



## Katarzyna Frodyma

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie  
Wydział Zarządzania  
Katedra Statystyki  
katarzyna.frodyma@uek.krakow.pl

# ENERGIA ZE ŹRÓDEŁ ODNAWIALNYCH A STAN ŚRODOWISKA NATURALNEGO W UNII EUROPEJSKIEJ<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Wykorzystanie różnych źródeł energii stanowi coraz poważniejsze wyzwanie dla krajów, dla których zrównoważony rozwój oznacza także lepsze wykorzystanie surowców energetycznych oraz poprawę stanu środowiska. Produkcja energii i jej wykorzystywanie wpływa na podniesienie poziomu naszego życia, ale jednocześnie powoduje degradację i niszczenie środowiska naturalnego.

Głównym celem badań jest ocena wpływu wykorzystywanych źródeł energii na zanieczyszczenie środowiska w Unii Europejskiej. Omówione zostały zmiany w wielkości produkcji energii ze źródeł odnawialnych w poszczególnych krajach Unii Europejskiej. Przeprowadzona została analiza stanu zanieczyszczenia środowiska oraz emisji gazów cieplarnianych. Podjęta została próba oceny, czy zwiększające się wykorzystanie odnawialnych źródeł energii ma pozytywny wpływ na zmniejszenie degradacji środowiska naturalnego.

**Słowa kluczowe:** energia ze źródeł odnawialnych, zanieczyszczenie środowiska, liniowe uporządkowanie, grupowanie.

**JEL Classification:** C38, N74, Q42, Q53.

## Wprowadzenie

Jednym z priorytetów Unii Europejskiej jest zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie pierwotnych nośników energii dla Unii jako całości. W 2009 roku przyjęto pakiet znany jako cel 20-20-20<sup>2</sup>. Ten „pakiet klimatyczno-energetyczny” obejmuje cele na rok 2020 dotyczące zarówno zużycia

<sup>1</sup> Publikacja została dofinansowana ze środków przyznanych Wydziałowi Zarządzania Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie w ramach dotacji na utrzymanie potencjału badawczego.

<sup>2</sup> Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r.

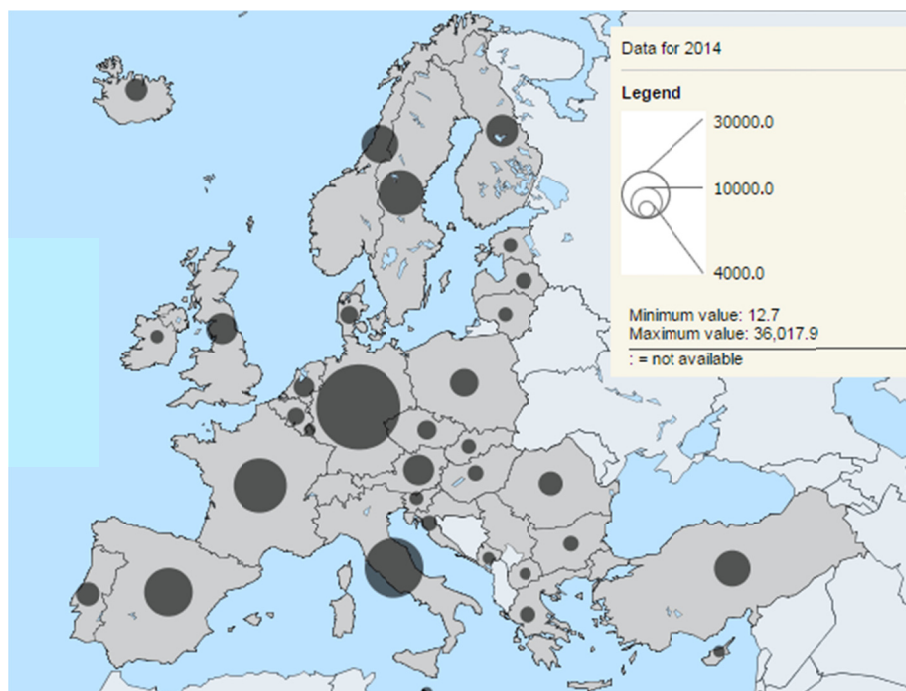
energii („zmniejszenie o 20% zużycia energii pierwotnej w porównaniu z przewidywanymi poziomami, zmniejszenie to ma zostać osiągnięte poprzez poprawę efektywności energetycznej”), jak i wytyczne dotyczące energii ze źródeł odnawialnych („co najmniej 20% końcowego zużycia energii brutto w UE ma pochodzić z odnawialnych źródeł energii” oraz „co najmniej 10% końcowego zużycia energii transportowych pochodzić ma z odnawialnych źródeł energii”), ponadto dyrektywa ta odnosi się do zagadnień zanieczyszczenia powietrza („redukcja emisji gazów cieplarnianych w UE o co najmniej 20% poniżej poziomu z 1990 r.”).

Tak duży nacisk na wykorzystanie odnawialnych źródeł energii wynika z dwóch faktów. Po pierwsze tradycyjne (kopalniane) źródła energii mogą się wyczerpać, szczególnie biorąc pod uwagę zwiększające się światowe zapotrzebowanie na energię elektryczną. Po drugie, w ogólnym przekonaniu wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii w mniejszym stopniu powoduje zanieczyszczenie środowiska. Głównym celem badań jest ocena wpływu wykorzystywanych źródeł energii na stan zanieczyszczenia środowiska naturalnego w krajach Unii Europejskiej. Omówione zostaną zmiany w strukturze pozyskania energii ze źródeł tradycyjnych i odnawialnych w poszczególnych krajach Unii Europejskiej. Przeprowadzona zostanie analiza stanu zanieczyszczenia powietrza oraz emisji gazów cieplarnianych. Podjęta zostanie próba oceny, czy zwiększające się wykorzystanie odnawialnych źródeł energii ma pozytywny wpływ na zmniejszenie degradacji środowiska naturalnego.

## **1. Produkcja energii ze źródeł odnawialnych w Unii Europejskiej**

Na rys. 1 zaprezentowano produkcję energii ze źródeł odnawialnych w 2014 r.

Do krajów charakteryzujących się największą produkcją energii ze źródeł odnawialnych (por. tabela 1) należą: Niemcy, Włochy, Francja, Hiszpania i Szwecja, a najmniejsza produkcja energii ze źródeł odnawialnych obserwowana była w 2014 r. na Malcie, w Luksemburgu, na Cyprze i w Irlandii.



**Rys. 1.** Produkcja energii ze źródeł odnawialnych w Unii Europejskiej w 2014 r.

Źródło: [www 2].

**Tabela 1.** Produkcja (w tys. ton ekwiwalentu ropy naftowej) energii ze źródeł odnawialnych w Unii Europejskiej w 2014 r.

Kraj	Produkcja	Kraj	Produkcja
Belgia	2857,1	Litwa	1358,2
Bulgaria	1842,3	Luksemburg	120,3
Czechy	3656,1	Węgry	2048,1
Dania	3144,0	Malta	12,7
Niemcy	36 017,9	Holandia	4555,4
Estonia	1186	Austria	9370,4
Irlandia	853,6	Polska	8054,4
Grecja	2329,3	Portugalia	5848,3
Hiszpania	18 002,8	Rumunia	6089,6
Francja	21 002,1	Słowenia	1179,7
Chorwacja	2292,1	Słowacja	1440,8
Włochy	23 644,1	Finlandia	10 068,0
Cypr	111,0	Szwecja	16 694,7
Łotwa	2371,2	Wielka Brytania	9695,7

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu [www 2].

Istotniejsza wydaje się jednak analiza wielkości produkcji energii ze źródeł odnawialnych w przeliczeniu na liczbę mieszkańców danego kraju. Analiza

produkcji energii ze źródeł odnawialnych w przeliczeniu na 1000 mieszkańców pokazała, że tutaj również wyróżnia się grupa pięciu państw, takich jak: Niemcy, Włochy, Francja, Hiszpania i Szwecja. W większości krajów zanotowano wzrost produkcji ze źródeł odnawialnych w ostatnim okresie, tylko w Belgii, Francji, Chorwacji, Austrii, Polsce, Słowacji i Szwecji zanotowano w 2014 r. spadek produkcji energii ze źródeł odnawialnych w przeliczeniu na mieszkańca w stosunku do roku wcześniejszego.

We wspomnianej dyrektywie mowa jest o udziale energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii. We wszystkich krajach w latach 2005-2014 zaobserwowano wzrost tego udziału w końcowym zużyciu energii ogółem (por. tabela 2), największy przyrost w 2014 r. zanotowano na Malcie (27%), niemal równie wysoki w Wielkiej Brytanii (25%) i w Luksemburgu (25%).

**Tabela 2.** Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii w Unii Europejskiej w latach 2005-2014 oraz przyrost względny dla 2014 r. w stosunku do 2005 r.

Kraj	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Przyrost
Unia Europejska	9,0	9,5	10,4	11,0	12,4	12,8	13,1	14,3	15,0	16,0	7%
Belgia	2,3	2,7	3,4	3,8	5,1	5,5	6,2	7,2	7,5	8,0	7%
Bułgaria	9,4	9,6	9,2	10,5	12,1	14,1	14,3	16,0	19,0	18,0	-5%
Czechy	6,0	6,4	7,4	7,6	8,5	9,5	9,5	11,4	12,4	13,4	8%
Dania	16,0	16,4	17,8	18,6	20,0	22,1	23,5	25,6	27,3	29,2	7%
Niemcy	6,7	7,7	9,1	8,6	9,9	10,5	11,4	12,1	12,4	13,8	11%
Estonia	17,5	16,1	17,1	18,9	23,0	24,6	25,5	25,8	25,6	26,5	4%
Irlandia	2,9	3,1	3,6	4,1	5,1	5,6	6,6	7,1	7,7	8,6	12%
Grecja	7,0	7,2	8,2	8,0	8,5	9,8	10,9	13,4	15,0	15,3	2%
Hiszpania	8,4	9,2	9,7	10,8	13,0	13,8	13,2	14,3	15,3	16,2	6%
Francja	9,6	9,3	10,2	11,1	12,1	12,6	11,1	13,4	14,0	14,3	2%
Chorwacja	23,8	22,7	22,2	22,0	23,6	25,1	25,4	26,8	28,1	27,9	-1%
Włochy	7,5	8,4	9,8	11,5	12,8	13,0	12,9	15,4	16,7	17,1	2%
Cypr	3,1	3,3	4,0	5,1	5,6	6,0	6,0	6,8	8,1	9,0	11%
Łotwa	32,3	31,1	29,6	29,8	34,3	30,4	33,5	35,7	37,1	38,7	4%
Litwa	17,0	17,0	16,7	18,0	20,0	19,8	20,2	21,7	23,0	23,9	4%
Luksemburg	1,4	1,5	2,7	2,8	2,9	2,9	2,9	3,1	3,6	4,5	25%
Węgry	4,5	5,1	5,9	6,5	8,0	8,6	9,1	9,6	9,5	9,5	0%
Malta	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,1	1,9	2,9	3,7	4,7	27%
Holandia	2,5	2,8	3,3	3,6	4,3	3,9	4,5	4,7	4,8	5,5	15%
Austria	23,8	25,3	27,3	28,2	30,2	30,6	30,8	31,6	32,3	33,1	2%
Polska	6,9	6,9	6,9	7,7	8,7	9,2	10,3	10,9	11,3	11,4	1%
Portugalia	19,5	20,8	21,9	23,0	24,4	24,2	24,7	25,0	25,7	27,0	5%
Rumunia	17,6	17,1	18,3	20,5	22,7	23,4	21,4	22,8	23,9	24,9	4%
Słowenia	16,0	15,6	15,6	15,0	20,0	20,5	20,2	20,9	22,5	21,9	-3%
Słowacja	6,4	6,6	7,8	7,7	9,4	9,1	10,3	10,4	10,1	11,6	15%
Finlandia	28,8	30,0	29,6	31,4	31,4	32,4	32,8	34,4	36,7	38,7	5%
Szwecja	40,6	42,7	44,2	45,3	48,2	47,2	49,0	51,1	52,0	52,6	1%
Wielka Brytania	1,4	1,6	1,8	2,7	3,3	3,7	4,2	4,6	5,6	7,0	25%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu [www 2].

Wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii ogółem w Unii Europejskiej dotyczy takich sektorów jak: elektryczność oraz ciepłownictwo i chłodnictwo. Jedynie w dziedzinie transportu zmiany te są bardzo duże i dynamiczne, ale to zapewne wynika z dużej mobilności wykorzystania energii odnawialnej w tej dziedzinie gospodarki.

## 2. Zanieczyszczenie powietrza

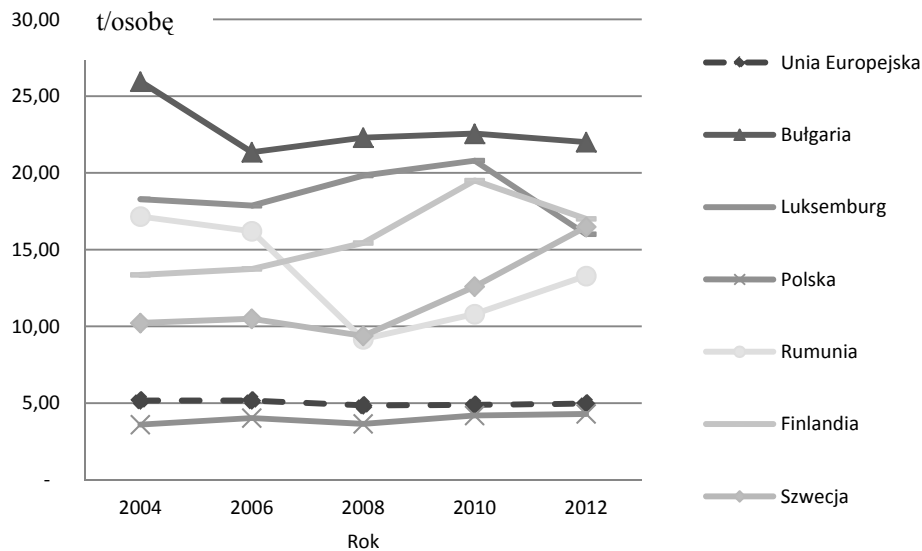
Panuje powszechna opinia, że wykorzystanie odnawialnych źródeł energii powoduje mniejsze zanieczyszczenie środowiska. Udostępniane przez Eurostat dane dotyczące zanieczyszczenia wody są niekompletne, braki dotyczą zarówno poszczególnych krajów, jak i kolejnych lat, dlatego nie mogły być wzięte pod uwagę w prowadzonej analizie. Dane dotyczące wielkości odpadów są wprawdzie kompletne, ale dotyczą jedynie okresów dwuletnich.

**Tabela 3.** Wielkość odpadów (t/osobę) w Unii Europejskiej w latach 2004, 2006, 2008 i 2012

Kraj	2004	2006	2008	2012
Unia Europejska	5,17	5,17	4,85	4,89
Belgia	5,08	5,65	4,56	5,77
Bułgaria	25,95	21,35	22,30	22,55
Czechy	2,87	2,42	2,46	2,27
Dania	2,33	2,71	2,77	2,93
Niemcy	4,41	4,41	4,53	4,44
Estonia	15,27	14,02	14,63	14,25
Irlandia	6,08	7,03	5,05	4,35
Grecja	3,02	4,62	6,14	6,30
Hiszpania	3,78	3,66	3,27	2,96
Francja	4,76	4,94	5,39	5,49
Chorwacja	1,67	1,26	0,97	0,73
Włochy	2,43	2,67	3,06	2,68
Cypr	3,10	1,68	2,37	2,90
Łotwa	0,55	0,83	0,68	0,71
Litwa	2,06	1,93	1,97	1,78
Luksemburg	18,28	17,86	19,83	20,80
Węgry	2,44	2,21	1,69	1,67
Malta	7,87	7,07	5,08	3,27
Holandia	5,69	6,07	6,26	7,26
Austria	6,51	6,58	6,78	4,18
Polska	3,60	4,03	3,65	4,19
Portugalia	2,80	3,33	1,60	1,64
Rumunia	17,16	16,20	9,17	10,81
Słowenia	2,89	3,01	2,51	2,92
Słowacja	1,99	2,70	2,13	1,74
Finlandia	13,35	13,74	15,43	19,50
Szwecja	10,22	10,50	9,38	12,59
Wielka Brytania	5,00	4,80	4,58	3,78

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu [www 2].

Analiza tabeli 3 wskazuje na grupę krajów, gdzie wielkość produkowanych odpadów jest zdecydowanie wyższa niż w pozostałych krajach; należą do nich: Bułgaria, Finlandia, Szwecja, Luksemburg i Rumunia. W pozostałych krajach (także w Polsce) wartości te mieszczą się w przedziale od 0,79 do 7,39 t/osobę i są na mniej więcej stałym poziomie w całym badanym okresie (zob. rys. 2).



**Rys. 2.** Wielkość odpadów (t/osobę) w wybranych krajach Unii Europejskiej w latach 2004, 2006, 2008 i 2012

Źródło: Opracowanie własne.

Ogólnie dostępne dane pochodzące z Eurostatu, dotyczące stanu środowiska, to głównie dane dotyczące zanieczyszczenia powietrza (tabela 4), należą do nich obserwowane wartości: emisji zanieczyszczeń tlenkiem siarki (w badanym okresie średniookresowe tempo zmian wskazuje na spadek tych zanieczyszczeń z roku na rok), emisji tlenku azotu (tu także obserwuje się spadek emisji, choć już nieco mniejszy procentowo, średniorocznie około 5%), emisji amoniaku (badając średniookresowe tempo zmian, niemal wszędzie obserwować można spadek emisji tych zanieczyszczeń, z wyjątkiem: Estonii – wzrost o 1,41%, Francji – 0,07%, Niemiec – 0,06%, Austrii – 0,03% i Czech – 0,01%). Zanieczyszczenie powietrza może być także rozpatrywane w kategorii emisji niemetanowych lotnych związków organicznych (również w przypadku emisji tych zanieczyszczeń obserwuje się w krajach Unii Europejskiej tendencję spadkową).

**Tabela 4.** Średniookresowe tempo zmian (w %) dla emisji zanieczyszczenia powietrza w Unii Europejskiej na przestrzeni lat 2005-2013

Kraj	Rodzaj emisji zanieczyszczeń:			
	tlenek siarki	tlenek azotu	amoniak	lotne związki organiczne
Belgia	-13,32	-5,25	-1,21	-3,70
Bułgaria	-15,92	-4,63	-5,37	-1,40
Czechy	-5,60	-5,21	0,01	-3,52
Dania	-7,65	-5,90	-2,20	-3,27
Niemcy	-1,55	-2,65	0,06	-2,02
Estonia	-8,80	-2,51	1,41	-2,40
Irlandia	-12,51	-6,54	-0,54	-2,01
Grecja	-14,64	-6,73	-1,35	-5,17
Hiszpania	-17,03	-6,76	0,00	-4,98
Francja	-8,90	-4,50	0,07	-5,95
Chorwacja	-14,62	-4,69	-2,72	-5,00
Włochy	-12,09	-5,07	-0,57	-3,87
Cypr	-11,92	-3,47	-2,90	-7,27
Łotwa	-16,44	-3,26	-0,12	-1,63
Litwa	-6,13	-2,01	-1,25	-2,29
Luksemburg	-5,32	-7,53	-0,61	-5,87
Węgry	-4,17	-4,16	-1,07	-2,41
Malta	-9,72	-7,82	-0,15	-0,09
Holandia	-9,17	-4,31	-2,21	-2,15
Austria	-5,31	-4,52	0,03	-2,85
Polska	-4,44	-0,80	-0,39	1,27
Portugalia	-16,36	-5,54	-0,02	-2,57
Rumunia	-12,71	-4,54	-2,64	-2,49
Słowenia	-14,83	-1,79	-1,44	-3,80
Słowacja	-6,23	-3,04	-1,57	-2,04
Finlandia	-4,63	-1,94	-0,61	-4,48
Szwecja	-3,63	-4,07	-0,75	-1,85
Wielka Brytania	-7,11	-5,38	-1,43	-4,25

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu [www 2].

Zanieczyszczenie powietrza można oceniać nie tylko w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń na terenie danego kraju, ale także emisji gazów cieplarnianych (por. tabela 5).

**Tabela 5.** Emisja gazów cieplarnianych (tys. t/km<sup>2</sup>) oraz średniookresowe tempo zmian (ŚTZ w %) w Unii Europejskiej w latach 2005-2014

Kraj	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	ŚTZ
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Belgia	4,65	4,48	4,34	4,42	4,00	4,24	3,91	3,78	3,79	-2,92
Bułgaria	0,50	0,51	0,54	0,53	0,45	0,47	0,51	0,47	0,42	-0,86
Czechy	1,75	1,80	1,85	1,74	1,62	1,65	1,62	1,57	1,53	-1,57
Dania	1,66	1,87	1,69	1,50	1,69	1,52	1,35	1,27	1,32	-3,73
Niemcy	2,75	2,77	2,69	2,68	2,49	2,59	2,54	2,56	2,62	-1,02
Estonia	0,30	0,25	0,30	0,27	0,22	0,33	0,38	0,40	0,47	4,15
Irlandia	1,06	1,08	1,06	1,04	0,93	0,96	0,93	0,93	0,89	-1,95

cd. tabeli 5

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
Grecja	1,01	0,98	1,02	0,98	0,93	0,88	0,86	0,83	0,77	-2,77
Hiszpania	0,81	0,79	0,80	0,74	0,66	0,64	0,64	0,62	0,57	-3,64
Francja	0,75	0,73	0,72	0,71	0,68	0,71	0,66	0,65	0,66	-1,95
Chorwacja	0,42	0,43	0,46	0,44	0,40	0,39	0,40	0,36	0,34	-2,09
Włochy	1,82	1,78	1,83	1,73	1,55	1,57	1,55	1,49	1,34	-2,82
Cypr	0,97	0,99	1,04	1,05	1,03	1,00	0,98	0,92	0,83	-0,75
Łotwa	0,11	0,10	0,12	0,10	0,15	0,20	0,18	0,16	0,17	6,16
Litwa	0,28	0,27	0,32	0,23	0,14	0,15	0,16	0,19	0,15	-5,28
Luksemburg	4,94	4,92	4,70	4,57	4,35	4,57	4,51	4,37	4,14	-1,74
Węgry	0,76	0,77	0,75	0,71	0,66	0,66	0,65	0,60	0,58	-3,29
Malta	9,34	9,41	9,72	9,65	9,48	9,56	9,73	10,03	8,81	1,01
Holandia	5,28	5,19	5,16	5,14	5,02	5,29	4,96	4,88	4,87	-1,14
Austria	0,97	1,00	0,97	0,98	0,90	0,94	0,91	0,88	0,89	-1,39
Polska	1,13	1,13	1,22	1,20	1,15	1,22	1,18	1,17	1,14	0,41
Portugalia	0,96	0,80	0,73	0,69	0,66	0,64	0,60	0,61	0,60	-6,10
Rumunia	0,51	0,52	0,52	0,49	0,42	0,39	0,41	0,40	0,36	-3,35
Słowenia	0,66	0,67	0,75	0,81	0,72	0,72	0,72	0,70	0,66	0,87
Słowacja	0,95	0,90	0,87	0,89	0,81	0,85	0,82	0,74	0,73	-3,52
Finlandia	0,12	0,13	0,15	0,13	0,08	0,14	0,12	0,10	0,13	-1,98
Szwecja	0,06	0,06	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03	0,03	-9,41
Wielka Brytania	2,84	2,81	2,76	2,68	2,44	2,50	2,31	2,37	2,32	-2,54

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu [www 2].

Największa emisja gazów cieplarnianych w przeliczeniu na powierzchnię kraju jest na Malcie, a także w Holandii, Luksemburgu i Belgii. Obserwuje się średnioo-kresowy spadek tej emisji we wszystkich krajach Unii Europejskiej oprócz Malty (wzrost o 1,01%), Estonii (wzrost o 4,15%) i Polski (0,41%). W Polsce średnioo-kresowy wzrost wynika głównie z przyrostu odnotowanego w 2006 r., spadek w 2014 r. w stosunku do roku wcześniejszego wyniósł bowiem 1,57%.

### 3. Zależności pomiędzy produkcją energii a zanieczyszczeniem powietrza

Wcześniejsze badania autora dotyczące analizy zależności pomiędzy energią pozyskiwaną ze źródeł odnawialnych a zanieczyszczeniem środowiska dotyczyły terytorium Polski, w podziale na województwa. W wyniku przeprowadzonych badań nie udało się jednoznacznie potwierdzić takich zależności. Mogło to być spowodowane głównie małymi obszarami, jakich dotyczyła analiza. W przypadku badań dotyczących Polski wyraźne zależności liniowe zaobserwowano jedynie pomiędzy wzrostem produkcji energii ogółem a wzrostem zanieczyszczeń powietrza.



Analiza rysunków i tabel prezentowanych w 1. i 2. części opracowania wykazała z kolei wzrost produkcji energii, także tej ze źródeł odnawialnych, analiza zanieczyszczenia wskazywała na poprawę w tym zakresie, dlatego w pierwszej kolejności wykorzystano współczynnik korelacji liniowej, aby sprawdzić, czy występuje prosta zależność liniowa pomiędzy tymi zmiennymi.

W przypadku krajów Unii Europejskiej współczynnik korelacji liniowej nie potwierdził istotnych zależności pomiędzy produkcją energii ogółem a emisją takich zanieczyszczeń jak: tlenek siarki, azotu, amoniak, niemetanowe związki lotne. Nie zaobserwowano także istotnych zależności pomiędzy produkcją energii ogółem a emisją gazów cieplarnianych.

Za to w przypadku analizy produkcji energii ze źródeł odnawialnych pojawiają się już istotne zależności liniowe (zob. tabela 6). Najbardziej jest to widoczne w przypadku emisji amoniaku. Występuje wprawdzie niezbyt silna, ale znacząca już korelacja ujemna pomiędzy produkcją energii ze źródeł odnawialnych a wielkością emisji amoniaku. Wzrost produkcji energii ze źródeł odnawialnych wiąże się ze zmniejszeniem tej emisji. Podobne ujemne skorelowanie zauważyć można pomiędzy produkcją energii ze źródeł odnawialnych a wielkością emisji gazów cieplarnianych. Analiza danych z tabeli 6 wskazuje na pojawiającą się w 2012 r. słabą, ale już znaczącą dodatnią zależność liniową pomiędzy wielkością odpadów a produkcją energii ze źródeł odnawialnych.

**Tabela 6.** Współczynnik korelacji liniowej między produkcją energii ze źródeł odnawialnych a zanieczyszczeniami

Zanieczyszczenia:	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tlenek siarki	-0,28	-0,28	-0,28	-0,27	-0,30	-0,28	-0,28	-0,27	-0,31
Tlenek azotu	-0,33	-0,33	-0,32	-0,33	-0,35	-0,35	-0,35	-0,33	<b>-0,39</b>
Amoniak	<b>-0,42</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,42</b>	<b>-0,44</b>
Związki lotne	<b>-0,41</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,39</b>
Gazy cieplarniane	<b>-0,40</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,37</b>	<b>-0,40</b>
Odpady		0,20		0,24		0,31		<b>0,38</b>	

Uwaga: Pogrubione zostały wartości istotne statycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$ .

Źródło: Opracowanie własne.

Zależności te są jeszcze bardziej widoczne, gdy weźmie się pod uwagę udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii. Wartości współczynnika korelacji liniowej pomiędzy udziałem energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii ogółem a emisją wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń powietrza wskazują na umiarkowaną zależność ujemną, co oznacza, że wraz ze wzrostem tego udziału maleje średnio emisja poszczególnych zanieczyszczeń.

**Tabela 7.** Współczynnik korelacji liniowej między udziałem energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii a zanieczyszczeniami

Zanieczyszczenia:	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Tlenek siarki	-0,33	-0,33	-0,34	-0,33	-0,35	-0,34	-0,33	-0,32	-0,35
Tlenek azotu	<b>-0,48</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,55</b>
Amoniak	<b>-0,54</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,56</b>
Związki lotne	<b>-0,52</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,48</b>
Gazy cieplarniane	<b>-0,56</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,57</b>
Odpady		0,08		0,08		0,16		0,26	

Uwaga: Pogrubione zostały wartości istotne statycznie na poziomie  $\alpha = 0,05$ .

Źródło: Opracowanie własne.

Jak wynika z tabeli 7 udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii jest też ujemnie skorelowany z emisją gazów cieplarnianych. Nie występują za to znaczące zależności pomiędzy udziałem energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii a wielkością odpadów.

W kolejnym etapie badań zbudowano miernik syntetyczny opisujący stan środowiska naturalnego. Ze względu na brak danych dotyczących jednego z głównych elementów stanu środowiska naturalnego, jakim są zanieczyszczenia wody oraz okresowe dane dotyczące zanieczyszczenia ziemi (odpadów), miernik ten opisuje jedynie stan zanieczyszczenia powietrza. Miernik ten obliczono jako bezwzorcową miarę syntetyczną, którą stanowi średnia arytmetyczna ze znormalizowanych wartości cech<sup>3</sup>. Miara ta ma postać:

$$s_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x'_{ij}, \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$$

gdzie:  $x'_{ij}$  – znormalizowana wartość  $j$ -tej cechy dla  $i$ -tego obiektu, czyli

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}}{s}, \quad \bar{x} - \text{średnia arytmetyczna, } s - \text{odchylenie standardowe, } n - \text{liczba}$$

analizowanych obiektów (28 krajów),  $m$  – liczba przyjętych cech<sup>4</sup>:

$x_1$  – emisja zanieczyszczeń siarkowych,

$x_2$  – emisja zanieczyszczeń azotowych,

$x_3$  – emisja amoniaku,

$x_4$  – emisja niemetanowych lotnych związków organicznych,

$x_5$  – emisja gazów cieplarnianych.

<sup>3</sup> Do tak skonstruowanej miary syntetycznej Malina i Zeliaś [1998] proponują zastosowanie standaryzacji. W prowadzonej analizie zastosowano standaryzację ze stałymi parametrami w czasie umożliwiającą porównywanie zmian uporządkowań krajów w badanym okresie.

<sup>4</sup> Ze względu na fakt, że dane dotyczące odpadów obejmują tylko wybrane lata, oraz to, że wielkość odpadów była stosunkowo słabo skorelowana z udziałem energii ze źródeł odnawialnych, pominięto je w trakcie budowy miernika syntetycznego.

W oparciu o wartość miernika syntetycznego przeprowadzono liniowe uporządkowanie krajów. Analizowane zmienne miały charakter destymulant, dlatego też zbudowany miernik syntetyczny także traktowany jest jako destymulanta, co oznacza, że im większa wartość współczynnika, tym wyższe zanieczyszczenia powietrza świadczące o gorszym stanie środowiska naturalnego.

Najwyższą wartość miernika syntetycznego obserwuje się dla Malty (por. tabela 8). Duże zanieczyszczenie powietrza dotyczy także takich krajów jak: Holandia, Belgia i Luksemburg. Dodatkowo wartości miernika odnotowano również dla: Niemiec, Wielkiej Brytanii, Danii i Włoch. Najmniejsze zanieczyszczenie powietrza jest w Szwecji i Finlandii.

**Tabela 8.** Wartość miernika syntetycznego w latach 2005-2013 oraz ranking krajów dla 2013 r.

Kraj	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	MS
Szwecja	-0,83	-0,83	-0,83	-0,84	-0,84	-0,84	-0,84	-0,85	-0,85	1
Finlandia	-0,82	-0,82	-0,82	-0,83	-0,84	-0,83	-0,84	-0,84	-0,84	2
Estonia	-0,70	-0,71	-0,70	-0,71	-0,73	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	3
Bułgaria	-0,59	-0,58	-0,58	-0,59	-0,62	-0,61	-0,61	-0,63	-0,67	4
Łotwa	-0,64	-0,64	-0,65	-0,66	-0,65	-0,65	-0,66	-0,66	-0,66	5
Litwa	-0,55	-0,54	-0,55	-0,57	-0,59	-0,59	-0,60	-0,60	-0,61	6
Chorwacja	-0,48	-0,49	-0,49	-0,51	-0,54	-0,55	-0,56	-0,58	-0,60	7
Cypr	-0,39	-0,40	-0,39	-0,42	-0,44	-0,44	-0,47	-0,48	-0,54	8
Rumunia	-0,39	-0,38	-0,40	-0,40	-0,46	-0,49	-0,49	-0,49	-0,51	9
Grecja	-0,33	-0,32	-0,33	-0,34	-0,37	-0,42	-0,46	-0,49	-0,51	10
Słowacja	-0,39	-0,41	-0,43	-0,43	-0,46	-0,46	-0,45	-0,49	-0,48	11
Hiszpania	-0,32	-0,32	-0,33	-0,38	-0,42	-0,42	-0,44	-0,46	-0,47	12
Węgry	-0,33	-0,33	-0,34	-0,38	-0,40	-0,41	-0,43	-0,44	-0,43	13
Portugalia	-0,27	-0,31	-0,32	-0,35	-0,38	-0,40	-0,41	-0,42	-0,42	14
Francja	-0,26	-0,29	-0,31	-0,33	-0,36	-0,35	-0,38	-0,39	-0,39	15
Austria	-0,25	-0,24	-0,27	-0,29	-0,35	-0,33	-0,35	-0,34	-0,35	16
Słowenia	-0,22	-0,22	-0,21	-0,23	-0,25	-0,27	-0,29	-0,31	-0,34	17
Irlandia	-0,14	-0,14	-0,16	-0,17	-0,21	-0,22	-0,25	-0,25	-0,24	18
Polska	-0,23	-0,19	-0,18	-0,18	-0,21	-0,18	-0,19	-0,21	-0,21	19
Czechy	-0,05	-0,06	-0,07	-0,12	-0,12	-0,14	-0,18	-0,21	-0,21	20
Włochy	0,35	0,32	0,29	0,23	0,16	0,12	0,12	0,08	0,07	21
Dania	0,43	0,42	0,37	0,31	0,27	0,23	0,18	0,14	0,12	22
Wielka Brytania	0,62	0,58	0,53	0,44	0,33	0,31	0,27	0,27	0,24	23
Niemcy	0,55	0,54	0,50	0,47	0,41	0,44	0,43	0,40	0,42	24
Belgia	1,46	1,21	1,11	1,05	0,90	1,15	1,02	0,96	0,92	25
Luksemburg	1,79	1,64	1,53	1,38	1,19	1,19	1,15	1,03	0,94	26
Holandia	1,58	1,54	1,50	1,42	1,33	1,35	1,26	1,21	1,18	27
Malta	4,19	4,27	4,28	3,97	3,80	3,70	3,81	4,06	3,45	28

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu [www 2].

W celu porównania uporządkowań województw w kolejnych latach wykorzystano współczynnik tau-Kendalla, obliczony zgodnie z formułą zaprezentowaną w pracy [Walesiak, 2006]:

$$\Gamma_{lh} = \frac{\sum_{i=2}^{16} \sum_{k=1}^{i-1} a_{ikl} b_{ikh}}{\left[ \sum_{i=2}^{16} \sum_{k=1}^{i-1} a_{ikl}^2 \sum_{i=2}^{16} \sum_{k=1}^{i-1} b_{ikh}^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

gdzie:

$i, k = 1, \dots, n$  – numer obiektu (kraju),

$l, h$  – numer zmiennej;

z podstawieniem:

$$a_{ikl}(b_{ikh}) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } x_{il} > x_{kl} \quad (x_{ih} > x_{kh}) \\ 0 & \text{gdy } x_{il} = x_{kl} \quad (x_{ih} = x_{kh}) \\ -1 & \text{gdy } x_{il} < x_{kl} \quad (x_{ih} < x_{kh}) \end{cases}$$

gdzie:

$x_{il}, x_{kl}$  –  $i$ -ta obserwacja dla  $l$ -tej zmiennej.

Analiza danych z tabeli 9 potwierdza przeciwstawność uporządkowań pomiędzy wielkością produkcji energii ze źródeł odnawialnych a miernikiem opisującym stan zanieczyszczenia powietrza – im większa produkcja, tym wielkość zanieczyszczeń jest mniejsza. Podobne wyniki dała analiza zgodności uporządkowań ze względu na udział energii ze źródeł odnawialnych a stan zanieczyszczeń. Co ciekawe, analiza dotycząca uporządkowań krajów ze względu na wielkość emisji zanieczyszczeń powietrza w stosunku do produkcji energii ogółem wykazała brak zgodności uporządkowań.

**Tabela 9.** Współczynnik korelacji tau-Kendalla między liniowym uporządkowaniem ze względu na miernik dotyczący zanieczyszczenia powietrza

MIERNIK	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Produkcja energii	-0,05	-0,07	-0,07	-0,05	-0,08	-0,04	-0,05	-0,09	-0,04
Produkcja energii ze źródeł odnawialnych	-0,46	-0,43	-0,43	-0,38	-0,39	-0,40	-0,39	-0,37	-0,35
Udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii ogółem	-0,61	-0,57	-0,59	-0,52	-0,57	-0,58	-0,57	-0,54	-0,55

Źródło: Opracowanie własne.

Ostatni etap badań polegał na wyodrębnieniu grup krajów podobnych ze względu na stan zanieczyszczenia powietrza. Kraje Unii Europejskiej pogrupowano ze względu na zmienne opisujące stan zanieczyszczeń i przyjrano się strukturze produkcji energii w poszczególnych grupach.

Kraje grupowano w oparciu o wykorzystywane wcześniej zmienne:

$x_1$  – emisja zanieczyszczeń siarkowych,

$x_2$  – emisja zanieczyszczeń azotowych,

$x_3$  – emisja amoniaku,

$x_4$  – emisja niemetanowych lotnych związków organicznych,

$x_5$  – emisja gazów cieplarnianych.

Dane poddane zostały normalizacji<sup>5</sup>. Jako metodę klasyfikacji przyjęto ostatecznie metodę  $k$ -medoidów<sup>6</sup> z odległością Euklidesa<sup>7</sup>. W metodzie  $k$ -medoidów każda klasa reprezentowana jest przez jeden z jej obiektów, który jest gwiazdą klasy. W metodzie tej poszukuje się takiego podziału zbioru  $n$  obiektów na  $k$  klas, dla którego wartość miary  $C_1(n, u) = \sum_{r=1}^u O_3(r)$  osiąga minimum (gdzie  $O_3(r) = \min_{k=1, \dots, n_r} \left[ \sum_{i=1}^{n_r} (d_{ri,sk})^p \right]$ , dla  $p = 1$ ,  $d_{ri,sk}$  – odległość między  $i$ -tym obiektem  $r$ -tej klasy i  $k$ -tym obiektem  $s$ -tej klasy,  $u$  – liczba klas,  $i, k$  – numery obiektów,  $n_r(n_s)$  – liczba obiektów w klasie  $r(s)$ )<sup>8</sup>.

Wartości indeksu Silhouette<sup>9</sup> prezentuje tabela 10. Pamiętając, iż przy wykorzystaniu indeksu Silhouette wyboru liczby klas dokonuje się w oparciu o maksymalną wartość miernika, w prowadzonej analizie podzielono kraje na dwie grupy.

**Tabela 10.** Wartości indeksu Silhouette

Liczba grup	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wartość indeksu	0,61	0,56	0,21	0,26	0,24	0,23	0,28	0,25	0,24

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem pakietu R.

Grupę pierwszą utworzyły takie kraje jak: Belgia, Niemcy, Luksemburg, Malta, Holandia, Wielka Brytania, druga grupa zaś to: Bułgaria, Cechy, Dania, Estonia, Irlandia, Grecja, Hiszpania, Francja, Chorwacja, Włochy, Cypr, Łotwa, Litwa, Węgry, Austria, Polska, Portugalia, Rumunia, Słowenia, Słowacja, Finlandia, Szwecja.

<sup>5</sup> Zastosowana została standaryzacja.

<sup>6</sup> Obliczenie przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu R, zastosowano metodę PAM, czyli metodę  $k$ -medoidów, na którą zdecydowano się ze względu na występowanie obserwacji odstających.

<sup>7</sup> Zob. [Grabiński, Wydymus i Zeliaś, 1989] oraz [Malina, Pawełek, Wanat i Zeliaś, 1998].

<sup>8</sup> Szerzej o metodzie  $k$ -medoidów w [Walesiak i Gatnar (red.), 2006], a szczegółowy algorytm metody w [Kaufman i Rousseeuw, 1990].

<sup>9</sup> Zob. [Kaufman i Rousseeuw, 1990].

Kraje należące do poszczególnych grup nie różniły się zasadniczo pod względem produkcji energii ogółem czy też produkcji energii ze źródeł odnawialnych, ale kraje należące do pierwszej grupy to przede wszystkim te o najniższym w Unii Europejskiej udziale energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii ogółem.

## Podsumowanie

Z analizy danych wynika, że wzrost produkcji energii w wielu krajach jest związany ze wzrostem wykorzystania energii odnawialnej. Zaobserwowana tendencja jest oczywiście zjawiskiem korzystnym.

We wszystkich krajach obserwuje się spadek emisji zanieczyszczeń powietrza, szczególnie emisji gazów cieplarnianych, co także jest zjawiskiem korzystnym, świadczącym dodatkowo o stopniowej realizacji założonych we wspomnianej dyrektywie celów.

Wykorzystując współczynnik korelacji liniowej, ujawniono znaczące zależności pomiędzy produkcją energii ze źródeł odnawialnych a emisją zanieczyszczeń powietrza, w tym także emisją gazów cieplarnianych. Nie świadczy to bynajmniej o zależności przyczynowo-skutkowej i nie daje podstawy do stwierdzenia, że malejący poziom zanieczyszczeń powietrza jest wynikiem wykorzystywania w większym stopniu energii ze źródeł odnawialnych, ale wskazuje na dodatnią zależność pojawiającą się między tymi zjawiskami.

Współczynnik tau Kendalla pozwolił potwierdzić hipotezę, że wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii w końcowym zużyciu energii jest skorelowany z mniejszą emisją zanieczyszczeń (miernik syntetyczny).

Klasyfikacja ze względu na emisję zanieczyszczeń powietrza pozwoliła wyodrębnić grupę krajów zdecydowanie różniących się także ze względu na udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii ogółem.

## Literatura

Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE. Dz. Urz. UE L 140/16, 5.6.2009.

Grabiński T., Wydymus S., Zeliaś A. (1989), *Metody taksonomii numerycznej w modelowaniu zjawisk społeczno-gospodarczych*, PWN, Warszawa.

- Kaufmann L., Rousseeuw P.J. (1990), *Finding Groups in Data: an Introduction to Cluster Analysis*, Wiley, New York.
- Malina A., Pawełek B., Wanat S., Zeliaś A. (1998), *Statystyczne metody oceny ryzyka w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo AE w Krakowie, Kraków.
- Malina A., Zeliaś A. (1998), *Taksonomiczna analiza przestrzennego zróżnicowania warunków życia ludności w Polsce w latach 1994 i 1995*, Prace Naukowe WSPiM w Chrzanowie, nr 2.
- Walesiak M. (2006), *Uogólniona miara odległości w statystycznej analizie wielowymiarowej*, wyd. II rozszerzone, Wydawnictwo AE im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Walesiak M., Gatnar E. (red.) (2006), *Statystyczna analiza danych z wykorzystaniem programu R*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- [www 1] Strona internetowa głównego Urzędu Statystycznego, [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl) (dostęp: 12.04.2016).
- [www 2] Strona internetowa Eurostatu, <http://ec.europa.eu/eurostat> (dostęp: 12.04.2016).

#### RENEWABLE ENERGY AND THE ENVIRONMENT IN THE EUROPEAN UNION

**Summary:** The use of different energy sources is an increasingly serious challenge for the countries for which sustainable development also means better use of energy resources and environmental improvement. The energy production and using of it influences the raise the level of our lives, but at the same time causes the degradation and destruction of the environment.

The main aim of the study is to assess the impact of the energy sources used on the natural environment in the European Union. In the paper was discussed changes in the volume of production of energy from renewable sources in each EU countries. Analysis of the state of the natural environment was conducted, with particular reference to of air pollution and greenhouse gas emissions. An attempt was made to assess whether increasing the use of renewable energy sources has a positive impact on reducing environmental degradation.

**Keywords:** renewable energy, analysis of dynamics, linear ordering, classification.