

Kacper Cop

ORCID: 0000-0003-1058-6335

Uniwersytet Wrocławski

Wydział Prawa, Administracji i Ekonomii

<https://doi.org/10.19195/1733-5779.43.7>

Wyzwania sektora energii w kontekście transformacji energetycznej

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo energetyczne, odnawialne źródła energii (OZE), ograniczenie emisji dwutlenku węgla, polityka energetyczna UE i Polski, rynek uprawnień do emisji

Keywords: energy security, renewable energy sources (RES), reduction of carbon dioxide emissions, energy policy of the EU and Poland, EU Emissions Trading System (EU ETS)

Abstrakt: Artykuł ma na celu odpowiedź na pytanie, czy aktualny stan polskiego systemu energetycznego może doprowadzić do jego kryzysu i zagraża bezpieczeństwu energetycznemu Polski. Zweryfikowano tę tezę, posługując się zarówno analizą danych statystycznych, jak i przeglądem literatury. W opracowaniu wskazano szereg negatywnych zjawisk oddziałujących na polski sektor energetyczny. Należą do nich przede wszystkim brak szeroko zakrojonych reform polskiego rynku energetycznego i negatywne efekty zewnętrzne, które mogą doprowadzić do kryzysu.

Challenges of the energy sector in the context of energy transformation

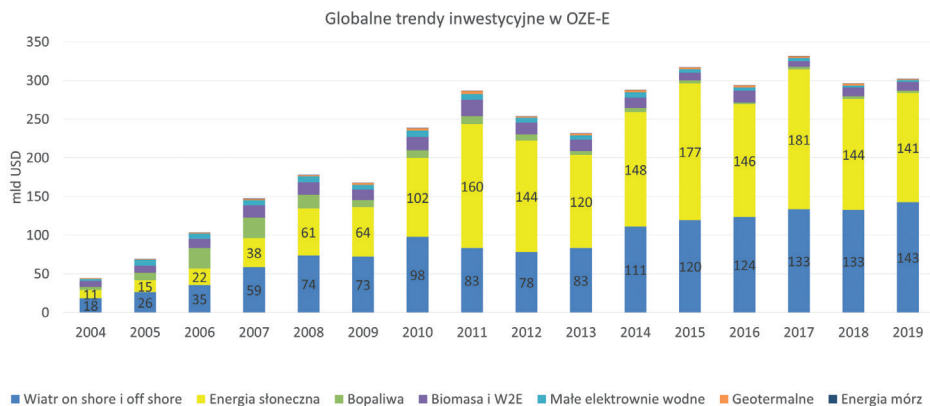
Abstract: The article aims to answer whether the current state of the Polish energy system may lead to its crisis and in turn threaten the country's energy security. This assumption was verified with the use of statistical data analysis and a review of literature. The study indicates several negative phenomena affecting the Polish energy sector. They include the lack of far-reaching reforms in the Polish energy market and negative external effects that may lead to a crisis.

Wstęp

Według szacunków *World Energy Outlook*¹ zapotrzebowanie na energię wzrasta średnio o 1,3% rocznie. Polski Instytut Ekonomiczny szacuje, że elektrownie

¹ International Energy Agency, *World Energy Outlook 2019*, <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:goFKkyOVFC0J:https://iea.blob.core.windows.net/assets/a3981adb->

w Polsce mają średnio 47 lat², a za 30% mocy dostarczanej do polskiego systemu energetycznego odpowiadają elektrownie zbudowane ponad 50 lat temu. Przez ostatnie dekady nastąpił wzrost świadomości zagrożeń wynikających z globalnego ocieplenia, wpływu działalności człowieka na jego pogłębianie i metod jego ograniczania. Spowodowało to zwiększenie znaczenia technologii odnawialnych i stopniowe wycofywanie się z inwestycji wysoko emisyjnych. Dobrze obrazuje to wzrost globalnych nakładów inwestycyjnych na OZE, co przedstawiono na wykresie 1.



Wykres 1. Globalne trendy inwestycyjne w OZE

Źródło: *Global Trends in Renewable Energy Investment 2020*, IEO, <https://www.pte.pl/pliki/2/1/GrzegorzWisniewski-prezentacja-Rolaenergetyki%20odnawialnej.pdf> (dostęp: 03.06.2022).

Przyczyn takiego stanu można upatrywać w międzynarodowej polityce klimatycznej³, nastrojach społecznych, rozwoju technologii, we wzroście cen paliw kopalnych, a także w zmniejszeniu ich dostępności. W roku 2021 nastąpiło gwałtowne podwyższenie opłat ekologicznych, niespotykane w poprzednich latach. Ceny uprawnień do emisji CO₂ w grudniu 2021⁴ roku trzykrotnie przewyższyły poziom szacowany na rok 2030⁵. Taka sytuacja wymusza wzrost nakładów na

f1de-4e1a-88df-938f5c7c5726/Polish-Summary-WEO2019.pdf+&cd=2&hl=pl&ct=clnk&gl=pl&l r=lang_en%7Clang_pl (dostęp: 08.01.2022).

² Średni wiek elektrowni w Polsce to 47 lat, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/182259-sredni-wiek-elektrowni-w-%C2%A0polsce-to-%C2%A047-lat> (dostęp: 13.01.2022).

³ B. Zakrzewska, K. Rojek, *Rola OZE w europejskim systemie energetycznym*, „Autobusy. Technika, eksploatacja, systemy transportowe” 20, 2019, nr 6.

⁴ B. Oksińska, *Kosmiczne ceny praw do emisji CO₂. Mieliśmy je osiągnąć dopiero w 2030 r.*, Business Insider, <https://businessinsider.com.pl/gielda/kosmiczne-ceny-praw-do-emisji-co2-mielismy-je-osiagnac-dopiero-w-2030-r/4x2mhzm> (dostęp: 14.01.2022).

⁵ T. Olkusi, Z. Grudziński, K. Stala-Szlugaj, *Rynek uprawnień do emisji CO₂ w Unii Europejskiej*, „Przegląd Górniczy” 74, 2018, nr 4, s. 40.

inwestycje OZE i konieczność podniesienia konkurencyjności sektora wytwarzania⁶. W związku z rosnącymi cenami certyfikatów, dopłatami unijnymi i wysokim średnim czasem eksploatacji elektrowni inwestycje związane z odnawialnymi źródłami energii stanowią już ponad 85% wszystkich inwestycji w sektorze energetycznym⁷.

Zarówno krajowe, jak i unijne ustawodawstwo nieustannie wpływa na sektor energetyczny w Polsce. Nowelizacja ustawy o odnawialnych źródłach energii z dnia 29 października 2021 roku zmniejszyła rentowność instalacji fotowoltaicznych poprzez przekierowanie części z tych środków na rozwiązania wspomagające sieć dystrybucji⁸. Rozwój niektórych gałęzi rynku energii odnawialnej został znacząco ograniczony przez ustawę o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych⁹ ze względu na obawy o społeczne konsekwencje nadmiernego rozwoju przyrostu nowych elektrowni.

W artykule dokonano przeglądu aktualnych uwarunkowań rozwoju polskiego sektora energetycznego oraz wskazano dominujące przeszkody wynikające z transformacji energetycznej. Analiza sytuacji polskiego sektora energetycznego na tle innych państw UE skłania do postawienia pytania, czy aktualny stan polskiego systemu energetycznego może doprowadzić do jego kryzysu i zagraża bezpieczeństwu energetycznemu Polski. Zostało to zweryfikowane za pomocą danych statystycznych i przeglądu literatury. Praca wskazuje największe zagrożenia dla rozwoju rynku energetyki wynikające z krajowego ustawodawstwa. Nakreśla ramy polityki klimatycznej Unii Europejskiej, opisuje przy tym rynkowy mechanizm ograniczania emisji dwutlenku węgla w postaci certyfikatów. Poza zagrożeniami opisane zostały technologie i rozwiązania mogące stać się odpowiedzią na problemy polskiego sektora energetycznego. Na koniec wskazano, jak postępująca dekarbonizacja energetyki i rosnące zapotrzebowanie na energię mogą stać się zagrożeniem dla bezpieczeństwa energetycznego.

1. Aktualne uwarunkowania polskiego sektora energetycznego

Struktura produkcji energii elektrycznej w Polsce (wykres 2) opiera się na węglu kamiennym w 48,3% i węglu brunatnym w 16,8%. Łącznie odnawialne źródła

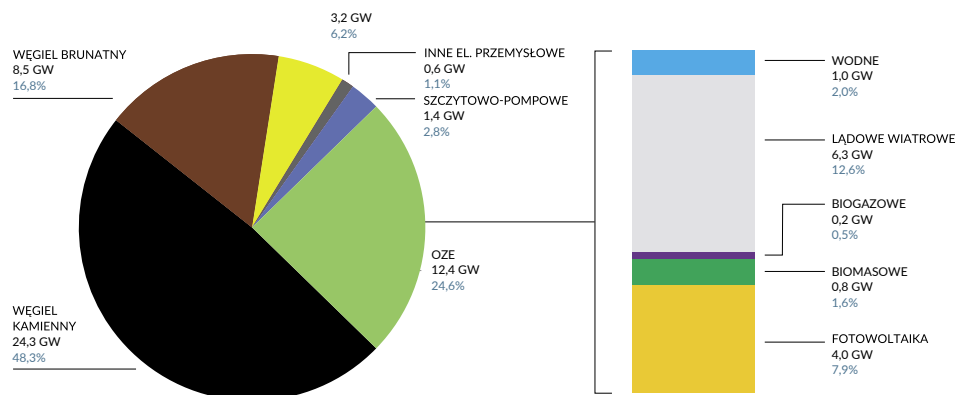
⁶ J. Paska, T. Surma, *Wykorzystanie odnawialnych zasobów energii w krajach Unii Europejskiej — stan obecny oraz perspektywy realizacji celów roku 2020*, „Rynek Energii” 2018, nr 2 (135), s. 14.

⁷ *Ibidem*, s. 10.

⁸ *Sejm przyjął nowelizację ustawy o odnawialnych źródłach energii wprowadzającą zmiany do systemu rozliczeń prosumentów*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, <https://www.gov.pl/web/klimat/sejm-przyjal-nowelizacje-ustawy-o-odnawialnych-zrodlach-energii-wprowadzajaca-zmiany-do-systemu-rozliczen-prosumentow> (dostęp: 15.04.2022).

⁹ Ustawa z dnia 20 maja 2016 roku o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych (Dz.U. z 2016 r. poz. 961 z późn. zm.).

energii w Polsce stanowią 24,6% produkowanej energii. Głównym źródłem OZE są lądowe elektrony wiatrowe.



Wykres 2. Struktura produkcji energii według kryterium nośników w Polsce na rok 2020

Źródło: <https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/transformacja-2021> (dostęp: 05.05.2022).

Polski sektor energetyczny cechuje się wysokim zapotrzebowaniem na węgiel. Szacuje się, że surowiec ten będzie stanowił główny element struktury wytwarzania energii w Polsce przynajmniej do 2030 roku. Aktualnie 65% energii wytwarzane jest z tego surowca¹⁰. Zgodnie z porozumieniem paryskim¹¹ Polska musi podjąć wysiłki w celu redukcji CO₂ i w konsekwencji dekarbonizacji swojego przemysłu energetycznego¹². Aktualnie do najważniejszych wyzwań stojących przed Polską należy zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 55% w porównaniu z emisją z 1990 roku i jednocześnie wzrost do co najmniej 32% udziału źródeł odnawialnych w zużyciu finalnym energii brutto do roku 2030. Mimo niewielkiego spadku zużycia energii, który nastąpił w okresie pandemii, szacuje się, że krajowe zapotrzebowanie będzie rosło średnio o 1,5% do 2040 roku. Moc zainstalowana polskiego systemu energetycznego wynosi 49 238 MW. Odnotowywane są momenty, w których nasz krajowy system energetyczny, przez niedobory bilansowe, nie ma możliwości utrzymania wymaganego poziomu rezerw mocy¹³. Gdy połączymy te wszystkie komponenty, rysuje nam się szerszy obraz wyzwań,

¹⁰ M. Bukowski, A. Śniegocki, *Mix energetyczny 2050. Analiza scenariuszy dla Polski. Raport opracowany na zlecenie Ministerstwa Gospodarki przez Instytut Badań Strukturalnych i demosEUROPA — Centrum Strategii Europejskiej*, Warszawa 2011, s. 11.

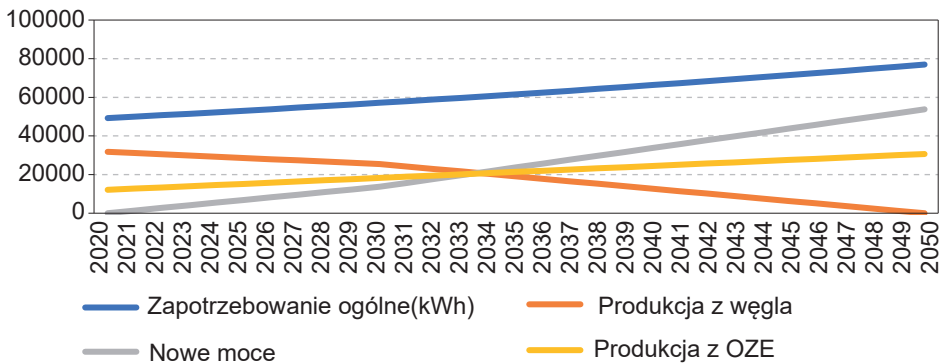
¹¹ Porozumienie paryskie, Dokument 22016A1019(01), Dz.U. L 282 z 19.10.2016, z późn. zm.

¹² P. Czyżak, M. Hetmański, *2030. Analiza dot. granicznego roku odejścia od węgla w energetyce w Europie i Polsce*, „Instrat Policy Paper” 2020, nr 1, <https://instrat.pl/2030-pl/> (dostęp: 01.04.2022).

¹³ *Napięty bilans w polskim systemie elektroenergetycznym. Ratuje nas import energii z zagranicy*, GLOBEnergia, <https://globenergia.pl/napiety-bilans-w-polskim-systemie-elektroenergetycznym-ratuje-nas-import-energii-z-zagranicy/> (dostęp: 06.04.2022).

przed którymi stoi sektor energetyczny. Najczęściej w kontekście zmian energetycznych w Unii Europejskiej pojawiają się trzy daty: 2030, 2040 i 2050. O ile dwie pierwsze traktować można jako orientacyjne punkty znaczącej redukcji emisji dwutlenku węgla, o tyle trzecia data jest nieprzekraczalną granicą wskazaną przez unijne rozporządzenia.

Już dziś część istniejących elektrowni węglowych nie spełnia norm klimatycznych i środowiskowych, toteż po roku 2025 ich wygasające kontrakty mocy, w świetle prawa unijnego, nie będą mogły być przedłużone¹⁴. Przetargi na nowe moce mają za cel uzyskanie pożądanej, przyszłej struktury wytwarzania¹⁵. Szacuje się, że do 2030 roku produkcja energii z elektrowni węglowych spadnie o 20%¹⁶. W zależności od obranego modelu dekarbonizacji energetyki procentowy udział węgla w miksie energetyki spada do 40% obecnej wartości.



Wykres 3. Zapotrzebowanie energetyczne Polski w kWh

Źródło: opracowanie własne.

Wykres 3 obrazuje w uproszczeniu skalę problemu, przed którym stoi polski sektor energetyczny. Przedstawia zjawiska wieloaspektowe za pomocą funkcji liniowych, które początek swój biorą z danych empirycznych z 2020 roku i przechodzą przez odpowiednie punkty wyznaczone przez cele unijne. Na wykresie ujęto najważniejsze daty dla polskiej energetyki, czyli lata: 2030, 2040 i 2050. Patrząc przez pryzmat struktury produkcji elektrycznej w okresie od marca 2021 do lutego 2022, dostrzeżemy, że wykorzystanie węgla spadło o 9,1 punktu procentowego,

¹⁴ J. Dudek, *Tanie, czyste i pewne. Dlaczego je skreślamy, skoro mogą znacznie obniżyć ceny prądu?*, <https://zielona.interia.pl/eko-technologie/energetyka/news-wegiel-w-polsce-to-nieunikniona-przeslosc-czas-na-odnawialn,nId,5765155> (dostęp: 01.04.2022).

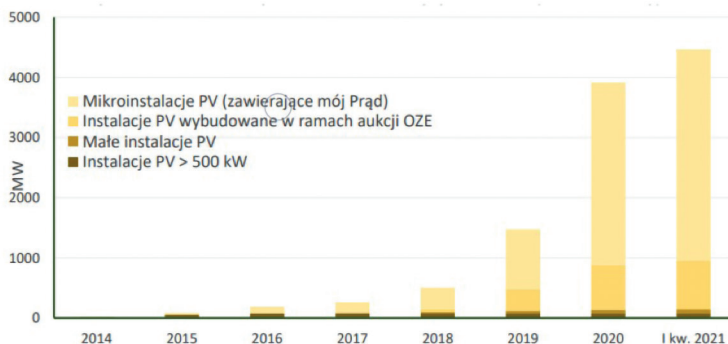
¹⁵ P. Bućko, *Mechanizmy mocy na rynkach energii elektrycznej*, „Przegląd Elektrotechniczny” 95, 2019, nr 10, s. 40–44, DOI:10.15199/48.2019.10.07.

¹⁶ Ministerstwo Aktywów Państwowych, *Zaktualizowany projekt Polityki energetycznej Polski do 2040 r.*, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/zaktualizowany-projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>. (dostęp: 01.04.2022).

a udział tylko wiatrowych elektrowni wzrósł o 9,2 punktu procentowego¹⁷. Linia niebieska na wykresie 3 obrazuje statystyczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Jest to wypadkowa wzrostu zapotrzebowania i ograniczania mocy wytwórczych elektrowni węglowych. Wedle umowy społecznej z górnikami proces wygasania elektrowni węglowych potrwa do 2049 roku¹⁸, jednak wysokie ceny certyfikatów EU ETS (powyżej 50 euro za tonę emisji CO₂), brak wsparcia rządowego i nacisk społeczny znacznie przyspieszą datę ostatecznej reformy polskiego systemu energetycznego zmieniającej go w system niskoemisyjny.

2. Uwarunkowania rozwoju technologii fotowoltaicznej w Polsce

W Polsce dynamicznie rozwija się fotowoltaika wśród prosumentów indywidualnych, do których należą głównie gospodarstwa domowe. W roku 2020 w Polsce odnotowano ogromne zainteresowanie panelami fotowoltaicznymi przekładające się na wzrost o 200% względem roku poprzedniego¹⁹.



Wykres 4. Skumulowana moc zainstalowana w PV w Polsce

Źródło: URE, OSD, oprac. IEO, <https://ieo.pl/pl/raporty> (dostęp: 03.06.2022).

Polska odnotowuje wykładniczy wzrost mocy zainstalowanej w fotowoltaice (wykres 4), gdzie największy przyrost odnotowany jest w mikroinstalacjach²⁰. Od-

¹⁷ *Luty 2022 w energetyce*, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/opinie/luty-2022-w-energetyce-> (dostęp: 11.06.2022).

¹⁸ A. Gawlikowska-Fyk, *Po 2025 r. węgiel będzie wychodził z polskiego systemu energetycznego falami*, Forum Energii, <http://www.forum-energii.eu/pl/blog/luca-weglowa-2025> (dostęp: 11.06.2022).

¹⁹ Instytut Energetyki Odnawialnej, *Rynek fotowoltaiki w Polsce 2021*, <https://ieo.pl/pl/aktualnosci/1538-rynek-fotowoltaiki-w-polsce-2021> (dostęp: 17.01.2022).

²⁰ Mikroinstalacja — instalacja odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 50 kW, przyłączona do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV albo o mocy osiągalnej cieplnej w skojarzeniu nie większej niż 150 kW, w której łączna moc zainstalowana elektryczna jest nie większa niż 50 kW — Ustawa z dnia 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. z 2015 r. poz. 478).

powiadają one 77% mocy zainstalowanej w fotowoltaice w 2020 roku²¹. Ilość energii wytwarzanej przez odnawialne źródła energii jest uzależniona od warunków pogodowych, stwarza to więc niebezpieczeństwo przestoju w dostawach energii. Jednak głównym problemem w rozwoju fotowoltaiki jest ograniczona możliwość przyjmowania i przechowywania energii przez polską sieć energetyczną. Polska sieć dystrybucji energii nie jest w stanie sprostać dzisiejszym wyzwaniom. Kiedy projektowano system energetyczny, sieć była pasywna, to znaczy prąd transportowany był wyłącznie w jedną stronę — od elektrowni do konsumentów. Od momentu rozpowszechnienia paneli fotowoltaicznych w gospodarstwach domowych sytuacja się zmieniła. Jednak przez ostatnie dekady nastąpiły rozległe i szybkie zmiany społeczne, a około 40% linii wysokich i średnich napięć nie zmieniło się od 40 lat²², co powoduje dwa kluczowe problemy. Po pierwsze, występuje zwiększone prawdopodobieństwo awarii, a po drugie, system nie jest w stanie przyjąć znacznych ilości energii od przydomowych instalacji, co zmniejsza ich efektywność i opłacalność. Zwłaszcza że takie sytuacje zachodzą, kiedy przez dłuższy czas w Polsce utrzymują się dogodne warunki pogodowe. Szybki wzrost liczby przydomowych instalacji spowodował, że czas przyłączenia do sieci znacznie się wydłużył. Dodatkowo liczba prosumentów osiągnęła 705 227²³, co przełożyło się na przyrost nowej mocy o ponad 2,4 GW. W roku 2020 pod względem dynamiki przyrostu nowej mocy Polska znalazła się na czwartym miejscu w UE. Większy wzrost nastąpił tylko w Niemczech, Holandii i Hiszpanii (rysunek 1).



Rysunek 1. Przyrost mocy w fotowoltaice w 2020 roku [MW]

Źródło: Instytut Energetyki Odnawialnej, <https://ieo.pl/pl/raport-rynek-fotowoltaiki-w-polsce-2021> (dostęp: 23.05.2022).

²¹ Instytut Energetyki Odnawialnej, *op. cit.*

²² R. Tomaszewski, *Sieć do zmiany. Jak zreformować polski sektor dystrybucji energii elektrycznej*, Polityka Insight, <https://www.politykainsight.pl/bibliotekaraportow/2098961,1,siec-do-zmiany-jak-zreformowac-polski-sektor-dystrybucji-energii-elektrycznej.read> (dostęp: 08.04.2022).

²³ M. Więckowska, *Ponad 700 tys. prosumentów PV w Polsce. Nowe dane z rynku OZE*, Teraz Środowisko, <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/prosumenci-pv-oze-mkis-are-11065.html> (dostęp: 17.01.2022).

Tak duże przyrosty nowych mocy w fotowoltaice były powodem zmian legislacyjnych zapewniających stabilny rozwój energetyki²⁴. Aktualnie należy spodziewać się osłabienia dynamiki wzrostu instalacji fotowoltaicznych z powodu zmiany sposobu rozliczeń. Obowiązujący do 31 marca 2022 roku sposób rozliczania sprawiał, że jeśli gospodarstwo domowe wyprodukowało więcej prądu niż zużyło, to mogło przechować tę nadwyżkę u operatora, by odebrać ją w okresie większego zapotrzebowania, a w zamian oddawało 20% przesłanej energii. System, który wszedł w życie 1 kwietnia 2022 roku, wyłączył możliwość kumulowania nadwyżek energii u operatora, za to zobligował właściciela instalacji do sprzedaży nadmiaru prądu po cenie hurtowej, aby — w razie zapotrzebowania energii w przyszłości, właściciel instalacji kupił ją po cenach detalicznych²⁵. Szacuje się, że aktualnie inwestycja w panele fotowoltaiczne zwraca się po sześciu—ośmiu latach²⁶, zaś dla gospodarstw domowych podłączonych od sieci po 1 kwietnia, rozliczających się według nowych zasad, dopiero po dwunastu—szesnastu latach²⁷. Ustawodawca zdecydował się na takie działania, by przekierować inwestycje podatników w inne miejsce. Wskazuje na to nowelizacja prawa energetycznego upraszczająca regulacje związane z magazynami energii. Pozwala ona na stawianie przydomowych magazynów energii, porządkuje materię koncesjonowania, a także zwalnia z obowiązku taryfikacji magazynowanego prądu²⁸. Nie wprowadza jednak żadnych istotnych dopłat czy systemów wsparcia, co jest istotne ze względu na koszt takiej instalacji i jej podłączenia. W zapowiadany na pierwszy kwartał 2022 roku rządowym projekcie „Mój Prąd 4.0” sygnalizuje się możliwość wprowadzenia dopłat²⁹. Szacuje się, że będą one nie wyższe niż 50% kosztu zakupu instalacji³⁰. Magazyn energii zwiększa rentowność instalacji fotowoltaicz-

²⁴ *Sejm przyjął nowelizację ustawy o odnawialnych źródłach energii wprowadzającą zmiany do systemu rozliczeń prosumentów*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, <https://www.gov.pl/web/klimat/sejm-przyjal-nowelizacje-ustawy-o-odnawialnych-zrodlach-energii-wprowadzajaca-zmiany-do-systemu-rozliczen-prosumentow> (dostęp: 11.04.2023).

²⁵ M. Czechowicz, *Koniec opłacalności fotowoltaiki od 1 kwietnia 2022! Ustawa podpisana*, Murator Plus, <https://muratorplus.pl/technika/oze/koniec-oplacalnosci-fotowoltaiki-w-2022-wcho-dza-nowe-przepisy-aa-WsNA-xueS-jKUL.html> (dostęp: 17.01.2022).

²⁶ *Po ilu latach panele fotowoltaiczne się zwracają? Czy fotowoltaika jest opłacalna?*, Termofol, <https://www.termofol.pl/informacje-ogolne/jak-szybko-zwraca-sie-inwestycja-w-fotowoltaike/> (dostęp: 17.01.2022).

²⁷ M. Czechowicz, *op. cit.*

²⁸ *Sejm przyjął regulacje dla magazynów energii*, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/183502-sejm-przyjal-regulacje-dla-magazynow-energii> (dostęp: 18.01.2022).

²⁹ K. Kochanowski, *Kochanowski: Mój Prąd 4.0 ma dać pieniądze na magazyny energii*, Biznes Alert, <https://biznesalert.pl/kochanowski-moj-prad-4-0-ma-dac-pieniadze-na-magazyny-energii-rozmowa/> (dostęp: 10.01.2022).

³⁰ *Fotowoltaika. Magazyny energii mogą przyspieszyć zwrot z inwestycji*, Biznes Interia, <https://biznes.interia.pl/gospodarka/news-fotowoltaika-magazyny-energii-moga-przyspieszyc-zwrot-z-inwe> (dostęp: 18.01.2022).

nych, co więcej, jest to większa korzyść w przypadku nowego systemu rozliczeń, gdyż prosument nie musi sprzedawać prądu taniej, kiedy ma nadwyżkę energii i kupować drożej w okresie większego zapotrzebowania (na przykład nocą). Obok fotowoltaiki przewiduje się w Polsce rozwój energetyki wiatrowej.

3. Bariery rozwoju energetyki wiatrowej

Aktualnie inwestycje w obszarze wytwarzania energii wiatrowej były ograniczane przepisami ustawy o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych, zwanej potocznie „ustawą antywiatrową”³¹. Ustawa ta w znaczącym stopniu ograniczyła opłacalność nowych inwestycji w tym obszarze poprzez wymogi dotyczące lokalizowania i modernizacji nowych farm wiatrowych. Wskazuje ona, że elektrownie wiatrowe mogą znajdować się w odległości nie mniejszej niż dziesięciokrotność wysokości elektrowni wiatrowej mierzonej od poziomu gruntu do najwyższego punktu budowy³². Jeśli szacować, że średnio taka konstrukcja ma 150 m³³, to obszar, gdzie może znaleźć się zabudowa mieszkalna, musi być oddalony o co najmniej 1500 m od elektrowni. Ta odległość, mierzona w linii prostej, może nie robić wrażenia, ale kiedy pomyśli się o okręgu, którego promień wynosi 1,5 km, to tworzy się obszar o wielkości ponad 700 ha. Konsekwencją takiego ustawodawstwa jest znaczące organicznie doboru miejsc pod nowe elektrownie wiatrowe. Polska, by osiągnąć założone cele klimatyczne, musi skorzystać ze swoich naturalnych przewag i możliwości, którymi bez wątpienia mogą stać się wiatraki. Rozwój energetyki wiatrowej wpisuje się w główne założenia polityki klimatycznej UE.

4. Polityka klimatyczna Unii Europejskiej w kontekście polskiej transformacji energetycznej

Unia Europejska jest jednym z głównych generatorów zmian na polskim rynku energetyki. Samo określenie celów klimatycznych na poziomie unijnym dało bodziec lokalnym gospodarkom do zmiany i wymusiło na przedsiębiorcach uwzględnianie ich wpływu na środowisko. Co istotne, w Unii Europejskiej w grudniu 2019 roku określono cel neutralności klimatycznej do roku 2050. Działania te uznane zostały za niewystarczające, toteż już rok później zaostorzony został cel na rok 2030. Podwyższono oczekiwany poziom redukcji gazów cieplarnianych z 40% do 55%³⁴.

³¹ Ustawa z dnia 20 maja 2016 roku o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych (Dz.U. z 2016 r., poz. 961 z późn. zm.).

³² *Ibidem*.

³³ W. Rynkowski, *Ustawa „antywiatrakowa” hamuje budownictwo jednorodzinne. Znasz zasadę 10H?*, www.money.pl, <https://www.money.pl/gospodarka/ustawa-antywiatrakowa-hamuje-budownictwo-jednorodzinne-znasz-zasade-10h-6650173692152736a.html> (dostęp: 17.12.2021).

³⁴ *Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions „Fit for 55”*:

Koszty zielonej transformacji ponosimy już teraz przez wyższe ceny prądu, które w dużej mierze wynikają z instrumentów rynkowych uruchomionych przez Unię Europejską, by zachęcić do inwestycji w nisko- i nieemisyjne technologie. Szacuje się, że wykorzystanie mechanizmów rynkowych jest najefektywniejszym rozwiązaniem w celu transformacji struktury wytwarzania energii³⁵. Brak szeroko zakrojonej strategii odejścia od elektrowni wysokoemisyjnych, zwłaszcza węglowych, jest problemem w myśl pakietu legislacyjnego „Fit for 55”, przyjętego przez Komisję Europejską w połowie lipca 2021 roku³⁶. Niedostosowanie się do regulacji będzie skutkowało coraz wyższymi kosztami energii i w konsekwencji napięciami społecznymi. Aktualne tempo rozwoju OZE i odchodzenia od paliw kopalnych jest zbyt wolne, by Polska sprostała celom założonym w krajowym planie na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030, zatwierdzonym przez Komisję Europejską³⁷.

Utworzony w 2005 roku system UE ETS służy zwiększaniu kosztów emisji CO₂. Ma on pomóc krajom członkowskim UE osiągnąć cele klimatyczne. Zmusza firmy energetyczne i przemysłowe do zakupu certyfikatów pozwalających na emisję tony dwutlenku węgla do atmosfery. Jest to mechanizm rynkowy polegający na tym, że w ramach aukcji nabywane są te uprawnienia, z których zysk przekazywany jest do budżetu państwa. Ich ceny w roku 2021 wzrosły trzykrotnie i osiągnęły prawie 90 euro za emisję tony CO₂ (stan na 8 grudnia 2021 roku³⁸). Międzynarodowe instytucje finansowe dostrzegły tę tendencję i również zaczęły nabywać uprawnienia, w których upatrywały pole do inwestycji. Certyfikaty zaczęły być uważane za rodzaj inwestycji alternatywnej, która może być zyskowna z racji mechanizmu ograniczania podaży i zwiększającego się zapotrzebowania na energię elektryczną. Sprawia to, że firmy wysoce emisyjne w Polsce są szczególnie narażone na wahania cen certyfikatów. Jednocześnie oznacza to, że zyski, które osiąga polski rząd ze sprzedaży uprawnień, są szczególnie wysokie. Szacuje się, że od 2013 roku, kiedy wprowadzono do systemu EU ETS pełny aukcjonering, do budżetu centralnego wpłynęło łącznie 60 mld złotych, z czego tylko w 2021 roku — 25,2 mld złotych³⁹. Zgodnie z dyrektywami unijnymi co najmniej połowę

Delivering the EU's 2030 Climate Target on the Way to Climate Neutrality, Document 52021DC0550, COM/2021/550 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550&qid=1649712557232> (dostęp: 19.03.2022).

³⁵ J. Popczyk, *Transformacja energetyki (za pomocą reformy ustrojowej rynku energii elektrycznej) do monizmu elektrycznego odnawialnych źródeł energii 2050 — Raport*, „Energetyka–Społeczeństwo–Polityka” 2018, nr 2 (8), s. 3–87.

³⁶ *Communication From The Commission To The European Parliament...*

³⁷ Ministerstwo Aktywów Państwowych, *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030 przekazany do KE*, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-enerгии-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany-do-ke> (dostęp: 15.04.2022).

³⁸ *EU Carbon Permits — 2022 Data — 2005–2021 Historical — 2023 Forecast—Price—Quote*, Trading Economics, <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon> (dostęp: 25.05.2022).

³⁹ M. Boroń, *System ETS. Polska zarobiła ponad 25 mld zł na sprzedaży uprawnień do emisji CO₂*, Bankier.pl, <https://www.bankier.pl/wiadomosc/System-ETS-Polska-zarobiła-ponad-25-mld-zł-na-sprzedazy-uprawnien-do-emisji-CO2-8283998.html> (dostęp: 23.02.2022).

tych środków lub ich równowartość powinniśmy przeznaczać na cele środowiskowe i klimatyczne. Przy założeniu średniej ceny emisji na poziomie 80 euro i kursie wymiany euro do złotówki na poziomie 4,5 zł do budżetu wpłynie 250 mld zł do 2030 roku. Oznacza to jednocześnie, że takimi kosztami zostaną obciążone firmy zmuszone do nabywania uprawnień do emisji. Szacuje się, że uprawnienia do emisji stanowią już 59% ceny energii elektrycznej⁴⁰.

5. Perspektywy rozwoju polskiej energetyki

Aktualnie polski system energetyczny działa w granicach maksymalnego pułapu, dodatkowo zdarzają się okresy, w których zapotrzebowanie na energię tak wzrasta, że trzeba ją sprowadzać zza granicy. Według rządowych szacunków średnie roczne tempo wzrostu zapotrzebowania na energię w latach 2015–2030 w Polsce ma wynosić około 1,5%⁴¹. Krajowe zużycie w latach 2015–2030 ma wzrosnąć o 22%, a do 2040 roku — o 37%⁴². Wszystkie te założenia odzwierciedla krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030⁴³, zatwierdzony przez Komisję Europejską. Implikuje to tym samym odchodzenie od wysokoemisyjnych źródeł energii elektrycznej. Tempo przyrostu nowych mocy musi być na tyle duże, by zaspokoić braki wynikające z zamknięcia starych elektrowni i zwiększenia aktualnego zapotrzebowania. Dopiero po ich pokryciu będzie można rozpocząć proces wygaszania elektrowni węglowych i zastąpić je innymi źródłami energii. Prawdopodobnie zastąpią je odnawialne źródła energii i elektrownie atomowe. Polska ma stać się jednym z największych beneficjentów funduszu sprawiedliwej transformacji. Jest to instrument finansowy mający wspomóc kraje w dążeniu do neutralności klimatycznej, zwłaszcza przez dotacje na modernizację sektorów wysokoemisyjnych⁴⁴. Ośrodek badawczy Instrat szacuje, że kontynuacja scenariusza węglowego w zaproponowanej przez państwo strategii opisanej w Polityce energetycznej Polski do 2040 roku (PEP2040) w transformacji energetycznej sprawi, że do 2030 roku gospodarstwa domowe będą płacić rocznie o 819 zł więcej za energię elektryczną, w porównaniu do podwyżki wynoszącej 317 zł, jeśli znacznie zwiększymy odsetek technologii odnawialnych w miksie energetycznym, co jest strategią proponowaną przez Instrat (czyli zwiększenie udziału OZE do 70%

⁴⁰ *Uprawnienia do emisji CO2 stanowią już 59% ceny energii elektrycznej*, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/o-tym-sie-mowi/uprawnienia-do-emisji-co2-stanowia-juz-59-ceny-energii-elektrycznej> (dostęp: 14.06.2022).

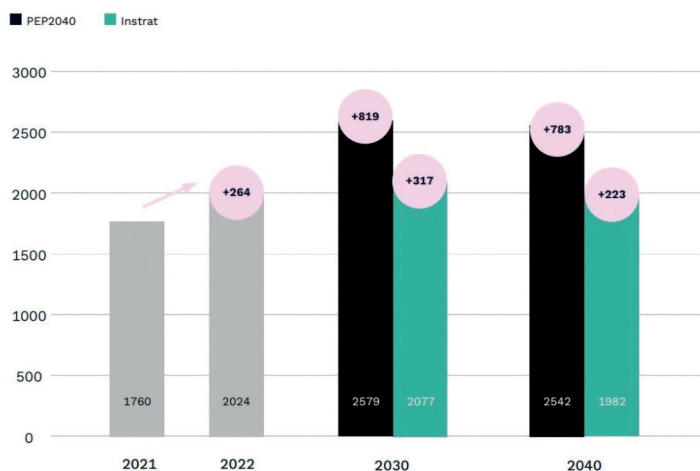
⁴¹ I. Bartkowska, *Program transformacji sektora elektroenergetycznego*, Ministerstwo Aktywów Państwowych, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/program-transformacji-sektora-elektroenergetycznego> (dostęp: 06.02.2022).

⁴² *Ibidem*.

⁴³ Ministerstwo Aktywów Państwowych, *Krajowy plan...*

⁴⁴ M. Kołodziejcki, *Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji*, Noty tematyczne o Unii Europejskiej, Parlament Europejski, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pl/sheet/214/fundusz-na-rzecz-sprawiedliwej-transformacji> (dostęp: 16.04.2022).

z planowych 32% na rok 2030), modernizując jednocześnie naszą sieć energetyczną⁴⁵ (wykres 5).



Wykres 5. Roczne koszty energii elektrycznej dla gospodarstwa domowego w PLN

Źródło: M. Borkowski, P. Czyżak, A. Wrona, *Brakujący element układanki*, Instrat, <https://instrat.pl/ceny-energii/> (dostęp: 06.04.2022).

Według rządowych zapowiedzi w polskim miksie energetycznym ma się znaleźć energia atomowa, co jest przyszłościowym rozwiązaniem. Elektrownie tego typu mają wysoki koszt początkowy, zwłaszcza że — mimo ambitnych planów — w naszym kraju jeszcze żadna taka nie powstała. Oznacza to przymus sprowadzenia odpowiednich technologii i specjalistów w celu jej obsługi. Wiąże się to z wysokimi kosztami, jednak są one rekompensowane w długim okresie przez niski (w porównaniu do innych źródeł) koszt uzyskania energii. Aktualne projekty zakładają uruchomienie pierwszego reaktora w 2033 roku, a następnie co dwa–trzy lata uruchamianie kolejnych bloków⁴⁶, tak by finalnie Polska posiadała ich sześć.

Rozwiązaniem technologicznym, mogącym być remedium na część problemów polskiej energetyki, są małe reaktory modułowe. Koncepcja reaktorów czwartej generacji pręźnie się rozwija od kilku lat. Różnią się one znacząco rozmiarami od klasycznych elektrowni atomowych, dodatkowo mogą pracować przy minimalnym nadzorze. Zastosowanie reaktorów typu SMR ogranicza czas budowy i pozwala w większym stopniu dopasować się do potrzeb rynku. W technologiach jądrowych przeważającymi kosztami są budowa obiektu i dostosowanie systemów bezpieczeństwa. Elektrownia ta cechuje się stosunkowo niską ceną paliwa w stosunku do wytwarzanej energii. Udział frakcji paliwa,

⁴⁵ M. Borkowski, P. Czyżak, A. Wrona, *Brakujący element układanki*, Instrat, <https://instrat.pl/ceny-energii/> (dostęp: 06.04.2022).

⁴⁶ I. Bartkowska, *op. cit.*

liczonej razem z gospodarką odpadami radioaktywnymi, wynosi nie więcej niż 15%⁴⁷. Najczęstszym zabiegiem podnoszącym efektywność inwestycji (liczoną jako koszty wyprodukowania jednej jednostki energii) jest postawienie na jak największą moc reaktora, tak by jak najszybciej się spłacił. Sprawia to jednocześnie, że projekt rozrasta się do takich rozmiarów, iż zaczyna generować problemy związane z zarządzaniem. System małych reaktorów modułowych, dzięki innemu podejściu do minimalizacji kosztów, nie napotyka na te problemy. Przeważającą część kosztów budowy konwencjonalnego reaktora atomowego pochłania zapewnienie wymaganego poziomu bezpieczeństwa, gdy technologia stosowana w reaktorach typu SMR opiera się na pasywnych, mniej skomplikowanych i kosztownych funkcjach bezpieczeństwa. Dodatkową zaletą tych reaktorów jest zmniejszenie ilości radioaktywnych opadów, które są jednym z kluczowych argumentów przeciwników atomu⁴⁸. Ważna z perspektywy Polski będzie unijna klasyfikacja energii jądrowej, gdyż pojawiają się głosy od największych gospodarek unijnych, jakoby energia atomowa nie spełniała wymogu braku znaczącej szkodliwości dla ludzi i środowiska. Większość elektorowi atomowych w Niemczech jest właśnie poddawana procesowi wygaszania. Do końca bieżącego roku niemiecka gospodarka ma się całkowicie uniezależnić od energii atomowej⁴⁹. Gdyby Komisja Europejska podzieliła pogląd niemieckich polityków, postawiłaby pod znakiem zapytania budowę polskich reaktorów atomowych. Jednak Polski Instytut Spraw Międzynarodowych podaje w wątpliwość taki scenariusz, wskazując na zbyt duży konflikt interesów państw członkowskich⁵⁰. Już teraz 25% energii wytwarzanej w UE pochodzi z reaktorów atomowych. Zamknięcie ich i zastąpienie energią odnawialną, przy jednoczesnym zamykaniu elektrowni konwencjonalnych na paliwa kopalne, jest niemożliwe. Szczególnie jest to widoczne z perspektywy Francji, w której ponad 60% energii wytwarza się z atomu. Dominuje pogląd, że KE uzna energię atomową w najgorszym wypadku za neutralną wobec środowiska.

W transformacji klimatycznej szczególnie ważny jest okres przejściowy od energetyki wysokoemisyjnej do zeroemisyjnej. Jeśli uznać za priorytet bezpieczeństwo energetyczne i optymalizację kosztów w długim okresie, najbardziej

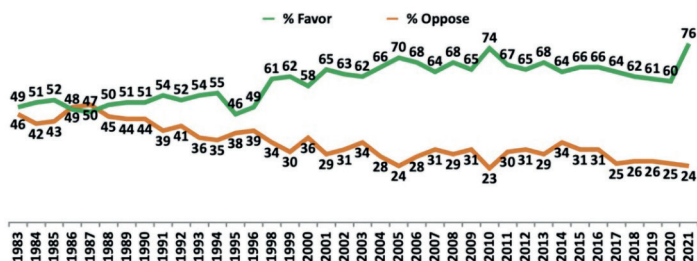
⁴⁷ A. Przybyszewska, *Małe modułowe reaktory (SMR) dla Polski*, Instytut Sobieskiego, <https://sobieski.org.pl/smr-dla-polski/> (dostęp: 20.12.2021).

⁴⁸ *Czym jest SMR? Reaktory KGHM-u powstaną na bazie technologii, która zmieniła zasady gry*, [www.money.pl](https://www.money.pl/gospodarka/czym-jest-smr-reaktory-kgbm-u-powstana-na-bazie-technologiei-ktora-zmienila-zasady-gry-6686597283904032a.html), <https://www.money.pl/gospodarka/czym-jest-smr-reaktory-kgbm-u-powstana-na-bazie-technologiei-ktora-zmienila-zasady-gry-6686597283904032a.html> (dostęp: 08.02.2022).

⁴⁹ *Niemcy zamykają połowę działających elektrowni atomowych*, DW, <https://www.dw.com/pl/niemcy-zamykaja-polowe-dzialajacych-elektrowni-atomowych/a-60303925> (dostęp: 10.02.2022).

⁵⁰ B. Bielszczuk, Z. Nowak, *Perspektywy rozwoju rynku małych reaktorów modułowych*, PISM, https://pism.pl/publikacje/Perspektywy_rozwoju_ryнку_małych_reaktorów_modułowych (dostęp: 10.02.2022).

racjonalną drogą jest całościowa reforma energetyczna, pociągająca za sobą szereg konsekwencji. Oprócz pozytywnych efektów, takich jak niższa cena prądu przekładająca się na niższe rachunki, niewątpliwie pojawią się również negatywne, jak wysokie koszty początkowe wdrożenia nowych technologii i niepokoje społeczne rozumiane jako sprzeciw wobec zmiany. Mogą one nastąpić w związku z ograniczaniem znaczenia energii węglowej, gdyż osłabi to już i tak nie najlepszą kondycję państwowych spółek węglowych, mimo najwyższych cen węgla od sześciu lat⁵¹. Reakcja ludności regionalnej na informacje o budowie reaktorów atomowych może również nie być pozytywna, jak to się zdarzało przed laty⁵². Jednak badania prowadzone od 38 lat w USA pokazują trend rosnącego poparcia dla elektrowni jądrowych przy jednoczesnym spadku odsetka przeciwników (wykres 6). Najnowsze badania wskazują, że 76% respondentów opowiada się za wykorzystaniem energii jądrowej⁵³.



Wykres 6. Wskaźnik poparcia społecznego dla użycia energii atomowej w USA w latach 1983–2021

Źródło: A.S. Bisconti, *National Public Opinion Survey: Support for Nuclear Energy Groups with Climate Change Concerns*, Bisconti Research, May 2021, <https://www.bisconti.com/blog/climate-change-concerns> (dostęp: 06.04.2022).

Do czasu, gdy technologie zeroemisyjne staną się wystarczające do zapewnienia stabilności energetycznej, polski rząd upatruje komplementarności w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego odnawialnych źródeł energii w elektrowniach gazowych. Wybór taki nie jest przypadkowy, ponieważ elektro-

⁵¹ *Ceny węgla w 2022 najwyższe od 6 lat. Ile płaci się za węgiel?*, Murator Plus, <https://muratorplus.pl/biznes/wiesci-z-rynku/ceny-wegla-w-2022-ile-kosztuje-tona-wegla-aa-2Wgb-NFp1-kFbJ.html> (dostęp: 06.04.2022).

⁵² *Protest w Szczecinie przeciw budowie elektrowni atomowej*, Głos Szczeciński, <https://gs24.pl/protest-w-szczecinie-przeciw-budowie-elektrowni-atomowej-zdjecia-wideo/ar/5465084> (dostęp: 10.03.2022).

⁵³ A.S. Bisconti, *National Public Opinion Survey: Support for Nuclear Energy Groups with Climate Change Concerns*, Bisconti Research, May 2021, <https://www.bisconti.com/blog/climate-change-concerns> (dostęp: 06.04.2022).

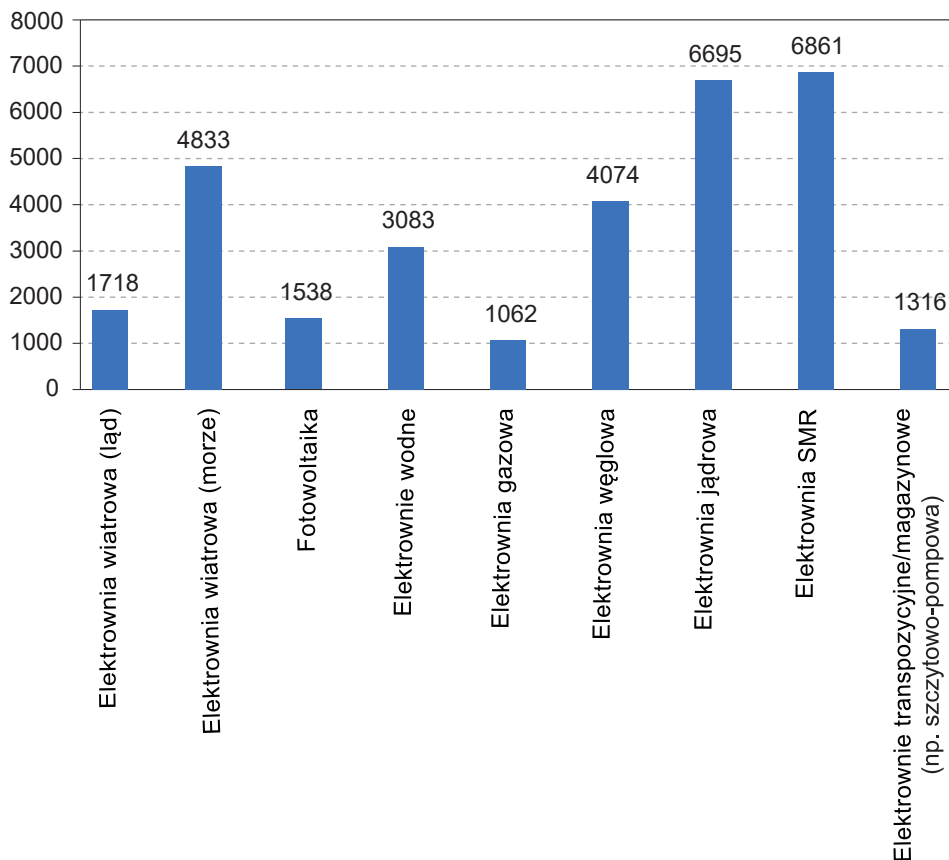
wnie zasilane gazem jako jedne z nielicznych mogą być uruchamiane w okresie zapotrzebowania i wyłączane, gdy to zapotrzebowanie znika, bez uszczerbku dla konstrukcji. Zaleta ta szczególnie jest widoczna w porównaniu do pomysłu utrzymywania nierentownych elektrowni węglowych na niskim pułapie mocy, gdyż ich wygaszenie wiązałoby się z poważnymi uszkodzeniami bloku⁵⁴.

Przez stosunkowo długi czas planowane jest wykorzystanie elektrowni gazowych jako przejściowego źródła energii podczas transformacji energetycznej w Polsce. Jednak jest to technologia droga i emisyjna. Elektrownie gazowe cechują się wysokim udziałem kosztu paliwa w koszcie produkcji energii. Szacuje się, że stanowi on 70–80% kosztu produkcji energii. Oznacza to, że kraje opierające swoją energetykę w dużej mierze na gazie są narażone na wahania cen energii spowodowane zmianami na międzynarodowych giełdach dostaw gazu. Wojna rosyjsko-ukraińska przeformatowała rynek węglowodorów, z których Polska wytwarza energię, mimo że był on narażony na wahania już wcześniej przez spodziewany wzrost zapotrzebowania na energię po okresie spowolnienia gospodarki spowodowanym pandemią. Działania Federacji Rosyjskiej i nałożone na nią sankcje państw Zachodu dają nowy impuls do rozwoju energii odnawialnej, gdyż od ich wykorzystania zależeć będzie nie tylko los środowiska, lecz także bezpieczeństwo energetyczne, rozumiane jako niezależność energetyczna.

6. Wybrane kryteria oceny rentowności elektrowni w kontekście krajowych uwarunkowań

Wybór, jaką elektrownię zbudować, składa się z oceny czynników geograficznych, pogodowych, społecznych i legislacyjnych. Wskaźnikiem pozwalającym porównać zastosowania różnych technologii będą szacunkowe koszty budowy danego typu na rok 2022. W przeliczeniu na dostarczaną energię skorzystamy więc z uśrednionego kosztu budowy elektrowni, wyrażonego w dolarach amerykańskich, podzielonego przez moc elektrowni wyrażonej w kW. Wykres 7 wskazuje, że najtańsze w budowie są elektrownie gazowe, natomiast najdroższe w zestawieniu, prawie siedem razy droższe, są małe reaktory atomowe, co jest zrozumiałe ze względu na rozwijającą się technologię i zabezpieczenia, które zostały już omówione powyżej. Przedstawione na wykresie dane obrazują koszty dla typowego obiektu w każdej technologii wytwarzania przed dostosowaniem do regionalnych czynników kosztowych.

⁵⁴ T. Motowidlak, *Dylematy Polski w zakresie wdrażania polityki energetycznej Unii Europejskiej*, „Polityka Energetyczna” 21, 2018, nr 1.



Wykres 7. Szacunkowe koszty budowy elektrowni danego typu na rok 2022 w przeliczeniu na dostarczaną energię [USD/kW]

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Cost and Performance Characteristics of New Generating Technologies*, „Annual Energy Outlook” 2022.

LCOE (*Levelized Cost of Electricity*) jest to uśredniony koszt energii elektrycznej, stosowany jako miara do oceny i porównania alternatywnych metod wytwarzania energii⁵⁵. W literaturze spotkać można definicję wskazującą, że LCOE to średnia minimalna cena, po której trzeba sprzedać energię wytwarzaną przez elektrownię, by zrównoważyć całkowite koszty produkcji w całym okresie użyt-

⁵⁵ *Levelized Cost of Energy (LCOE)*, Corporate Finance Institute, <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/levelized-cost-of-energy-lcoe/> (dostęp: 14.03.2022).

kowania, innymi słowy, jest to cena prognozy rentowności inwestycji⁵⁶. W zależności od metodyki badania, prognoz makroekonomicznych i założonych tendencji rozwojowych danych technologii szacowana wartość LCOE może się różnić. W artykule do stworzenia wykresu zostały wykorzystane dane z raportu *Projected Costs of Generating Electricity 2020*⁵⁷. Opracowane zostały one na podstawie wyników finansowych 243 elektrowni w 24 krajach. Wykres 8 stanowi graficzną prezentację mediany uśrednionych kosztów produkcji na jednostkę energii (USD/MWh). Tylko dane dotyczące elektrowni typu SMR zostały pobrane z innego raportu, w związku z rozwijającym się charakterem technologii i niewielkim wykorzystaniem w przemyśle. Jednak dzięki temu ich współczynnik LCOE odpowiada dokładnie temu przedstawionemu przez firmę NuScale⁵⁸.

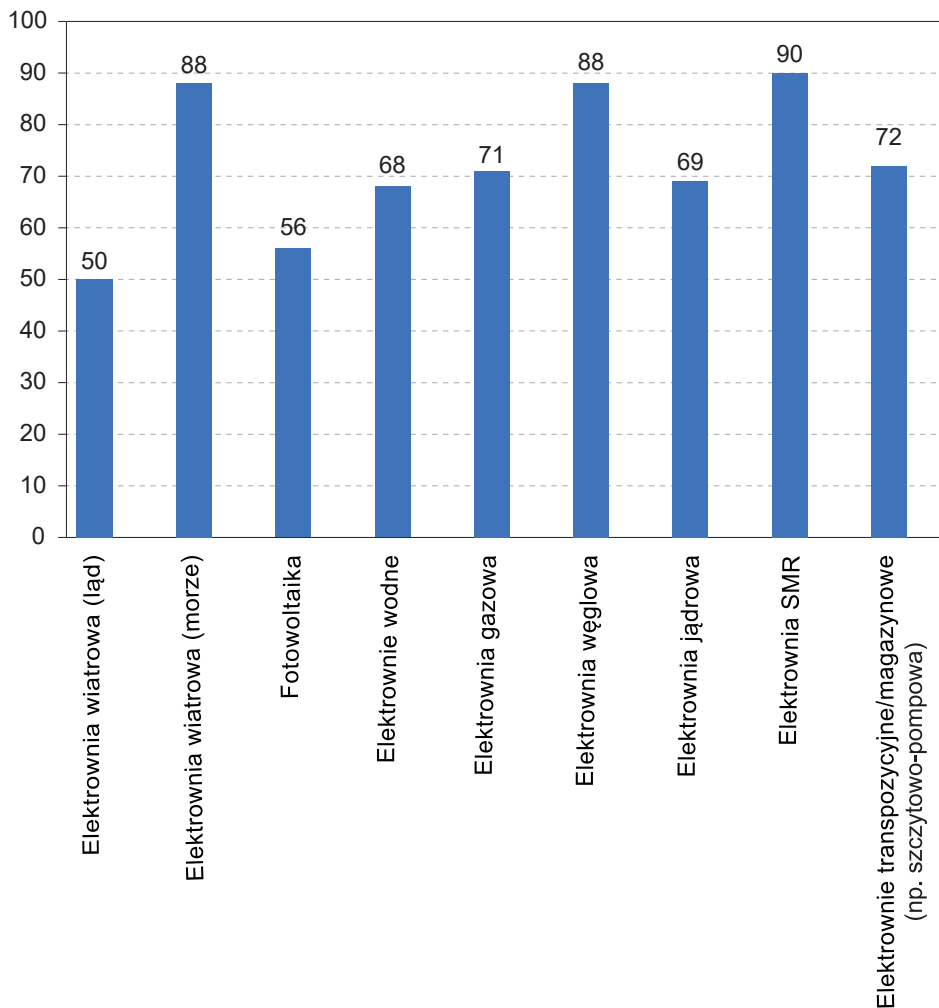
Uśredniony koszt energii elektrycznej z elektrowni wiatrowych stawianych na lądzie jest najmniejszy, niestety przez obecne regulacje prawne inwestorzy mają niezwykle zawężone możliwości stawiania nowych wiatraków. Morze daje perspektywiczne możliwości ze względu na silne wiatry, jednak koszty eksploatacji takiej instalacji są znacznie większe. Drugą z kolei technologią o najniższym koszcie są elektrownie słoneczne. Wyszególniony koszt dotyczy skali przemysłowej. Elektrownie węglowe znajdują się na jednym z ostatnich miejsc, z kosztem 88 USD/MWh, lepiej zaś wypadają elektrownie gazowe — 71 USD/MWh, jednak w obu tych przypadkach musimy pamiętać, że cena energii z nich jest uzależniona od surowca, z którego elektrownia korzysta, i od ETS. Ogromny wpływ na rynki tych surowców mają rosyjska agresja na Ukrainę i sankcje nałożone przez Unię Europejską na Rosję. Ważnym czynnikiem rentowności części elektrowni jest koszt emisji dwutlenku węgla. Przedstawione tu wyniki wskazują średnie koszty na poziomie 30 dolarów (zgodnie z kursem z 18 marca 2022 — 27 euro) za emisję tony CO₂. Dane te na dziś są w sporym stopniu niedoszacowane. Ceny w ostatnich miesiącach były prawie trzykrotnie większe od zakładanych. Wykres szeregu czasowego kosztów certyfikatów EU ETS w ostatnim roku wyglądał następująco (wykres 9)⁵⁹:

⁵⁶ M. Papapetroua, G. Kosmadakis, *Levelized Cost of Electricity — an overview*, ScienceDirect Topics, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/levelized-cost-of-electricity> (dostęp: 14.03.2022).

⁵⁷ IEA, *Projected Costs of Generating Electricity 2020 — Analysis*, <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020> (dostęp: 18.03.2022).

⁵⁸ NEA/OECD, *Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment*, Nuclear Development, OECD Publishing, Paris 2016, <https://doi.org/10.1787/9789264266865-en> (dostęp: 22.04.2022).

⁵⁹ *Carbon Pricing*, Ember, <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/> (dostęp: 18.03.2022).

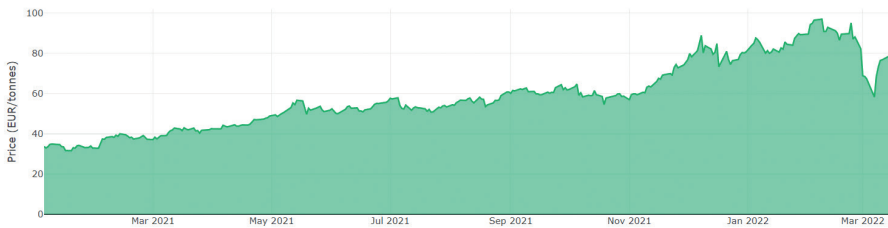


Wykres 8. Wskaźnik uśrednionego kosztu energii (LCOE) dla różnych typów elektrowni w USD

Źródło: opracowanie własne na podstawie: IEA, *Projected Costs of Generating Electricity 2020 — Analysis* oraz NEA/OECD, *Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment*, Nuclear Development, OECD Publishing, Paris 2016, DOI: 10.1787/9789264266865-en.

Łącząc informacje o aktualnym stanie polskiej energetyki i koszty budowy energii z różnych źródeł, możemy oszacować koszty transformacji energetycznej. Jeśli posłużymy się jedynie kosztami budowy elektrowni, to powinniśmy postawić na elektrownie gazowe. Jednak sam koszt kapitałowy elektrowni nie powinien być jednym warunkiem. Wprowadzenie do tego średniego poziomu rentowności pozwala na spojrzenie w szerszej perspektywie i lepszy wybór. Wypadkowa kosz-

tu budowy i rentowności wskazuje, że najlepszym wyborem byłyby elektrownie wiatrowe na lądzie.



Wykres 9. Koszt certyfikatów upoważniających do emisji 1 tony CO₂ na przestrzeni ostatniego roku wyrażony w euro

Źródło: *Carbon Pricing*, Ember, <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/> (dostęp:18.03.2022).

Zakończenie

Sektor energetyczny warunkuje liczne procesy społeczne, lecz przez efekt sprzężenia zwrotnego samo społeczeństwo wpływa na zmiany w energetyce czy wręcz je wymusza. Z każdym rokiem potrzebujemy więcej energii, na szczęście innowacje pozwalają sprostać temu wyzwaniu. Jednak by taka sytuacja się utrzymała, Polska musi wprowadzić szeroko zakrojony plan modernizacji nie tylko samych elektrowni, lecz także całej infrastruktury. Nasza sieć energetyczna projektowana była w czasach, kiedy prąd płynął tylko w jedną stronę. Dzięki rozwojowi technologii fotowoltaicznych w Polsce przybywa coraz więcej prosumentów. Ich liczba osiągnęła już ponad 705 227⁶⁰, z roku na rok odnotowuje się wysokie przyrosty nowych mocy w fotowoltaice. Prowadzi to do sytuacji, w której sieć nie jest w stanie w sposób efektywny przechowywać energii dostarczonej przez prosumentów. Wymusiło to zmiany legislacyjne obniżające opłacalność instalacji paneli fotowoltaicznych, w zamian jednak stworzono system dopłat i zezwoleń na przydomowe magazyny energii, które pozwolą zwiększyć niezależność energetyczną gospodarstw domowych. Aktualnie ponad 65% mocy w naszym systemie produkują elektrownie węglowe, które mają być stopniowo wygaszane przez najbliższe 25 lat. Pierwszy znaczący spadek produkcji energii z węgla powinien nastąpić w 2025 roku⁶¹, kiedy kończą się pierwsze kontrakty mocy na elektrownie węglowe. Energia przez nie wytwarzana musi zostać efektywnie zastąpiona przez alternatywne źródła energii. Na obecną chwilę nie mamy żadnej elektrowni jądrowej mimo wielu prób wprowadzenia tego typu rozwiązań na polski rynek, a zaledwie 25% energii jest produkowane z OZE. Sprostanie unijnym wymaga-

⁶⁰ M. Więckowska, *op. cit.*

⁶¹ J. Dudek, *op. cit.*

niom będzie od nas wymagało zwiększania udziału odnawialnych technologii w miksie energetycznym.

W pracy wskazano, że największy potencjał dla polskiego rynku energetyki leży w technologiach fotowoltaicznych, wiatrowych i jądrowych. Najdroższe okazały się małe reaktory atomowe, co jest konsekwencją dopiero rozwijającej się technologii. Najtańsze w budowie są elektrownie gazowe. Jednak jeśli spojrzeć przez pryzmat samych kosztów budowy, całkowicie zignorowany pozostałby czynnik długiego czasu eksploatacji takich obiektów. Na podstawie wskaźnika LCOE zobrazowano rentowność danego typu elektrowni. Najbardziej konkurencyjną inwestycję stanowią farmy wiatrowe, mogące znacząco przyczynić się do zielonej transformacji energetycznej. Niestety w ostatnich latach wykorzystanie tej technologii zostało ograniczone przez regulacje prawne. Alternatywą pozostaje fotowoltaika o zbliżonym wskaźniku LCOE. Eksperti z McKinsey wskazują jednocześnie na szansę, jaką dają niezagospodarowane wody przybrzeżne Polski, odznaczające się silnym wiatrem, gdzie morskie elektrownie wiatrowe mogłyby przynieść ogromne zyski⁶², zwłaszcza w porównaniu do elektrowni konwencjonalnych, narażonych na duże wahania cenowe surowców. Największą barierę w polskiej transformacji energetycznej stanowią podwyższony koszt energii w okresie przejściowym i daleko idące za tym konsekwencje społeczne i polityczne.

Bibliografia

Literatura

- Bisconti A.S., *National Public Opinion Survey: Support for Nuclear Energy Groups with Climate Change Concerns*, Bisconti Research, May 2021, <https://www.bisconti.com/blog/climate-change-concerns>.
- Bućko P., *Mechanizmy mocowe na rynkach energii elektrycznej*, „Przegląd Elektrotechniczny” 95, 2019, nr 10, DOI:org/10.15199/48.2019.10.07.
- Bukowski M., Śniegocki A., *Mix energetyczny 2050. Analiza scenariuszy dla Polski. Raport opracowany na zlecenie Ministerstwa Gospodarki przez Instytut Badań Strukturalnych i demosEUROPA – Centrum Strategii Europejskiej*, Warszawa 2011.
- Motowidlak T., *Dylematy Polski w zakresie wdrażania polityki energetycznej Unii Europejskiej*, „Polityka Energetyczna” 21, 2018, nr 1.
- NEA/OECD, *Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near-term Deployment*, Nuclear Development, OECD Publishing, Paris 2016, <https://doi.org/10.1787/9789264266865-en>.
- Olkuski T., Grudziński Z., Stala-Szlugaj K., *Rynek uprawnień do emisji CO2 w Unii Europejskiej*, „Przegląd Górniczy” 74, 2018, nr 4.

⁶² McKinsey, *Neutralna emisyjnie Polska 2050*, <https://www.mckinsey.com/pl/our-insights/carbon-neutral-poland-2050>.

- Papapetroua M., Kosmadakis G., *Levelized Cost of Electricity — an overview*, ScienceDirect Topics, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/levelized-cost-of-electricity>.
- Paska J., Surma T., *Wykorzystanie odnawialnych zasobów energii w krajach Unii Europejskiej — stan obecny oraz perspektywy realizacji celów roku 2020*, „Rynek Energii” 2018, nr 2 (135).
- Popczyk J., *Transformacja energetyki (za pomocą reformy ustrojowej rynku energii elektrycznej) do monizmu elektrycznego odnawialnych źródeł energii 2050 — Raport*, „Energetyka—Społeczeństwo—Polityka” 2018, nr 2 (8).
- Zakrzewska B., Rojek K., *Rola OZE w europejskim systemie energetycznym*, „Autobusy. Technika, eksploatacja, systemy transportowe” 20, 2019, nr 6.

Akty prawne

- Porozumienie paryskie, Dokument 22016A1019(01), Dz.U. L 282 z 19.10.2016, z późn. zm.
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 roku o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. z 2015 r. poz. 478).
- Ustawa z dnia 20 maja 2016 roku o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych (Dz.U. z 2016 r. poz. 961 z późn. zm.).

Dokumenty Komisji Europejskiej

- Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions „Fit for 55”: Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the Way to Climate Neutrality, Document 52021DC0550, COM/2021/550 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550&qid=1649712557232>.
- Kołodziejki M., *Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji*, Noty tematyczne o Unii Europejskiej, Parlament Europejski, <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pl/sheet/214/fundusz-na-rzecz-sprawiedliwej-transformacji>.

Raporty

- Czyżak P., Hetmański M., *2030. Analiza dot. granicznego roku odejścia od węgla w energetyce w Europie i Polsce*, „Instrat Policy Paper” 2020, nr 1, <https://instrat.pl/2030-pl/>.
- IEA, *Projected Costs of Generating Electricity 2020 — Analysis*, <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>.
- Instytut Energetyki Odnawialnej, *Rynek Fotowoltaiki w Polsce 2021*, <https://ieo.pl/pl/aktualnosci/1538-rynek-fotowoltaiki-w-polsce-2021>.
- International Energy Agency, *World Energy Outlook 2019*, https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:goFKkyOVFC0J:https://iea.blob.core.windows.net/assets/a3981adb-f1de-4e1a-88df-938f5c7c5726/Polish-Summary-WEO2019.pdf+&cd=2&hl=pl&ct=clnk&gl=pl&lr=lang_en%7Clang_pl.
- McKinsey, *Neutralna emisyjnie Polska 2050*, <https://www.mckinsey.com/pl/our-insights/carbon-neutral-poland-2050>.
- Przybyszewska A., *Małe modułowe reaktory (SMR) dla Polski*, Instytut Sobieskiego, <https://sobieski.org.pl/smr-dla-polski/>.
- Tomaszewski R., *Siec do zmiany. Jak zreformować polski sektor dystrybucji energii elektrycznej*, Polityka Insight, <https://www.politykainsight.pl/bibliotekaraportow/2098961,1,siec-do-zmiany-jak-zreformowac-polski-sektor-dystrybucji-energii-elektrycznej.read>.
- Wrona A., Borkowski M., Czyżak P., *Brakujący element układanki*, Instrat, <https://instrat.pl/ceny-energii/>.

Inne

- Bartkowska I., *Program transformacji sektora elektroenergetycznego*, Ministerstwo Aktywów Państwowych, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/program-transformacji-sektora-elektroenergetycznego>.
- Bieliszczuk B., Nowak Z., *Perspektywy rozwoju rynku małych reaktorów modułowych*, PISM, https://pism.pl/publikacje/Perspektywy_rozwoju_ryнку_małych_reaktorów_modułowych.
- Boroń M., *System ETS. Polska zarobiła ponad 25 mld zł na sprzedaży uprawnień do emisji CO₂*, Bankier.pl, <https://www.bankier.pl/wiadomosc/System-ETS-Polska-zarobiła-ponad-25-mld-zł-na-sprzedazy-uprawnien-do-emisji-CO2-8283998.html>.
- Ceny węgla w 2022 najwyższe od 6 lat. Ile płaci się za węgiel?*, <https://muratorplus.pl/biznes/wiesci-z-rynku/ceny-węgla-w-2022-ile-kosztuje-tona-węgla-aa-2Wgb-NFp1-kFbJ.html>.
- Czechowicz M., *Koniec opłacalności fotowoltaiki od 1 kwietnia 2022! Ustawa podpisana*, <https://muratorplus.pl/technika/oze/koniec-opłacalności-fotowoltaiki-w-2022-wchodzi-nowe-przepisy-aa-WsNA-xueS-jKUL.html>.
- Dudek J., *Tanie, czyste i pewne. Dlaczego je skreślamy, skoro mogą znacznie obniżyć ceny prądu?*, <https://zielona.interia.pl/eko-technologie/energetyka/news-węgiel-w-polsce-to-nieunikniona-przeszłość-czas-na-odnawialn,nId,5765155>.
- Ember, *Carbon Pricing*, <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>.
- EU Carbon Permits — 2022 Data — 2005–2021 Historical — 2023 Forecast—Price—Quote*, Trading Economics, <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>.
- Fotowoltaika. Magazyny energii mogą przyspieszyć zwrot z inwestycji*, Biznes Interia, <https://biznes.interia.pl/gospodarka/news-fotowoltaika-magazyny-energii-moga-przyspieszyc-zwrot-z-inwe>.
- Gawlikowska-Fyk A., *Po 2025 r. węgiel będzie wychodził z polskiego systemu energetycznego falami*, Forum Energii, <http://www.forum-energii.eu/pl/blog/luka-węglowa-2025>.
- Levelized Cost of Energy (LCOE)*, Corporate Finance Institute, <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/levelized-cost-of-energy-lcoe/>.
- Luty 2022 w energetyce*, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/opinie/luty-2022-w-energetyce->.
- Ministerstwo Aktywów Państwowych, *Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030 przekazany do KE*, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany-do-ke>.
- Ministerstwo Aktywów Państwowych, *Zaktualizowany projekt Polityki energetycznej Polski do 2040 r.*, <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/zaktualizowany-projekt-polityki-energetycznej-polski-do-2040-r>.
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Sejm przyjął nowelizację ustawy o odnawialnych źródłach energii wprowadzającą zmiany do systemu rozliczeń prosumentów*, <https://www.gov.pl/web/klimat/sejm-przyjal-nowelizacje-ustawy-o-odnawialnych-zrodłach-energii-wprowadzajaca-zmiany-do-systemu-rozliczen-prosumentow>.
- Napięty bilans w polskim systemie elektroenergetycznym. Ratuje nas import energii z zagranicy*, GLOBEnergia, <https://globenergia.pl/napiety-bilans-w-polskim-systemie-elektroenergetycznym-ratuje-nas-import-energii-z-zagranicy/>.
- Niemcy zamykają połowę działających elektrowni atomowych*, DW, <https://www.dw.com/pl/niemcy-zamykaj%C4%85-po%C5%82ow%C4%99-dzia%C5%82aj%C4%85cych-elektrowni-atomowych/a-60303925>.
- Oksińska B., *Kosmiczne ceny praw do emisji CO₂. Mieliśmy je osiągnąć dopiero w 2030 r.*, Business Insider, <https://businessinsider.com.pl/gielda/kosmiczne-ceny-praw-do-emisji-co2-mielismy-je-osiagnac-dopiero-w-2030-r/4x2mhzm>.
- Po ilu latach panele fotowoltaiczne się zwracają? Czy fotowoltaika jest opłacalna?*, Termofol, <https://www.termofol.pl/informacje-ogolne/jak-szybko-zwraca-sie-inwestycja-w-fotowoltaike/>.

- Protest w Szczecinie przeciw budowie elektrowni atomowej*, Głos Szczeciński, <https://gs24.pl/protest-w-szczecinie-przeciw-budowie-elektrowni-atomowej-zdjecia-wideo/ar/5465084>.
- Rynkowski W., *Ustawa „antywiatrakowa” hamuje budownictwo jednorodzinne. Znasz zasadę 10H?*, Money.pl, <https://www.money.pl/gospodarka/ustawa-antywiatrakowa-hamuje-budownictwo-jednorodzinne-znasz-zasade-10h-6650173692152736a.html>.
- Sejm przyjął regulacje dla magazynów energii*, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/183502-sejm-przyjal-regulacje-dla-magazy-now-energii>.
- Średni wiek elektrowni w Polsce to 47 lat*, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/182259-sredni-wiek-elektrowni-w-polsce-to-47-lat>.
- Uprawnienia do emisji CO2 stanowią już 59% ceny energii elektrycznej*, CIRE, <https://www.cire.pl/artykuly/o-tym-sie-mowi/uprawnienia-do-emisji-co2-stanowia-juz-59-ceny-energii-elektrycznej>.
- Więckowska M., *Ponad 700 tys. prosumentów PV w Polsce. Nowe dane z rynku OZE*, Teraz Środowisko, <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/prosumenci-pv-oze-mkis-are-11065.html>.