

# Wybrane aspekty wykorzystania energii z źródeł odnawialnych do produkcji energii elektrycznej

Data wpłynięcia do Redakcji: 04/2024  
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 05/2024

2024, volume 13, issue 2, pp. 1-10

**Joachim Koziół**  
Emerytowany profesor  
Poland



**Streszczenie:** W pracy scharakteryzowano politykę ekologiczną zmierzającą do zastąpienia nieodnawialnych źródeł energii, źródłami odnawialnymi. Przedstawiono historyczne oraz prognozowane wartości światowej, europejskiej oraz krajowej produkcji energii elektrycznej z szczególnym uwzględnieniem wykorzystania OZE. Scharakteryzowano najbardziej prawdopodobne, przewidywane, scenariusze produkcji energii elektrycznej w Polsce do 2040 r. Określono efekty ekologiczne, takie jak: bezpośrednią i skumulowaną emisję CO<sub>2</sub> oraz wskaźnik kosztu termo-ekologicznego, związane z wykorzystaniem OZE. Wskazano na ekologiczne mankamenty energetyki jądrowej. Podano orientacyjne wartości tzw. wyrównanego kosztu energii elektrycznej oraz jednostkowych nakładów inwestycyjnych elektrowni dla różnych źródeł energii napędowej.

**Słowa kluczowe:** aspekty wykorzystania OZE, scenariusze produkcji energii elektrycznej

## WSTĘP

Niezaprzeczalną zaletą wykorzystania energii źródeł odnawialnych (OZE) jest oszczędność zasobów energii nieodnawialnej. Umożliwi to bardziej efektywne wykorzystanie tych zasobów w przyszłości, zarówno pod względem techniczno-technologicznym, jak również pod względem ekonomicznym. Ponadto, pozwoli to na spełnienie jednego z podstawowych warunków zrównoważonego rozwoju tj. konieczności uwzględnienia konsekwencji podejmowanych działań na zdrowie społeczeństwa, a zwłaszcza na warunki życia przyszłych pokoleń.

Duże znaczenie ma wykorzystanie OZE na ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> do otoczenia, co najczęściej jest uważane za ich największy atrybut, ze względu na (co prawda dyskusyjny [1]) wpływ na tzw. antropogeniczne ocieplenie klimatu.

Ocena znaczenia wykorzystania OZE jest stosunkowo złożonym zagadnieniem. Powinno się ją przeprowadzać przy uwzględnieniu, co najmniej, politycznych, prawnych, społecznych, ekologicznych i ekonomicznych aspektów tego wykorzystania.

Próba, takiego podejścia do oceny wykorzystania OZE do produkcji energii elektrycznej jest niniejsze opracowanie.

## **POLITYCZNO-PRAWNE ASPEKTY WYKORZYSTANIA OZE**

Podstawowym, politycznym, celem wykorzystania OZE jest ograniczenie antropogenicznej emisji do otoczenia CO<sub>2</sub>, odpowiedzialnej, zdaniem polityków, w prawie 100%, za ocieplenie klimatu. Powyższe ograniczenie powinno być uzyskane przez znaczącą substytucję nieodnawialnych paliw węglowodorowych przez OZE. Realizacji tego zadania miały sprzyjać akty prawne tj. zawarte porozumienia, podpisane umowy oraz wydane ustawy i rozporządzenia. Do najważniejszych tego typu aktów należą:

- Ramowa Konwencja ONZ z 1992 r., podjęta w Nowym Jorku – jej podstawowym celem było ustalenie ustabilizowanej koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze, która zapobiegałaby niebezpiecznej, antropogenicznej, ingerencji w system klimatyczny [2].
- Protokół z Kioto z 1998 r. – powstały z inicjatywy ONZ, przewidujący redukcję światowej emisji gazów cieplarnianych, w latach 2008-2012, o 5,2% stosunku do poziomu z roku 1990. Protokół wszedł w życie w roku 2005, po jego ratyfikowaniu przez Rosję, dzięki czemu obejmował 141 krajów emitujących 61% światowej emisji gazów cieplarnianych. Protokołu nie ratyfikowały USA, natomiast Kanada odstąpiła od Protokołu w 2011 r. Protokół niemal wykluczył zobowiązań Chin, które obok Indii są jednymi z największych emiterów CO<sub>2</sub> [3].
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego z 2003 r. – ustanawiająca system handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych tzw. systemu EU ETS [2].
- Pakiet energetyczny UE z 2007 r. – przewidujący do 2020 r. zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20%, zmniejszenie zużycia energii o 20%, zwiększenie udziału OZE do 20% całkowitego zużycia energii, zwiększenie udziału biopaliw, w paliwach transportowych, do 10%.
- Pakiet klimatyczny UE z 2008 r. – przewidujący, że każdy kraj członkowski UE będzie miał zindywidualizowany wskaźnik udziału OZE do 2020 r. (Polskę miał obowiązywać udział 15%), po 2013 r. będą sprzedawane na aukcjach pozwolenia (uprawnienia) do emisji CO<sub>2</sub>, przy czym pula uprawnień będzie zredukowana do 21%, sektory nieuczestniczące w systemie obrotu uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub> będą zobowiązane do 10% redukcji emisji, w sektorze transportowym udział biopaliw będzie wynosił 10%.
- Rozporządzenie Komisji UE z 2011 r. – ustanawiające rejestr Unii na okres rozliczeniowy od 2013 r. oraz na kolejne okresy rozliczeniowe w ramach unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych EU ETS [2].
- Umowa pomiędzy Unią Europejską a Konfederacją Szwajcarską w sprawie powiązania ich systemów handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych, która weszła w życie 1 stycznia 2020 r. – zakładająca wzajemne uznawanie uprawnień do emisji wydawanych w ramach obu systemów handlu [4].

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/1119 z dnia 30 czerwca 2021 w sprawie ustanowienia ram na potrzeby osiągnięcia neutralności klimatycznej – określające cel neutralności klimatycznej dla UE w horyzoncie roku 2050 [4].

Wdrażanie systemu EU ETS przebiegało w czterech etapach. Pierwszy etap trwał od 2005 do 2007 r. i miał charakter pilotażowy. Drugi etap trwał od 2008 do 2012 r. i był związany z rozliczeniem zobowiązań podjętych w ramach Protokołu z Kioto. Etap trzeci trwał do 2020 r. Polegał on na poprawie harmonizacji systemu w całej UE. Z kolei etap czwarty jest aktualnie realizowany poprzez działania mające na celu obniżenie emisji gazów cieplarnianych, w 2030 r., o co najmniej 50 % (w porównaniu z emisją z 1990 r.) [5].

14 lipca 2021 r. Komisja Europejska przedstawiła pakiet legislacyjny pod nazwą: „Fit for 55” (gotowi na 55), który w ramach wydawanych ustaw dotyczących klimatu i energii, ma zmienić lub uaktualnić unijne przepisy. Pakiet „Fit for 55” obejmuje 13 propozycji legislacyjnych, wśród których oprócz uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>, istotnym obszarem jest zwiększenie udziału energii odnawialnej, w ramach nowelizacji dyrektywy w sprawie odnawialnych źródeł energii. Komisja zaproponowała, aby zwiększyć udział energii odnawialnej do 40% do roku 2030 [4].

Podsumowując: UE, w zależności od horyzontu czasowego, planowała następujące ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz wykorzystania OZE [5]:

- do 2020 r. zmniejszenie emisji o 20% oraz uzyskiwanie 20% energii ze źródeł odnawialnych (w stosunku do 1990 r.),
- do 2030 r. zmniejszenie emisji o co najmniej 50% (w stosunku do 1990 r.) oraz uzyskiwanie 40% ze źródeł odnawialnych,
- do 2050 r. likwidację emisji netto.

## **PROGNOZY ŚWIATOWEJ I POLSKIEJ STRUKTURY ENERGETYKI DLA PIERWSZEJ POŁOWY XXI WIEKU**

W celu oceny przewidywanych zmian w światowym zużyciu energii, z uwzględnieniem źródeł jej pochodzenia, w tab. 1, zestawiono informacje dotyczące przeszłego (historycznego z roku 2020) i przyszłego (prognozowanego na rok 2050) zużycia.

Wartości podano w ujęciu bezwzględnym oraz względnym (procentowym). W ostatniej kolumnie zamieszczono wartości stosunku  $\xi$  bezwzględnego prognozowanego i historycznego zużycia lub produkcji energii.

Analizując wartości podane w tabeli można zauważyć, że przy stosunkowo niewielkim wzroście zużycia energii pochodzącej ze źródeł nieodwracalnych (1,34 razy) przewiduje się znaczny (2,52 razy) wzrost zużycia OZE. Ponadto prognozowany jest wzrost zużycia wszystkich rodzajów energii pochodzących z źródeł nieodnawialnych, w tym, również z węgla.

**Tabela 1 Historia i prognoza światowego zużycia energii z uwzględnieniem źródeł jej pochodzenia**

Źródło energii	Historia 2020 r.		Prognoza 2050 r.		ξ
	PWh	%	PWh	%	
Olej	52,6	30,3	70,9	26,9	1,35
Gaz	41,8	24,1	65,5	24,9	1,57
Węgiel	44,3	25,6	50,2	19,1	1,13
Energetyka jądrowa	7,9	4,6	9,8	3,7	1,24
Źródła nieodnawialne	146,6	84,7	196,4	74,6	1,34
Źródła odnawialne	26,5	15,3	66,9	25,4	2,52
<b>Razem</b>	<b>173,1</b>	<b>100,0</b>	<b>263,3</b>	<b>100,0</b>	<b>1,52</b>

Źródło: opracowano wg [5, 7].

Z kolei w tabelach 2, 3 i 4. podano analogiczne wartości, jak w tabeli 1., dotyczące światowej, europejskiej i krajowej produkcji energii elektrycznej. Z danych zawartych w tabeli 2. wynika, że przewiduje się 3,18 krotny wzrost światowej produkcji energii elektrycznej pochodzącej z źródeł odnawialnych, w szczególności z energii słonecznej (12,5 krotny) oraz z wiatru (3,89 krotny). Bezpośrednie wykorzystywanie energii słonecznej i wiatrowej ma charakter losowy, jest możliwe gdy słońce świeci i/lub wiatr wieje. Wymagane jest wobec tego, magazynowanie tej energii lub jej rekompensowanie przez energię nieodnawialną. Warto zwrócić uwagę na fakt, że prognozowane jest wykorzystanie energii pochodzącej z źródeł nieodnawialnych na poziomie przewidywanego wykorzystania energii z losowych źródeł odnawialnych, tzn. z słońca i wiatru.

W odniesieniu do produkcji energii elektrycznej w europejskich krajach należących do OECD (tab. 3.), przewidywany jest podobny, 2,86 krotny, wzrost wykorzystania energii pochodzącej z źródeł odnawialnych, jak to miało miejsce w przypadku produkcji światowej, przy 5,42 krotnym wzroście wykorzystania energii wiatru i 3,56 wzroście wykorzystania energii słonecznej.

**Tabela 2 Historia i prognoza światowej produkcji energii elektrycznej z uwzględnieniem źródeł jej pochodzenia**

Źródło energii	Historia 2020 r.		Prognoza 2050 r.		ξ
	PWh	%	PWh	%	
Źródła nieodnawialne	17,4	70,2	18,5	44,0	1,06
Źródła odnawialne	7,4	29,8	23,5	56,0	3,18
Źródła odnawialne – losowe	2,6	10,5	17,0	40,5	6,53
<b>Razem</b>	<b>24,8</b>	<b>100</b>	<b>42,0</b>	<b>100</b>	<b>1,69</b>

Źródło: opracowano wg [6, 7].

**Tabela 3 Historia i prognoza produkcji energii elektrycznej w europejskich krajach OECD z uwzględnieniem źródeł jej pochodzenia**

Źródło energii	Historia 2020 r.		Prognoza 2050 r.		ξ
	TWh	%	TWh	%	
Źródła nieodnawialne	1940,9	59,6	1242,3	24,8	0,64
Źródła odnawialne	1315,3	40,4	3756,9	75,2	2,86
Źródła odnawialne – losowe	616,6	18,9	2888,2	57,8	4,68
<b>Razem</b>	<b>3256,2</b>	<b>100</b>	<b>4999,2</b>	<b>100</b>	<b>1,54</b>

Źródło: opracowano wg [6, 7].

Natomiast przewidywane, zmniejszone, wykorzystanie energii z źródeł nieodnawialnych nie będzie w stanie zrekomensować, 4,68-krotnego, wzrostu wykorzystania energii pochodzącej z losowych źródeł odnawialnych.

**Tabela 4 Historia i prognoza produkcji energii elektrycznej w Polsce z uwzględnieniem źródeł jej pochodzenia**

Źródło energii	Historia 2020 r.		Prognoza 2040 r.		ξ
	TWh	%	TWh	%	
Woda-	2,74	1,8	2,43	1,0	0,89
Biogaz	0,91	0,6	2,43	1,0	2,67
Biomasa stała	9,13	6,0	4,86	2,0	0,53
Wiatr morze	-	-	60,75	25,0	
Wiatr ląd	16,30	10,7	29,16	12,0	1,79
Słońce	0,91	0,6	24,30	10,0	26,70
Energetyka jądrowa	-	-	53,46	22,0	
Ogniwa wodorowe			2,43	1,0	
Gaz	13,71	9,0	36,45	15,0	2,66
Węgiel kamienny	69,91	45,9	17,01	7,0	0,24
Węgiel brunatny	37,92	24,9	2,43	1,0	0,64
Inne nieodnawialne	0,76	0,5	7,29	3,0	9,59
Źródła nieodnawialne	122,13	<b>80,2</b>	119,07	<b>49,0</b>	<b>0,97</b>
Źródła odnawialne	30,16	<b>19,8</b>	123,93	<b>51,0</b>	<b>4,11</b>
Źródła odnawialne – losowe	7,21	<b>11,4</b>	114,21	<b>47,0</b>	<b>15,84</b>
<b>Razem</b>	<b>152,29</b>	<b>100</b>	<b>243,00</b>	<b>100</b>	<b>1,60</b>

Źródło: opracowano wg [8, 9, 10, 11].

W Polsce, w 2020 r. opracowano wiele scenariuszy produkcji energii elektrycznej do 2040 r. Do najbardziej popularnych należą scenariusze [8, 9]:

- węglowy – zakładający produkcję z wykorzystaniem w 67% źródeł nieodnawialnych oraz brak energetyki jądrowej, przy koszcie energii wynoszącym 740 zł/MWh,
- źródeł odnawialnych (OZE) – przewidujący wykorzystanie energii nieodnawialnej tylko w 18% oraz brak energetyki jądrowej, przy koszcie 251 zł/MWh,
- Polskiej Polityki Energetycznej (PEP-2040) – według którego, udział energii pochodzącej z źródeł nieodnawialnych będzie wynosił około 49%, przy 22% udziale energii jądrowej i koszcie 381 zł/MWh.

Powyższe scenariusze mają charakter dynamiczny i ulegają zmianom w tzw. międzyczasie.

Wykorzystując informacje podane w [6, 8, 9, 10] opracowano prawdopodobny, autorski, scenariusz miksu elektroenergetycznego Polski dla 2040 r. Jest on przedstawiony w tabeli 4. w której, podano historyczną, dotyczącą 2020 r., i prognozowaną, zbliżoną do strategii (PEP-2040), dotyczącą 2040 r., strukturę produkcji energii elektrycznej w Polsce.

Z tabeli 4 wynika, że przewidywany jest przeszło czterokrotny wzrost wykorzystania energii pochodzącej z OZE, w tym głównie, z energii słonecznej i wiatrowej. Względny udział OZE ma wynosić 51%, zaś udział wykorzystanej losowej energii odnawialnej ma stanowić 47%. Wzrost tej energii może być, w

granicznym przypadku, zrównoważony przez produkcję energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł nieodnawialnych, w tym, w 22% z energetyki jądrowej.

## Ekologiczne aspekty wykorzystania OZE

### Bezpośrednia i skumulowana emisja CO<sub>2</sub> związana z wykorzystaniem OZE

Charakterystykę i ocenę efektywności ekologicznych wykorzystania OZE przedstawiono w [12]. W odniesieniu do odnawialnych źródeł energii wskazane jest określanie dwóch wskaźników emisji CO<sub>2</sub> związanych z ich wykorzystaniem:

- wskaźnika emisji bezpośredniej, wynikającej ze spalania jednostki energetycznej biopaliwa,
- wskaźnika emisji skumulowanej, uwzględniającej emisję CO<sub>2</sub> związaną z budową urządzeń, pozyskaniem, przetwarzaniem, transportem, umożliwiającym użytkowanie poszczególnych urządzeń lub rodzajów energii oraz, w przypadku biopaliw, redukcji CO<sub>2</sub> związanej z procesem fotosyntezy.

Wartości powyższych wskaźników podano w tab. 5. Dla porównania, w tab. 6., podano wartości emisji skumulowanej dla nieodnawialnych nośników energii.

**Tabela 5 Wskaźnik bezpośredniej i skumulowanej emisji CO<sub>2</sub> dla OZE**

Źródło energii	Emisja bezpośrednia, kg/MJ	Emisja skumulowana, kg/MJ
Drewno	0,109	0,008
Biopaliwa ciekłe	0,076	0,01
Biogaz	0,054	0,005
Kolektory termiczne	0,0	0,02
Ogniwa fotowoltaiczne	0,0	0,07
Turbiny wiatrowe	0,0	0,01
Turbiny wodne	0,0	0,01
Pompy ciepła	0,0	0,10

Źródło: [12]

**Tabela 6 Wskaźnik skumulowanej emisji dla nieodnawialnych nośników energii**

Nośnik energii	Emisja skumulowana, kg/MJ
Energia elektryczna	0,293
Gaz ziemny	0,055
Olej opałowy	0,073
Koks	0,112
Węgiel	0,099
Ciepło sieciowe	0,124

Źródło: [13]

W przypadku biopaliw zakłada się, że podczas wytwarzania jednostki energii, w wyniku procesów fotosyntezy, następuje redukcja CO<sub>2</sub> równa emisji związanej z ich spalaniem. Wspomniany efekt ma charakter lokalny i występuje tylko w przypadku gdy pozyskiwanie i wykorzystanie biopaliw następuje w tym samym miejscu. Z tab. 6. wynika, że emisja bezpośrednia jest z tego powodu wyższa od emisji skumulowanej.

W przypadku energii wiatrowej, słonecznej i wodnej nie występuje emisja bezpośrednia, a emisja skumulowana wynika z energetycznych kosztów budowy obiektów, oraz maszyn i urządzeń.

Wysoka wartość emisji skumulowane, występująca przy korzystaniu z pomp ciepła, wynika z ich napędu energią elektryczną.

### **Koszt termo-ekologiczny**

Koszt termo-ekologiczny (TEC) jest miernikiem wyczerpywania zasobów naturalnych związany z wytworzenie rozpatrywanego produktu użytecznego. Do jego wyznaczenia wykorzystuje się pojęcie egzergii [14] jako wspólnego miernika jakości bogactw naturalnych. Egzergie należy rozumieć jako maksymalną zdolność do wykonania pracy przez daną substancję w stosunku do otaczającej przyrody, lub jako minimalny nakład pracy niezbędnej do uzyskania danej substancji z powszechnie występujących składników otoczenia.

TEC jest skumulowanym zużyciem egzergii bogactw nieodnawialnych związanym z wytworzeniem rozpatrywanego produktu użytecznego, uwzględniającym konieczność zapobiegania i kompensowania strat wywołanych odprowadzaniem substancji szkodliwych do otoczenia [15, 16].

**Tabela 7 Wskaźnik kosztu ekologicznego TEC wytwarzania energii elektrycznej przy wykorzystaniu energii nieodnawialnej i OZE**

<b>Technologia</b>	<b>TEC, MJ/MJ</b>
Elekt. węglowa	5,29-3,90
Elekt. gazowo-parowa	2,02
Elekt. jądrowa	58,40-39,78
Ogniwo fotowoltaiczne	0,22
Elekt. wodna	0,10
Elekt. wiatrowa naziemna	0,15-0,06
Biogaz	0,26-0,02

Źródło: [17]

Wartości wskaźnika TEC oraz zakresy ich zmian w ostatnim dziesięcioleciu podano w tab. 7. [17]. Wysoka wartość TEC wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych przeczy powszechnej opinii o jego ekologicznych walorach.

### **EKONOMICZNE ASPEKTY WYKORZYSTANIA OZE**

Istotnym parametrem, określającym sensowność wykorzystania OZE, jest kryterium ekonomiczne. Może być ono wyrażone przez ekonomiczny koszt pozyskania jednostki energii elektrycznej przy wykorzystaniu poszczególnych źródeł energii napędowej. Wspomniany koszt jest różny w poszczególnych krajach oraz zmienny w czasie. Duży wpływ ma na niego ogólna sytuacja gospodarcza zarówno występująca w tych krajach, jak również warunki panujące na rynkach światowych. Ponadto, wytwarzanie energii elektrycznej z wykorzystaniem OZE jest często centralnie dotowane, w różnym stopniu w

różnych państwach. Prowadzi to do dużych niejednoznaczności oceny, zwłaszcza w porównaniu z niedotowanym stosowaniem źródeł energii nieodnawialnej. Za, w miarę obiektywną, ocenę efektywności ekonomicznej wykorzystania poszczególnych źródeł energii do produkcji energii elektrycznej należy uznać tzw. wyrównany koszt energii (tab. 8.) obliczony jako stosunek zdyskontowanych kosztów potrzebnych do wytworzenia energii elektrycznej podzielonych przez zdyskontowaną sumę faktycznie dostarczonych ilości energii [18].

**Tabela 8 Orientacyjny wyrównany koszt energii elektrycznej przy wykorzystaniu nieodnawialnych oraz odnawialnych źródeł energii**

Rodzaj elektrowni	Koszt w 2010 r. USD/MWh	Koszt w 2022 r. USD/MWh
Węglowe z odsiarczaniem i odazotowaniem	110	
Gazowe	85	55
Gazowe – szczytowe	270	165
Jądrowe	112	118
Fotowoltaiczne – ogniwowe	445	49
Fotowoltaiczne – wieże słoneczne	380	118
Wiatrowe naziemne	107	33
Wiatrowe morskie	197	81
Biomasowe	82	61
Wodne	42	61
Geotermalne	53	56

Źródło: opracowano wg [19]

W obliczeniach powinno się uwzględniać kapitał inwestycyjny, koszt wycofania z eksploatacji, koszt paliwa, stałe i zmienne koszty eksploatacji i konserwacji. Istotny wpływ na wyniki obliczeń ma, najczęściej dosyć arbitralnie, założona wartość stopy dyskonta oraz przyjęty okres eksploatacji elektrowni [20].

**Tabela 9 Jednostkowe nakłady inwestycyjne elektrowni w zależności od wykorzystywanych nieodnawialnych oraz odnawialnych źródeł energii**

Rodzaj elektrowni	Jednostkowy nakład inwestycyjny, USD/kW
Węglowe	3500-3800
Gazowe lub olejowe	1000
Jądrowe	6000
Fotowoltaiczne	1800
Wiatrowe naziemne	1600
Wiatrowe morskie	6500
Wodne	2750
Geotermalne	2800

Źródło: opracowano wg [20]

Jednym z głównych składników wyrównanego kosztu energii elektrycznej stanowią nakłady inwestycyjne elektrowni. Wartości tych nakładów odniesionych do jednostki mocy, dla poszczególnych rodzajów elektrowni, podano w tab. 9.



**LITERATURA**

- [1] [https://pl.wikipedia.org/Wiki/Kontrowersje\\_wokol\\_globalnego\\_ocieplenia](https://pl.wikipedia.org/Wiki/Kontrowersje_wokol_globalnego_ocieplenia) [grudzień 2023]
- [2] Gorzelak K.: Uprawnienia do emisji jako przedmiot obrotu i zabezpieczeń. Uniwersytet Warszawski, Praca doktorska, 2015. <https://docpleyer.pl>998539-Krzysztof-gorzelak-upr.> [grudzień 2023]
- [3] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Protokol-z-Kioto> [grudzień 2023].
- [4] Czubala J.: Informacja własna, 2023.
- [5] Unijny system handlu uprawnieniami do emisji – przydziały bezpłatnych uprawnień wymagały lepszego uwarunkowania. Sprawozdanie specjalne. <https://op.europa.eu/webpub/eca/specjal-raports/emissione-trading-system-18-2020/pl/> [grudzień 2023].
- [6] Rusin A., Wojacek A.: Prognozy zmian w strukturze źródeł mocy w krajowym systemie energetycznym do roku 2035 i ich wpływ na niezawodność dostaw energii, Zebranie NOT w Gliwice.
- [7] U.S. Energy Information Administration Office of Energy Analyses U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585.
- [8] Scenariusze miksu elektroenergetycznego Polski do 2040 r. <https://pie.net.pl>wp.content>uplads>23/11> [grudzień 2023].
- [9] <https://bizblog.spiedrswb.pl>wegiel-miks-energetyczny-pep-2040> [grudzień 2023].
- [10] <https://www.green-news.pl>3908-transformacja-energetyczna> [grudzień 2023].
- [11] Polityka energetyczna Polski do 2040 roku, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 20
- [12] Kozioł J., Kozioł M.: Charakterystyka i ocena efektów ekologicznych wykorzystania OZE, Pracy pod red. Kozioł J. „Przegląd uwarunkowań i metod oceny efektywności wykorzystania odnawialnych źródeł energii w budownictwie”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
- [13] Praca zbiorowa pod red, Pasierba S.: Poradnik dla samorządów terytorialnych. Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii, Katowice 2004.
- [14] Szargut J.: Egzergia. Poradnik obliczania i stosowania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- [15] Szargut J.: Minimization of the consumption of natural resources. Bull. Acad. Pol. Techn., 1978, nr 6, s.41-45.
- [16] Szargut J.: Deletion of unrestorable natural exergy resources. Bull. Acad. Pol. Techn. 1997, nr 2, s. 247-250.
- [17] Stanek W., Czarnowska L., Gazda W., Simla T.: Thermo-ecological cost of electricity from renewable energy sources. Renewable Energy 115 (2018), s. 87-96
- [18] Chun Sing Lai, Malcom d. McCulloch: Levelized cost of electricity for solar photovoltaic and electric al energy storage. Applied Energy, 190, 2017, s. 191-203.
- [19] <https://globenergia.pl/koszty-produkcji-energii-odnawialnej-sa-zbyt-wysokie-nowe-dane-obalaja-mit/> [grudzień 2023].
- [20] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Wyrownany\\_koszt\\_energii](https://pl.wikipedia.org/wiki/Wyrownany_koszt_energii) [grudzień 2023].

## **Selected aspects of the use of energy from renewable sources to produce electricity**

**Abstract:** The work characterizes the ecological policy aimed at replacing non-renewable energy sources with renewable sources. Historical and forecasted values of global, European and national electricity production were presented, with particular emphasis on the use of renewable energy sources. The most probable and predicted scenarios for electricity production in Poland until 2040 were characterized. Ecological effects were determined, such as direct and cumulative CO<sub>2</sub> emissions and the thermo-ecological cost index related to the use of renewable energy sources. The ecological shortcomings of nuclear energy were pointed out. The approximate values of the so-called equalized costs of electricity and unit investment outlays of power plants for various sources of driving energy were given.

**Keywords:** aspects of the use of renewable energy sources, electricity production scenarios

### **Joachim Koziół**

Emerytowany profesor  
Politechniki Śląskiej i Uniwersytetu Zielonogórskiego  
ul. Sobieskiego 9/1, 41-800 Zabrze, Polska  
tel. +48 506 500 638