

## ZMIANY NA RYNKU ENERGII ODNAWIALNEJ W UNII EUROPEJSKIEJ W KONTEKŚCIE STRATEGII CYRKULARNEJ BIOGOSPODARKI

*Jarosław Gołębiewski*

Katedra Polityki Europejskiej i Marketingu Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego  
w Warszawie

Kierownik Katedry: dr hab. Joanna Szwacka-Mokrzycka, prof. SGGW

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, bioenergia, odpady  
*Key words: circular economy, bioenergy, waste*

JELcode: D31, P36, P46

S y n o p s i s. Zwiększające się wraz z rozwojem cywilizacyjnym zapotrzebowanie na energię, przy wyczerpywaniu się jej tradycyjnych zasobów – głównie paliw kopalnych oraz towarzyszący ich zużyciu wzrost zanieczyszczenia środowiska naturalnego, powodują zwiększenie zainteresowania wykorzystaniem energii ze źródeł odnawialnych. W opracowaniu dokonano oceny zmian w produkcji i zużyciu energii ze źródeł odnawialnych w warunkach rozwoju cyrkularnej biogospodarki. Przedstawiono ogólną strukturę rynku energii, a następnie przeanalizowano znaczenie bioenergii, pozostałych OZE i energii pochodzącej z odpadów w systemie energetycznym UE. Badania wykazały, że dotychczasowa polityka UE przyniosła znaczący wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii w strukturze produkcji i zużycia energii w UE. Stwierdzono także, że wykorzystanie odpadów w produkcji energii jest w UE niskie i znacznie zróżnicowane między poszczególnymi krajami członkowskimi.

### WPROWADZENIE

Energia ze źródeł odnawialnych oznacza energię pochodzącą z naturalnych powtarzających się procesów przyrodniczych, pozyskiwaną z odnawialnych niekopalnych źródeł energii (energia wody, wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalna, fal, prądów i pływów morskich oraz energia wytwarzana z biopaliw stałych, biogazu i biopaliw ciekłych), a także energię otoczenia (środowiska naturalnego) wykorzystywaną przez pompy ciepła [GUS 2017]. Produkcja bioenergii odgrywa kluczową rolę w procesie dekarbonizacji energii elektrycznej [IEA 2018] oraz wywołuje wiele pozytywnych efektów w zakresie bezpieczeństwa energetycznego, rozwoju obszarów wiejskich i wzrostu dochodów gospodarstw domowych [Acosta-Michlik i in. 2011]. Na poziomie regionalnym produkcja bioenergii może wpływać na produkcję rolniczą i stwarzać nowe rozwiązania w zakresie gospodarowania odpadami. Przejście danej gospodarki do niskoemisyjnej zależy od położenia kraju, a wykorzystanie gruntów do produkcji roślin energetycznych

jest często krytykowane [Wicki 2017]. Zwiększenie produkcji bioenergii wywołuje zagrożenia i obawy, dotyczące głównie bezpieczeństwa żywnościowego, oddziaływania środowiskowego zakładów wytwórczych [Schubert, Blasch 2010], zmniejszenia różnorodności biologicznej i zwiększonego zapotrzebowania na grunty rolne. Ma to wpływ na społeczną akceptację produkcji bioenergii i jej rozmieszczenie [McCormick 2010].

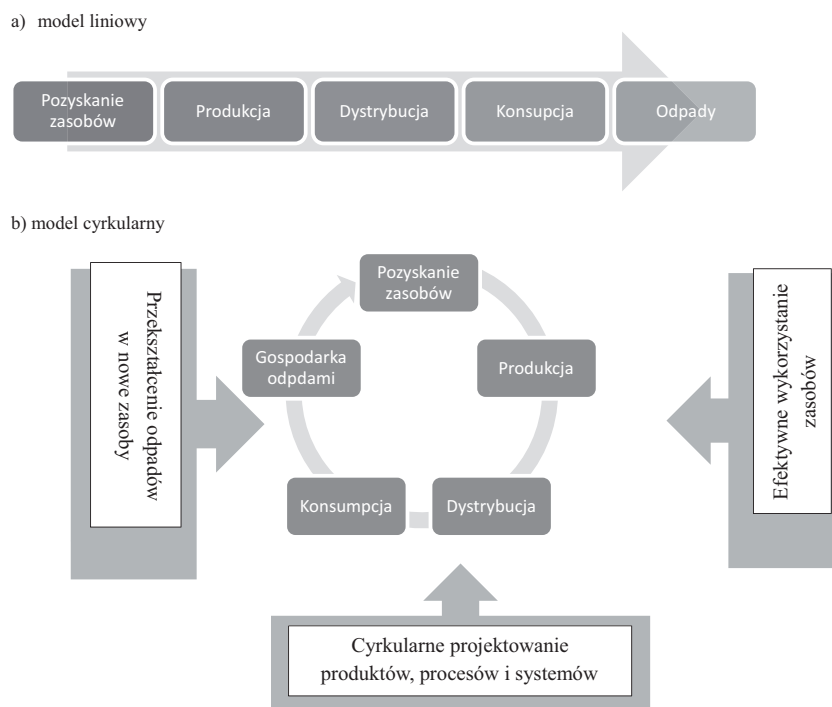
Opracowanie prezentuje tendencje występujące w Unii Europejskiej (UE) w ostatnich latach, związane z rozwojem odnawialnych źródeł energii. Celem badania było dokonanie oceny zmian znaczenia odnawialnych źródeł energii, w tym bioenergii i energii pochodzącej z odpadów w UE w kontekście strategii cyrkularnej biogospodarki bazującej na odpadach.

## STRATEGIE BIOGOSPODARKI I GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM JAKO ELEMENTY ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU UE

Wiele z wyzwań, przed którymi stoi współczesne społeczeństwo, takich jak zmiany klimatu, wzrost populacji, wyczerpywanie się zasobów naturalnych i surowców, skłoniło społeczność międzynarodową do poszukiwania trwałych wzorców produkcji i konsumpcji [EC 2012]. Gospodarka i społeczeństwo wymagają trwałej podaży i wykorzystania surowców w celu zaspokojenia potrzeb rosnącej globalnej populacji. Aby zmniejszyć zależność gospodarki od zasobów naturalnych, UE proponuje koncepcję biogospodarki, w ramach której wspiera się zrównoważoną produkcję zasobów odnawialnych w rolnictwie, rybnictwie i akwakulturze, a także leśnictwie oraz ich przekształcenie w żywność, pasze, biomateriały i bioenergię [EC 2012, 2018a]. Biogospodarka jest reakcją UE na kluczowe wyzwania środowiskowe, przed jakimi stoi obecnie świat, a jej głównym celem jest przekształcanie dostępnych zasobów biomasy w produkty o jak największej wartości dodanej. Uzupełnieniem koncepcji biogospodarki stała się w ostatnich latach idea gospodarki o obiegu zamkniętym (*Circular Economy*) (Chyłek i in. 2016, EC 2014, Winans i in. 2017) (rysunek 1.).

Gospodarka o obiegu zamkniętym przyczynia się do zrównoważonego rozwoju we wszystkich trzech wymiarach: ekonomicznym, społecznym i środowiskowym [Korhonen i in. 2018] i wpisuje się w realizację głównego celu UE, którym jest rozwój konkurencyjnej, zasobooszczędnej i niskoemisyjnej gospodarki do 2050 r. [EC 2015]. Przejście do gospodarki o obiegu zamkniętym wymaga odejścia od linearnego łańcucha dostaw i zastąpienia go modelem cyrkularnym przez inteligentne i efektywne wykorzystanie zasobów, przekształcenie odpadów w nowe zasoby oraz zrównoważone projektowanie produktów, procesów i systemów [EMAF 2012, EMAF 2015].

Sz szczególnie ważnym problemem w ramach cyrkularnej gospodarki jest efektywne wykorzystanie odpadów. W krajach UE są wytwarzane duże ilości odpadów, zawierających ogromną różnorodność składników, które mają wysoką potencjalną wartość jako surowiec do innych procesów produkcyjnych [Stenmarck i in. 2016, Vilariño i in. 2017]. Zwiększenie skuteczności w przekształcaniu odpadów w użyteczne produkty, takie jak chemikalia, biopaliwa, biomateriały wymaga postępu w badaniach oraz wdrażaniu nowych technologii [Korhonen i in. 2018]. W ramach cyrkularnego modelu gospodarki minimalizuje się zużycie materiałów, a odpady są poddawane recyklingowi i ponownie wykorzystywane do produkcji nowych materiałów [EC 2014]. Nieuniknione odpady po-



Rysunek 1. Liniowy i cyrkularny model gospodarki

Źródło: opracowanie własne.

wstające w gospodarce są przetwarzane w najmniej szkodliwy dla środowiska i zdrowia ludzkiego sposób lub są wykorzystywane do wytwarzania energii. Tylko niewielki odsetek powstających w gospodarce odpadów jest składowany na wysypiskach.

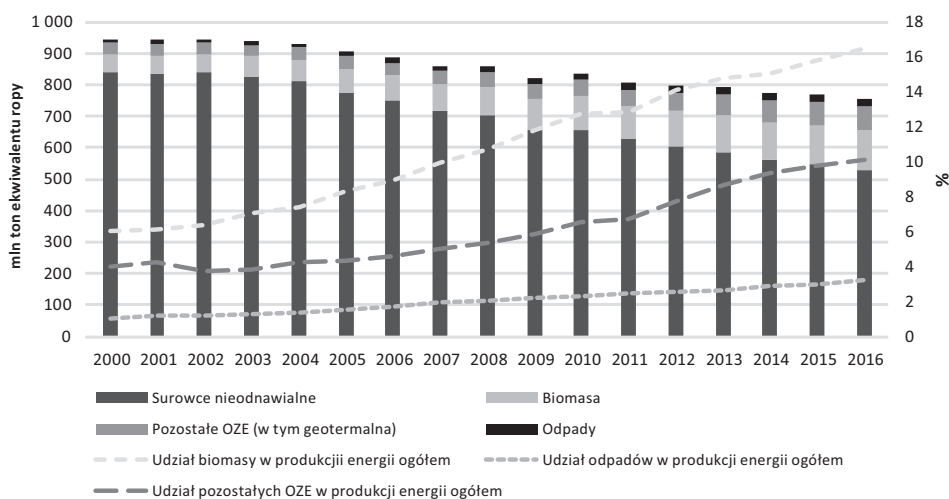
W dokumentach Komisji Europejskiej podkreśla się, że gospodarka odpadami w UE może otworzyć nowe możliwości biznesowe, poprawić dostawy surowców do przemysłu i zapewnić ekologiczną energię, a tym samym przyczynić się do dekarbonizacji systemu energetycznego [EC 2017]. W tych ramach państwa członkowskie UE w znacznym stopniu ukierunkowały swoją politykę w zakresie gospodarowania odpadami na zapobieganie ich powstawaniu, unieszkodliwianie i recykling. W wyniku tego ilość odpadów poddanych recyklingowi zwiększyła się prawie trzykrotnie, a składowiska odpadów zmniejszyły się o połowę w ciągu ostatniej dekady w UE [Scarlat i in. 2018]. W dalszym ciągu jednak znaczny odsetek odpadów powstających w krajach UE trafia na wysypiska śmieci i jest składowany.

## PRZEMIANY W STRUKTURZE RYNKU ENERGII W UE

Rozwój produkcji energii w Unii Europejskiej w ciągu ostatnich dwóch dekad stymulowany był głównie przez zachęty stosowane przez europejskie i krajowe władze publiczne w zakresie odnawialnych źródeł energii. Energia ze źródeł odnawialnych (OZE) oznacza energię z odnawialnych źródeł niekopalnych, a mianowicie energię wiatru, ener-

gię promieniowania słonecznego, energię aerothermalną, geothermalną i hydrothermalną, energię oceanów, hydroenergię, energię pozyskiwaną z biomasy oraz gazu pochodzącego z wysypisk śmieci i oczyszczalni ścieków [GUS 2017]. Polityka UE w zakresie OZE odwoływała się do wielu przyczyn uzasadniających konieczność publicznego wsparcia tego sektora. Pierwszą z nich są zmiany klimatu. W sytuacji, gdy sektor transportu odpowiada za znaczny odsetek emisji gazów cieplarnianych, biopaliwa są postrzegane jako istotny instrument unijny, ukierunkowany na redukcję emisji w sektorze transportu. Drugim znaczącym czynnikiem jest zmniejszenie zależności od zewnętrznych dostaw ropy. Znaczny odsetek zużywanej ropy w UE pochodzi z importu, a ograniczenie zależności od zewnętrznych dostawców jest silnym bodźcem motywującym do rozwoju sektora odnawialnych źródeł energii. Ważną przesłanką rozwoju produkcji bioenergii i biopaliw w UE było również stworzenie rynku zbytu dla sektora rolnictwa, a co za tym idzie, zwiększenie jego dochodów [Bureau i in. 2010].

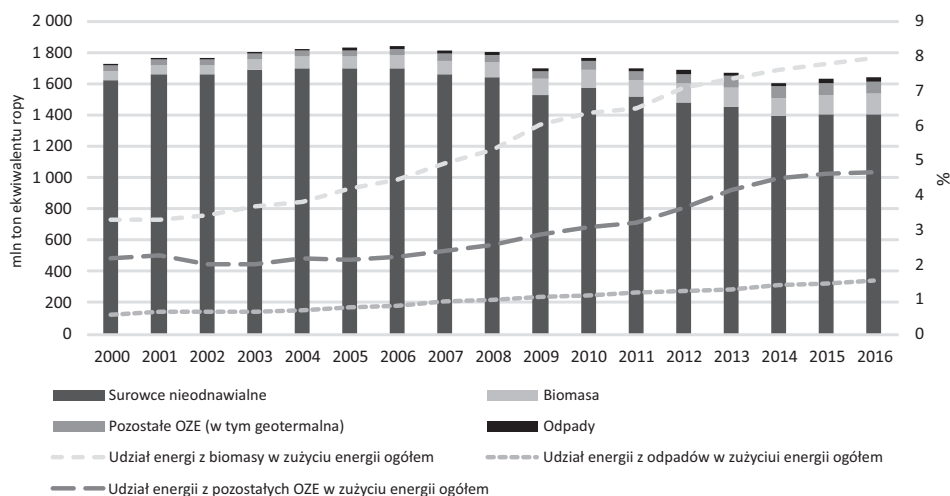
Kluczowymi instrumentami politycznymi wpływającymi na rozwój OZE były: reforma CAP z 1992 roku, dyrektywy biopaliwowe z 2003 roku i pakiet klimatyczno-energetyczny z 2009 roku. W dyrektywie 2009/28/WE ustanowiono ramy regulacyjne dla promowania wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych wyznaczające krajowe cele, które należy osiągnąć do 2020 r., w zakresie udziału energii odnawialnej w ogólnym zużyciu energii i sektorze transportu [EU 2009]. W 2018 r. zostały przyjęte trzy kolejne kluczowe akty prawne zawarte w pakiecie „Czysta energia dla wszystkich Europejczyków”, tj. dyrektywa w sprawie energii odnawialnej, która ustanawia cel UE na poziomie jej udziału co najmniej 32% w 2030 r. [EC 2018b], zmieniona dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej [EC 2018d] i nowe Rozporządzenie (UE) 2018/1999, które zawiera wymóg sporządzania przez państwa członkowskie zintegrowanych krajowych planów energetycznych i klimatycznych na lata 2021-2030 [EC 2018e]. Efektem tej polityki jest znacząca zmiana w strukturze produkcji energii w UE (rysunek 2.).



Rysunek 2. Produkcja energii w UE według źródeł w latach 2000-2016

Źródło: opracowanie własne na podstawie [EC 2018c].

Całkowita produkcja energii pierwotnej w UE-28 zmniejszyła się w latach 2000-2016 z 943,1 Mtoe do 755,4 Mtoe. W tym samym okresie produkcja energii odnawialnej i wytwarzanej z odpadów komunalnych i przemysłowych wzrosła z 104,2 Mtoe w 2000 r. do ponad 225 Mtoe w 2016 r. Produkcja energii z biomasy w 2016 r. osiągnęła poziom ponad 124 Mtoe i była prawie o 50 Mtoe większa niż w 2000 r. W oparciu o pozostałe źródła energii odnawialnej, takie jak energia wody, słoneczna, wiatru i geotermalna, wytworzono w 2016 r. łącznie 76 Mtoe – dwukrotnie więcej niż w 2000 r. Znaczną dynamikę wzrostu odnotowano również w przypadku produkcji energii z odpadów zarówno przemysłowych, jak i komunalnych, takich jak: guma, tworzywa sztuczne, odpady olejów i innych podobnych produktów. Mają one postać stałą lub ciekłą i zaliczane są do paliw odnawialnych lub nieodnawialnych, w zależności od tego czy ulegają biodegradacji czy nie. Do paliw odnawialnych wykorzystywanych w procesie wytwarzania energii elektrycznej i/lub ciepła zaliczane są odpady komunalne o pochodzeniu biologicznym spalane w odpowiednio przystosowanych instalacjach. Są to odpady gospodarstw domowych, szpitali i sektora usług (biomasa odpadowa), zawierające frakcje organiczne ulegające biodegradacji. Produkcja energii z tego typu odpadów wzrosła z 10 Mtoe w 2000 r. do 25 Mtoe w 2016 roku [EC 2018c]. W 2016 r. udział energii pochodzącej z biomasy w końcowym zużyciu energii brutto<sup>1</sup> w Europie osiągnął 8%, w porównaniu z 3% w 2000 r. (rysunek 3.). Pozostałe OZE stanowiły około 5%, a odpady 2% zużycia energii w UE-28. Łącznie udział OZE w zużyciu końcowym energii brutto wyniósł w 2016 r. około 13%. Wskaźnik ten jest jednym z głównych wskaźników pakietu energetyczno-klimatycznego „Europa 2020” i docelowo UE ma osiągnąć 20% struktura w 2020 r.



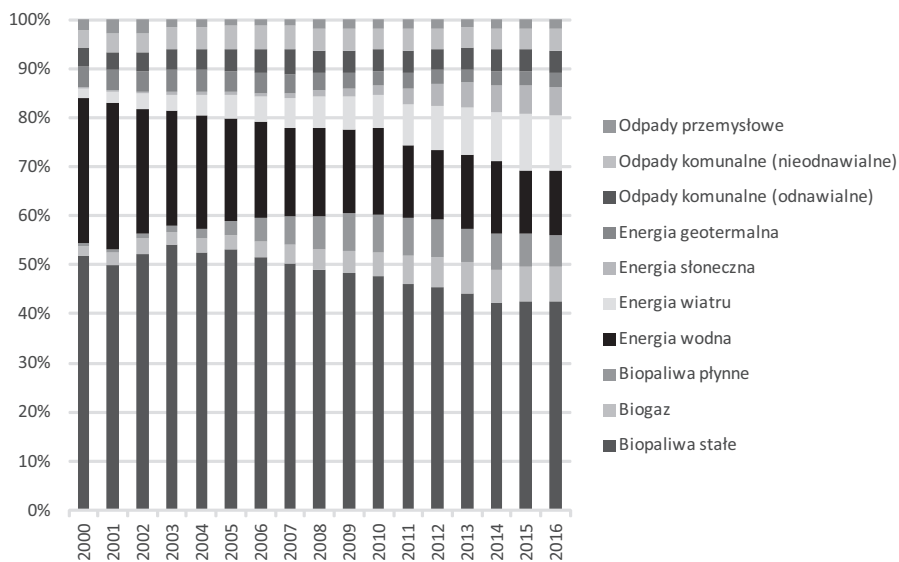
Rysunek 3. Zużycie energii w UE w latach 2000-2016

Źródło: opracowanie własne na podstawie [EC 2018c].

<sup>1</sup> Końcowe zużycie energii brutto oznacza nośniki energii dostarczane do celów energetycznych przemysłowi, sektorowi transportu, gospodarstwu domowemu, sektorowi usług, w tym świadczącemu usługi publiczne, rolnictwu, leśnictwu i rybołówstwu, łącznie ze zużyciem energii elektrycznej i ciepła przez przemysł energetyczny na wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła oraz łącznie ze stratami energii elektrycznej i ciepła podczas przesyłania i dystrybucji.

W latach 2000-2016 struktura zużycia energii ze źródeł odnawialnych w UE wykazywała istotne przemiany. Najważniejsze znaczenie w UE mają biopaliwa stałe, obejmujące organiczne, niekopalne substancje o pochodzeniu biologicznym, które mogą być wykorzystywane w charakterze paliwa do produkcji ciepła lub wytwarzania energii elektrycznej. Podstawowym biopaliwem stałym jest drewno opałowe występujące w postaci polan, okrąglaków, zrębków oraz brykiety, pelety i odpady z leśnictwa w postaci drewna niewypracowanego: gałęzi, żerdzi, przecinek, krzewów, chrustu, karp, a także odpady z przemysłu drzewnego (wióry, trociny) i papierniczego (ług czarny). Odrębną grupę stanowią paliwa pochodzące z plantacji przeznaczonych na cele energetyczne (drzewa szybko rosnące, byliny dwuliścienne, trawy wieloletnie, zboża uprawiane w celach energetycznych) oraz pozostałości organiczne z rolnictwa i ogrodnictwa (np. odpady z produkcji ogrodniczej, odchody zwierzęce, słoma). Do grupy biopaliw stałych zaliczany jest również węgiel drzewny, rozumiany jako stałe pozostałości destylacji rozkładowej i pirolizy drewna i innych substancji roślinnych. W latach 2000-2016 nastąpił znaczący spadek udziału biopaliw stałych w pozyskaniu energii z OZE z 51,8% w 2000 r. do 42,5 % w 2016 r. (rysunek 4.). Natomiast udział biogazu i biopaliw płynnych zwiększył się. Ze względu na sposób pozyskiwania, wyodrębnia się: biogaz wysypiskowy, uzyskiwany w wyniku fermentacji odpadów na składowiskach; biogaz z osadów ściekowych, wytwarzany w wyniku beztlenowej fermentacji osadów ściekowych oraz pozostałe biogazy (m.in. biogaz rolniczy, biogaz uzyskiwany w procesie beztlenowej fermentacji biomasy pochodzącej z odpadów w rzeźniach, browarach i pozostałych branżach żywnościowych).

Udział biogazu w okresie 17 lat zwiększył się z 2,1% w 2000 r. do 7,2% w 2016 roku. W podobnym stopniu zmienił się również udział biopaliw płynnych. Ich udział w strukturze rynku OZE zwiększył się z 0,7% w 2000 r. do 6,5% w 2016 r. Warto zauważyć, że biopaliwa płynne i biogaz stanowią jedynie niewielką część łącznego zużycia energii



Rysunek 4. Struktura zużycia energii wytwarzanej na bazie źródeł odnawialnych i z odpadów w Unii Europejskiej w mln Mtoe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [EC 2018c].

z biomasy, w przypadku której zdecydowanie przeważa biomasa stała wykorzystywana do celów produkcji energii grzewczej i elektrycznej.

Dane zaprezentowane na rysunku 4. wskazują również na istotne zmiany znaczenia pozostałych OZE. Zmiany te polegały na zmniejszeniu się w strukturze zużycia OZE udziału energii wodnej i ze źródeł geotermalnych oraz wzroście udziału energii wiatru i energii słonecznej. Energia wody jest określana przez wielkość energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach wodnych. Do energii odnawialnej zalicza się jedynie produkcję energii elektrycznej w elektrowniach na dopływie naturalnym (przepływowych). Jej udział w strukturze zużycia OZE zmniejszył się z 29,4% w 2000 r. do 13% w 2016 r. Udział energii geotermalnej obniżył się w analizowanym okresie z 4,4% w 2000 r. do 2,9% w 2016 r. Energia geotermalna jest użytkowana bezpośrednio jako ciepło grzewcze dla potrzeb komunalnych oraz w procesach produkcyjnych w rolnictwie, a także do wytwarzania energii elektrycznej. Podobnie jak w przypadku elektrowni wodnych, potencjał elektrowni wiatrowych jest określany przez możliwości generowania przez nie energii elektrycznej. W 2016 r. udział energii wiatrowej w OZE przekroczył 11% – wzrost z 1,8% w 2000 r. Podobnie jak w przypadku energii wiatru nastąpił również znaczący wzrost w strukturze zużycia energii z OZE energii słonecznej z 0,4% w 2000 r. do 5,8% w 2016 r. Znaczenie energii pochodzącej z odpadów w UE pozostaje w dalszym ciągu niewielkie. Udział energii wytwarzanej w oparciu o biodegradowalne odpady komunalne w 2016 r. wynosił 4,5% zużycia energii z OZE. Znaczenie poszczególnych źródeł energii odnawialnej jest zróżnicowane w poszczególnych krajach UE (tabela 1.).

Tabela 1. Zużycie energii ogółem oraz z odnawialnych źródeł i odpadów w krajach UE w 2016 r.

Wyszczególnienie	Zużycie energii ogółem (Mtoe)	Zużycie z odnawialnych źródeł i odpadów							
		OZE i odpady razem		Bioenergia		Pozostałe OZE		Odpady	
		Mtoe	%	Mtoe	%	Mtoe	%	Mtoe	%
UE	1640,6	231,5	14,1	130,0	7,9	76,3	4,7	25,2	1,5
Belgia	57,5	4,6	8,0	2,7	4,8	0,8	1,4	1,1	1,9
Bułgaria	18,1	2,0	10,9	1,3	7,1	0,6	3,5	0,1	0,3
Czechy	41,8	4,6	11,0	3,8	9,1	0,4	1,0	0,4	0,9
Dania	17,4	5,4	31,2	3,3	18,7	1,2	7,0	1,0	5,5
Niemcy	317,3	43,4	13,7	23,1	7,3	12,7	4,0	7,6	2,4
Estonia	6,2	1,0	16,7	0,9	14,7	0,1	0,9	0,1	1,1
Irlandia	14,8	1,2	7,9	0,4	3,0	0,6	4,1	0,1	0,9
Grecja	24,1	2,7	11,2	1,1	4,7	1,5	6,3	0,1	0,2
Hiszpania	122,2	17,7	14,5	6,7	5,5	10,5	8,6	0,5	0,4
Francja	248,7	26,2	10,5	15,0	6,0	8,1	3,3	3,2	1,3
Chorwacja	8,6	2,0	23,4	1,3	15,1	0,7	8,2	0,0	0,1
Włochy	154,7	27,2	17,6	12,3	7,9	12,9	8,3	2,1	1,3
Cypr	2,4	0,2	6,9	0,0	1,3	0,1	4,6	0,0	1,1
Łotwa	4,4	1,7	37,9	1,4	32,0	0,2	5,0	0,0	0,8
Litwa	7,0	1,5	21,5	1,3	18,4	0,1	2,1	0,1	1,1

Tabela 1. cd.

Wyszczególnienie	Zużycie energii ogółem (Mtoe)	Zużycie z odnawialnych źródeł i odpadów							
		OZE i odpady razem		Bioenergia		Pozostałe OZE		Odpady	
		Mtoe	%	Mtoe	%	Mtoe	%	Mtoe	%
Luxemburg	4,2	0,3	6,1	0,2	4,3	0,0	0,7	0,0	1,1
Węgry	25,7	3,2	12,3	2,7	10,5	0,2	0,9	0,2	0,9
Malta	0,7	0,0	3,4	0,0	1,3	0,0	2,1	0,0	0,0
Holandia	78,5	4,6	5,8	1,7	2,2	0,9	1,2	1,9	2,4
Austria	33,9	10,9	32,1	5,7	16,8	4,2	12,4	1,0	2,9
Polska	99,9	9,5	9,5	7,3	7,3	1,4	1,4	0,8	0,8
Portugalia	23,3	5,8	25,1	2,8	11,9	2,8	11,8	0,3	1,3
Rumunia	32,4	6,3	19,4	3,9	12,0	2,3	7,1	0,1	0,3
Słowenia	6,8	1,2	17,2	0,7	9,7	0,5	6,9	0,0	0,7
Słowacja	16,5	1,8	10,8	1,1	6,8	0,4	2,6	0,2	1,3
Finlandia	34,6	10,9	31,4	8,7	25,1	1,6	4,7	0,6	1,7
Szwecja	49,2	19,1	38,7	10,8	21,9	6,7	13,6	1,6	3,3
W. Brytania	189,4	16,7	8,8	9,9	5,2	4,6	2,4	2,2	1,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie [EC 2018c].

Największym zużyciem energii ogółem charakteryzowały się Niemcy (317,3 Mtoe), jednak udział zużycia z odnawialnych źródeł energii w tym kraju nie był już tak wysoki. Najwyższe zużycie energii OZE i z odpadów (ponad 30%) występowało głównie w krajach „starej” Unii (Szwecja, Austria, Finlandia oraz Dania). Do tego grona zaliczyć należy także Łotwę, w której zużycie to również kształtowało się na podobnym poziomie (37,9%). Najniższym udziałem (poniżej 10%) charakteryzowały się m.in. Polska, Wielka Brytania, Belgia, Irlandia, Cypr, Luksemburg, Holandia i Malta. Łotwa charakteryzowała się także największym udziałem bioenergii w zużyciu energii ogółem (32%). Natomiast Dania dominowała pod względem udziału zużycia energii z odpadów (ponad 5,5%). Minimalne wykorzystanie odpadów odnotowano w Bułgarii, Rumunii, Grecji, Chorwacji i na Malcie.

## PODSUMOWANIE

W Unii Europejskiej w ostatnich dwóch dekadach odnotowano w zakresie produkcji biopaliw znaczący wzrost. Ewolucja ta jest skutkiem dwóch dyrektyw, które weszły w życie w 2003 roku, a następnie w 2009 roku i określiły cele w zakresie udziału odnawialnych źródeł w łącznym zużyciu energii w krajach członkowskich.

W latach 2000-2016 w krajach Unii Europejskiej nastąpiło zmniejszenie zużycia energii i zależności od paliw kopalnych. Jest to wynikiem zwiększenia tempa przechodzenia na zużycie energii ze źródeł odnawialnych. W analizowanym okresie udział odnawialnych źródeł energii w strukturze zużycia energii wzrósł prawie dwukrotnie, chociaż



znaczenie źródeł energii odnawialnej jest zróżnicowane w poszczególnych krajach UE. Liderami w zakresie przechodzenia na czystą energię są głównie takie kraje jak Szwecja, Austria, Finlandia oraz Dania. Należy także zwrócić uwagę na Łotwę, która charakteryzuje się wysokim zużyciem OZE i bioenergii. Należy ocenić, iż jest to pozytywny trend, chociaż nadal udział paliw kopalnych na rynku jest bardzo wysoki i stanowią one główne źródło energii, co przyczynia się do rosnącej emisji gazów cieplarnianych.

## LITERATURA

- Acosta-Michlik Lilibeth, Lucht Wolfgang, Bondeau Alberte, Beringer Tim 2011: Integrated assessment of sustainability trade-offs and pathways for global bioenergy production: Framing a novel hybrid approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2791-2809. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000530>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.011>
- Bureau Jean-Christophe, Guyomard Herve, Jacquet Florence, Tréguer David 2010: European bio-fuel policy: How far will public support go? *Handbook of Bioenergy Economics and Policy* (pp. 401-423): Springer.
- Chyłek Eugeniusz, Niepytalski Tomasz, Śliwa Józef 2016: *Biogospodarka o obiegu zamkniętym*. „Przemysł spożywczy” (70), 2-6.
- EC 2012: *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*. Brussels, Belgium, European Commission.
- EC 2014: *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe*. (COM(2014) 398 final).
- EC 2015: *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy*. COM(2015) 614 final.
- EC 2017: *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions The role of waste-to-energy in the circular economy*. (COM(2017) 34 final).
- EC 2018a: *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions A sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment*. (COM(2018) 673 final).
- EC 2018b: *Direktive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources*. L 328/82.
- EC 2018c: *Eurostat database*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.
- EC 2018d: *Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency*.
- EC 2018e: *Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action, amending Regulations (EC) No 663/2009 and (EC) No 715/2009 of the European Parliament and of the Council, Directives 94/22/EC, 98/70/EC, 2009/31/EC, 2009/73/EC, 2010/31/EU, 2012/27/EU and 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council, Council Directives 2009/119/EC and (EU) 2015/652 and repealing Regulation (EU) No 525/2013 of the European Parliament and of the Council*.

- EMAF 2012: *Towards the Circular Economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>.
- EMAF 2015: *Growth Within: a circular economy vision for a competitive Europe*. Retrieved from [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ EllenMacArthurFoundation\\_Growth-Within\\_July15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/ EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf).
- EU 2009: *Direktive 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*.
- GUS 2017: *Energia ze źródeł odnawialnych w 2016 roku*. Warszawa.
- IEA 2018: *IEA BIOENERGY ANNUAL REPORT 2017*. <http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/04/IEA-Bioenergy-Annual-Report-2017.pdf>
- Korhonen Jouni, Honkasalo Antero, Seppälä Jyri 2018: Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46.
- Korhonen Jouni, Nuur Cali, Feldmann Andreas, Birkie Seyoum Eshetu 2018: Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, 175, 544-552. doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.111.
- McCormick Kes 2010: Communicating bioenergy: a growing challenge. 4(5), 494-502. doi:doi:10.1002/bbb.243.
- Scarlat Nicolae, Fahl Fernando, Dallemand Jean-Francois 2018: Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe. doi:10.1007/s12649-018-0297-7.
- Schubert Renate, Blasch Julia 2010: Sustainability standards for bioenergy – A means to reduce climate change risks? *Energy Policy*, 38(6), 2797-2805. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.011.
- Stenmark Åsa, Jensen Carl, Quedsted Tom, Moates Graham 2016: *Estimates of European food waste levels*. FUSIONS Reducing food waste through social innovation. Stockholm. <https://www.eu-fusions.org>.
- Vilariño Maria Virginia, Franco Carol, Quarrington Caitlin 2017: Food loss and Waste Reduction as an Integral Part of a Circular Economy. *Frontiers in Environmental Science*, 5(21). doi:10.3389/fenvs.2017.00021.
- Wicki Ludwik 2017: Changes in Landuse for Production of Energy Crops in Poland. *Roczniki Naukowe Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich*, 104(4), 37-47.
- Winans Kiara, Kendall Alissa, Deng H. 2017: The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 825-833. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123.

Jarosław Gołębiewski

*CHANGES IN THE MARKET OF ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES  
IN THE UE UNDER THE CONDITIONS OF THE STRATEGY OF CIRCULAR  
BIOECONOMY*

*Summary*

*The study evaluates changes in the production and consumption of energy from renewable sources in the conditions of the development of circular bioeconomy. The general structure of the energy market was presented and then the importance of bioenergy, other renewable energy sources and energy from*

*waste in the EU energy system was analyzed. Research shows that the current EU policy has brought a significant increase in the use of renewable energy sources in the structure of energy production and consumption in the EU. It was also found that the use of waste in energy production in the EU is low and significantly diversified in individual member states.*

Adres do korespondencji:

Dr hab. Jarosław Gołębiewski, prof. SGGW (orcid.org/0000-0001-7869-790X)  
Katedra Polityki Europejskiej i Marketingu, Wydział Nauk Ekonomicznych  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa  
e-mail: jaroslaw\_golebiewski@sggw.pl