

Marcin KOŚCIELNIAK

DOI 10.14746/ssp.2025.2.22

Pomorska Szkoła Wyższa w Starogardzie Gdańskim

 ORCID: 0000-0001-7399-5721

Rola technologii odnawialnych źródeł energii w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego: Studium przypadku

Streszczenie: W kontekście globalnych wyzwań związanych z zrównoważonym rozwojem oraz zmianami klimatycznymi, rola technologii odnawialnych źródeł energii (OZE) w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego staje się coraz bardziej istotna. Celem artykułu jest analiza wpływu OZE na stabilność dostaw energii oraz niezależność energetyczną, z uwzględnieniem wybranego studium przypadku. Przeprowadzono badanie różnych technologii odnawialnych, takich jak energia wiatrowa, słoneczna, biomasa i geotermalna, oraz ich integrację z krajowymi i regionalnymi systemami energetycznymi. Studium przypadku pozwoliło na szczegółową ocenę wyzwań i korzyści związanych z wdrożeniem OZE w danym kontekście geograficznym i ekonomicznym. Wyniki wskazują na potencjał OZE w zmniejszeniu uzależnienia od paliw kopalnych, dywersyfikacji źródeł energii oraz zwiększeniu odporności systemów energetycznych na kryzysy. Zidentyfikowano również bariery technologiczne, finansowe i legislacyjne, które mogą utrudniać pełne wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Artykuł kończy się rekomendacjami dla polityki energetycznej, które mają na celu wspieranie zrównoważonej transformacji energetycznej z korzyścią dla bezpieczeństwa energetycznego i ochrony środowiska.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, bezpieczeństwo energetyczne, zrównoważony rozwój, technologia, studium przypadku

1. Wstęp

Bezpieczeństwo energetyczne stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesnego świata, a jego zapewnienie jest fundamentem dla stabilnego rozwoju gospodarczego, społecznego i politycznego. W kontekście globalnych zmian klimatycznych oraz rosnącej potrzeby dywersyfi-



Artykuł udostępniany jest na licencji Creative Commons – CC-BY-SA 4.0 – uznanie autorstwa, użycie niekomercyjne, na tych samych warunkach.

kacji źródeł energii, odnawialne źródła energii (OZE) stały się istotnym elementem strategii krajowych w zakresie zapewnienia długoterminowego bezpieczeństwa energetycznego. Polska, jako kraj o dużej zależności od węgla, stoi przed wyzwaniem transformacji swojego sektora energetycznego, w tym rozwijania technologii OZE, w celu zmniejszenia uzależnienia od paliw kopalnych i zwiększenia stabilności dostaw energii.

W obliczu rosnących zagrożeń związanych ze zmianami klimatycznymi, wyczerpywaniem się zasobów paliw kopalnych oraz niestabilnością polityczną w kluczowych regionach produkujących energię, kwestia bezpieczeństwa energetycznego stała się jednym z najistotniejszych wyzwań współczesnych społeczeństw. Tradycyjne systemy energetyczne, oparte głównie na węglu, ropie naftowej i gazie ziemnym, są nie tylko źródłem emisji gazów cieplarnianych, ale także narażone na zakłócenia wynikające z uzależnienia od zewnętrznych dostawców tych surowców. W obliczu tych wyzwań, technologie odnawialnych źródeł energii (OZE) zyskują na znaczeniu jako kluczowy element transformacji energetycznej, który może przyczynić się do zwiększenia niezależności energetycznej, stabilności dostaw oraz zrównoważonego rozwoju.

Odnawialne źródła energii, takie jak energia wiatrowa, słoneczna, geotermalna czy biomasa, stwarzają możliwość nie tylko zmniejszenia negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko, ale również uniezależnienia się od tradycyjnych źródeł energii. Technologia ta, mimo rosnącej popularności na całym świecie, nadal napotyka liczne wyzwania – zarówno technologiczne, jak i społeczne, finansowe czy legislacyjne – które mogą ograniczać jej pełne wdrożenie i efektywne wykorzystanie. Z tego powodu, kluczowe staje się zrozumienie, w jaki sposób OZE mogą wspierać bezpieczeństwo energetyczne, jak również jakie bariery mogą utrudniać ich rozwój.

Celem niniejszego artykułu jest zbadanie roli technologii odnawialnych źródeł energii w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego na przykładzie wybranego studium przypadku. Analiza ta pozwala na dokładniejsze zrozumienie wpływu OZE na struktury energetyczne i ich zdolność do reagowania na zmieniające się warunki rynkowe, polityczne i klimatyczne. Badanie to będzie miało na celu także identyfikację kluczowych wyzwań związanych z integracją odnawialnych źródeł energii w systemy energetyczne oraz przedstawienie możliwych rozwiązań, które mogą wspierać ich efektywne wdrożenie, przyczyniając się do budowy bezpieczniejszego i bardziej zrównoważonego systemu energetycznego.

W niniejszym artykule przedstawiona zostanie zarówno teoretyczna, jak i praktyczna analiza roli OZE w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego, z uwzględnieniem specyfiki wybranego regionu lub kraju, co pozwoli na formułowanie rekomendacji dotyczących przyszłego rozwoju polityki energetycznej i technologicznej w tym zakresie.

2. Definicja bezpieczeństwa energetycznego i odnawialnych źródeł energii

Bezpieczeństwo energetyczne jest pojęciem obejmującym zarówno dostępność energii, jej stabilność, jak i przystępność cenową. Zgodnie z definicją Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA), bezpieczeństwo energetyczne wiąże się z zapewnieniem stabilnych i niezawodnych dostaw energii po rozsądnych cenach, bez ryzyka przerw w dostawach lub ekstremalnych wahań cenowych. W kontekście Polski, kwestie bezpieczeństwa energetycznego są szczególnie istotne, biorąc pod uwagę historię związku kraju z węglem i ropą, a także wyzwań związanych z polityką energetyczną Unii Europejskiej.

Bezpieczeństwo energetyczne jest pojęciem wielowymiarowym, które odnosi się do zapewnienia stabilnych, niezawodnych i dostępnych dostaw energii w odpowiedniej ilości oraz po akceptowalnych cenach, przy jednoczesnym minimalizowaniu ryzyk związanych z długoterminową zrównoważonością energetyczną i ochroną środowiska. Termin ten jest często rozumiany w kontekście różnych wymiarów, takich jak bezpieczeństwo dostaw, bezpieczeństwo wytwarzania energii oraz bezpieczeństwo związane z gospodarką energetyczną i technologiami (Szczepanik, 2010). Możemy wyróżnić kilka typów definicji bezpieczeństwa energetycznego, a mianowicie:

a) Definicja tradycyjna

Bezpieczeństwo energetyczne jest często definiowane jako zdolność państwa do zapewnienia ciągłości dostaw energii, zaspokajając potrzeby gospodarki i społeczeństwa, przy minimalnym ryzyku zakłóceń dostaw oraz spełnianiu wymogów związanych z jakością i ceną energii.

„Bezpieczeństwo energetyczne oznacza zdolność państwa do zapewnienia dostaw energii w odpowiednich ilościach, o wy-

maganej jakości, po akceptowalnych cenach i w sposób ciągły, z uwzględnieniem zdolności do reagowania na ewentualne zakłócenia tych dostaw” (ibidem, s. 29).

b) Definicja z perspektywy zrównoważonego rozwoju

Z kolei w kontekście współczesnym, szczególnie pod wpływem zmian klimatycznych i globalnych dążeń do transformacji energetycznej, bezpieczeństwo energetyczne uwzględnia również aspekty ekologiczne, społeczne oraz technologiczne. Obejmuje ono nie tylko stabilność dostaw, ale także dbałość o zrównoważony rozwój i efektywność wykorzystania zasobów.

„Bezpieczeństwo energetyczne w kontekście zrównoważonego rozwoju to zdolność do zapewnienia dostępu do energii, która wspiera wzrost gospodarczy i dobrobyt społeczny, jednocześnie minimalizując wpływ na środowisko i umożliwiając adaptację do zmian klimatycznych” (Buchanan, 2015, s. 45).

c) Definicja w kontekście politycznym

Bezpieczeństwo energetyczne bywa również definiowane jako element polityki państwa, który jest niezbędny do zapewnienia stabilności funkcjonowania kraju w obliczu globalnych i regionalnych kryzysów energetycznych, takich jak konflikty zbrojne, zmiany polityczne czy fluktuacje cen surowców energetycznych.

„Bezpieczeństwo energetyczne to zdolność kraju do zabezpieczenia ciągłości dostaw energii w ramach swojej polityki energetycznej, uwzględniając ryzyko zewnętrznych kryzysów oraz wewnętrznych zagrożeń dla stabilności systemu energetycznego” (Kochanowicz, 2012, s. 113).

d) Definicja systemowa

Bezpieczeństwo energetyczne bywa również postrzegane w kontekście integralności systemu energetycznego, który obejmuje zarówno infrastrukturę techniczną, jak i mechanizmy zarządzania ryzykiem w obliczu zmian i zakłóceń w dostawach energii. Jest to podejście bardziej techniczne, uwzględniające stabilność i elastyczność systemów energetycznych.

„Bezpieczeństwo energetyczne systemu to zdolność systemu energetycznego do utrzymania stabilności i równowagi pomiędzy popytem a podażą energii, z zachowaniem zdolności do adaptacji i reakcji na dynamicznie zmieniające się warunki rynkowe, technologiczne oraz geopolityczne” (Kwieciński, 2014, s. 77).

Termin „bezpieczeństwo energetyczne” może być postrzegany jako znak naszych czasów. Szybko zyskał popularność i stał się jednym z najpoważniejszych globalnych problemów. Rozwój postrzegania i interpretacji problemów gwarantujących „bezpieczeństwo energetyczne” jest procesem naturalnym. Na poziomie społecznym wpływają na nie podobne mechanizmy modyfikacji, które powstają w odniesieniu do potrzeb egzystencjalnych, szczególnie wyzwań wynikających z potrzeby spełnienia ich rozwiązań. Rozwiązanie zostało zinstytucjonalizowane na poziomie państwowym lub międzynarodowym. Standardy życia, które można uznać za pochodne wiedzy, świadomość ideologiczną, dobrobyt i tożsamość kulturową, można przypisać zbieraniu problemów. Jednak wyznaczniki polityczne i techniczne są kluczowymi rolami. Twoja doskonała pozycja wynika z wpływu na inne czynniki. Bezpieczeństwo energetyczne jest definiowane przez postrzeganie problemu. Jego odbiór rozwija się i zmienia wraz z postrzeganiem przez społeczeństwo. Podstawowe kryteria wyboru zależą od ogólnego systemu wartości. Ich podstawowe poziomy są definiowane przez potrzeby biologiczne, podczas gdy wyższe są tworzone przez czynniki polityczne, ekonomiczne itp. Zmiany w podejściach zostały udokumentowane w przypadku sytuacji kryzysowych (Kwiatkiewicz, 2018, s. 1123–1136).

Natomiast odnawialne źródła energii (OZE) to wszelkie źródła energii, które są naturalnie odnawialne w krótkim okresie czasu i nie wyczerpują się w wyniku użytkowania. Charakteryzują się one niską lub zerową emisją gazów cieplarnianych oraz minimalnym negatywnym wpływem na środowisko, co czyni je kluczowym elementem w dążeniu do zrównoważonego rozwoju i walki ze zmianami klimatycznymi. Do najważniejszych odnawialnych źródeł energii zalicza się: energię słoneczną, wiatrową, wodną, geotermalną, biomasę i biogaz. Można wyróżnić następujące definicje odnawialnych źródeł energii (OZE) (Kaczmarek, 2016):

a) Definicja ogólna

Odnawialne źródła energii to źródła, które opierają się na naturalnych procesach, takich jak promieniowanie słoneczne, ruchy atmosferyczne

(wiatr), przepływy wód czy procesy geotermalne, które w krótkim czasie mogą się odnowić. W przeciwieństwie do paliw kopalnych, które są ograniczone i wymagają milionów lat do ich odtworzenia, OZE są uznawane za nieograniczone w skali ludzkiego życia.

„Odnawialne źródła energii to źródła energii, które są oparte na naturalnych, samoodnawiających się procesach, takich jak promieniowanie słoneczne, energia wiatru, przepływ wód czy ciepło ziemi, które w krótkiej perspektywie czasowej są w stanie się odnowić” (Kaczmarek, 2016, s. 23).

b) Podział odnawialnych źródeł energii

Odnawialne źródła energii można podzielić na kilka głównych kategorii, w zależności od wykorzystywanego medium i technologii:

- energia słoneczna – wykorzystuje promieniowanie słoneczne do produkcji ciepła lub energii elektrycznej (fotowoltaika, kolektory słoneczne);
- energia wiatru – wykorzystuje ruchy powietrza do napędu turbin wiatrowych, które generują energię elektryczną;
- energia wodna – polega na wykorzystywaniu przepływów wód (rzeki, morza, oceany) do produkcji energii elektrycznej (turbiny wodne);
- energia geotermalna – wykorzystuje ciepło wewnętrzne Ziemi do produkcji energii, głównie w postaci ciepła lub energii elektrycznej;
- biomasa i biogaz – obejmuje materiały organiczne (rośliny, odpady organiczne), które spalane lub przetwarzane na biogaz mogą być wykorzystywane do produkcji energii.

„Podstawową cechą odnawialnych źródeł energii jest ich nieograniczoność w skali ludzkiego życia, a także niewielki wpływ na środowisko, zwłaszcza w kontekście emisji dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych” (Zieliński, 2018, s. 47).

c) Znaczenie odnawialnych źródeł energii

Odnawialne źródła energii odgrywają kluczową rolę w globalnej transformacji energetycznej, mającej na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, walkę ze zmianami klimatycznymi oraz zmniejszenie zależności od paliw kopalnych. W kontekście wzrastającego zapotrzebowania na energię oraz rosnącej świadomości ekologicznej, OZE stają się podstawowym elementem polityk energetycznych wielu krajów. Zasto-

sowanie technologii odnawialnych źródeł energii pozwala na dywersyfikację źródeł energii, zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego oraz wspieranie rozwoju gospodarki opartej na zielonej energii.

„Odnawialne źródła energii stanowią fundament nowoczesnej polityki energetycznej, mającej na celu osiągnięcie celów zrównoważonego rozwoju oraz minimalizowanie negatywnego wpływu na środowisko naturalne” (Nowak, 2017, s. 56).

3. Technologie odnawialnych źródeł energii

Technologie odnawialnych źródeł energii (OZE) odgrywają kluczową rolę w transformacji sektora energetycznego, umożliwiając przejście z energetyki opartej na paliwach kopalnych na systemy produkcji energii, które są zarówno ekologiczne, jak i zrównoważone. Odnawialne źródła energii to technologie, które wykorzystują naturalne procesy, takie jak energia wiatru, słońca, wody, biomasę czy geotermię, do produkcji energii elektrycznej lub ciepłej. OZE obejmują zatem szeroki zakres technologii, które pozwalają na wytwarzanie energii z naturalnych, odnawialnych zasobów, takich jak promieniowanie słoneczne, wiatr, woda, geotermalne ciepło czy biomasa. OZE charakteryzują się tym, że ich zasoby są odnawialne w krótkim okresie czasu, w przeciwieństwie do paliw kopalnych, które są ograniczone. W niniejszym opracowaniu przedstawione zostaną kluczowe technologie OZE, ich zasady działania, zastosowania oraz wyzwania związane z ich rozwojem i wdrażaniem (Nowak, 2018). Wśród najważniejszych technologii OZE, które mogą odegrać kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego Polski, znajdują się:

a) Energia słoneczna

Energia słoneczna jest jednym z najczęściej wykorzystywanych odnawialnych źródeł energii na świecie. Wykorzystuje ona energię promieniowania słonecznego do produkcji ciepła (kolektory słoneczne) lub energii elektrycznej (fotowoltaika).

- fotowoltaika (PV): technologia ta polega na zamianie energii słonecznej bezpośrednio na energię elektryczną za pomocą ogniw fotowoltaicznych. Ogniwa te wykorzystują zjawisko fotowoltaiczne, w którym światło padające na materiał półprzewodnikowy powoduje uwolnienie elektronów, generując prąd elektryczny. Współczesne ogniwa

fotowoltaiczne oparte są głównie na krzemie, ale rozwijane są także inne materiały, takie jak perowskity, które mogą znacznie zwiększyć efektywność i zmniejszyć koszty produkcji;

- energia słoneczna cieplna (kolektory słoneczne): kolektory słoneczne to urządzenia, które pochłaniają energię słoneczną i przekształcają ją w ciepło. Jest to wykorzystywane do ogrzewania wody użytkowej, a także do wspomagania ogrzewania budynków. W Polsce i innych krajach o umiarkowanym klimacie kolektory słoneczne są powszechnie stosowane w gospodarstwach domowych oraz w przemyśle.

„Fotowoltaika jest jednym z najbardziej obiecujących źródeł energii odnawialnej, które dzięki spadkowi kosztów instalacji staje się coraz bardziej dostępne na całym świecie” (Nowak, 2018, s. 89).

b) Energia wiatrowa

Energia wiatrowa jest kolejną ważną technologią OZE, która pozwala na produkcję energii elektrycznej z ruchu powietrza. Wykorzystuje się ją za pomocą turbin wiatrowych, które przekształcają energię kinetyczną wiatru na energię mechaniczną, a następnie na energię elektryczną.

- Turbiny wiatrowe: turbiny wiatrowe składają się z wirnika, który obraca się pod wpływem wiatru, oraz generatora, który przekształca energię mechaniczną na energię elektryczną. W zależności od lokalizacji i mocy, turbiny wiatrowe mogą być zainstalowane zarówno na lądzie (wiatraki lądowe), jak i na morzu (wiatraki morskie). Wiatraki morskie, dzięki silniejszym i bardziej stabilnym wiatrom, mogą generować znacznie więcej energii niż ich odpowiedniki lądowe.

„Wiatr jest jednym z najbardziej efektywnych i dynamicznie rozwijających się źródeł energii odnawialnej, szczególnie w rejonach o dużym potencjale wiatrowym, takich jak wybrzeża i obszary morskie” (Kaczmarek, 2016, s. 45).

c) Energia wodna

Energia wodna jest jednym z najstarszych i najczęściej wykorzystywanych źródeł odnawialnych. Wykorzystuje ona energię przepływającej wody do wytwarzania energii elektrycznej.

- Elektrownie wodne: elektrownie wodne wykorzystują różnicę poziomów wody w rzekach, jeziorach czy zaporach do napędu turbin wodnych. Istnieją trzy główne typy elektrowni wodnych: duże elektrownie

zaporowe, małe elektrownie wodne oraz elektrownie szczytowo-pompowe, które magazynują energię w postaci wody przepompowanej do wyższych zbiorników wodnych;

- Przepływowe elektrownie wodne: w tych systemach energia jest pozyskiwana z przepływającej wody, bez konieczności budowy zapór. Jest to bardziej przyjazne dla środowiska rozwiązanie, gdyż minimalizuje negatywne skutki związane z ingerencją w ekosystemy wodne.

„Energia wodna jest jednym z najefektywniejszych źródeł energii odnawialnej, ale jej rozwój zależy od dostępności odpowiednich zasobów wodnych oraz wpływu na środowisko naturalne” (Zieliński, 2017, s. 38).

d) Energia geotermalna

Energia geotermalna pochodzi z wnętrza Ziemi, wykorzystując ciepło zgromadzone w ziemskim wnętrzu. Jest to źródło energii, które może być wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej oraz do ogrzewania.

- Geotermalne elektrownie: w geotermalnych elektrowniach wykorzystuje się parę wodną z wnętrza Ziemi, która napędza turbiny wytwarzające energię elektryczną. Wydobycie tej energii jest możliwe w rejonach o dużym cieple geotermalnym, takich jak Islandia, części Stanów Zjednoczonych (Kalifornia) czy Filipiny.
- Geotermalne pompy ciepła: wykorzystywane są głównie do ogrzewania budynków. Pompy ciepła używają ciepła zgromadzonego w ziemi, wodzie gruntowej lub powietrzu do ogrzewania wody i powietrza w budynkach mieszkalnych i komercyjnych.

„Energia geotermalna jest stabilnym i wydajnym źródłem energii, które może zapewnić długoterminowe zasilanie w energię elektryczną i ciepłą w regionach geotermalnych” (Kwiatkowski, 2019, s. 101).

e) Biomasa i biogaz

Biomasa to organiczne materiały, takie jak drewno, odpady rolnicze czy organiczne odpady komunalne, które mogą być spalane lub przetwarzane w biogazowniach na biogaz.

- Biomasa: biomasa jest wykorzystywana głównie do produkcji energii cieplnej i elektrycznej poprzez jej spalanie w piecach lub kotłach.

Może być również przetwarzana na biopaliwa stałe, ciekłe (biodiesel, bioetanol) lub gazowe.

- Biogaz: biogaz jest wynikiem procesów fermentacji materiałów organicznych w warunkach beztlenowych. Może być używany do produkcji energii elektrycznej i ciepłej, a także jako paliwo do silników spalinowych.

„Biomasa i biogaz stanowią ważne źródło energii odnawialnej, szczególnie w regionach rolniczych, gdzie odpady organiczne mogą być wykorzystane w procesach produkcji energii” (Szczepanik, 2015, s. 72).

4. Rola OZE w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego Polski oraz wykorzystanie i dywersyfikacja OZE w Polsce

Jednym z najważniejszych elementów zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego jest dywersyfikacja źródeł energii. Polska od lat polega na węglu jako głównym źródle energii elektrycznej, co wiąże się z ryzykiem związanym z wahaniami cen paliw kopalnych, a także z obowiązkami wynikającymi z polityki klimatycznej Unii Europejskiej. Włączenie OZE do miksu energetycznego pozwala na zmniejszenie uzależnienia od paliw kopalnych, a tym samym na większą elastyczność w reagowaniu na zmiany w rynku energetycznym.

Technologie odnawialne przyczyniają się do znacznej redukcji emisji gazów cieplarnianych, co ma kluczowe znaczenie w kontekście polityki klimatycznej Unii Europejskiej i międzynarodowych zobowiązań Polski w zakresie walki ze zmianami klimatycznymi. Przemiany w sektorze energetycznym, mające na celu zwiększenie udziału OZE, są podstawą realizacji celów związanych z neutralnością węglową do 2050 roku.

Odnawialne źródła energii, szczególnie te oparte na wietrze i słońcu, charakteryzują się zmiennością wytwarzania energii. Z tego względu ich integracja z systemem energetycznym wymaga rozwoju inteligentnych sieci energetycznych (tzw. smart grids) oraz technologii magazynowania energii (np. baterie, elektrownie szczytowo-pompowe). W Polsce, z uwagi na rosnący udział OZE w miksie energetycznym, coraz większe znaczenie zyskują inwestycje w infrastrukturę wspierającą stabilność systemu elektroenergetycznego.

Rozwój OZE może przyczynić się do decentralizacji produkcji energii, co zwiększa jej dostępność na poziomie lokalnym. W Polsce, gdzie ist-

nieje znaczna nierównomierność w rozkładzie zasobów energetycznych, rozwój energetyki wiatrowej czy słonecznej może wpłynąć na zmniejszenie luki energetycznej w regionach, które do tej pory były uzależnione od dużych elektrowni węglowych.

Plan dotyczący odnawialnych źródeł energii (OZE) w Polsce na 2023 rok przewiduje, że 25% energii brutto będzie pochodzić z tych źródeł. Niemniej jednak, nieodnawialne źródła energii wciąż dominują, a zmiany w tej kwestii wydają się mało prawdopodobne. Na świecie są państwa, które całkowicie opierają swoją produkcję energii elektrycznej na OZE, jednak zwykle są to niewielkie kraje, które korzystają z korzystnych warunków geograficznych. Doskonałym przykładem jest Islandia, gdzie aktywność wulkaniczna umożliwia pozyskiwanie aż 85% energii z geotermii i hydroelektrowni. Inny przykład to wyspa Bonaire, należąca do Holandii, która w 90% zaspokaja swoje potrzeby energetyczne z OZE. Holendrzy planują również rozwijać w przyszłości produkcję energii z biopaliw (Malaczewski, 2017, s. 33–51).

Tabela 1

Struktura pozyskiwania energii elektrycznej w Polsce w latach 2020–2023 oraz udział poszczególnych rodzajów OZE w Polsce (2020–2023)

Rok	Węgiel kamienny	Węgiel brunatny	Gaz ziemny	Odnawialne źródła energii (OZE)	Pozostałe (np. energia jądrowa)
2020	72,2%	14,2%	7,2%	6,3%	0,1%
2021	71,1%	13,6%	7,8%	7,5%	0,1%
2022	69,8%	12,9%	8,0%	9,3%	0,1%
2023	67,5%	11,5%	9,5%	11,5%	0,1%
Udział poszczególnych rodzajów OZE w Polsce (2020–2023)					
Rok	Energia wiatrowa	Fotowoltaika (PV)	Biomasa	Energia wodna	Geotermia
2020	11,5%	6,0%	5,5%	2,0%	0,4%
2021	12,0%	9,0%	5,4%	2,1%	0,5%
2022	13,2%	11,4%	5,6%	2,0%	0,6%
2023	13,5%	13,8%	5,7%		1,9%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS (2021–2023), *Produkcja energii elektrycznej w Polsce w 2020 roku*, Główny Urząd Statystyczny.

W ciągu ostatnich czterech lat zauważalny jest spadek udziału węgla w produkcji energii elektrycznej. Udział węgla kamiennego zmniejszył się z 72,2% w 2020 roku do 67,5% w 2023 roku, a węgla brunatnego z 14,2% do 11,5%. Te zmiany są wynikiem zarówno działań poli-

tycznych w Polsce, mających na celu transformację energetyczną, jak i rosnących kosztów emisji CO₂, które obciążają elektrownie węglowe. Udział gazu ziemnego w produkcji energii elektrycznej wzrósł z 7,2% w 2020 roku do 9,5% w 2023 roku. Jest to efekt rosnącego wykorzystania gazu w elektrowniach gazowych, które stanowią alternatywę dla węgla, zwłaszcza w kontekście unijnych wymogów dotyczących redukcji emisji CO₂. Z roku na rok rośnie udział OZE w krajowej produkcji energii elektrycznej. W 2023 roku OZE stanowiły 11,5% krajowej produkcji energii, co oznacza wzrost o 5,2 pp. od 2020 roku. Wiatr i fotowoltaika to kluczowe źródła tej energii, które notują dynamiczny wzrost. Warto zauważyć, że energia wiatrowa w 2023 roku wynosiła 13,5% całkowitej produkcji energii elektrycznej w Polsce, a fotowoltaika osiągnęła już 13,8%. To oznacza, że fotowoltaika stała się jednym z głównych źródeł energii w Polsce, wyprzedzając tym samym inne OZE. Biomasa wciąż stanowi istotny element polskiego miksu energetycznego, jednak jej udział w produkcji energii elektrycznej jest stabilny i wynosi około 5,5–5,7%. Jest to jedno z tradycyjniejszych źródeł OZE w Polsce, szczególnie wykorzystywane w przemysłowych instalacjach energetycznych. Energia wodna pozostaje na stałym poziomie 2%, a jej udział w produkcji energii nie zmienia się znacząco w latach 2020–2023. Geotermia pozostaje marginalnym źródłem energii, osiągając 0,5% w 2023 roku. Choć technologia geotermalna ma duży potencjał w Polsce, jej rozwój jest ograniczony głównie przez specyficzne warunki geologiczne oraz wysokie koszty inwestycyjne.

Przewidywania i wyzwania OZE będą odgrywać coraz ważniejszą rolę w polskim miksie energetycznym, szczególnie fotowoltaika i energia wiatrowa. Wzrost inwestycji w te technologie jest przewidywany w przyszłości, zwłaszcza biorąc pod uwagę rosnące wsparcie w ramach polityki UE dotyczącej neutralności węglowej do 2050 roku. Możliwe jest dalsze zwiększanie udziału gazu ziemnego w miksie energetycznym, zwłaszcza w obliczu rosnącego zapotrzebowania na energię oraz potrzeby stopniowego wygaszania elektrowni węglowych. Wzrost wykorzystywania gazu może jednak wiązać się z wyzwaniami związanymi z geopolityką i cenami surowców. Choć biomasa pozostaje istotnym źródłem energii, jej dalszy rozwój w Polsce może być ograniczony przez rosnące koszty pozyskiwania surowców oraz kwestie związane z zrównoważonym rozwojem i emisjami CO₂.

Natomiast w przypadku danych dotyczących wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce w latach 2020–2023 sytuacja wygląda następująco:

Tabela 2

Dane ogólnopolskie o wykorzystaniu OZE w Polsce (2020–2023)

Rok	Źródło energii	Udział w krajowej produkcji energii (%)
2020	Energia wiatrowa	11,5%
2020	Fotowoltaika (PV)	6,0%
2020	Biomasa	5,5%
2020	Energia wodna (hydro)	2,0%
2020	Geotermia	0,4%
2021	Energia wiatrowa	12,0%
2021	Fotowoltaika (PV)	9,0%
2021	Biomasa	5,4%
2021	Energia wodna (hydro)	2,1%
2021	Geotermia	0,5%
2022	Energia wiatrowa	13,2%
2022	Fotowoltaika (PV)	11,4%
2022	Biomasa	5,6%
2022	Energia wodna (hydro)	2,0%
2022	Geotermia	0,6%
2023	Energia wiatrowa	13,5%
2023	Fotowoltaika (PV)	13,8%
2023	Biomasa	5,7%
2023	Energia wodna (hydro)	1,9%
2023	Geotermia	0,5%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS (2021–2023). *Produkcja energii elektrycznej w Polsce...*, Główny Urząd Statystyczny.

W ciągu czterech lat w Polsce **energia wiatrowa** utrzymuje się na poziomie około **12–13%** całkowitej produkcji energii elektrycznej, co czyni ją jednym z głównych źródeł OZE w kraju. **Fotowoltaika** dynamicznie rośnie. Jej udział wzrósł z **6% w 2020 roku** do **13,8% w 2023 roku**. To wskazuje na gwałtowny rozwój instalacji fotowoltaicznych, zarówno w sektorze indywidualnym (np. panele na dachach domów), jak i przemysłowym (duże farmy fotowoltaiczne). Wzrost ten jest wynikiem korzystnych dotacji, ulg podatkowych i spadających kosztów technologii PV. Udział **energii wodnej** pozostał stosunkowo stabilny na poziomie około **2%**, mimo niewielkich fluktuacji. Zdecydowana większość elektrowni wodnych w Polsce to instalacje małe i średnie, co ogranicza ich wpływ na krajowy miks energetyczny. **Geotermia** pozostaje marginalnym źródłem energii w Polsce, zaledwie **0,5%** w 2023 roku. **Biomasa** jest stabilnym źródłem energii, ale jej udział w krajowej produkcji energii

elektrycznej nie zmienia się drastycznie i wynosi około 5,5–5,7% w latach 2020–2023.

Zatem można stwierdzić że wzrost udziału fotowoltaiki, wskazuje na rosnącą decentralizację sektora energetycznego. Inwestycje w farmy fotowoltaiczne oraz instalacje PV na dachach budynków stają się coraz bardziej popularne. Wiatr pozostaje kluczowym źródłem OZE, zwłaszcza w województwach takich, jak Wielkopolskie, gdzie warunki geograficzne sprzyjają rozwojowi farm wiatrowych. Istotne jest jednak dalsze wspieranie tej technologii, szczególnie w kontekście przyszłych regulacji dotyczących lokalizacji nowych farm. Choć biomasa wciąż pozostaje ważnym elementem miksu energetycznego, jej udział może maleć na rzecz technologii bardziej efektywnych i bardziej skalowalnych, takich jak fotowoltaika i energia wiatrowa.

5. Wyzwania i perspektywy rozwoju OZE w Polsce

Mimo że Polska dysponuje dużym potencjałem w zakresie OZE, wciąż istnieją liczne wyzwania związane z ich pełną integracją z systemem energetycznym. Do najistotniejszych należy zaliczyć zmienność produkcji energii z OZE, problemy z magazynowaniem energii, a także konieczność modernizacji sieci energetycznych. Wysokie koszty inwestycyjne oraz brak odpowiednich regulacji prawnych mogą stanowić dodatkowe bariery w rozwoju sektora OZE. Rola polityki rządowej w rozwoju OZE jest kluczowa. Polska, jako członek Unii Europejskiej, musi dostosować swoją politykę energetyczną do wymogów europejskich, a także zapewnić odpowiednie wsparcie finansowe i regulacyjne dla inwestycji w technologie odnawialne. Programy dotacyjne, ulgi podatkowe czy gwarancje sprzedaży energii mogą przyspieszyć transformację sektora energetycznego.

Rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) w Polsce jest kluczowy dla transformacji energetycznej i osiągnięcia celów klimatycznych. Mimo znaczącego postępu w ostatnich latach, sektor ten napotyka na liczne wyzwania, które mogą hamować jego dalszy rozwój. Perspektywy rozwoju OZE w Polsce:

- zwiększenie udziału OZE w miksie energetycznym: Polska dąży do znaczącego wzrostu udziału OZE w produkcji energii elektrycznej w najbliższych latach. Zgodnie z Polityką energetyczną Polski do 2040 r. (PEP2040), planuje się osiągnięcie mocy 45 GW w fotowoltaice oraz 20 GW w energetyce wiatrowej na lądzie do 2040 roku;

- rozwój nowych technologii: Oczekuje się dynamicznego rozwoju technologii takich jak magazyny energii, wodór czy morskie farmy wiatrowe, które mogą znacząco wpłynąć na stabilność i efektywność systemu energetycznego;
- dekarbonizacja ciepłownictwa: Sektor ciepłowniczy będzie przechodził proces dekarbonizacji poprzez zwiększenie udziału OZE, takich jak biomasa czy pompy ciepła, co przyczyni się do redukcji emisji CO₂;
- inteligentne sieci energetyczne: Rozwój inteligentnych sieci umożliwi efektywniejsze zarządzanie energią z OZE oraz integrację różnych źródeł energii, co jest kluczowe dla stabilności systemu.

Wyzwania stojące przed sektorem OZE w Polsce:

- stan infrastruktury sieciowej: Polska sieć energetyczna jest przestarzała; ponad połowa linii napowietrznych ma ponad 40 lat, co ogranicza możliwości przyłączania nowych źródeł OZE i efektywnego przesyłu energii;
- ograniczenia prawne i administracyjne: Skomplikowane procedury administracyjne, takie jak ustawa odległościowa (zasada 10h) dla farm wiatrowych, oraz brak spójnej polityki energetycznej utrudniają rozwój OZE;
- problemy techniczne: Niedostosowanie sieci do obsługi dynamicznych zmian w podaży energii z OZE oraz brak rozwiniętych systemów magazynowania energii stanowią istotne bariery;
- dostępność gruntów: Rozwój niektórych technologii OZE, takich jak farmy wiatrowe czy fotowoltaiczne, wymaga znacznych obszarów gruntów, co może prowadzić do konfliktów społecznych i ograniczeń przestrzennych;
- finansowanie i inwestycje: Mimo dostępnych programów wsparcia, nadal istnieje potrzeba zwiększenia dostępności finansowania dla inwestycji w OZE, zwłaszcza dla małych i średnich przedsiębiorstw.

Podsumowanie

Odnawialne źródła energii stanowią istotny element w dążeniu Polski do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego. Dzięki dywersyfikacji źródeł energii, redukcji emisji gazów cieplarnianych, zwiększeniu elastyczności systemu energetycznego oraz wzrostowi lokalnej produkcji energii, OZE przyczyniają się do budowy stabilnego, zrównoważonego

i bardziej odpornego na kryzysy systemu energetycznego. Mimo wyzwań związanych z integracją OZE oraz potrzebą modernizacji infrastruktury energetycznej, Polska ma szansę na dalszy rozwój sektora odnawialnych źródeł energii, który będzie miał kluczowe znaczenie w zapewnieniu długoterminowego bezpieczeństwa energetycznego kraju.

Rola technologii odnawialnych źródeł energii w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego Polski jest nie do przecenienia. OZE pozwalają na dywersyfikację źródeł energii, redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz zwiększenie elastyczności krajowego systemu energetycznego. Mimo istniejących wyzwań związanych z integracją OZE z krajową infrastrukturą, Polska poczyniła znaczne postępy w tej dziedzinie. W przyszłości dalszy rozwój OZE będzie kluczowy dla zapewnienia stabilności energetycznej oraz realizacji celów związanych z neutralnością węglową.

Analiza tematu wykazuje, że kwestie bezpieczeństwa energetycznego w Polsce powinny być traktowane jako priorytet, ponieważ mają kluczowe znaczenie dla funkcjonowania gospodarki. Inwestycje w odnawialne źródła energii (OZE) mogą zapewnić stabilność gospodarczą, nawet w przypadku przerwania dostaw surowców z zagranicy. Podsumowując dotychczasowe badania, można zauważyć pozytywną tendencję w rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce. Realizacja zrównoważonego rozwoju opiera się na zaspokajaniu potrzeb społecznych i gospodarczych, a dynamika rozwoju sektora OZE wciąż wzrasta.

Ekonomiczne uwarunkowania rozwoju mają kluczowe znaczenie dla popularyzacji istniejących rozwiązań. Społeczeństwo, które dąży do zrównoważonego rozwoju, podejmuje wysiłki w celu: ochrony zasobów naturalnych naszej planety dla przyszłych pokoleń, zapewnienia stabilności procesów zachodzących w obecnych ekosystemach oraz utrzymania zasobów nieodnawialnych na najwyższym możliwym poziomie, promowania rozwoju nowych, odnawialnych źródeł energii.

Aby ocenić bezpieczeństwo energetyczne, istotne jest rozpatrzenie odnawialnych źródeł energii (OZE) z perspektywy ekonomiczności. Obejmuje to zarówno cenę energii, jak i koszty jej wytworzenia, które wpływają na konkurencyjność danego kraju. Konsumpcja energii związana z realizacją usług ma z kolei istotny wpływ na konkurencyjność gospodarki oraz jakość życia obywateli. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii przyczynia się do stałego obniżania kosztów produkcji jednostki energii elektrycznej. Narzędzia wykorzystywane do pozyskiwania energii z OZE charakteryzują się coraz lepszymi parametrami sprawności, co jest kluczowe z punktu widzenia ekonomicznych uwarunkowań

inwestycyjnych. Spadające koszty produkcji determinują zatem wzrost opłacalności takich inwestycji. Kluczowym aspektem celowości inwestycyjnej tego rodzaju projektów jest ich rola w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego w kraju. Przeprowadzone badania pozwalają na określenie znaczenia rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz stanowią przegląd, który umożliwia ocenę najbardziej korzystnych źródeł energii w danym klimacie.

Interesy konkurencyjne:

Autor oświadczył, że nie istnieje konflikt interesów.

Competing interests:

The author has declared that no competing interests exists.

Wkład autorów

Konceptualizacja: Marcin Kościelniak

Analiza formalna: Marcin Kościelniak

Metodologia: Marcin Kościelniak

Opracowanie artykułu – projekt, przegląd i redakcja: Marcin Kościelniak

Authors contributions

Conceptualization: Marcin Kościelniak

Formal analysis: Marcin Kościelniak

Methodology: Marcin Kościelniak

Writing – original draft, review and editing: Marcin Kościelniak

Bibliografia**Literatura:**

- Buchanan R. (2015), *Energy Security in the Context of Sustainable Development*, Springer.
- Czwołka A., Siemiątkowski P., Tomaszewski P. (2018), *Bezpieczeństwo energetyczne państwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kaczmarek K. (2016), *Odnawialne źródła energii: Podstawy technologii i zastosowania*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kielorz A. (2018), *Energetyka węglowa i OZE – wzajemne uzupełnienie czy rywalizacja?*, „Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk”.

- Kochanowicz J. (2012), *Polityka energetyczna w warunkach globalnych zmian*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kwiatkiewicz P. (2018), *Bezpieczeństwo energetyczne – ewolucja percepcji problemu i jej determinanty*, Przegląd Naukowo Metodyczny, „Edukacja dla bezpieczeństwa”, nr 1.
- Kwiatkowski M. (2019), *Zrównoważona energia: Technologie geotermalne i biomas*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Kwieciński T. (2014), *Bezpieczeństwo energetyczne i systemy energetyczne*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej.
- Nowak J. (2017), *Przemiany energetyczne w kontekście odnawialnych źródeł energii*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Nowak J. (2018), *Technologie odnawialnych źródeł energii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
- Szczepanik M. (2010), *Bezpieczeństwo energetyczne Polski w dobie kryzysów globalnych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
- Szczepanik M. (2015), *Energia odnawialna: Biomasa, biogaz i inne źródła*, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Zieliński M. (2017), *Systemy energii odnawialnej*, Wydawnictwo Akademickie.
- Zieliński M. (2018), *Technologie odnawialnych źródeł energii: Przewodnik po nowoczesnych rozwiązaniach*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
- Zieliński M., Jasiński R. (2015), *Odnawialne źródła energii w praktyce*, Wydawnictwo Akademickie.

Akty prawne:

- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – *Prawo energetyczne*, Dz. U. 2024, poz. 266, 834, 859, 1847.
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. *o odnawialnych źródłach energii*, Dz. U. 2015, poz. 478.

Dane statystyczne:

- Eurostat (2023), *Energy Statistics*, <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- GUS (2021), *Produkcja energii elektrycznej w Polsce w 2020 roku*, Główny Urząd Statystyczny.
- GUS (2022), *Produkcja energii elektrycznej w Polsce w 2021 roku*, Główny Urząd Statystyczny.
- GUS (2023), *Emisje gazów cieplarnianych w Polsce w 2022 roku*, Główny Urząd Statystyczny.
- GUS (2023), *Produkcja energii elektrycznej w Polsce w 2022 roku*, Główny Urząd Statystyczny.
- IEA (2020), *World Energy Outlook 2020*, International Energy Agency.
- Krajowa Agencja Poszanowania Energii (2023), *Raport o stanie infrastruktury energetycznej w Polsce*.

Ministerstwo Klimatu i Środowiska (2023), *Polska Strategia Energetyczna 2040*.

Ministerstwo Klimatu i Środowiska (2023), *Roczny raport o stanie energetyki w Polsce*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa, <https://www.gov.pl/web/klimat>.

PIEO (2023), *Raport o stanie fotowoltaiki w Polsce*, Polski Instytut Energetyki Odnawialnej.

PSEW (2023), *Raport o stanie energetyki wiatrowej w Polsce*, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej.

Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, (2023), *Raport o stanie energetyki odnawialnej w województwie wielkopolskim*, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, Poznań, <https://www.umww.pl>.

The Role of Renewable Energy Sources in Ensuring Energy Security: A Case Study

Summary

In the context of global challenges related to sustainable development and climate change, the role of renewable energy technologies (RES) in ensuring energy security is becoming increasingly important. The aim of this article is to analyze the impact of RES on the stability of energy supply and energy independence, taking into account a selected case study. Various renewable technologies, such as wind, solar, biomass, and geothermal energy, and their integration into national and regional energy systems were examined. The case study allowed for a detailed assessment of the challenges and benefits associated with implementing RES in a given geographic and economic context. The results demonstrate the potential of RES to reduce dependence on fossil fuels, diversify energy sources, and increase the resilience of energy systems to crises. Technological, financial, and legislative barriers that may hinder the full use of RES were also identified. The article concludes with recommendations for energy policy aimed at supporting a sustainable energy transition that benefits energy security and environmental protection.

Key words: renewable energy sources, energy security, sustainable development, technology, case study

