach łódzkim i warmińsko-mazurskim. W dwóch kolejnych, tj. opolskim i wielkopolskim, udział ten przekraczał 75%. Łącznie w 9 województwach naszego kraju moc instalacji wiatrowych osiągnęła ponad 50% udziału w całkowitej mocy instalacji OZE. Województwa, w których jak dotąd zainteresowanie pozyskiwaniem energii z wiatru było najmniejsze, tj. małopolskie i świętokrzyskie, w przypadku instalacji wiatrowych nie osiągały 5% udziału mocy zainstalowanej w OZE. W województwie małopolskim wśród instalacji OZE dominowała energetyka wodna, natomiast w województwie świętokrzyskim największe znaczenie miały instalacje wykorzystujące energię biomasy. Obydwa wymienione województwa należały do grupy województw o stosunkowo niewielkiej mocy instalacji OZE i średnim udziale w krajowej produkcji energii elektrycznej. Duży udział mocy energetyki wodnej (> 60%) w województwach małopolskim i podkarpackim wynikał z ich naturalnej predyspozycji, związanej ze znacznymi zasobami wodnymi i korzystną konfiguracją terenu [Korczak, Rduch 2009]. Województwo świętokrzyskie charakteryzowało się największym w Polsce udziałem mocy zainstalowanych w energetyce biomasowej (ponad 90%). Drugie pod tym względem województwo śląskie cechowało się dużo niższym

udziałem (ok. 55%). W pozostałych województwach nie przekraczał on 30%.

Rozwój inwestycji z zakresu energetyki wiatrowej najszybciej przebiegał w latach 2005–2010. Roczne przyrosty mocy przekraczały wówczas 150% wartości roku poprzedniego (ryc. 6). W 2015 roku największą moc instalacji wiatrowych miały województwa: zachodniopomorskie, wielkopolskie i pomorskie (ryc. 7).

Duże inwestycje w energetykę solarną w Polsce do 2014 r. były stosunkowo rzadkie, a udział energii słonecznej w produkcji energii elektrycznej ogółem stanowił w 2013 r. zaledwie 0,18% [Biesiada 2015]. Sytuacja zmieniła się diametralnie po roku 2014, kiedy to przyrost mocy instalacji solarnych osiągnął 1050% (ryc. 6). Największą moc miały instalacje solarne w województwach: małopolskim, łódzkim i śląskim (ryc. 7). Po roku 2013 rozwój energetyki solarnej widoczny był przede wszystkim w województwach wschodniej i południowej Polski. Wyjątkowa była sytuacja w województwie lubelskim, które miało najniższą moc instalacji OZE w kraju, ale największy, blisko 25% udział mocy zainstalowanych w energetykę solarną (ryc. 5). Rozwój energetyki solarnej głównie na wschodzie kraju potwierdziła druga pozycja województwa podlaskiego, jednak tu udział mocy

from RES. On the other hand, two provinces, i.e. Zachodniopomorskie and Kujawsko-Pomorskie, produced more than 28%.

In all provinces of northern and central Poland, among installations utilising renewable energy resources the biggest power was that of wind power stations (Fig. 5). In the two provinces mentioned above, this share exceeded 90%; not a much lower share, >80%, occurred in Łódzkie and Warmińsko-Mazurskie. In other two provinces, i.e. Opolskie and Wielkopolskie, the share exceeded 75%. Altogether in 9 provinces of Poland, the installed wind power amounted to more than 50% of the total installed power of RES installations. The provinces with the lowest interest so far in obtaining power from wind, i.e. Małopolskie and Świętokrzyskie, did not reach a 5% share of the installed power

in RES installations. In Małopolskie Province among RES installations there prevailed hydropower, and in Świętokrzyskie Province the installations utilising biomass. The two above-mentioned provinces were among the provinces of a relatively low installed power of RES installations and a medium-sized share of the domestic electricity production. A big share of hydropower, >60%, in Małopolskie and Podkarpackie Provinces resulted from their natural characteristics connected with their substantially big water resources and a favourable terrain configuration (Korczak, Rduch 2009). Świętokrzyskie Province was characterised by the biggest share of the installed power in biomass energy generation in Poland, over 90%. Śląskie Province ranked second and it was marked by a significantly smaller

share, about 55%. In other provinces the share did not exceed 30%.

The development of investments in wind power proceeded at the fastest rate in 2005–2010. The yearly growth of power at that time exceeded 150% of the value of the preceding year (Fig. 6). In 2015 the biggest installed wind power was in the following provinces: Zachodniopomorskie, Wielkopolskie and Pomorskie (Fig. 7).

Big investments in solar power generation in Poland by 2014 had been relatively rare and a share of solar energy in the total electricity production in 2013 constituted only 0.18% [Biesiada 2015]. The situation changed radically after 2014, when an increase in the installed solar power reached 1050% (Fig. 6). The solar installations in Małopolskie, Łódzkie and Śląskie Provinces had the biggest power capacity (Fig. 7). After 2013 the development of solar power generation was especially noticeable in provinces of eastern and southern Poland. The situation in Lubelskie Province was exceptional; it possessed the lowest installed power of RES installations in Poland, but the biggest share of the installed power of solar installations, nearly 25% (Fig. 5). Good development of solar power generation mainly in the east of the country was confirmed by the second rank of Podlaskie Province; however, its share of the power of solar installations amounted to about 2.5%. Similar values of the installed solar power were also noted

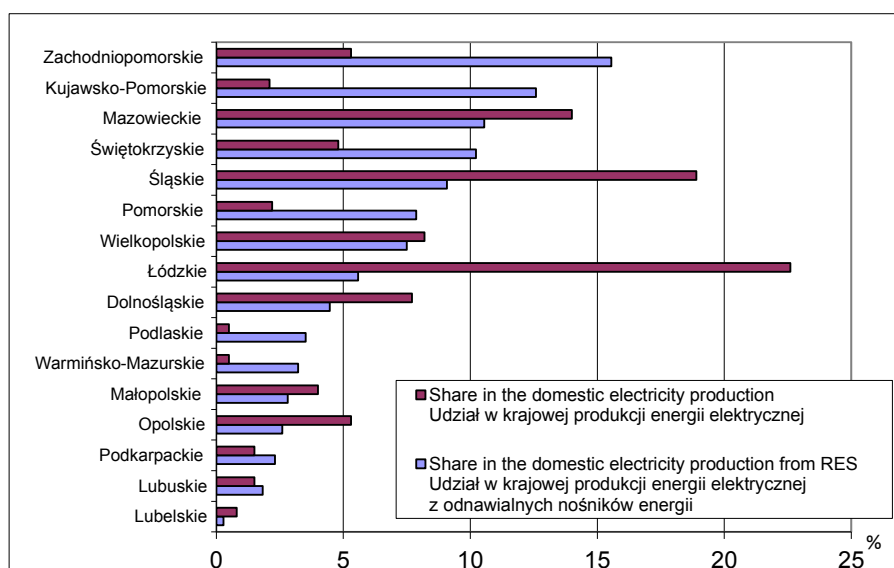
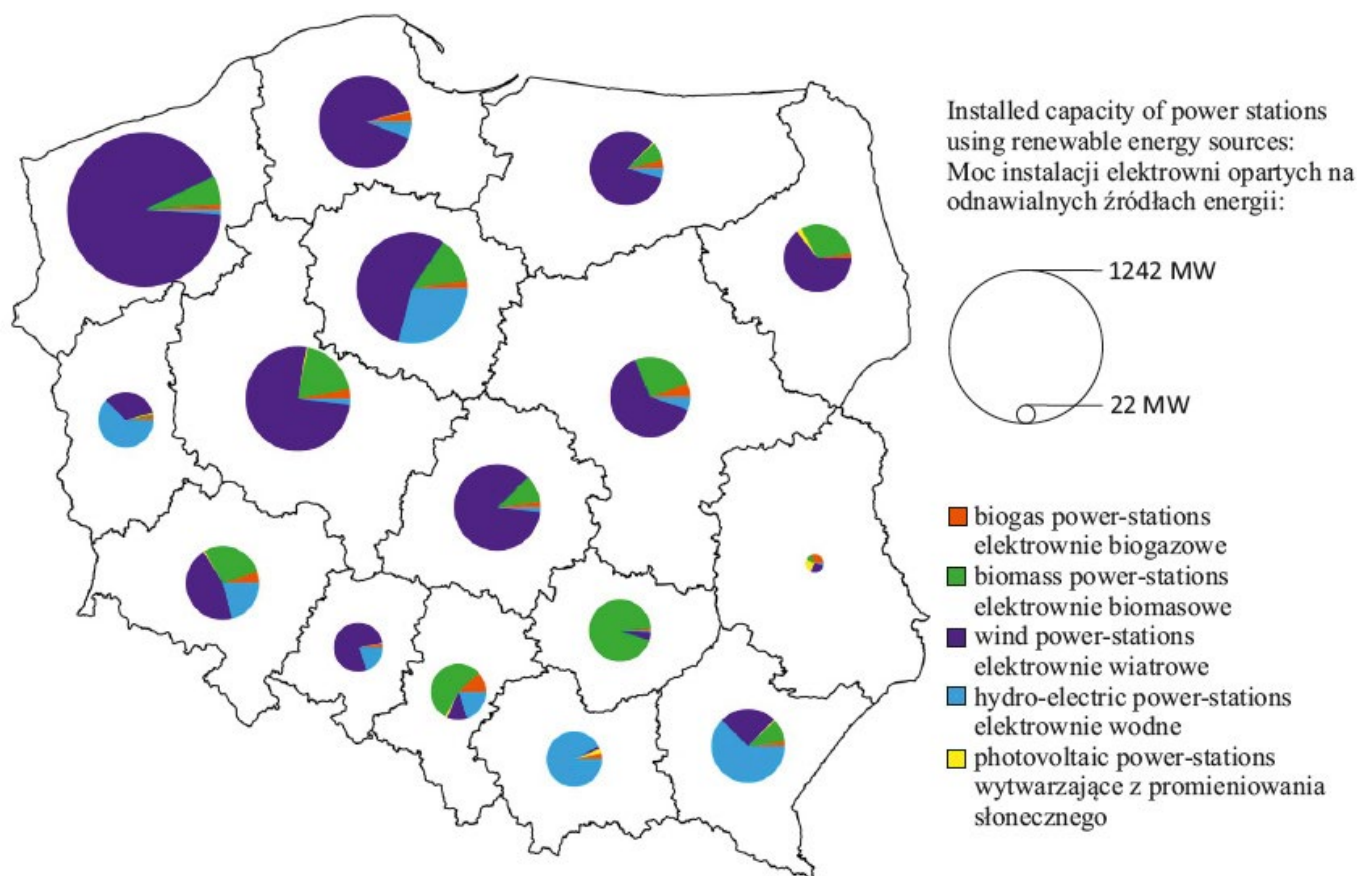


Fig. 4. Share (%) of provinces in the domestic electricity production and electricity production from RES in 2013 in Poland

Ryc. 4. Udział (w %) województw w krajowej produkcji energii elektrycznej i w produkcji energii elektrycznej z OZE w 2013 r. w Polsce

Fig. 5. Power capacity (MW) and share (%) of installations by renewable energy carriers and provinces in 2015 in Poland

Ryc. 5. Wielkość (MW) i udział (w %) mocy instalacji wg rodzajów nośników energii odnawialnej i województw w Polsce w 2015 r.



zainstalowanej w energetykę solarną wynosił ok. 2,5%. Zbliżone wartości osiągały jeszcze udziały mocy zainstalowanej w ten rodzaj energetyki w województwach małopolskim i śląskim. We wszystkich pozostałych województwach kraju nie przekraczał on 1%, najmniejszy był w województwach kujawsko-pomorskim, świętokrzyskim i zachodniopomorskim. Także wartość mocy zainwestowanej w instalacje wiatrowe i solarne w przeliczeniu na jednostkę powierzchni potwierdziła regionalne zróżnicowanie tych inwestycji (ryc. 8). Największa moc elektrowni wiatrowych na kilometr kwadratowy wystąpiła w województwach północnej Polski – zachodniopomorskim i pomorskim, a następnie Polski centralnej – w kujawsko-po-

morskim, łódzkim i wielkopolskim (ryc. 8). Odmienny był rozkład mocy na powierzchnię w przypadku elektrowni solarnych – tu największa moc inwestycji przypadała na powierzchnię w województwach wschodniej i południowej Polski – podlaskim, małopolskim, a następnie lubelskim i śląskim. Takie rozmieszczenie pozwala na wykorzystanie jednego z największych energetycznych zasobów promieniowania słonecznego w kraju [Lorenz 2005]. Warto zauważyć, że podobne regionalne zróżnicowanie rodzajów inwestycji z zakresu OZE występuje także w innych krajach europejskich, m.in. w Niemczech [Odnawialne źródła energii... 2014].

Podsumowanie

Rozmieszczenie instalacji z zakresu energetyki odnawialnej było zróżnicowane przestrzennie. Większość elektrowni wiatrowych zlokalizowano w północnej i środkowej części kraju. Elektrownie solarne powstały głównie w południowej i wschodniej Polsce. Rozwój energetyki wiatrowej w XXI w. najintensywniej zachodził do 2010 roku. Nowym zjawiskiem jest rozwój energetyki solarnej w województwach wschodniej Polski. Zróżnicowanie typu i tempa rozwoju inwestycji z zakresu OZE w Polsce może powodować odmienną skalę i rodzaj ich oddziaływania na krajobraz w poszczególnych regionach kraju. Występowanie nowych dominant krajobrazowych,

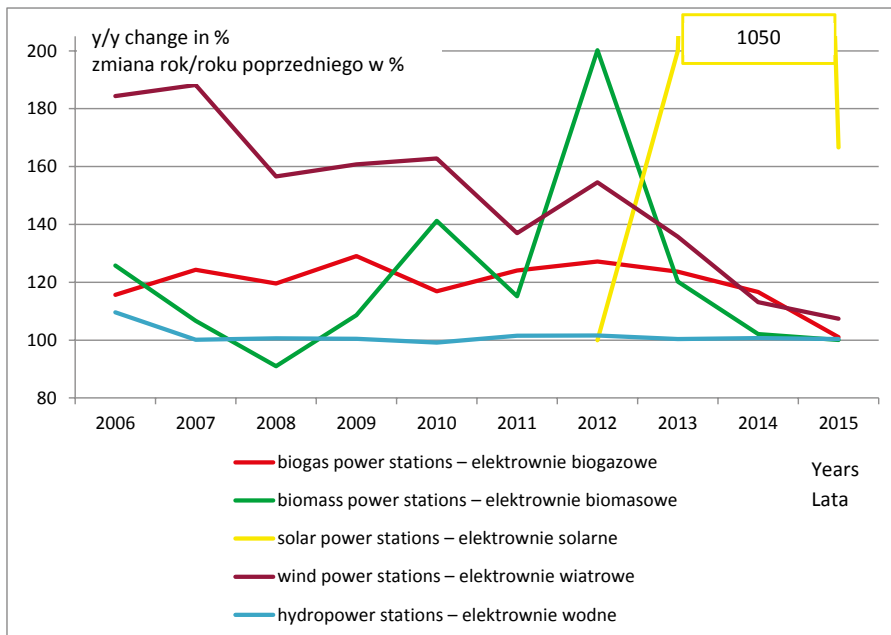


Fig. 6. Dynamics of change (%) of the installed power by renewable energy carriers in 2006–2015 in Poland

Ryc. 6. Dynamika zmian (w %) mocy instalacji wg rodzajów nośników energii odnawialnej w latach 2006–2015 w Polsce

in Małopolskie and Śląskie Provinces. In all the remaining provinces they did not exceed 1%; the value was the lowest in Kujawsko-Pomorskie, Świętokrzyskie and Zachodniopomorskie. Also, the value of the installed wind and solar power per unit of area confirmed regional diversification of these investments (Fig. 8). The biggest power capacity of wind power stations per square kilometre occurred in provinces of northern Poland, Zachodniopomorskie and Pomorskie, and then in central Poland provinces, i.e. Kujawsko-Pomorskie, Łódzkie and Wielkopolskie (Fig. 8). The distribution of power per unit of area in the case of solar power stations was

different. The biggest power per unit of area was in eastern and southern Poland: Podlaskie, Małopolskie and then in Lubelskie and Śląskie. This distribution enables the utilization of the greatest resources of sunlight in Poland [Lorenz 2005]. It is worth noting that similar regional differences in investments in RES also occur in other European countries, e.g. in Germany [Odnawialne źródła energii... 2014].

Conclusions

The distribution of renewable energy installations was spatially diverse. Most wind power stations were located in northern and central Poland. Solar power stations

were built mainly in southern and eastern Poland. The development of wind power generation in the 21st century advanced most intensely by 2010. A new phenomenon was the development of solar power generation in provinces of eastern Poland. Differences in the type and pace of the development of investments in RES in Poland may result in a different scale and kind of their impact on landscape in particular regions of the country. The appearance of new dominant elements of the landscape, i.e. wind power plants, may cause substantial transformations in the landscape, mainly in northern and central Poland. The intense growth of investments in solar installations after 2014 may result in a change in land use patterns of large areas, mostly in central-eastern and south-eastern parts of the country.

Piotr Hektus
Eliza Kalbarczyk

Department of Spatial Econometric
Institute of Socio-Economic Geography and
Spatial Management
Faculty of Geographical and Geological
Sciences
Adam Mickiewicz University in Poznań

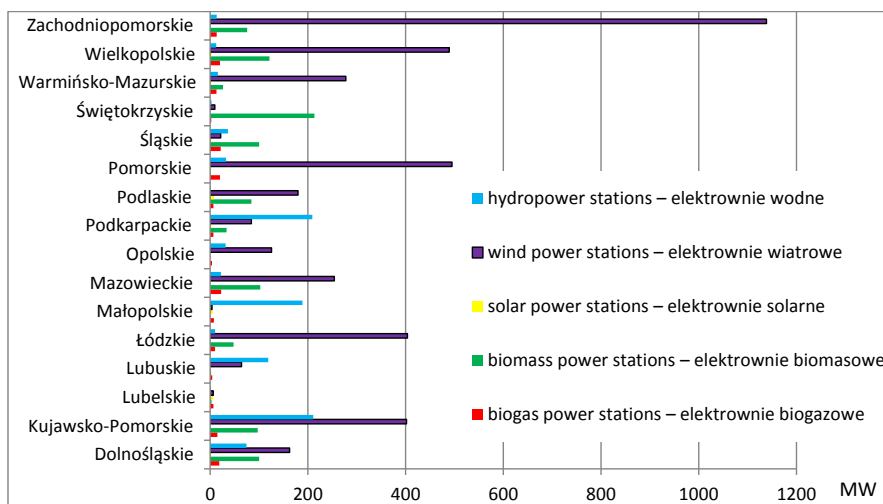


Fig. 7. Installed power (MW) of power stations based on renewable energy sources in 2015 in Poland by provinces

Ryc. 7. Moc instalacji (MW) elektrowni opartych na odnawialnych źródłach energii w 2015 r. wg województw w Polsce

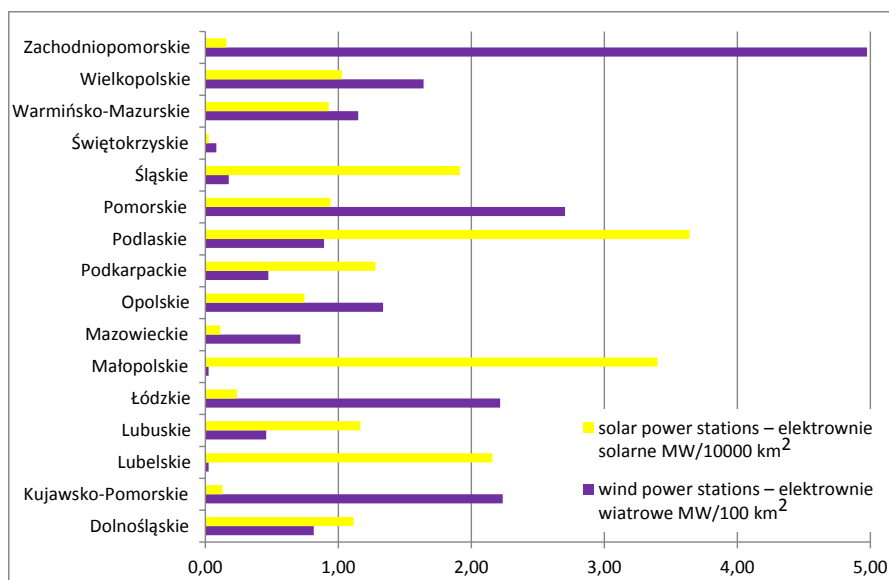


Fig. 8. Installed wind (MW/100 km²) and solar power (MW/10000 km²) per unit of area in 2015 by provinces in Poland

Ryc. 8. Moc instalacji wiatrowych (MW/100 km²) i solarnych (MW/10000 km²) przypadająca na jednostkę powierzchni wg województw w 2015 r. w Polsce

jakimi są elektrownie wiatrowe, może powodować silne przemiany w krajobrazie głównie północnej i centralnej Polski. Intensywny rozwój inwestycji solarnych po 2014 r. może skutkować zmianą sposobu użytkowania znacznych powierzchni terenu przede wszystkim w środkowowschodniej i południowo-wschodniej części kraju.

Piotr Hektus
Eliza Kalbarczyk

Zakład Ekonometrii Przestrzennej
Instytut Geografii Społeczno-Ekonomicznej
i Gospodarki Przestrzennej
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu

Literature – Literatura

1. Badora K., 2013. Farmy wiatrowe jako elementy determinujące strukturę i funkcjonowanie krajobrazu wiejskiego. *Architektura Krajobrazu*, 2 (39), 58–77.
2. Banak M.J., 2010. Lokalizacja elektrowni wiatrowych – uwarunkowania środowiskowe i prawne. *Człowiek i Środowisko*, 34 (3–4), 117–128.
3. Biesiada A., 2015. Warunki lokalizacji elektrowni słonecznych w Polsce i na świecie. WNGiG UAM, Poznań (praca magisterska, mscr).
4. Boczar T., 2008. Energetyka wiatrowa – aktualne możliwości wykorzystania. Wydawnictwo Pomiaru Automatyka Kontrola, Warszawa.

5. Energetyka wiatrowa w kontekście ochrony krajobrazu przyrodniczego i kulturowego w województwie kujawsko-pomorskim, 2012. Pr. zb. pod kier. M. Degórskiego, IGiPZ PAN, Warszawa. http://archiwum.kujawsko-pomorskie.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=26279&Itemid=96
6. Haas R., Panzer C., Resch G., Ragwitz M., Reece G., Held A., 2011. A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1003–1034.
7. Gnatowska R., 2009. Formalno-prawne aspekty rozwoju odnawialnych źródeł energii. *Polityka energetyczna* 12, 2/2, 131–143.
8. GUS, 2014. Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r. Warszawa.
9. Karta informacyjna przedsięwzięcia: Budowa Farmy Fotowoltaicznej o mocy do 3 MW wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną w obrębie Prusinów–Miniszew, Dz. Nr 61/5, gm. Żerków, 2014. Grupa EkoPark sp. z o.o. www.biuletyn.net/nt-bin/_private/zerkow/1623.pdf
10. Korczak A., Rduch J., 2009. Energetyka wodna w Polsce. Stan aktualny i perspektywy rozwoju [w:] *Polska Inżynieria Środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej* (red.) M. Dudzińska, L. Pawłowski. Monografie 60 (3), Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin, 33–61.
11. Lorenc H., 2005. *Klimat Polski*. IMGW, Warszawa.
12. Małczyk T., 2013. Farmy wiatrowe w krajobrazie wsi dolnośląskich. *Architektura Krajobrazu*, 1 (38), 4–17.

13. Musiałkiewicz Ł., Grzejszczak P., Skoczek S., Kosiarski K., Michalczyk P., Michalak K., 2014. Raport o rynku energii elektrycznej i gazu ziemnego w Polsce w 2014 r. RWE Polska, Wyd. Mediapolis.
14. Odnawialne źródła energii w Niemczech, 2014. PKEE, BDEW, www.pkee.pl.
15. Pająk P., 2013. Opinia ekspercka dotycząca podstawowych założeń budowy i funkcjonowania farmy fotowoltaicznej. www.szczecbrzeszyn.pl/wp-content/.../06/opinia_farma-foto_2013.pdf
16. Paska J., Surma T., 2014. Electricity generation from renewable energy sources in Poland. *Renewable Energy*, 71, 286–294.
17. Raport oddziaływania na środowisko: Instalacja paneli słonecznych (fotowoltaicznych) o mocy 1,5 MW na działce nr 1202/2 obręb Ogonowice gm. Opoczno (2014). https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/fs.../Raport_PV_Ogonowice.pdf
18. Sadowski T., Świdorski G., Lewandowski W., 2008. Wykorzystanie odnawialnych i nieodnawialnych źródeł energii w Polsce i w krajach UE. *Energetyka i ekologia*, 8, 289–295.
19. Stryjecki M., Mielniczuk K., 2011. Wytyczne w zakresie prognozowania oddziaływań na środowisko farm wiatrowych. GDOŚ, Warszawa. http://www.gdos.gov.pl/files/artykuly/5437/Wytyczne_w_zakresie_prognozowania_oddziaływan_na_srodowisko_farm_wiatrowych.pdf
20. Tsoutsos T., Fratzeskaki N., Gekas V., 2005. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33, 289–296.
21. www.ure.gov.pl
22. Wykorzystanie źródeł energii odnawialnej w województwie pomorskim w latach 2000–2009, 2010. Informacje i opracowania statystyczne. Urząd Statystyczny w Gdańsku, Gdańsk. http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gdansk/ASSETS_zrodlaodnawialne2010_1.pdf