



Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w krajach Unii Europejskiej

*Tomasz Rokicki, Konrad Michalski, Marcin Ratajczak,
Hubert Szczepaniuk, Magdalena Golonko
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa*

1. Wstęp

Współcześnie niezbędnym elementem rozwoju cywilizacji jest energia (Kowalak 2005). Można ją podzielić na konwencjonalną i niekonwencjonalną. Energia konwencjonalna jest pozyskiwana z surowców nieodnawialnych, jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny, ropa naftowa (Piekarski i in. 2006). Z kolei energia konwencjonalna jest pozyskiwana z odnawialnych (niewyczerpalnych) źródeł. Obejmuje ona energię wiatru, wody, słońca, zasobów geotermalnych, biomasy stałej, biogazu i biopaliw ciekłych (Żelazna 2013). Dla ochrony środowiska niezwykle ważne jest przestawienie się gospodarek z pozyskiwania energii ze źródeł konwencjonalnych na niekonwencjonalne (Viktarovich i Czechowska-Kosacka 2016). W artykule przedstawiono kierunki i siłę zmian, które dokonują się w tym zakresie w krajach UE.

2. Przegląd literatury

Na początku przedstawiono specyfikę, uwarunkowania produkcji i konsumpcji energii z odnawialnych źródeł. Pozyskiwanie tego typu energii cechuje się bardzo niską emisją zanieczyszczeń (lub jej brakiem) i przyczynia się do rozwoju słabiej rozwiniętych regionów (Czyżewski i Wrocławski 2012, Rokicki 2016). Stosowanie energii ze źródeł odnawialnych wraz z oszczędnością energii i zwiększoną efektywnością energetyczną są niezbędne do redukcji emisji gazów cieplarnianych i spełnie-

nia postanowień Protokołu z Kioto do Ramowej Konwencji ONZ w sprawie zmian klimatu. Energia odnawialna jest więc elementem ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Dla krajów UE ważne jest wywiązanie się też z unijnych zobowiązań w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych (Directive 2009/28/EC). Odnawialne źródła energii zyskały na znaczeniu w skali globalnej w latach 90. XX wieku. Wówczas skupiono się na energii promieniowania słonecznego oraz wiatru (Borgosz-Koczwarą i Herlender 2008). Z kolei w Unii Europejskiej rynek wewnętrzny energii elektrycznej był tworzony od końca lat 90. XX wieku. Jego celem było zapewnienie konkurencji i dostaw energii po najbardziej konkurencyjnej cenie na terenie wszystkich krajów członkowskich (Directive 2009/72/EC). Problemem przy rozwijaniu energetyki odnawialnej są nakłady na instalacje i koszty produkcji energii, znacznie wyższe w porównaniu do źródeł konwencjonalnych (Motowidlak 2012). Mimo to przeprowadzone badania potwierdzają duży wpływ licznych programów w zakresie promocji odnawialnych źródeł energii na zbilansowanie energii i emisję gazów cieplarnianych (Żelazna i Gołębiowska 2015, Rokicki 2017).

Pierwsze uregulowania prawne dotyczące energii odnawialnej w krajach UE zakładały bezwzględny obowiązek zakupu energii elektrycznej i ciepła przez spółki dystrybucyjne ze źródeł niekonwencjonalnych. W pierwszych latach funkcjonowania nowych uregulowań rynek energetyczny był niestabilny a ceny zróżnicowane (Gieremek i Włodarczyk 2005). Pierwszym dokumentem była Zielona Księga z 1996 roku. Określono w niej główne cele polityczne związane z bezpieczeństwem środowiska w sektorze energetycznym. Zwracano uwagę na bezpieczeństwo dostaw, zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstw energetycznych oraz wzięcie pod uwagę aspektów środowiskowych związanych z wpływem sektora na zmiany klimatu (Energy... 1996). Biała Księga z 1997 roku zawierała stan rynku energii odnawialnej w Europie oraz strategię i plan działania na rzecz promocji tej energii. W 1996 roku zużycie energii ze źródeł odnawialnych wynosiło 6%. Założono ambitny plan podwojenia jej produkcji do poziomu 12% w ogólnym bilansie w 2010 roku (Energy... 1997). W kolejnej Zielonej Księdze z 2000 roku zwracano uwagę na kontrolę zapotrzebowania energetycznego, zużycie energii z większym szacunkiem dla środowiska, walkę z globalnym

ociepleniem, m.in. poprzez większy udział energii odnawialnej (European... 2000). W dokumencie z 2006 roku sformułowano strategię działania w kierunku zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii (Green... 2006). W kolejnym dokumencie z 2007 roku przedstawiono stan zastosowania odnawialnej energii oraz założenia na przyszłość. Zakładany wcześniej cel 10% udziału energii odnawialnej w całkowitym bilansie zużycia w 2010 roku, stał się niemożliwy do osiągnięcia. Dlatego założono nowe cele, czyli osiągnięcie 20% udziału energii odnawialnej w krajowej konsumpcji energii brutto oraz 10% udziału energii ze źródeł odnawialnych (biopaliw) w transporcie do 2020 r. Osiągnięcie tych celów umożliwi zmniejszenie emisji CO₂ od 600 do 900 mln ton rocznie, co oznacza od 150 do 200 mld euro oszczędności, jeśli cena jednej tony CO₂ wynosiłaby 25 euro (Renewable... 2007, Rokicki 2013). Problemy energetyczne dotyczą z jednej strony konieczności zużywania dodatkowej energii na przetworzenie ograniczonych zasobów surowców kopalnych (np. wytop metali z rud), a z drugiej wyczerpywania się nośników energii, jak paliwa kopalne. Energia ze źródeł odnawialnych umożliwi rozwiązanie tych problemów i spełnienie postulatów ochrony środowiska (Lenort 2017, Czaja i Kwaśniewski 2016).

3. Cel i metodyka badań

Celem głównym pracy jest ukazanie stopnia wykorzystania energii odnawialnej w krajach Unii Europejskiej. Celami szczegółowymi są: przedstawienie zróżnicowania w udziale energii odnawialnej w energii ogólnej w krajach UE, ustalenie źródeł energii odnawialnej w UE, ukazanie dynamiki zmian w konsumpcji energii odnawialnej, określenie czynników skorelowanych ze zużyciem tej energii. W pracy postawiono hipotezę, według której konsumpcja energii odnawialnej w krajach UE była współzależna z sytuacją gospodarczą. W sposób celowy wybrano do badań wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej według stanu na dzień 31.12.2016 r. (28 państw). Okres badań dotyczył lat 2004-2016. Źródłami materiałów były dane EUROSTAT, literatura krajowa i zagraniczna. Do analizy i prezentacji materiałów zastosowano metody: opisową, tabelaryczną, graficzną, wskaźniki dynamiki o podstawie stałej, współczynnik koncentracji Giniego, analizę koncentracji za pomocą krzywej Lorenza, wykres gęstości (estymator jądrowy), współczynniki korelacji liniowej Pearsona.

Wskaźniki dynamiki o podstawie stałej określa się następująco (Starzyńska 2002):

$$i = \frac{y_n}{y_0} \quad \text{lub} \quad i = \frac{y_n}{y_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

y_n – poziom zjawiska w pewnym okresie,

y_0 – poziom zjawiska w okresie odniesienia.

Współczynnik Giniego jest miarą koncentracji (nierównomierności) rozkładu zmiennej losowej. Jeżeli obserwacje y_i są uporządkowane w rosnącej kolejności, to współczynnik można zapisać wzorem (Dixon et al. 1987, Damgaard i Weiner 2000):

$$G(y) = \frac{\sum_{i=1}^n (2i - n - 1) * y_i}{n^2 * \bar{y}} \quad (2)$$

gdzie:

n – liczba obserwacji

y_i – wartość i -tej obserwacji,

\bar{y} – średnia wartość wszystkich obserwacji, czyli $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

Krzywa Lorenza określa stopień koncentracji jednowymiarowego rozkładu zmiennej losowej (Dagum 1980). Przy posortowanych obserwacjach y_i , które przyjmują wartości nieujemne $0 \leq y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_n$,

$\sum_{i=1}^n y_i > 0$, krzywa Lorenza jest łamaną, której wierzchołki (x_h, z_h) , dla $h = 0, 1, \dots, n$, mają współrzędne:

$$x_0 = z_0 = 0, \quad x_h = \frac{h}{n}, \quad z_h = \frac{\sum_{i=1}^h y_i}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (3)$$

Współczynnik Giniego określa pole obszaru pomiędzy krzywą Lorenza a przekątną kwadratu jednostkowego pomnożone przez 2.

W przypadku estymatora jądrowego gęstości, jądrem nazywamy funkcję $K : \mathbb{R} \rightarrow [0, \infty]$ taką że (Kulczycki 2005):

- 1) $\int_{-\infty}^{\infty} K(x) dx = 1$
- 2) $K(0) \geq K(X)$ dla każdego R
- 3) K – symetryczne względem zera.

Estymatorem jądrowym nazywamy funkcję $\hat{f}_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{X - X_i}{h}\right)$, (4) gdzie h jest stałą zwaną szerokością pasma dla $h > 0$.

Do określenia zgodności z rozkładem normalnym zastosowano test Doornika-Hansen (1994):

$$DH = z_1^2 + z_2^2 \quad (5)$$

gdzie:

- z_1 – transformowana skośność,
- z_2 – transformowana kurioza.

Współczynnik korelacji liniowej Pearsona jest miernikiem siły związku prostoliniowego między dwiema cechami mierzalnymi. Jest on wyrażony za pomocą wzoru (Jajuga i Walesiak 2004):

$$r_{XY} = \frac{C(X, Y)}{\sqrt{S_X^2 \cdot S_Y^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{C(X, Y)}{S_X \cdot S_Y} \quad (6)$$

gdzie:

- $C(X, Y)$ – kowariancja między cechami X i Y ,
- S_X^2 - wariancja cechy X ,
- S_Y^2 - wariancja cechy Y ,
- S_X – odchylenie standardowe cechy X ,
- S_Y – odchylenie standardowe cechy Y .

Współczynnik korelacji liniowej można traktować jako znormalizowaną kowariancję. Korelacja przyjmuje zawsze wartości w zakresie (-1, 1).

4. Wyniki badań

Zużycie energii w UE w latach 2004-2016 spadło o 10% (tab. 1). W tym czasie poszczególne państwa rozwijały się gospodarczo, więc redukcja konsumpcji energii była korzystna dla środowiska. W większości państw nastąpił spadek zużycia energii w badanym okresie, największy na Litwie (o 14%) i Malcie. Wzrost zużycia energii odnotowano tylko w kilku państwach, tj. w Estonii (o 10%), Polsce (9%) i Austrii (2%). Spośród państw o największym zużyciu energii jedynie w Polsce nastąpił wzrost. Przyczyną może być duży wzrost gospodarczy, ale też nieefektywne jej zużycie. W grupie państw o największym zużyciu energii były właściwie kraje z Europy Zachodniej.

Udział energii odnawialnej w zużyciu całkowitym energii był zróżnicowany w poszczególnych krajach UE (tab. 2). Największy odnotowano w 2016 roku w Szwecji (54%), Finlandii (39%), Łotwie (37%), zaś najmniejszy w Luksemburgu (5%), Holandii i Malcie (po 6%). Pobieżna analiza pozwala stwierdzić, że zarówno wśród liderów, jak i autsajderów, były państwa najbardziej rozwinięte gospodarczo. Wybudowanie instalacji i pozyskiwanie energii odnawialnej wiąże się z nakładami i kosztami, co może zniechęcać kraje biedniejsze oraz być mniejszym obciążeniem dla bogatszych. Z drugiej strony kraje bogatsze mogą pozwolić sobie na zakup energii ze źródeł konwencjonalnych, który stanowi niewielkie obciążenie ich gospodarki, w porównaniu do państw biedniejszych.

Pewnym wyjaśnieniem zaznaczonych prawidłowości dotyczących inwestowania lub nie w energię odnawialną są naturalne warunki i pre-dyspozycje poszczególnych krajów. Energia wodna jest rozwijana w państwach mających dużo rzek, naturalne różnice w wysokości, jak w: Austrii, Słowenii, Szwecji (tab. 3). Energia wiatru z kolei jest wykorzystana na obszarach z korzystnymi warunkami wietrznymi, jak: Irlandia, Wielka Brytania, Holandia. Z kolei energia słońca wymaga wielu dni słonecznych w roku, więc jest stosowana w Hiszpanii, na Malcie i Cyprze. W prawie wszystkich państwach UE dominującym źródłem energii odnawialnej były biopaliwa, do których zalicza się drewno i biopaliwa stałe, biopaliwa płynne, biogaz i odpady odnawialne. Biopaliwa, w tym drewno jest najłatwiej dostępnym źródłem energii odnawialnej.

Tabela 1. Całkowite zużycie energii w krajach UE w teradżulach w latach 2004-2016 (EUROSTAT)**Table 1.** Total energy consumption in EU countries in terajoules in 2004-2016 (EUROSTAT)

| Kraje | Zużycie energii w krajach UE w teradżulach (TJ) w latach | | | | | Dynamika zmian 2016/2004 |
|-----------------|--|------------|------------|------------|------------|-----------------------------|
| | 2004 | 2007 | 2010 | 2013 | 2016 | |
| Niemcy | 14 385 398 | 13 975 402 | 13 920 543 | 13 587 555 | 13 283 390 | 92,34 |
| Francja | 11 518 400 | 11 287 455 | 11 186 368 | 10 857 160 | 10 414 477 | 90,42 |
| Wielka Brytania | 9 738 544 | 9 318 280 | 8 908 683 | 8 425 953 | 7 931 465 | 81,44 |
| Włochy | 7 792 109 | 7 874 808 | 7 449 381 | 6 678 572 | 6 478 990 | 83,15 |
| Hiszpania | 5 910 816 | 6 124 630 | 5 453 446 | 4 996 080 | 5 115 263 | 86,54 |
| Polska | 3 823 233 | 4 052 899 | 4 215 256 | 4 102 463 | 4 183 851 | 109,43 |
| Holandia | 3 565 331 | 3 482 440 | 3 594 423 | 3 366 926 | 3 287 875 | 92,22 |
| Belgia | 2 486 770 | 2 385 623 | 2 549 847 | 2 368 632 | 2 405 364 | 96,73 |
| Szwecja | 2 173 097 | 2 070 864 | 2 126 391 | 2 058 267 | 2 061 210 | 94,85 |
| Czechy | 1 922 456 | 1 946 991 | 1 902 005 | 1 822 045 | 1 748 832 | 90,97 |
| Finlandia | 1 560 679 | 1 561 546 | 1 553 496 | 1 429 643 | 1 449 481 | 92,88 |
| Austria | 1 391 785 | 1 411 744 | 1 428 351 | 1 418 166 | 1 417 877 | 101,87 |
| Rumunia | 1 655 008 | 1 690 075 | 1 498 857 | 1 357 682 | 1 356 606 | 81,97 |
| Węgry | 1 095 893 | 1 144 781 | 1 113 651 | 1 002 425 | 1 076 212 | 98,20 |
| Grecja | 1 291 604 | 1 319 578 | 1 202 380 | 1 014 977 | 1 010 795 | 78,26 |
| Portugalia | 1 120 921 | 1 095 905 | 1 016 655 | 937 032 | 974 027 | 86,90 |
| Bułgaria | 793 000 | 838 906 | 744 166 | 701 559 | 758 984 | 95,71 |
| Dania | 844 714 | 859 461 | 839 207 | 747 194 | 729 406 | 86,35 |
| Słowacja | 774 652 | 747 543 | 747 550 | 711 599 | 691 282 | 89,24 |
| Irlandia | 633 549 | 664 859 | 635 537 | 574 858 | 621 559 | 98,11 |
| Chorwacja | 402 929 | 424 250 | 394 682 | 359 478 | 359 418 | 89,20 |
| Litwa | 386 546 | 389 493 | 284 178 | 279 988 | 294 500 | 76,19 |
| Słowenia | 299 778 | 307 152 | 307 178 | 287 424 | 284 573 | 94,93 |
| Estonia | 236 997 | 257 309 | 257 493 | 280 629 | 260 357 | 109,86 |
| Łotwa | 187 920 | 204 571 | 193 822 | 186 975 | 183 574 | 97,69 |
| Luksemburg | 197 125 | 193 894 | 194 304 | 181 542 | 175 718 | 89,14 |
| Cypr | 104 837 | 115 260 | 114 700 | 91 615 | 102 261 | 97,54 |
| Malta | 39 080 | 40 137 | 39 294 | 36 663 | 30 400 | 77,79 |
| UE 28 | 76 333 171 | 75 785 856 | 73 871 843 | 69 863 102 | 68 687 748 | 89,98 |

Tabela 2. Udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w latach 2004-2016 (EUROSTAT)**Table 2.** Share of renewable energy in gross final energy consumption in 2004-2016

| Kraje | Udział energii odnawialnej w zużyciu energii brutto w latach, [%] | | | | |
|-----------------|---|------|------|------|------|
| | 2004 | 2007 | 2010 | 2013 | 2016 |
| Szwecja | 38,7 | 44,2 | 47,2 | 52,0 | 53,8 |
| Finlandia | 29,2 | 29,6 | 32,4 | 36,7 | 38,7 |
| Łotwa | 32,8 | 29,6 | 30,4 | 37,1 | 37,2 |
| Austria | 22,7 | 27,0 | 30,2 | 32,4 | 33,5 |
| Dania | 14,5 | 17,8 | 22,1 | 27,4 | 32,2 |
| Estonia | 18,4 | 17,1 | 24,6 | 25,6 | 28,8 |
| Portugalia | 19,2 | 21,9 | 24,2 | 25,7 | 28,5 |
| Chorwacja | 13,2 | 22,2 | 25,1 | 28,0 | 28,3 |
| Litwa | 17,2 | 16,5 | 19,6 | 22,7 | 25,6 |
| Rumunia | 17,0 | 18,3 | 23,4 | 23,9 | 25,0 |
| Słowenia | 16,1 | 15,6 | 20,4 | 22,4 | 21,3 |
| Bułgaria | 9,5 | 9,2 | 14,1 | 19,0 | 18,8 |
| Włochy | 5,6 | 9,8 | 13,0 | 16,7 | 17,4 |
| Hiszpania | 8,3 | 9,7 | 13,8 | 15,3 | 17,3 |
| UE 28 | 8,3 | 10,5 | 12,9 | 15,2 | 17,0 |
| Francja | 9,4 | 10,3 | 12,7 | 14,1 | 16,0 |
| Grecja | 6,9 | 8,2 | 9,8 | 15,0 | 15,2 |
| Czechy | 5,9 | 8,0 | 10,5 | 13,8 | 14,9 |
| Niemcy | 5,8 | 9,1 | 10,5 | 12,4 | 14,8 |
| Węgry | 4,4 | 8,6 | 12,7 | 16,2 | 14,2 |
| Słowacja | 5,7 | 7,8 | 9,1 | 10,1 | 12,0 |
| Polska | 6,9 | 6,9 | 9,3 | 11,4 | 11,3 |
| Irlandia | 2,4 | 3,7 | 5,7 | 7,7 | 9,5 |
| Cypr | 3,1 | 4,0 | 6,0 | 8,1 | 9,3 |
| Wielka Brytania | 1,2 | 1,8 | 3,7 | 5,7 | 9,3 |
| Belgia | 1,9 | 3,1 | 5,7 | 7,5 | 8,7 |
| Malta | 0,1 | 0,2 | 1,0 | 3,7 | 6,0 |
| Holandia | 1,9 | 3,3 | 3,9 | 4,8 | 6,0 |
| Luksemburg | 0,9 | 2,7 | 2,9 | 3,5 | 5,4 |

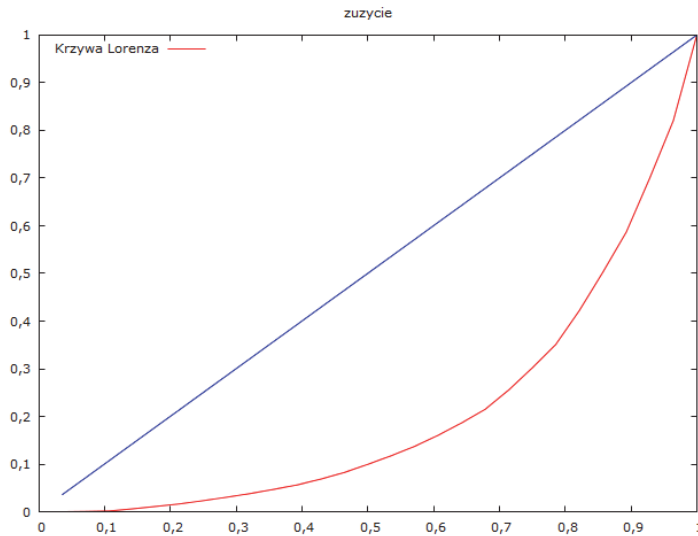
Tabela 3. Źródła energii odnawialnej w zużyciu całkowitym tej energii w 2016 roku (EUROSTAT)

Table 3. Sources of renewable energy in total consumption of this energy in 2016 (EUROSTAT)

| Kraje | Źródła energii odnawialnej w % | | | | |
|-----------------|--------------------------------|------|-------|--------|-------------|
| | biopaliwa | woda | wiatr | słońce | geotermalna |
| Estonia | 94,4 | 0,3 | 5,3 | 0,0 | 0,0 |
| Węgry | 92,4 | 0,7 | 2,0 | 0,9 | 4,0 |
| Czechy | 90,3 | 4,0 | 1,0 | 4,7 | 0,0 |
| Litwa | 90,1 | 2,7 | 6,7 | 0,4 | 0,1 |
| Luksemburg | 86,8 | 4,5 | 3,9 | 4,8 | 0,0 |
| Łotwa | 86,0 | 13,3 | 0,7 | 0,0 | 0,0 |
| Finlandia | 84,7 | 12,8 | 2,5 | 0,0 | 0,0 |
| Polska | 84,6 | 2,1 | 12,3 | 0,7 | 0,3 |
| Belgia | 79,8 | 0,8 | 12,0 | 7,4 | 0,1 |
| Dania | 75,6 | 0,0 | 21,9 | 2,3 | 0,1 |
| Holandia | 74,5 | 0,2 | 19,0 | 4,4 | 1,8 |
| Słowacja | 72,4 | 23,8 | 0,0 | 3,3 | 0,5 |
| Wielka Brytania | 69,9 | 3,0 | 20,9 | 6,2 | 0,0 |
| Niemcy | 67,3 | 4,5 | 17,4 | 10,1 | 0,7 |
| Bułgaria | 67,2 | 17,4 | 6,3 | 7,3 | 1,8 |
| Francja | 67,2 | 21,0 | 7,5 | 3,3 | 1,0 |
| Chorwacja | 65,1 | 29,5 | 4,4 | 0,6 | 0,5 |
| EU 28 | 64,8 | 13,9 | 12,0 | 6,2 | 3,1 |
| Szwecja | 63,4 | 29,2 | 7,3 | 0,1 | 0,0 |
| Rumunia | 62,7 | 25,0 | 9,1 | 2,5 | 0,6 |
| Słowenia | 58,5 | 34,4 | 0,0 | 3,0 | 4,0 |
| Austria | 58,3 | 34,1 | 4,5 | 2,8 | 0,3 |
| Portugalia | 51,1 | 24,1 | 19,1 | 2,8 | 2,8 |
| Włochy | 50,6 | 14,0 | 5,9 | 8,1 | 21,4 |
| Irlandia | 45,7 | 5,3 | 47,7 | 1,3 | 0,0 |
| Grecja | 43,4 | 18,4 | 17,1 | 20,8 | 0,4 |
| Hiszpania | 39,6 | 18,0 | 24,1 | 18,2 | 0,1 |
| Malta | 38,4 | 0,0 | 0,0 | 61,6 | 0,0 |
| Cypr | 28,5 | 0,0 | 13,6 | 56,8 | 1,1 |

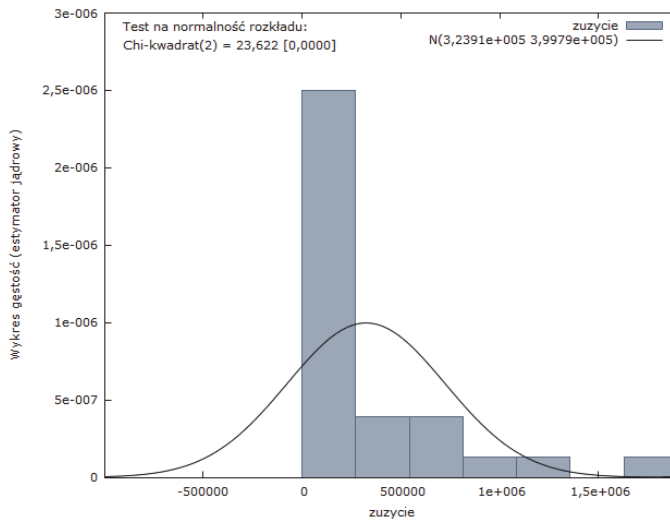
Zbadano również nierównomierność rozkładu zużycia energii ogółem i podobnie energii odnawialnej. Do określenia stopnia koncentracji zużycia energii w krajach Unii Europejskiej zastosowano współczynnik Giniego. Dane dotyczyły początku okresu badań, czyli roku 2004 i końcowego etapu, czyli 2016 roku, zaś liczba obserwacji wynosiła 28. Współczynnik Giniego dla energii ogółem w 2004 roku obliczony z próby wyniósł 0,62, zaś estymowany współczynnik dla populacji 0,65. Oznacza to bardzo dużą koncentrację zużycia energii w kilku krajach UE. W przypadku powtórzenia badań dla roku 2016 wyniki były prawie identyczne (współczynnik z próby = 0,62, a estymowany dla populacji = 0,64). Na rynku energii nie nastąpiły więc żadne istotne zmiany w rozłożeniu konsumpcji energii. Podobne obliczenia wykonano w odniesieniu do energii odnawialnej. Współczynnik Giniego dla tego rodzaju energii w 2004 roku obliczony z próby wyniósł 0,58, zaś estymowany współczynnik dla populacji 0,61. Przy powtórzonych badaniach wyniki były niemal identyczne (współczynnik z próby = 0,59, zaś estymowany = 0,61). Dodatkowo zróżnicowanie dla zużycia energii odnawialnej w 2016 roku przedstawiono na krzywej koncentracji Lorenza (rys. 1). Mimo, że następowały zmiany w wielkości zużytej energii ogółem i odnawialnej, właściwie nie nastąpiły zmiany w strukturze. Kraje o największym zużyciu energii ciągle posiadały dominującą pozycję. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że rynek energii w UE charakteryzował się dużą stabilnością.

Najwięcej energii ogółem zużywano w Niemczech, Francji, Wielkiej Brytanii, Włoszech i Hiszpanii, czyli największych gospodarkach UE. W przypadku energii odnawialnej miejsce Wielkiej Brytanii zajmowała Szwecja. W strukturze konsumpcji energii odnawialnej małe znaczenie miały najmniejsze państwa. Potwierdza to również wykres gęstości (rys. 2). W 19 krajach, co stanowiło 68% wszystkich państw, zużywano do 271 tys. teradżuli energii w 2016 roku. Zużycie energii odnawialnej nie było zgodne z rozkładem normalnym.



Rys. 1. Krzywa koncentracji Lorenza dla zużycia energii odnawialnej w krajach UE w 2016 roku

Fig. 1. Lorenz concentration curve for the consumption of renewable energies in EU countries in 2016



Rys. 2. Wykres gęstości (estymator jądrowy) dla zużycia energii odnawialnej w krajach UE w 2016 roku

Fig. 2. Graph of kernel density estimation for renewable energy consumption in EU countries in 2016

W celu stwierdzenia związku między udziałem energii odnawialnej w zużyciu całkowitym energii w krajach Unii Europejskiej a parametrami, które mogły być z nim związane, zostały obliczone współczynniki korelacji liniowej Pearsona (tab. 4). Jako wartość graniczną poziomu istotności przyjęto $p = 0,05$. Istotne wyniki zostały oznaczone szarym tłem w tabeli. Współczynniki korelacji zostały policzone dla krajów UE w latach 2004-2016 i z podziałem na okresy stabilizacji gospodarczej w latach 2004-2008, kryzysu gospodarczego w latach 2009-2010, wychodzenia kryzysu i ponownego wzrostu gospodarczego w latach 2011-2016. W pracy starano się sprawdzić korelację, która nie wskazuje, że dany czynnik wpływa na inny, tylko że istnieje między nimi silny lub słaby związek.

Tabela 4. Współczynniki korelacji liniowej Pearsona między udziałem energii odnawialnej w zużyciu całkowitym a wybranymi parametrami

Table 4. Pearson's linear correlation coefficients between the share of renewable energy in total energy consumption and selected parameters

| Badane parametry | Współczynniki korelacji liniowej Pearsona dla lat | | | |
|--|---|-----------|-----------|-----------|
| | 2004-2008 | 2009-2010 | 2011-2016 | 2004-2016 |
| Współczynniki korelacji między udziałem energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto a | | | | |
| PKB na mieszkańca | -0,100 | -0,137 | -0,094 | -0,079 |
| p value | 0,240 | 0,314 | 0,226 | 0,148 |
| Konsumpcja gospodarstw domowych na osobę | -0,128 | -0,142 | -0,043 | -0,060 |
| p value | 0,132 | 0,297 | 0,580 | 0,273 |
| Liczba ludności | -0,242 | -0,235 | -0,242 | -0,234 |
| p value | 0,004 | 0,081 | 0,002 | 0,001 |
| Powierzchnia w km ² | - | - | - | -0,233 |
| p value | | | | 0,001 |
| Lesistość w % | - | - | - | 0,675 |
| p value | | | | 0,001 |

Stwierdzono słabe ujemne związki udziału energii odnawialnej w całkowitym zużyciu z liczbą ludności (poza okresem 2009-2010) oraz z powierzchnią kraju. Badane parametry są dosyć stałe w krótkim okresie czasu i decydują o potencjale danego kraju. Już wcześniej wykazano, że produkcja energii ogółem, w tym odnawialnej była skoncentrowana

w największych obszarowo państwach, ale nie miały one największego udziału tej energii w konsumpcji energii całkowitej. Istotna była również relacja udziału energii odnawialnej i lesistości (udziału lasów w powierzchni kraju). W tym przypadku zależność była silna i dodatnia. Spowodowane to było tym, że w większości krajów biomasa z lasów stanowiła główne źródło energii odnawialnej. W ten sposób państwa starały się wypełniać limity nakładane przez UE.

5. Podsumowanie

Współcześnie nie można zrezygnować z dnia na dzień z energii ze źródeł nieodnawialnych, ale można stopniowo wprowadzać bardziej ekologiczne źródła odnawialne. Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie wniosków.

- 1 Udział energii odnawialnej w zużyciu całkowitym energii w krajach UE systematycznie rośnie. Wskaźnik ten nie był uzależniony od czynników ekonomicznych, gdyż zarówno pierwsze, jak i ostatnie kraje w rankingu, pod względem udziału energii odnawialnej w zużyciu całkowitym, wywodziły się z Europy Zachodniej.
- 2 Występowała duża koncentracja konsumpcji energii odnawialnej w kilku państwach UE. Rynek był bardzo stabilny, bo w latach 2004-2016 nie zmieniła się koncentracja zużycia energii. Dodatkowo osiągnięto praktycznie takie samo skupienie w przypadku zużycia energii ogółem, jak i odnawialnej. W pierwszej piątce krajów były największe powierzchniowo i gospodarczo kraje. W przypadku zużycia energii odnawialnej w top 5 zamiast Wielkiej Brytanii znalazła się Szwecja.
- 3 Dominującym źródłem energii odnawialnej w prawie wszystkich krajach były biopaliwa. Stosowanie energii z innych źródeł nie było uzależnione od poziomu rozwoju gospodarczego, ale od naturalnych warunków topograficznych i klimatycznych, które pozwalały na zastosowanie danych technologii, jak elektrownie wykorzystujące energię wody, czy też siłę wiatru lub energię słońca.
- 4 Nie było istotnego związku między sytuacją gospodarczą kraju a zużyciem energii odnawialnej. Postawiona w pracy hipoteza została odrzucona. Stwierdzono silne dodatnie zależności między udziałem lasów w powierzchni kraju a udziałem energii odnawialnej w zużyciu całkowitym energii. Słabe ujemne relacje wykazano również w przy-

padku parametrów dotyczących potencjału, jak liczba ludności i powierzchnia kraju.

- 5 Przedstawione badania pozwalają na stwierdzenie, że rozwój produkcji i w rezultacie zużycia energii odnawialnej w krajach UE jest uzależniony od wielu nieekonomicznych czynników. Niektóre są trudno mierzalne, jak polityczne. Problematyka odnawialnych źródeł energii jest bardzo ważna w kontekście ochrony środowiska naturalnego.

Literatura

- Borgosz-Koczwara, M., Herlender, K. (2008). Bezpieczeństwo energetyczne a rozwój odnawialnych źródeł energii. *Energetyka*, 3, 194-197.
- Renewable Energy Road Map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future*, Commission Communication of 10 January 2007, COM(2006) 848 final.
- Czaja, P., Kwaśniewski, K. (2016). Polski węgiel, energia i środowisko – szanse i zagrożenia. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18, 38-60.
- Czyżewski, R., Wrocławski, M. (2012). Koncepcja funkcjonowania sieci dystrybucyjnych, opartych na lokalnych obszarach bilansowania, czynnikiem wspierającym rozwój generacji rozproszonej i poprawę efektywności energetycznej. *Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki*, 1, 41-46.
- Dagum, C. (1980) The Generation and Distribution of Income, the Lorenz Curve and the Gini Ratio. *Economie Appliquée*, 33, 327-367.
- Damgaard, C., Weiner, J. (2000). Describing Inequality in Plant Size or Fecundity. *Ecology*, 81, 1139-1142.
- Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union* L 140, 5 June 2009, 16-47.
- Directive 2009/72/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in electricity, and repealing Directive 2009/54/EC (2nd energy directive), which repealed Directive 96/92/EC. *Official Journal of the European Union* L 211, 14 August 2009, 55-93.
- Dixon, P. M., Weiner, J., Mitchell-Olds, T., Woodley, R. (1988). Erratum to 'Bootstrapping the Gini Coefficient of Inequality.' *Ecology*, 69, 1307.
- Doornik, J.A., Hansen, H. (1994). *An Omnibus Test for Univariate and Multivariate Normality*, Working Paper, Nuffield College, Oxford University, U.K. Lobato, I.

- Energy for the Future: Renewable Sources of Energy – Green Paper for a Community Strategy*. COM(96) 576, 1996.
- Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan*. COM(97) 599 final (26/11/1997).
- European Commission, Green Paper – Towards a European strategy for the security of energy supply*. COM(2000) 769, november 2000.
- Gieremek, K., Włodarczyk, W. (2005). Rozwój odnawialnych źródeł energii w latach 1999-2004-ocena mechanizmów wspierania. *Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki, 1*, 32-33.
- Green paper. A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy, Commission of the European Communities*. {SEC(2006) 317}, Brussels, 8.03.2006, COM(2006) 105 final.
- Jajuga, K., Walesiak, M. (2004) *Remarks on the Dependence Measures and the Distance Measures*, (w:) K. Jajuga, M. Walesiak (red.), Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania, Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu nr 1022, AE, Wrocław, 348-354.
- Kowalak, T. (2005), Tworzenie rynku energii elektrycznej i restrukturyzacja sektora energetycznego – spojrzenie regulatora. *Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki, 1*, 11-16.
- Kulczycki, P. (2005) *Estymatory jądrowe w analizie systemowej*. WNT, Warszawa.
- Lenort, R., Staš, D., Wicher, P., Holman, D., i Ignatowicz, K. (2017). Comparative Study of Sustainable Key Performance Indicators in Metallurgical Industry. *Rocznik Ochrona Środowiska, 19*, 36-51.
- Motowidlak, T. (2012). Wpływ kryzysu finansowego strefy euro na rozwój sektora energii odnawialnej. *Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Oeconomica, 273*, 287-299.
- Piekarski, W., Zajac, G., Szyszlak, J. (2006). Odnawialne źródła energii jako alternatywa paliw konwencjonalnych w pojazdach samochodowych i ciągnikach. *Inżynieria Rolnicza, 10*, 91-96.
- Rokicki, T. 2013, The importance of logistics in agribusiness sector companies in Poland. *Economic Science for Rural Development: production and cooperation in agriculture / finance and taxes. Proceedings of the International Scientific Conference, 30*, 116-120.
- Rokicki, T. (2016). Situation of steel industry in European Union, *In Metal 2016: 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. Conference Proceedings*. Ostrava: TANGER Ltd., 2016, 1981-1986.
- Rokicki, T., (2017). Segmentation of the EU countries in terms of the metallurgical industry, *In Metal 2017: 26th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. Conference Proceedings*. Ostrava: TANGER Ltd., 2017, 184.

- Starzyńska, W. (2002). *Statystyka praktyczna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 102.
- Viktarovich, N., Czechowska-Kosacka, A. (2016). Energy production from biomass in a trigeneration system. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 18, 1007-1017.
- Żelazna, A. (2013) The Influence of Collector Type on Emission Indicators in Solar Systems Life Cycle Assessment. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15, 258-271.
- Żelazna, A., Gołębiowska, J. (2015). The Measures of Sustainable Development – a Study Based on the European Monitoring of Energy-related Indicators. *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 10(2), 169-177.

Use of Renewable Energy Sources in European Union Countries

Abstract

The main aim of the work was to show the degree of renewable energy use in the European Union countries. All European Union member states were selected for research purposefully. The research period concerned the years 2004-2016. The sources of materials were EUROSTAT data, domestic and foreign literature. For the analysis and presentation of materials, descriptive, tabular, graphical methods, dynamics indicators with a fixed base, Gini concentration coefficient, concentration analysis using the Lorenzo curve, graph of kernel density estimation, Pearson's linear correlation coefficients were used. Energy obtained from renewable sources enables solving problems related to the depletion of conventional energy sources and is very important to protect the natural environment. The share of renewable energy in total energy consumption in EU countries has been systematically growing and was not dependent on economic factors. There was a high concentration of renewable energy consumption in couple of EU countries. The market was very stable. Biofuels were the dominant source of renewable energy in almost all countries. The use from other sources was not dependent on the level of economic development, but on natural topographical and climatic conditions. There was a strong positive relationship between the share of forests in the country's area and the share of renewable energy in total energy consumption. This was due to the fact that biomass from forests was the main source of renewable energy in most countries. In this way, countries tried to meet the limits imposed by the EU.

Streszczenie

Celem głównym pracy było ukazanie stopnia wykorzystania energii odnawialnej w krajach Unii Europejskiej. W sposób celowy wybrano do badań wszystkie kraje członkowskie Unii Europejskiej. Okres badań dotyczył lat 2004-2016. Źródłami materiałów były dane EUROSTAT, literatura krajowa i zagraniczna. Do analizy i prezentacji materiałów zastosowano metody opisową, tabelaryczną, graficzną, wskaźniki dynamiki o podstawie stałej, współczynnik koncentracji Giniego, analiza koncentracji za pomocą krzywej Lorenza, wykres gęstości (estymator jądrowy), współczynniki korelacji liniowej Pearsona. Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych umożliwia rozwiązanie problemów związanych z wyczerpywaniem się konwencjonalnych źródeł energii i spełnienie postulatów ochrony środowiska. Udział energii odnawialnej w zużyciu całkowitym energii w krajach UE systematycznie rósł i nie był uzależniony od czynników ekonomicznych. Występowała duża koncentracja konsumpcji energii odnawialnej w kilku państwach UE. Rynek był bardzo stabilny. Dominującym źródłem energii odnawialnej w prawie wszystkich krajach były biopaliwa. Stosowanie z innych źródeł nie było uzależnione od poziomu rozwoju gospodarczego, ale od naturalnych warunków topograficznych i klimatycznych. Stwierdzono silne dodatnie zależności między udziałem lasów w powierzchni kraju a udziałem energii odnawialnej w zużyciu całkowitym energii. Spowodowane to było tym, że w większości krajów biomasa z lasów stanowiła główne źródło energii odnawialnej. W ten sposób państwa starały się wypełniać limity nakładane przez UE.

Słowa kluczowe:

energia odnawialna, Unia Europejska, biopaliwa, koncentracja zużycia energii

Keywords:

renewable energy, European Union, biofuels, concentration of energy consumption