

Komentarz do publikacji „Polska na zielonym szlaku. Strategia dojścia do neutralności klimatycznej.”

Rafał Bryk

Framatome GmbH

Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej

Fundacja Nuclear.pl

Październik 2021

Autor

Rafał Bryk – absolwent studiów inżynierskich na kierunku Energetyki w specjalizacji Maszyn i Urządzeń Energetycznych oraz magisterskich na kierunku Energetyki Jądrowej Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej; obecnie na tym samym wydziale realizuje doktorat w zakresie modelowania matematycznego pasywnych systemów bezpieczeństwa reaktorów jądrowych generacji III+; absolwent studiów podyplomowych na kierunku Zarządzanie Projektami na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu. Zawodowo od 2015 roku związany z firmą Framatome GmbH – najpierw przy realizacji badań związanych z doktoratem, a następnie przy projekcie badawczym PKL-4 realizowanym pod auspicjami OECD/NEA. Obecnie zaangażowany w prowadzenie testów rozruchowych i proces przekazania do operatora reaktora jądrowego EPR Olkiluoto 3 w Finlandii.



Spis Treści

Spis Treści	3
Streszczenie	4
Kluczowe wnioski i rekomendacje.....	5
I. Różne drogi do neutralności klimatycznej w Europie – przegląd doświadczeń innych krajów.....	7
II. Koszty transformacji –w poszukiwaniu optymalnego modelu systemu elektroenergetycznego .	11
III. Emisje CO ₂ w Polsce – zdefiniowanie celów wynikających z postulatów Strategii	16
IV. Zużycie energii elektrycznej w Polsce – ocena wykonalności postulatów Strategii.....	18
V. Transformacja oparta o energetykę jądrową i OZE	23
<i>Energetyka jądrowa w Strategii</i>	23
<i>Nauka o atomie</i>	23
<i>Energetyka jądrowa na świecie – droga do dekarbonizacji i bezpieczeństwa energetycznego</i>	28
<i>Spółeczno-gospodarcze aspekty wprowadzenia energetyki jądrowej</i>	31
VI. Bibliografia	37

Streszczenie

Polska XXI wieku odziedziczyła po poprzednim ustroju system energetyczny, który stwarza ogromne wyzwania w kontekście zmian klimatu i związaną z nimi polityką klimatyczną Unii Europejskiej. Lata zaniedbań i lekceważenia polityki klimatycznej spowodowały, że obecny system oparty w dominującym stopniu na węglu kamiennym i brunatnym stwarza konieczność całkowitego przebudowania parku wytwórczego w kolejnych trzech dekadach. Z drugiej strony droga, na którą musi wstąpić Polska nie musi być przecieraniem szlaku. Może natomiast być wytyczeniem własnej ścieżki opracowanej na podstawie zaadaptowanych do warunków polskich pozytywnych doświadczeń innych krajów. Czerpanie z istniejących doświadczeń w parze z opracowaniami i rekomendacjami naukowymi powinno stanowić zatem kluczowe dane wejściowe dla tworzenia własnego modelu oraz strategii dojścia do neutralności klimatycznej.

Niniejsza publikacja stanowi komentarz do programu „Polska na zielonym szlaku. Strategia dojścia do neutralności klimatycznej.” W komentarzu wskazano podstawowe dane o systemach energetycznych wybranych krajów Unii Europejskiej oraz na tej podstawie sformułowano rekomendacje dotyczące możliwych ścieżek ograniczania emisji w sektorze energetycznym w Polsce. Przeprowadzono również podstawowe obliczenia mające na celu wskazanie wymogów dotyczących konieczności instalacji wymaganych mocy w systemie elektroenergetycznym. Na tej podstawie dokonano oceny możliwości realizacji postulatów Strategii przy realizacji proponowanej ścieżki transformacji (tj. oparciu systemu o OZE).

Kluczowym wnioskiem z dokonanej oceny jest brak możliwości przeprowadzenia postulowanej transformacji przy wdrożeniu programu Strategii. Niniejszy komentarz wskazuje zatem również propozycję urealnienia realizacji postulatów dekarbonizacji Polski poprzez wdrożenie niskoemisyjnego źródła energii, jakim jest energetyka jądrowa. W tym kontekście przedstawiono zarówno stanowisko światowej i polskiej nauki, która wskazuje na skuteczność wdrożenia atomu w dekarbonizacji jak i doświadczenia innych krajów w tym zakresie. Ponadto zwrócono uwagę na aspekty wprowadzenia energetyki jądrowej, które nie są bezpośrednio związane z ograniczeniem emisji, a pozostają ważne zarówno w Strategii jak i ogólnie w kontekście kształtowania systemu energetycznego. Do aspektów tych należą bezpieczeństwo energetyczne, wzrost gospodarczy, stabilność systemu i dostaw energii, solidarność energetyczna i likwidacja ubóstwa energetycznego.

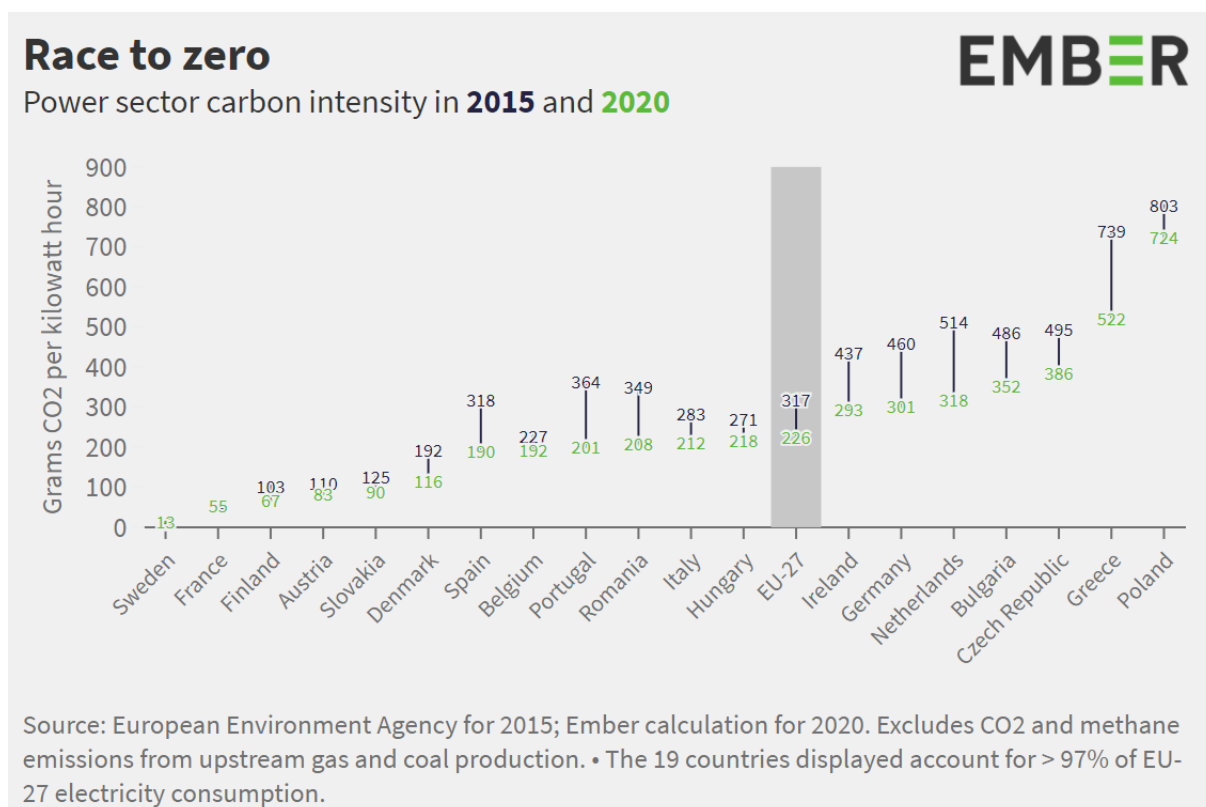
Kluczowe wnioski i rekomendacje

- Strategia [1] zakłada znaczną redukcję wytwarzania energii elektrycznej pochodzącej ze spalania węgla do 2035 r. i oparcie systemu elektroenergetycznego o odnawialne źródła energii i gaz ziemny. Do 2050 r. planuje się osiągnięcie neutralności klimatycznej, tj. rezygnację również z gazu. Proponowany program ograniczania emisji jest bardzo zbliżony do tego, który od kilku dekad realizowany jest w Niemczech. Doświadczenia RFN wyraźnie wskazują, że zaproponowana strategia prowadzi do najwyższych cen energii dla odbiorców indywidualnych w Europie [11] (dotacje na OZE sięgają 30 mld euro rocznie [19]) oraz w nieproporcjonalnie małym stopniu przyczynia się do redukcji emisji CO₂ (Niemcy pozostają największym emitentem w Unii Europejskiej).
- Doświadczenia innych krajów europejskich wskazują również, że zaproponowana strategia prowadzi do uzależnienia się od dostaw gazu z Rosji, co obniża bezpieczeństwo energetyczne kraju.
- Oprócz problemów związanych z realnym ograniczeniem emisji (brak wymaganego, realnego, skokowego spadku emisji) przez zaproponowany program oraz zagadnień gospodarczych (wysokie ceny energii elektrycznej) i geopolitycznych (konieczność importu gazu), ważnymi elementami przemawiającymi na niekorzyść Strategii są aspekty techniczne. Brak zdolności przesyłowych i magazynowania, uzależnienie produkcji energii od pogody, destabilizacja systemu energetycznego w Europie prowadzi zarówno do wzrostu szeregu kosztów dla całego systemu [21] jak również do zwiększenia ryzyka niedoborów.
- W Strategii postuluje się ograniczenie emisji CO₂ w sektorach innych niż energetyka poprzez elektryfikację tych sektorów, m.in. transportu (elektromobilność), ogrzewania domów (pompy ciepła), wytwarzanie ciepła w przemyśle (piece elektryczne). Podstawowe obliczenia przedstawione w niniejszym komentarzu wskazują, że aby sprostać wymaganym celom emisyjnym przy uwzględnieniu dekarbonizacji tylko jednego sektora (transportu) w Polsce musiałoby być zainstalowane 42,7 GW do 2030 r. i 201,5 GW do 2050 r. w OZE. Dodatkowe moce należałoby zainstalować w źródłach opalanych gazem dla zabezpieczenia dostaw gdy nie wieje wiatr lub nie świeci słońce. Dla porównania: obecnie w całym polskim systemie zainstalowane jest ok. 52 GW mocy. Przy wyznaczaniu powyższych wartości zapotrzebowania na moc z OZE przyjęto szereg optymistycznych (tj. na korzyść postulatów Strategii) założeń, m.in. wzięto pod uwagę elektryfikację wyłącznie transportu – zaniedbano pozostałe sektory, założono zatrzymanie wzrostu konsumpcji energii w sektorze transportowym, przyjęto zawyżony w stosunku do danych dla rejonu geograficznego Polski współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej dla OZE.
- Powyższe prowadzi do wniosku, że realizacja założonych postulatów nie jest możliwa poprzez przedstawioną strategię oparcia systemu elektroenergetycznego o OZE – zarówno w kontekście możliwości zainstalowania wymaganych mocy wytwórczych jak i funkcjonowania systemu od strony technicznej.
- Realna dekarbonizacja Polski w latach 30. i 40., kiedy oczekiwany jest największy wzrost konsumpcji energii elektrycznej (m.in. ze względu na duży wzrost elektromobilności), OZE muszą być wspierane przez stabilne i niskoemisyjne źródła energii, jakimi są elektrownie jądrowe. Światowa i polska nauka jasno identyfikuje energetykę jądrową jako kluczowy element strategii dążenia do neutralności klimatycznej [22], [29], [30], [33].

- Wdrożenie energetyki jądrowej urealnia osiągnięcie postulowanych celów w zakresie ograniczenia emisji w horyzoncie lat 2040 i 2050 oraz wspiera zajmujące ważne miejsca w Strategii wzmocnienie bezpieczeństwa energetycznego i solidarności energetycznej.
- Dywersyfikacja źródeł energii powinna być silnym argumentem na rzecz energetyki jądrowej. Pozwala ona na osiągnięcie szeroko rozumianego bezpieczeństwa energetycznego zarówno w kontekście technicznym jak i geopolitycznym.
- Doświadczenia innych państw o podobnych do polskich uwarunkowaniach geograficznych i o zbliżonej strukturze gospodarki wskazują, że pomimo ogromnych nakładów finansowych nie jest możliwa dekarbonizacja energetyki bez atomu. Próby wdrożenia takiej strategii skutkują najwyższymi cenami energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych, które będą w Polsce prowadzić do wzrostu ubóstwa energetycznego

I. Różne drogi do neutralności klimatycznej w Europie – przegląd doświadczeń innych krajów

Jak słusznie zauważono w Strategii¹, Polska energetyka należy do najbardziej emisyjnych w Europie. Według przytoczonych danych² emisyjność tego sektora w Polsce to 724 g CO₂/kWh. Inną trafną uwagą zawartą w Programie jest również to, że na energetykę należy patrzeć kompleksowo i nie powinno się ograniczać swoich analiz i wniosków do pojedynczych danych w oderwaniu od innych czynników kształtujących rozwój sektora energetycznego. Szczególnie istotne staje się to w kontekście rysowania strategii politycznych, szacowania kosztów transformacji i jej efektywności. **Dlatego właśnie przytoczone w Strategii dane należy uchwycić w szerszym kontekście.** Pełny obraz emisyjności krajów Unii Europejskiej według wskazanego w Strategii źródła [2] przedstawia Rysunek 1.



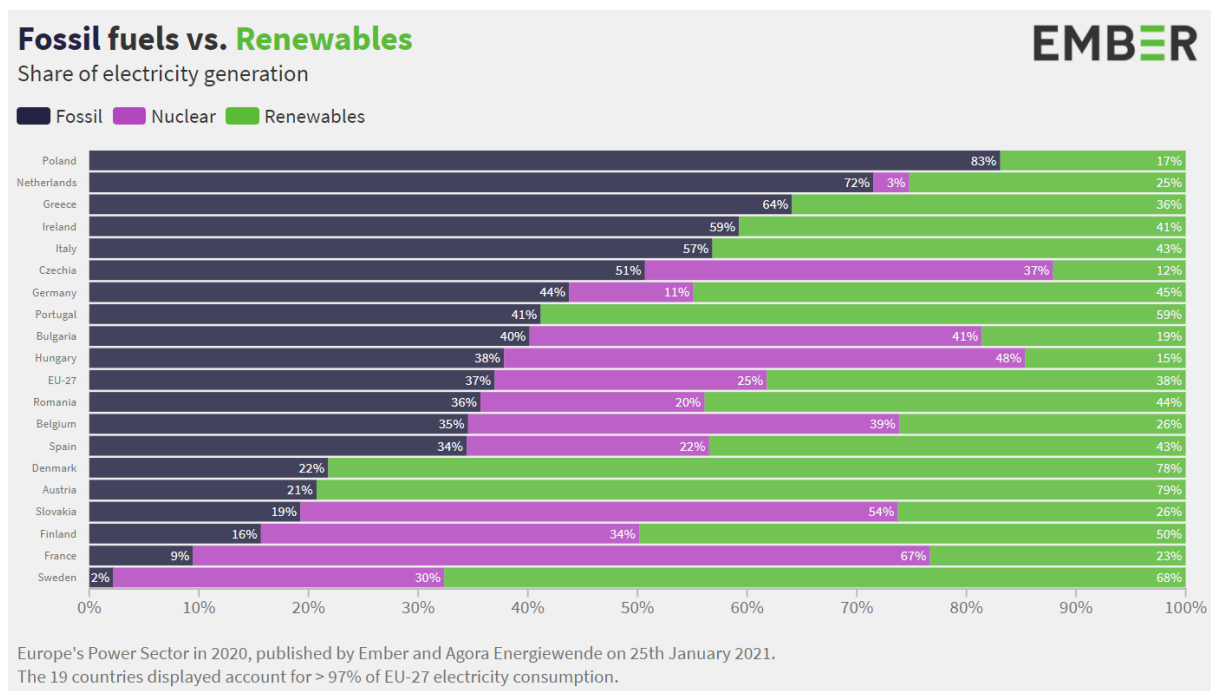
Rysunek 1. Emisyjność energetyki w poszczególnych krajach UE [2]

Jak wskazuje Rysunek 1 różne kraje Unii Europejskiej charakteryzują się różną emisyjnością energetyki, a odchylenia pomiędzy poszczególnymi państwami pozostają wysokie. Na krętej i wyboistej drodze Polski do neutralności klimatycznej w energetyce za wzór powinno się zatem stawiać kraje, które już tę neutralność osiągnęły lub są bardzo blisko tego celu. Rysunek 1 wskazuje, że tylko 5 krajów (Szwecja, Francja, Finlandia, Austria i Słowacja) osiągnęły emisyjność poniżej 100 g CO₂/kWh. Blisko tego celu jest Dania. Pozostałe kraje znajdują się w okolicach przytoczonej w Strategii [1] średniej unijnej, a Grecja i Polska zajmują dwa ostatnie miejsca wśród uwzględnionych w zestawieniu państw znacznie odbiegając od tej średniej. Aby precyzyjnie wskazać, co stoi za sukcesem jednych i trudnościami innych krajów (poza aspektami historycznymi) warto bliżej przyjrzeć się

¹ Instytut Strategie 2050, *Polska na zielonym szlaku. Strategia dojścia do neutralności klimatycznej.*

² <https://ember-climate.org/project/eu-power-sector-2020/>

strukturze wytwarzania w poszczególnych krajach. Rysunek 2 [2] przedstawia uproszczony mikś energetycznych poszczególnych państw wspólnoty.



Rysunek 2. Uproszczony wykres udziałów poszczególnych źródeł w wytwarzaniu energii elektrycznej [2]

Nie jest niczym odkrywczym, że zestawienie powyższych dwóch wykresów jasno wskazuje na prostą zależność, że im więcej energii pozyskuje się ze źródeł kopalnych, tym większa jest emisyjność energetyki. Warto jednak bliżej przyjrzeć się strukturom wytwarzania energii sześciu krajów (Rysunek 3³⁴⁵⁶⁷⁸), które w chwili obecnej mają zdecydowanie najmniejszy udział paliw kopalnych i jednocześnie najmniej emisyjne sektory energetyczne. Spośród tych sześciu państw można łatwo wskazać 2 grupy: cztery kraje o najniższym zużyciu paliw kopalnych i o znacznym udziale energetyki jądrowej oraz 2 kraje dekarbonizujące bez atomu (Rysunek 2 [2]).

Szwecja: kraj o najmniej emisyjnej energetyce; swój sukces zawdzięcza wysokiemu udziałowi energetyki jądrowej, dużym zasobom wody i korzystnemu ukształtowaniu terenu umożliwiającemu wdrożenie energetyki wodnej oraz niewielkiemu (choć zauważalnie rosnącemu) udziałowi OZE. Niestety w polskich warunkach nie ma tak dużych możliwości rozwoju hydroenergetyki; niemal cały potencjał w tym zakresie został już wykorzystany.

Francja: kraj mocno uprzemysłowiony o wysokim zapotrzebowaniu na energię. Niskoemisyjność energetyki francuskiej wynika głównie z posiadania energetyki jądrowej w niewielkim stopniu wspieranej przez energetykę wodną; w jeszcze mniejszym przez OZE.

³<https://www.iea.org/countries/sweden>

⁴<https://www.iea.org/countries/france>

⁵<https://www.iea.org/countries/finland>

⁶<https://www.iea.org/countries/slovak-republic>

⁷<https://www.iea.org/countries/austria>

⁸<https://www.iea.org/countries/denmark>

Finlandia: kraj o podobnym miksie energetycznym jak Szwecja, choć ze zdecydowanie większym udziałem biopaliw i węgla. Po uruchomieniu bloku jądrowego Olkiluoto 3 (OL3) nastąpi skokowy spadek emisyjności sektora. Co ciekawe, pomimo dużych opóźnień związanych z budową OL3, energetyka jądrowa cieszy się dużym poparciem społecznym i politycznym (nawet członków Partii Zielonych⁹¹⁰) i dla osiągnięcia całkowitej neutralności klimatycznej planowana jest budowa kolejnej elektrowni jądrowej Hanhikivi 1.

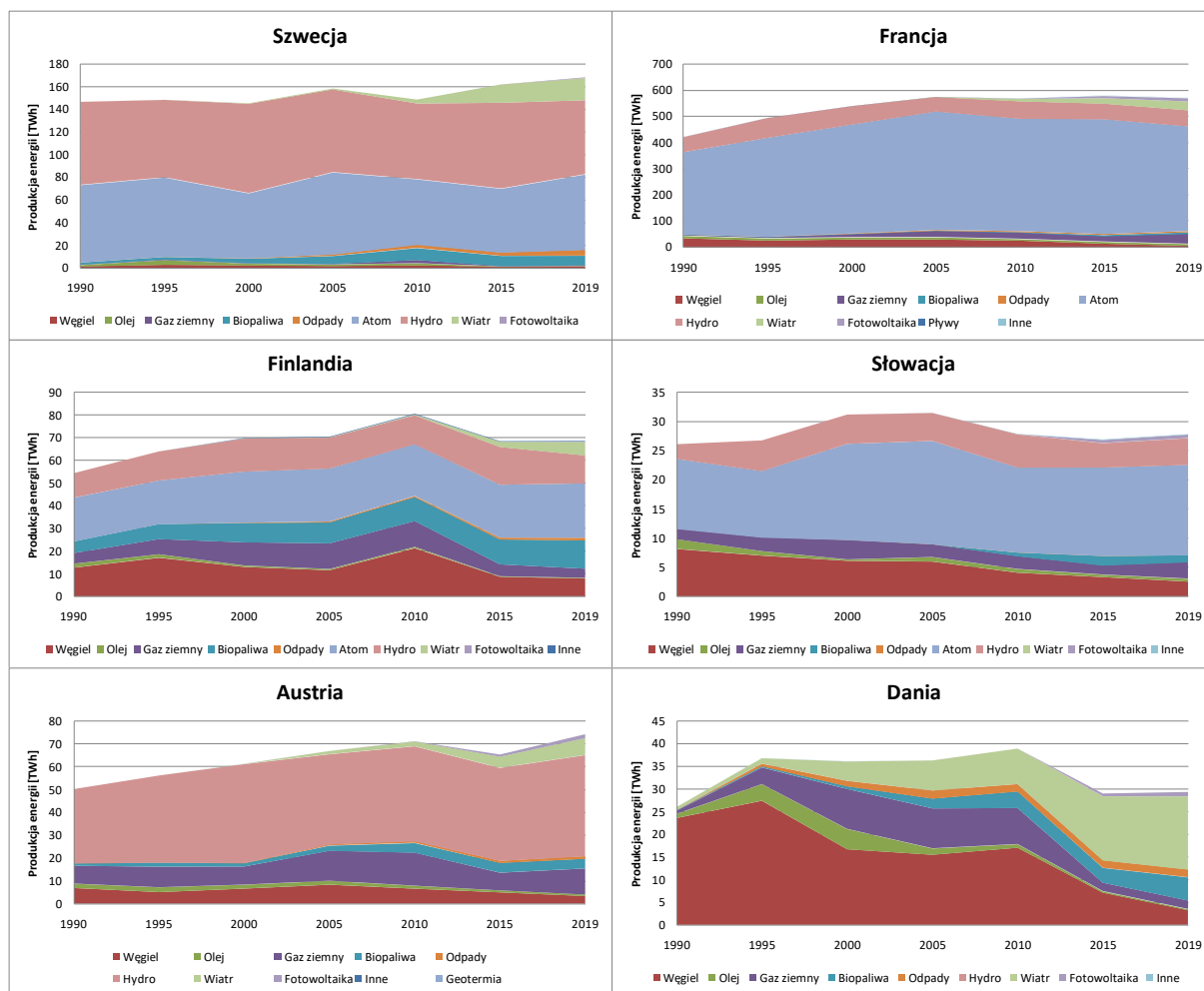
Słowacja: podobnie jak pozostałe kraje, niskoemisyjność energetyki zawdzięcza wysokiemu udziałowi atomu wspieranego przez hydroenergetykę. Rysunek 3 wyraźnie obrazuje wypieranie węgla przez energetykę jądrową.

Austria: pierwszy z krajów drugiej grupy, tj. nieposiadający energetyki jądrowej w miksie energetycznym. Rysunek 3 wskazuje, czemu Austria zawdzięcza swoją wysoką pozycję na liście niskoemisyjnych krajów; podobnie jak w przypadku Szwecji kluczową rolę odgrywa tu energetyka wodna wspierana w niewielkim stopniu przez OZE substytuowane przez gaz. Jak wspomniano wyżej, scenariusz oparty o hydroenergetykę jest w polskich warunkach niemożliwy.

Dania: jedyny kraj, któremu udaje się dekarbonizować energetykę za pomocą wiatru. Choć emisyjność w Danii jest najwyższa spośród wymienionych krajów to Rysunek 3 wyraźnie wskazuje spadek zużycia węgla na korzyść wzrostu wykorzystania energetyki wiatrowej. Na uwagę zasługuje jednak również bardzo niskie zapotrzebowanie na energię. Ludność Danii to zaledwie 5,8 mln obywateli (ok. 6,5 razy mniej niż w Polsce), co skutkuje ok. 4-krotnie niższym zużyciem energii. Dodatkową rolę odgrywa w Danii korzystne dla energetyki wiatrowej położenie geograficzne. Nie bez znaczenia jest także położenie tego niewielkiego kraju w sąsiedztwie dwóch znacznie większych: Szwecji i Niemiec.

⁹¹<https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2017/04/17/finlands-green-party-and-nuclear-power-really/?sh=2c1572755ec4>

¹⁰<https://jmkorhonen.net/2017/03/06/minority-report-for-now-finnish-green-candidates-call-for-nuclear-power/>



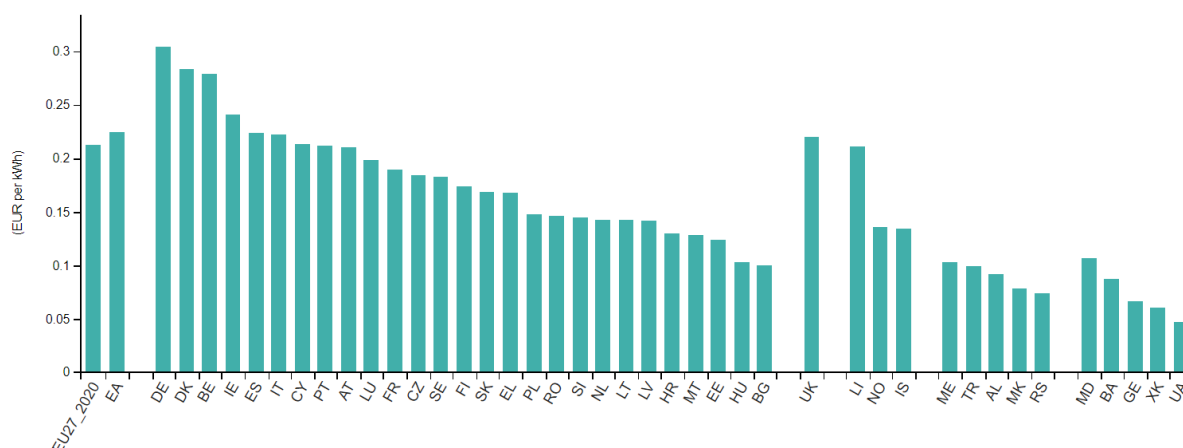
Rysunek 3. Miksy energetyczne krajów o najniższej emisyjności energetyki [3]-[8]

Powyższe modele wytwarzania energii jak również doświadczenia innych (tj. nieujętych wyżej) krajów powinny stanowić ważne dane wejściowe dla określenia modelu i strategii dla polskiej energetyki. Ze względu na położenie geograficzne i brak możliwości wdrożenia hydroenergetyki z punktu widzenia Polski możliwe są trzy drogi: scenariusz duński, scenariusz słowacki z celem jaki wyznacza obecnie Francja lub kombinacja tych dwóch, czyli rozwijanie OZE przy jednoczesnej budowie energetyki jądrowej.

II. Koszty transformacji – w poszukiwaniu optymalnego modelu systemu elektroenergetycznego

Jednym z najważniejszych czynników wpływających na formułowanie strategii energetycznej (przy założeniu uwzględniania wyłącznie tych scenariuszy, które prowadzą do znacznego ograniczenia emisji) powinna być cena energii dla odbiorców końcowych. Każda z dróg obranych dla osiągnięcia niskoemisyjnej energetyki w krajach wskazanych w poprzednim rozdziale ma wpływ na obecne kształtowanie się tam cen energii elektrycznej. Rysunek 4¹¹ przedstawia ceny energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych w poszczególnych krajach UE w 2020 roku [11].

Electricity prices (including taxes) for household consumers, first half 2020



Rysunek 4. Ceny energii elektrycznej w poszczególnych krajach UE w pierwszej połowie 2020 roku [11]

Rysunek 4 wskazuje, że Dania ma obecnie drugie najwyższe ceny energii elektrycznej ustępując tylko Niemcom (którzy w swojej polityce Energiewende zdecydowali się na odejście od atomu i postawienie na OZE i gaz). Kraje takie jak Francja i Słowacja mają tymczasem ceny poniżej średniej unijnej.

Biorąc pod uwagę liczbę ludności oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną, Polska (ludność 38,4 mln; zużycie energii w 2019: 165,2 TWh¹²) plasuje się pomiędzy Niemcami (ludność 83,1 mln; zużycie energii w 2019: 558,9 TWh¹³) a Danią. Jeśli chodzi o warunki geograficzne dla rozwoju OZE zdecydowanie bliżej Polsce do Niemiec, dlatego to właśnie Niemcy powinny stanowić bazę porównawczą przy tworzeniu strategii dla energetyki opartej o OZE i gaz.

Niestety dane płynące z Niemiec wskazują na to, że droga do neutralności oparta wyłącznie o OZE i gaz powinna raczej stanowić przestrożę dla innych niż wzór do naśladowania. Według Frankfurt School of Finance & Management¹⁴ tylko w latach 2010-2019 Niemcy przeznaczyły na subsydiowanie OZE 179 mld dolarów, a całość kosztów transformacji – niezbyt chętnie ujawniana przez niemieckich polityków – szacowana jest minimum na pół biliona euro¹⁵. **Gdyby Niemcy przeznaczyły te nakłady**

¹¹https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics

¹²<https://www.iea.org/countries/poland>

¹³<https://www.iea.org/countries/germany>

¹⁴ Frankfurt School of Finance & Management, *Global trends in renewable energy investment 2019*

¹⁵ J. Wiech, *Energiewende – nowe niemieckie imperium*, Wydawnictwo Defence24 Sp. z o.o.

(nawet tylko te z ostatnich 10 lat) na rozwój energetyki jądrowej (nawet po rzekomo ekstremalnie wysokich – i realnie rzecz ujmując nie do powtórzenia w warunkach niemieckich – kosztach projektu Olkiluoto 3) mieliby już dzisiaj zeroemisyjny sektor energetyczny. Obrana przez nich ścieżka nie tylko jest niezwykle kosztowna dla obywateli, ale skutkuje tym, że Niemcy pozostają największym emitentem CO₂ w Europie (w ujęciu bezwzględnym), mają emisyjność energetyki znacznie powyżej średniej unijnej (Rysunek 1) i są zmuszeni forsować projekty gazowe takie jak Nord Stream 2 oraz uruchamiać nowe elektrownie węglowe i gazowe.

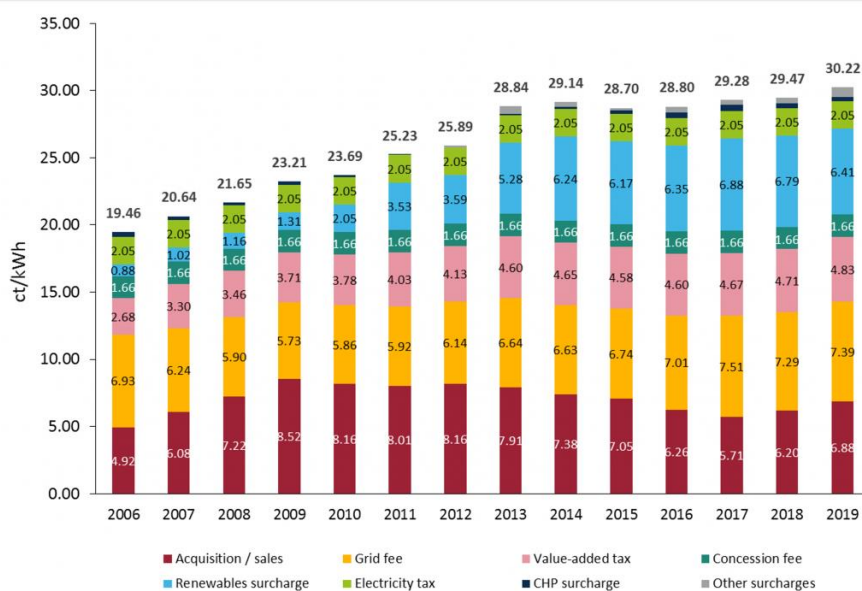
W Strategii [1], powołując się na dane Eurostatu¹⁶, porównano jedynie ceny hurtowe energii elektrycznej w Europie. Słusznie zauważono, że ceny w Polsce są dwukrotnie wyższe od cen w Niemczech, Czechach, Francji i na Słowacji oraz czterokrotnie wyższe niż w Szwecji. Cennie zwrócono też uwagę na fakt „zaciemniania” widoczności problemu polskiej energetyki poprzez rekompensaty rządu za wysokie opłaty za emisje CO₂. Z drugiej strony porównanie jedynie cen hurtowych jest bardzo tendencyjne i nie przedstawia pełnego obrazu oraz realnych kosztów transformacji ponoszonych przez społeczeństwo.

Koszty transformacji energetycznej ponoszone są przez obywateli – najczęściej odbiorców indywidualnych i małe firmy. Według Niemieckiego Stowarzyszenia Gospodarki Energetycznej i Wodnej (niem. *Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft – BDEW*) ceny energii dla odbiorców wzrosły w ciągu ostatnich 15 lat o 50%, a głównym czynnikiem wzrostu jest dopłata za OZE (niem. *Umlage nach Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG*)¹⁷.

Composition of average power price in ct/kWh for a German household using 3,500 kWh per year, 2006 - 2019.

Data: BDEW January 2019.

CLEAN
ENERGY
WIRE



CC BY SA 4.0

Rysunek 5. Ceny energii elektrycznej w Niemczech w latach 2006-2019¹⁸ [18]

¹⁶ Quarterly Report on European Electricity Markets with special focus on extra-EU electricity trade”, Market Observatory for Energy, DG Energy, Volume 13, issue 2, second quarter of 2020.

¹⁷ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/strompreise.html>

¹⁸ <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/what-german-households-pay-power>

Według informacji prasowej niemieckiej Federalnej Agencji Sieci (niem. *Bundesnetzagentur*) EEG w 2020 roku wyniosło 6,756 cent/kWh, a w 2021 ze względu na pandemię Covid19 ma zostać obniżone do 6,500 cent/kWh¹⁹. Całkowity dodatek płacony przez odbiorców indywidualnych w 2021 roku ma wynieść ok. 26,8 mld euro [19]. **Powyższe dane wskazują, że Niemcy na dotowanie OZE, które wykazują nieefektywność w dekarbonizacji systemu energetycznego, przeznaczają rocznie kwoty pozwalające na budowę 2-3 dyspozycyjnych bloków jądrowych klasy 1600 MW o typowym dla niemieckich elektrowni jądrowych współczynniku wykorzystania mocy zainstalowanej sięgającym 90%²⁰ (przy założeniu ekstremalnie wysokich kosztów bloku Olkiluoto 3 – w praktyce budowa kilku jednostek w jednym kraju znacznie obniża nakłady do ok. 5 mld euro/blok, czyli rocznie wydatkowana kwota 26,8 mld euro pozwoliłaby na budowę 5 bloków).**

Niechęć niektórych europejskich krajów do uznania roli energetyki jądrowej w zapewnieniu taniej, bezpiecznej i niskoemisyjnej energii dziwi tym bardziej, że dostępnych jest szereg kompleksowych opracowań, które wskazują na wysokie koszty transformacji energetycznej bez uwzględnienia atomu. Jednym z najobszerniejszych jest raport sporządzony przez specjalistów i naukowców z całego świata pod auspicjami OECD: *The Cost of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables*²¹.

Raport [21] definiuje 5 bazowych scenariuszy, w których zakłada się osiągnięcie emisyjności energetyki na poziomie 50 g/kWh, co ma pozwolić na zapobiegnięcie wzrostowi średniej temperatury na Ziemi powyżej 2°C: scenariusz bez OZE z dominującym udziałem atomu, scenariusze z OZE pokrywającymi 10%, 30%, 50% oraz 75% zapotrzebowania na energię. Raport został uzupełniony o kolejny – szósty scenariusz, który zakłada znaczny spadek kosztów inwestycyjnych odnawialnych źródeł energii. Raport [21] wskazuje jednocześnie, że wyciągnięte wnioski są pewnym uogólnieniem, zatem szczególne uwarunkowania geograficzne mogą prowadzić do innych konkluzji, specyficznych dla danego regionu. Niezależnie od tego wdrażanie OZE wiąże się z szeregiem kosztów niezwiązanych z ceną samych paneli fotowoltaicznych czy turbin wiatrowych lecz ze specyfiką ich pracy. Koszty te nazywa się zbiorczo kosztami systemowymi:

- Koszty profilu mocy (ang. *profile costs*) wynikają ze wzrostu kosztów wytwarzania energii w całym systemie wynikającego z niestabilności OZE. Innymi słowy są skutkiem konieczności dopasowania profilu zapotrzebowania na moc do produkcji oraz wymogu posiadania źródeł rezerwowych. Produkcja energii z OZE jest skoncentrowana w ograniczonym czasie wynikającym z warunków meteorologicznych. Tym samym zmniejsza to wartość każdej kolejnej jednostki OZE dodanej do systemu, a zwiększa koszty profilowe. Dodatkowo duża ilość OZE zwiększa skalę zmienności produkcji, co prowadzi do dodatkowych utrudnień dla innych jednostek (więcej rozruchów i odstawień, konieczność szybkiego reagowania i szybkich wzrostów i spadków mocy) co prowadzi do spadku sprawności i szybszego zużycia komponentów.

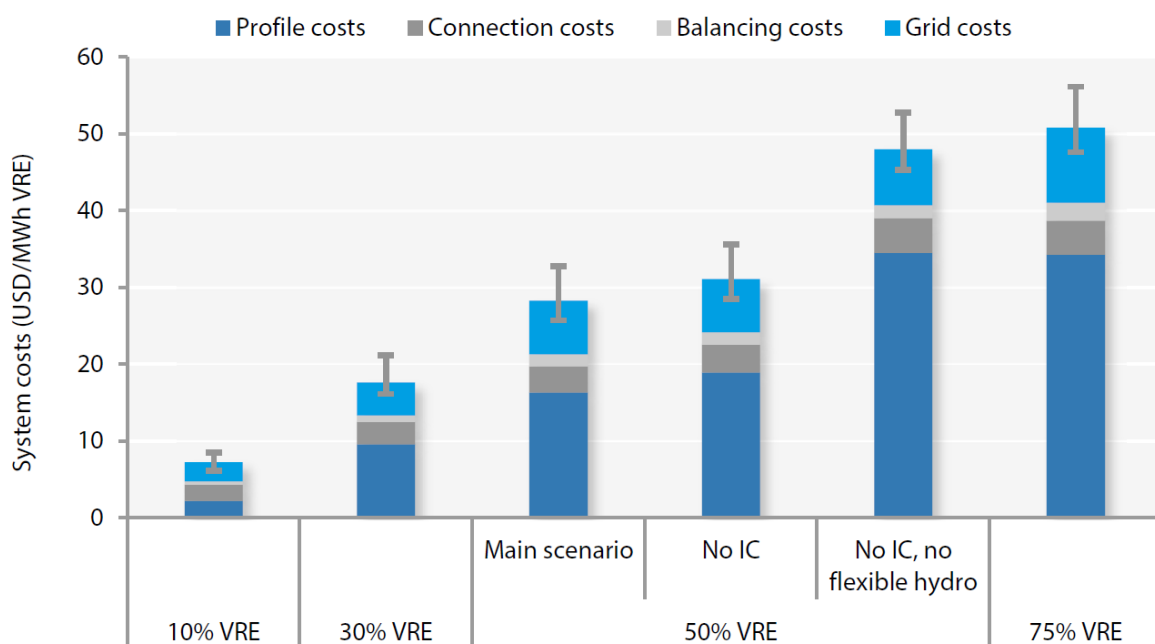
¹⁹ Bundesnetzagentur, Pressemitteilung 15.10.2020, *EEG-Umlage 2021 beträgt 6,500 ct/kWh*, dostęp online: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Pressemitteilungen/2020/20201015_EEGUmlage.pdf;jsessionid=70EF8B6CEE667E72788B7D19047BE74?__blob=publicationFile&v=2

²⁰ <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ThreeYrsUnitCapabilityFactor.aspx>

²¹ OECD/NEA, *The Cost of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables*, dostęp online: https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_15000/the-costs-of-decarbonisation-system-costs-with-high-shares-of-nuclear-and-renewables

- Koszty bilansowania systemu (ang. *balancing costs*) odnoszą się do zwiększonych bieżących wymogów dla zapewnienia stabilności systemów ze względu na niestabilność produkcji energii wynikających np. z nieprzewidzianych odstawień lub błędach w przewidywaniu produkcji).
- Koszty sieciowe (ang. *grid costs*) wynikają z wyższych kosztów przesyłu i dystrybucji energii, które są skutkiem rozproszonej natury OZE oraz konkretnych warunków lokalizacyjnych. Znaczenie kosztów sieciowych jest szczególnie istotne, gdy rejony korzystne dla rozwoju OZE nie pokrywają się z rejonami przemysłowymi (widać to w systemie niemieckim; polski system charakteryzuje analogiczna zależność).
- Koszty przyłączeniowe (ang. *connection costs*) obejmują koszty połączenia jednostek wytwórczych z najbliższym punktem przesyłu energii. Koszty te mogą być szczególnie wysokie w przypadku źródeł oddalonych od punktu przyłączenia lub w przypadku niskiego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej.

Wskazane wyżej koszty są zatem dodatkiem do ceny prądu i są kompletnie niezależne od ceny paneli fotowoltaicznych i turbin wiatrowych – byłyby one zatem ponoszone nawet gdyby sama instalacja OZE była darmowa. Analizy [21] wykazały, że koszty systemowe (szczególnie profilowe) znacząco rosną przy zbyt wysokim udziale OZE w systemie (Rysunek 6).



Rysunek 6. Koszty systemowe przy różnych udziałach OZE [21]

Przedstawione wyżej dane wskazują, że dopiero porównanie zarówno cen hurtowych jak i detalicznych daje pełny obraz kosztów transformacji energetycznej ponoszonych przez obywateli. **Pomimo zbliżonych cen energii hurtowych we Francji, w Czechach, na Słowacji i w Niemczech ceny detaliczne dla odbiorców indywidualnych i małych firm są ok. 50% wyższe w Niemczech niż w pozostałych krajach, gdzie istotnym elementem niskoemisyjnego miksu jest atom.**

Innym aspektem fatalnego wyboru drogi dekarbonizacji w Niemczech jest niestabilność sieci elektroenergetycznej, ryzyko lokalnych blackoutów prowadzące do braku bezpieczeństwa energetycznego dla całego regionu. Kolejnym negatywnym efektem nadmiernego rozwoju niestabilnych źródeł są tzw. prądy kołowe. Prądy kołowe można określić jako fizyczne przepływy na

linii znajdującej się w określonej strefie (np. w Polsce), spowodowane przez transakcje, dla których zarówno źródło, jak i odbiór mocy znajdują się w innej strefie (np. w Niemczech). Innymi słowy są to przepływy mocy wychodzące z danego obszaru rynkowego i ponownie do niego wchodzące w sposób nieplanowany. Przepływy kołowe od lat destabilizują pracę systemu elektroenergetycznego w regionie Europy Środkowej, gdyż większość mocy zainstalowanej w turbinach wiatrowych w Niemczech znajduje się na północy kraju, a energochłonny przemysł na południu i w Austrii. Braki w niemieckiej infrastrukturze przesyłowej są zatem kompensowane infrastrukturą państw sąsiednich. Zarówno potencjał energetyki wiatrowej, jak i rozmieszczenie przemysłu stwarzałyby w Polsce analogiczne problemy jak w RFN. Dwa duże kraje Europy Środkowej z problemami przesyłowymi na linii północ-południe destabilizowałyby zatem pracę systemu w znacznej części kontynentu.

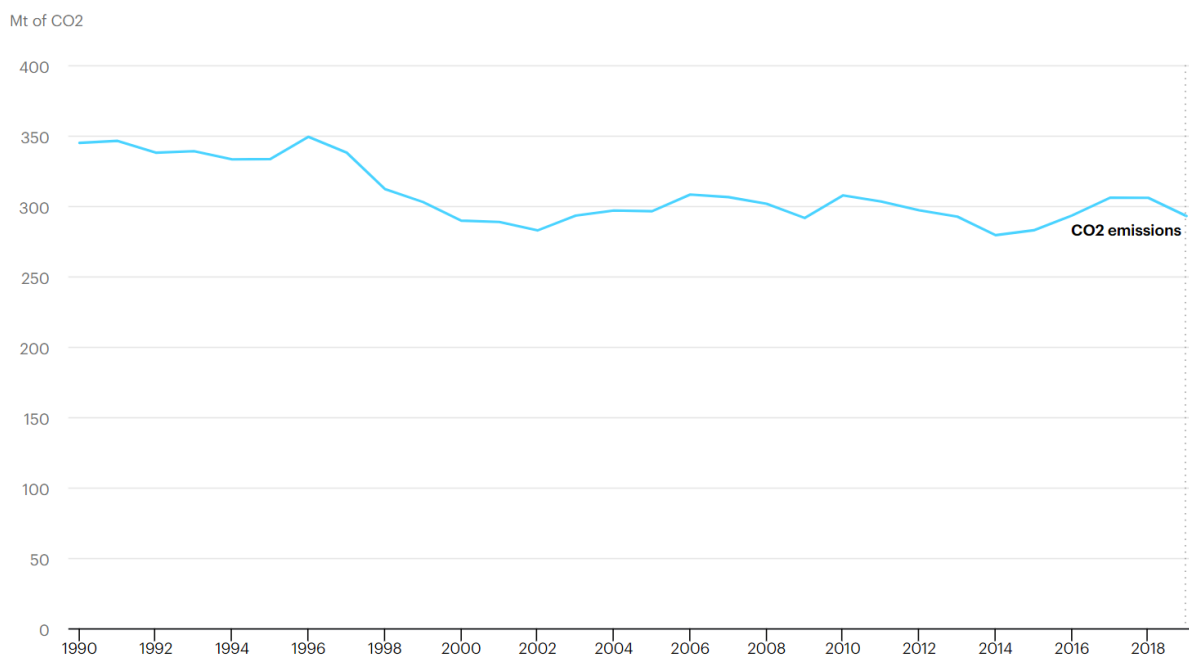
Forsowanie opierania energetyki o niestabilne źródła wytwórcze oraz próby zabezpieczania systemu rosyjskim gazem w większej ilości państw znacznie potęguje te ryzyka, a nawet stwarza kolejne (np. geopolityczne).

O zagrożeniach płynących z niemieckiej strategii i polityki energetycznej można pisać bardzo dużo. Część z nich bardzo dobrze została uchwycona w książce J. Wiecha [15] pt. „Energiewende – nowe niemieckie imperium”. Kolejną książkę można by było poświęcić wyłącznie absurdom w przekazie niemieckich polityków i mediów. Nie idźmy tą drogą – w ten sposób nigdy nie osiągniemy celu postawionego w Strategii, a zapłacą za to przyszłe pokolenia. **Wszystkie scenariusze skutecznej dekarbonizacji gospodarki w przewidywalnym horyzoncie czasowym, które zostały sporządzone przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC)²² uwzględniają w miksie energetycznym zarówno atom jak i OZE.**

²²https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf

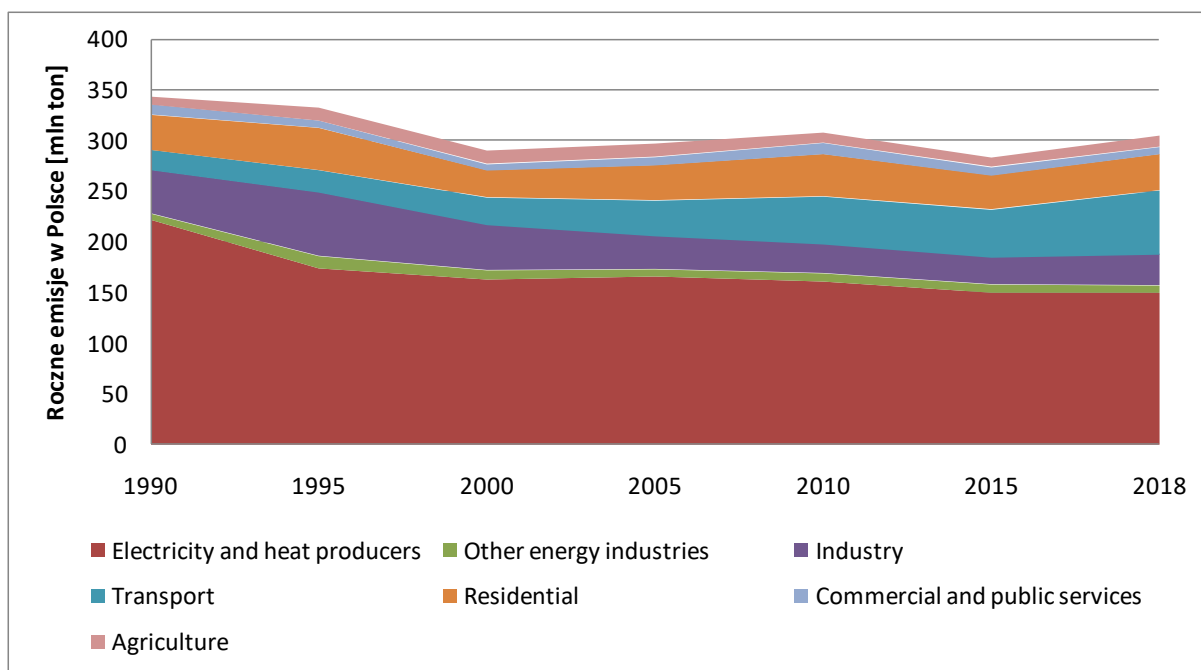
III. Emisje CO₂ w Polsce – zdefiniowanie celów wynikających z postulatów Strategii

Według danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej Polska w 2019 r. wyemitowała 292,9 mln ton CO₂. W stosunku do roku 1990 (344,8 mln ton) nastąpił spadek o 15,1 %, z czego całość redukcji przypada na lata 1996-2002 [12].



Rysunek 7. Roczne emisje dwutlenku węgla w Polsce w latach 1990-2019 [12]

Największy udział w emisjach Polski ma obecnie sektor elektryczny i ciepłowniczy (150,0 mln ton), drugie miejsce zajmuje transport (63,0 mln ton), dlatego to właśnie na tych sektorach należy skupić się najbardziej, aby skokowo obniżyć emisje. Pełny obraz emisyjności poszczególnych sektorów przedstawia Rysunek 8 [12].



Rysunek 8. Emisyjność Polski według sektorów [12]

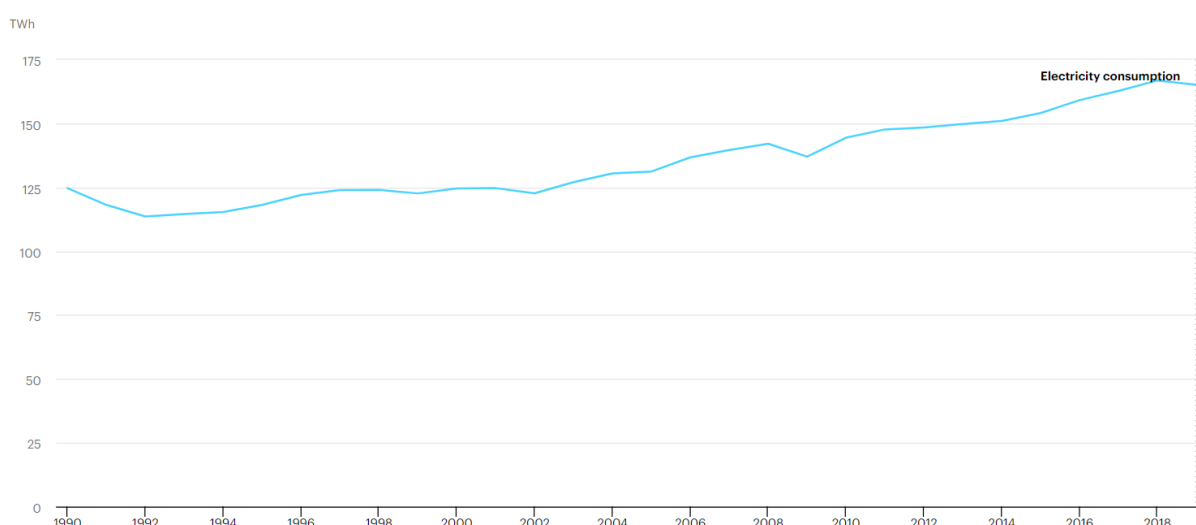
Według postulatów zawartych w Strategii [1] Polska do 2030 roku powinna ograniczyć emisje o 45%, czyli osiągnąć emisyjność na poziomie 189,6 mln ton/rok, co oznacza redukcję o 103,3 mln ton/rok w stosunku do stanu reprezentowanego przez dane z 2019 roku. W perspektywie 2040 roku postulowane jest całkowite odejście od węgla, przy czym jego minimalny udział w miksie energetycznym postuluje się już w 2035 roku. Do połowy wieku natomiast Polska ma osiągnąć neutralność klimatyczną. Biorąc pod uwagę obszary leśne i inne tereny pochłaniające CO₂, w 2050 roku dopuszczalna jest emisja przez człowieka na poziomie 27,4 mln ton²³.

²³<https://ourworldindata.org/co2/country/poland>

IV. Zużycie energii elektrycznej w Polsce – ocena wykonalności postulatów Strategii

Z powyższych danych wynika, że elektroenergetyka i ciepłownictwo oraz transport są najbardziej emisyjnymi sektorami w Polsce. Dlatego to właśnie na tych branżach należy skupić się przy formułowaniu strategii obniżenia emisyjności. Niskoemisyjne wytwarzanie energii elektrycznej jest zatem kluczowym elementem na drodze do neutralności energetycznej, a predykcje zapotrzebowania na energię powinny być jednym z podstawowych założeń wejściowych dla kształtowania systemu elektroenergetycznego w kontekście redukcji emisyjności sektora.

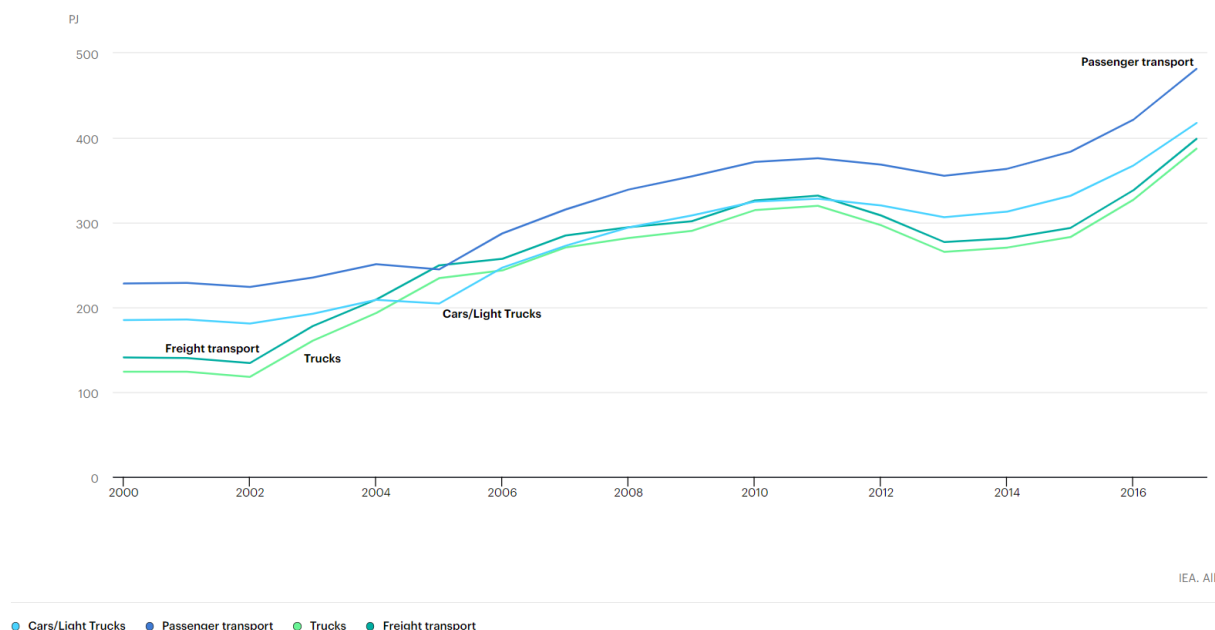
Na przestrzeni ostatnich 3 dekad według danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej konsumpcja energii elektrycznej w Polsce wzrosła ze 124,7 TWh/rok w 1990 roku do 165,2 TWh/rok w 2019 [12] (Rysunek 9).



Rysunek 9. Konsumpcja energii elektrycznej w Polsce w latach 1990-2019 [12]

Pomijając związany ze zmianami ustrojowymi spadek zapotrzebowania na początku lat 90. w Polsce następuje stały, niemal liniowy wzrost konsumpcji energii elektrycznej. Trend ten nie został zachwiany nawet pomimo wprowadzania na rynek coraz bardziej energooszczędnych urządzeń dla przemysłu i gospodarstw domowych. Biorąc pod uwagę globalne tendencje elektryfikacji wielu sektorów gospodarki (postulowaną także w Strategii [1]) w kolejnych latach należy spodziewać się jeszcze szybszego wzrostu konsumpcji energii elektrycznej. **Szczególnego skoku można oczekiwać w latach 30. w kontekście elektryfikacji transportu, który jest zarówno wymuszany przez czynniki zewnętrzne (a zatem nieunikniony, w związku z czym wzrost zapotrzebowania na energię z uwagi na elektromobilność należy brać pod uwagę w każdej strategii kształtowania miksu energetycznego i emisyjności państwa) jak i zakładany w Strategii 2050.**

Jak wskazują dane Międzynarodowej Agencji Energetycznej emisje pochodzące z transportu w Polsce urosły z 20 mln ton w 1990 do 63 mln ton w 2019 (Rysunek 8). Skok ten był oczywiście skutkiem wzrostu gospodarczego i zwiększenia konsumpcji energii w transporcie. Wzrost ten, w rozbiciu na podsektory przedstawia Rysunek 10 [12].



Rysunek 10. Konsumpcja energii w sektorze transportowym [12]

Autorzy Strategii [1] wydają się zdawać sobie sprawę z rosnącego trendu zapotrzebowania na energię w transporcie, wynikających z niego rosnących emisji i ekstremalnie trudnego zadania jakim jest opanowanie tego wzrostu. Założenie to wynika z braku w Strategii [1] konkretnych deklaracji czy postulatów w kontekście ograniczenia emisji w transporcie. W ich miejsce użyte jest sformułowanie stanowiące jedynie odniesienie do innego raportu: „możliwe jest ograniczenie emisji w sektorze transportowym w Polsce o 20 proc. do roku 2030 i o 70 proc. w połowie wieku²⁴²⁵” [1]. Wydaje się, że autorzy Strategii [1] mają na myśli ograniczenie emisji w transporcie o 20% i 70% w stosunku do stanu obecnego – osiągnięcie powyższych redukcji w stosunku do roku 1990 (tak jak przyjmuje się w energetyce) jest fizycznie niemożliwe.

W kontekście rozwoju transportu kolejowego użyto sformułowania „przy założeniu szybkiego odejścia od węgla inwestycje w kolej mogą ograniczyć emisje nawet o 10 mln ton do 2030 r. i o 20 mln ton do roku 2050” [1]. W związku z powyższymi sformułowaniami zawartymi w Strategii oraz ogólnej, ambitnej wizji ograniczenia emisji w Polsce i biorąc pod uwagę fakt, że bez daleko idących redukcji emisji w transporcie nie jest możliwe spełnienie głównych postulatów (redukcja o 45% do 2030 r. i o 100% do 2050 r.) w dalszych obliczeniach przyjęto, że „możliwe do osiągnięcia” ograniczenia w transporcie są faktycznymi postulatami Strategii [1]. Powyższe oznacza, że wobec obecnej emisji w transporcie na poziomie 63 mln ton, w Strategii postuluje się zmniejszenie tych emisji o 12,6 mln ton do 2030 i o 44,1 mln ton do 2050. Energia konsumowana w transporcie skutkująca tymi emisjami musi być zatem pokryta przez elektryfikację sektora i będzie miała bezpośredni wpływ na konsumpcję energii elektrycznej w Polsce.

²⁴ The Boston Consulting Group, WWF, *2050 Polska dla pokoleń. Wybieramy przyszłość*, 2018. Dostęp online: <https://media.wwf.pl/attachment/1554682>

²⁵ W. P. Rabiega, P. Sikora, *Ścieżki redukcji emisji CO2 w sektorze transportu w Polsce w kontekście Europejskiego Zielonego Ładu*, Dostępny pod: <http://climatecake.pl/wp-content/uploads/2020/10/Ścieżki-redukcji-emisji-CO2-wsektorze-transportu-w-PL-w-kontekście-Europejskiego-Zielonego-Ładu.pdf>

Rysunek 10 wskazuje, że łączna konsumpcja energii w transporcie wynosi 1685 PJ/rok. Roczna emisja sektora na poziomie 63 mln ton oznacza średnią emisyjność sektora na poziomie:

$$Em_t = \frac{63 * 10^{12} \text{ g/rok}}{1685 * 10^9 \text{ MJ/rok}} = \frac{63 * 10^{12} \text{ g}}{1685 * 10^9 * \frac{1000}{3600} \text{ kWh}} \approx 135 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$$

Powyższa średnia emisyjność sektora oraz postulaty ograniczenia całkowitej emisji o 12,6 mln ton do 2030 r. i o 44,1 mln ton do 2050 r. skutkuje odpowiednio następującym wzrostem zużycia (WZ) energii elektrycznej:

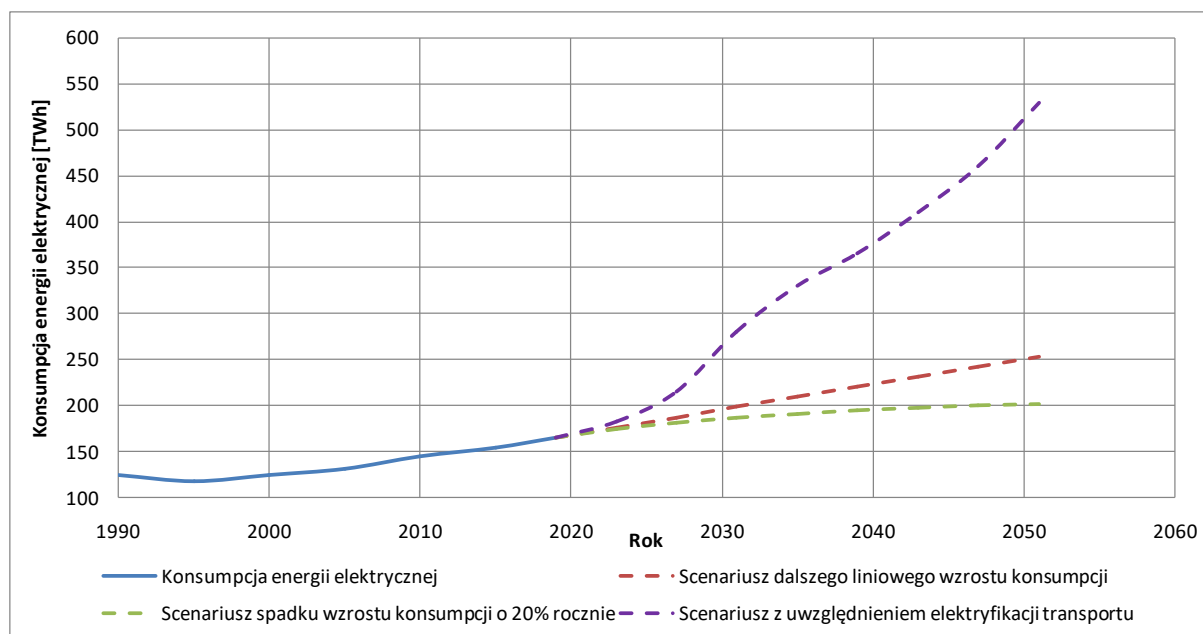
$$WZ_{2030} = \frac{12,6 * 10^{12} \text{ g}}{135 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}} = 93,6 \text{ TWh}$$

$$WZ_{2050} = \frac{44,1 * 10^{12} \text{ g}}{135 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}} = 327,6 \text{ TWh}$$

Warto podkreślić, że w obliczeniach przyjęto (optymistycznie i raczej nierealistycznie), że trend wzrostowy konsumpcji energii w transporcie zostanie przełamany i zużycie zatrzyma się na obecnym poziomie.

Aby dokonać rzetelnej i bardziej szczegółowej analizy wykonalności postulatów Strategii [1], powyższe dosyć ogólne obliczenia zapotrzebowania na energię elektryczną należałoby uzupełnić o kolejne elementy postulowane w Strategii [1]: elektryfikację sektora ciepłowniczego i wytwarzania ciepła w przemyśle, wymianę kuchenek gazowych na elektryczne i wiele innych. Powyższe postulaty będą prowadziły do ogromnego wzrostu zużycia energii. Biorąc pod uwagę, że uwzględnienie w planach dekarbonizacyjnych samego transportu skutkuje wzrostem zapotrzebowania na energię do 2030 r. o 56,6% i do 2050 r. o prawie 200%, uwzględnianie wszystkich tych elementów prowadziłoby do jeszcze większego odrealnienia prognozy. **Realizacja postulatów Strategii skutkowałaby zatem wzrostem zapotrzebowania na energię, który jest nie do udźwignięcia przez Polski system elektroenergetyczny.** Dlatego przy formułowaniu scenariusza zapotrzebowania (oraz wynikającej z niego konieczności rozbudowy mocy zainstalowanej) poprzestano na uwzględnieniu postulatów w sektorze transportowym.

Rysunek 11 przedstawia zatem konsumpcję energii elektrycznej w Polsce od 1990 r. oraz predykcje uwzględniające jedynie 3 scenariusze: scenariusz dalszego liniowego wzrostu zużycia, scenariusz zakładający coroczny spadek wzrostu zużycia o 20% (z uwagi na wzrost efektywności energetycznej i wprowadzanie coraz sprawniejszych urządzeń) oraz scenariusz uwzględniający wzrost efektywności uzupełniony o postulaty związane z elektromobilnością.



Rysunek 11. Konsumpcja energii elektrycznej w Polsce w latach 1990-2019 [12] oraz 3 scenariusze dalszego kształtowania się zużycia

Jak wspomniano wyżej zaniechano uwzględnienia elektryfikacji wielu innych sektorów wspomnianych w Strategii [1]. **Wszystkie przedstawione prognozy można zatem uznać za optymistyczne, tj. zaniżające zużycie w stosunku do scenariusza, który wynikałby z postulatów przedstawionych w Strategii.** Scenariusze nieuwzględniające elektromobilności są oczywiście całkowicie nierealistycznie i zaniżające zapotrzebowanie nie tylko w stosunku do Strategii, ale także w stosunku do scenariusza *business as usual*. Przytoczono je jednak, aby wskazać, że nawet zaniedbanie dekarbonizacji tak ważnego sektora, jakim jest transport skutkuje poważnymi wyzwaniem dla polskiej energetyki. Sektor transportowy należy jednak brać pod uwagę ze względu na fakt, że w dużej mierze wynika z czynników zewnętrznych – firmy motoryzacyjne odchodzą od produkcji samochodów spalinowych, więc z biegiem lat coraz mniej opłacalne (i w ogóle możliwe) będzie kupno auta spalinowego, zatem elektromobilność będzie rozwijać się niezależnie od polityki Polski. Rolą strategii politycznych jest wzięcie tych czynników pod uwagę i zbudowanie systemu gwarantującego bezpieczeństwo energetyczne.

Mając zarysowaną prognozę zapotrzebowania na energię wynikającą z części założeń Strategii [1] dotyczących spadku emisji, można przejść do kolejnego kluczowego postulatu Strategii [1] – produkcji energii z odnawialnych źródeł energii (40% do 2030 r. i pełna neutralność w 2050 r.). Niestety Strategia [1] nie precyzuje co w kontekście OZE oznacza postulat do 2040 r. – „całkowite odejście od węgla”. Mianowicie nie jest powiedziane ile konkretnie energii ma być produkowane z OZE, a ile z gazu.

Dla oszacowania, ile mocy w odnawialnych źródłach energii należałoby w Polsce zainstalować, aby sprostać zapotrzebowaniu na energię należy założyć współczynnik zapotrzebowania mocy zainstalowanej. Według danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej²⁶ dla farm wiatrowych na morzu jest to 29-52%, dla farm wiatrowych na lądzie 23-44%, a dla fotowoltaiki 10-21%. W kontekście fotowoltaiki dane z Niemiec (położonych w podobnych warunkach geograficznych)

²⁶<https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>

wskazują na współczynnik w wysokości 11%²⁷; dla energetyki wiatrowej na lądzie jest to 27% [13], a dla offshore 39%²⁸. Ze względu na mocno podkreślane w Strategii [1] wsparcie dla prosumentów (a zatem wysokiego udziału fotowoltaiki) wydaje się, że przyjęcie współczynnika na poziomie 0,3 będzie kolejnym bardzo korzystnym dla postulatów w Strategii założeniem. Tabela 1 przedstawia wymaganą moc zainstalowaną w OZE przedstawioną w GW i obliczoną na podstawie powyższych założeń, postulatów Strategii [1] oraz wskazanych scenariuszy dalszego kształtowania się konsumpcji energii elektrycznej.

Tabela 1. Wymagana moc zainstalowana w OZE [GW] dla trzech scenariuszy kształtowania się popytu na energię elektryczną

	Scenariusz spadku wzrostu konsumpcji	Scenariusz dalszego liniowego wzrostu	Scenariusz uwzględniający elektromobilność
2030	28.4	30.2	42.7
2050	76.9	96.5	201.5

Obecnie w Polsce zainstalowanych jest w OZE ok. 11,5 GW[12]. Porównanie stanu obecnego z wartościami zawartymi w tabeli 1 pokazuje przed jak trudnym zadaniem stoi Polska w kontekście ograniczenia emisji wyłącznie za pomocą OZE. **Przy szacowaniu tego wyzwania należy wziąć pod uwagę również dodatkowe moce jakie należałoby zainstalować w systemie w źródłach gazowych, które stanowiłyby rezerwę dla niestabilnych OZE. Bardzo ważnym elementem w kontekście strategii długoterminowej jest też fakt, że cała obecnie zainstalowana w systemie moc oraz duża część instalacji wybudowanych przed 2030 r. będzie musiała zostać zastąpiona przez nowe moce ze względu na stosunkowo krótką żywotność OZE sięgającą maksymalnie 35 lat (tylko w przypadku nowoczesnych instalacji – żywotność starszych jest znacznie krótsza).** Oznacza to, że zdecydowana większość mocy OZE powstała w Polsce do 2030 będzie musiała zostać „odnowiona” do roku 2050, co jeszcze bardziej odrealnia postulaty w horyzoncie półwiecza.

W kontekście powyższych danych i założeń (i tak zdecydowanie zbyt optymistycznych) dużym niedopowiedzeniem jest stwierdzenie, że zadanie jest ekstremalnie trudne. Nawet przyjmując założenie, że do 2030 r. nie nastąpi znaczący skok elektromobilności (co oczywiście z drugiej strony uniemożliwi realizację postulatu Strategii [1] ograniczenia całkowitej emisji CO₂ do tego roku) wymagane do zainstalowania moce są bardzo duże. Niewzięcie pod uwagę elektromobilności oraz elektryfikacji innych sektorów w kolejnych dwóch dekadach jest niedopuszczalne. **Dekarbonizacja do 2050 roku wyłącznie przy pomocy OZE jest zatem niemożliwa do przeprowadzenia. Nawet zakładając spadające koszty instalacji OZE jest to technicznie niewykonalne, a konieczność budowy elektrowni opalanych gazem skutkuje nie tylko brakiem realnej dekarbonizacji, ale również niemożnością redukcji kosztów dla odbiorców indywidualnych. Aby realnie dekarbonizować kraj w latach 30. i 40., kiedy to oczekiwany jest największy wzrost konsumpcji energii elektrycznej (ze względu na duży wzrost elektromobilności w tych latach) OZE muszą być wspierane przez stabilne i niskoemisyjne źródła energii, jakimi są elektrownie jądrowe.**

²⁷<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/solar-power-germany-output-business-perspectives>

²⁸Andrew ZP Smith, ORCID: 0000-0003-3289-2237; "Germany's offshore wind capacity factors". Retrieved from <https://energynumbers.info/germanys-offshore-wind-capacity-factors>

V. Transformacja oparta o energetykę jądrową i OZE

Energetyka jądrowa w Strategii

Energetyce jądrowej poświęcone są w Strategii [1] zaledwie dwa akapity. Pierwszy z nich zawiera jedno zdanie mające związek z formułowaniem programu dla polskiej dekarbonizacji: „energia jądrowa nie jest w stanie załatać dziury w podaży prądu do 2030 r.” Niestety brak zdecydowanych działań oraz (słusznie wskazane w Strategii) zaniedbywanie polityki klimatycznej i energetycznej ze strony kolejnych rządów doprowadziły do sytuacji, w której prawdziwe jest przytoczone zdanie. Strategia [1] została jednak sformułowana w horyzoncie roku 2050 – dziwi zatem brak odniesienia się do dwóch kolejnych dekad oraz tego, w jaki sposób to zeroemisyjne źródło mogłoby partycypować w dekarbonizacji Polski.

Jeszcze bardziej zaskakujące jest to, że po stwierdzeniu faktu niemożności wybudowania elektrowni jądrowej do 2030 r. nie zaproponowano usprawnienia procesu lecz przystąpiono do wyliczeń tego, co powinny zrobić władze (poprzednich i obecnych rządów) bez przedstawienia propozycji tego co w kontekście energetyki jądrowej robi środowisko polityczne autorów Strategii. **Temat dużej energetyki jądrowej w ogóle nie został zatem podjęty merytorycznie, a jedynie wykorzystany do krytyki poprzednich rządów.**

Drugi akapit poświęcony energetyce jądrowej charakteryzuje się niestety pewną niespójnością w stosunku do pierwszego. „Cel zbudowania elektrowni atomowej (w tym przewidziane w Polityce Energetycznej Polski uruchomienie pierwszego bloku do 2033 r.) musi być skonfrontowany z realiami”. Po tym jak w pierwszym akapicie stwierdzono brak możliwości wdrożenia atomu do 2030 r. (i wynikającą z tego niechęć do realizacji projektu w ogóle), w drugim akapicie wyrażono nadzieję upatrywaną w małych reaktorach modułowych, które jeszcze nie istnieją, a perspektywy ich wdrożenia na oczekiwaną skalę można liczyć w dekadach.

Temat energetyki jądrowej został zatem niemalże całkowicie pominięty w Strategii – a z pewnością nie przedstawiono uzasadnienia merytorycznego, dlaczego nie należy budować atomu w Polsce. Przez brak rzeczowego odniesienia się do tego źródła energii można odnieść wrażenie, że niekompetencją innych rządów próbuje się usprawiedliwić niechęć autorów Strategii do podejmowania działań w zakresie wprowadzenia energetyki jądrowej.

Nauka, dostępne dane o skuteczności dekarbonizacji przy pomocy energetyki jądrowej i doświadczenie innych krajów wskazują tymczasem, że w polskich warunkach środowiskowych nie ma być mowy o zeroemisyjności bez atomu.

Nauka o atomie

Oprócz raportu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC)²⁹ wskazującego na istotną rolę energetyki jądrowej w ograniczeniu wzrostu średniej temperatury na ziemi do 1,5°C, jednym z najistotniejszych międzynarodowych raportów naukowych identyfikujących rolę atomu w dekarbonizacji oraz jego wpływ na środowisko jest *Technical assessment of nuclear energy with*

²⁹International Panel for Climate Change, *Global Warming of 1.5°C*, dostęp online: https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf

respect to 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')³⁰. Publikacja ta jest raportem określonym jako „Nauka dla Polityki” i została opracowana przez Wspólne Centrum Badawcze (ang. *Joint Research Centre – JRC*) – jednostkę usługową Komisji Europejskiej ds. nauki i wiedzy i ma ona na celu zapewnienie opartego na dowodach naukowych wsparcia dla procesu kształtowania polityki europejskiej.

Rozporządzenie o taksonomii (rozporządzenie (UE) 2020/852)³¹, w sprawie ustanowienia ram ułatwiających zrównoważone inwestycje, określa warunki, w tym cele środowiskowe, które musi spełniać działalność gospodarcza, aby można ją było uznać za zrównoważoną środowiskowo. Ustanawia ono również ramy dla opracowania unijnego systemu klasyfikacji („taksonomii UE”) zrównoważonych środowiskowo rodzajów działalności gospodarczej do celów inwestycyjnych.

Komisja Europejska powołała w lipcu 2018 r. techniczną grupę ekspertów (ang. *Technical expert group – TEG*) w celu opracowania zaleceń dotyczących technicznych kryteriów przesiewowych dla działań gospodarczych, które mogą wnieść znaczący wkład w realizację celów w zakresie mitygacji lub adaptacji do zmian klimatu, przy jednoczesnym uniknięciu znaczących szkód dla czterech innych celów środowiskowych rozporządzenia:

- zrównoważonego użytkowania i ochrony wód i zasobów morskich,
- przejścia do gospodarki obiegu zamkniętego,
- przeciwdziałania zanieczyszczeniom środowiska,
- ochrony i przywracania bioróżnorodności i ekosystemów.

W czerwcu 2019 r. TEG przedstawiła wstępne zalecenia dotyczące pierwszego zestawu działalności gospodarczych, wraz z powiązаныmi technicznymi kryteriami przesiewowymi, które powinny zapewnić istotny wkład w łagodzenie skutków i adaptację do zmian klimatu, jednocześnie nie szkodząc znacząco żadnemu z pozostałych celów środowiskowych.

W swojej ocenie energii jądrowej w ramach przeglądu działalności w zakresie wytwarzania energii TEG doszła do wniosku, że energia jądrowa charakteryzuje się niemal zerową emisją gazów cieplarnianych na etapie wytwarzania energii i może przyczynić się do realizacji celów związanych z łagodzeniem skutków zmian klimatu. O ile uwzględnienie energii jądrowej z perspektywy przeciwdziałania zmianom klimatu było zatem uzasadnione, TEG nie sformułowała ostatecznych wniosków dotyczących potencjalnych, znaczących szkód dla innych celów środowiskowych, w szczególności biorąc pod uwagę brak permanentnych doświadczeń operacyjnych w kwestii składowania odpadów wysokoaktywnych. Dlatego też na tamtym etapie nie uwzględniono energii jądrowej w taksonomii UE. Zamiast tego TEG zaleciła podjęcie szerzej zakrojonych prac merytorycznych

³⁰Joint Research Center for Policy Report, *Technical Assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')*, dostęp online: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/2103_29-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf

³¹Źródłem przytoczonych niżej tłumaczeń fragmentów rozporządzenia jest portal FOTA4Climate, tłumaczenie: Antek Goldstein, dostęp online: <http://fota4climate.org/2021/04/30/ocena-techniczna-energii-jadrowej-pod-wzgledem-niepowodowania-znaczaczych-szkod-wspolne-centrum-badawcze-komisji-europejskiej/?fbclid=IwAR2ZrG-fygNQK864jLMt6zK3hVUKwRp01bQz3XshVz0Bjs09lpIMQ3tUd0#foot-2>

w aspekcie „nie powodowania znaczących szkód” (ang. *do no significant harm – DNSG*) w odniesieniu do energii jądrowej.

Latem 2020 r., w porozumieniu z Dyrekcjami Generalnymi ds. Energii, Środowiska, Badań Naukowych i Innowacji, Działów w dziedzinie Klimatu oraz Sekretariatu Generalnego Komisji Europejskiej, Dyrekcja Generalna ds. Stabilności Finansowej, Usług Finansowych i Unii Rynków Kapitałowych zwróciła się do JRC o przeprowadzenie „szerszych prac merytorycznych dotyczących aspektów DNSH energii jądrowej” zgodnie z zaleceniami TEG.

JRC przeprowadziło przegląd merytoryczny w celu oceny wytwarzania energii jądrowej zgodnie z kryteriami „nie powodowania znaczących szkód”, uwzględniając skutki całego cyklu życia energii jądrowej w sensie istniejącego i możliwego wpływu na środowisko według każdego z celów, ze szczególnym uwzględnieniem gospodarowania wytworzonymi odpadami jądrowymi i promieniotwórczymi.

Wśród kluczowych wniosków JRC znalazły się następujące stwierdzenia [31]:

- **Analizy nie wykazały istnienia żadnych dowodów naukowych na to, by energia jądrowa powodowała większe szkody dla ludzkiego zdrowia lub dla środowiska niż inne technologie wytwarzania elektryczności już uwzględnione w Taksonomii jako działania wspierające łagodzenie skutków zmian klimatu.**
- Porównanie wpływu różnych technologii wytwarzania energii elektrycznej (np. ropy naftowej, gazu i energii jądrowej) na ludzkie zdrowie i środowisko, oparte na najnowszych analizach cyklu życia pokazuje, że wpływ energii jądrowej jest w zasadzie porównywalny z wpływem elektrowni wodnych i odnawialnych źródeł energii, jeśli chodzi o skutki inne niż radiologiczne.
- Analizy wykazują, że odpowiednie środki zapobiegające możliwym wpływom lub łagodzące ich skutki mogą być wdrożone przy pomocy istniejących technologii i przy rozsądnych kosztach.
- **Średni stopień narażenia członka społeczeństwa na efekty powiązane z wytwarzaniem elektryczności z energii jądrowej wynosi około 0,2 mikrosiwerta, co stanowi dziesięć tysięcy razy mniejszą wartość od średniej rocznej dawki pochodzącej z naturalnego promieniowania tła.**
- Zarządzanie odpadami promieniotwórczymi oraz bezpieczne usuwanie ich jest niezbędnym krokiem w cyklu życia każdego zastosowania nauki i technologii jądrowej (energia jądrowa, badania, przemysł, edukacja, medycyna i inne). Odpady radioaktywne w związku z tym są wytwarzane w zasadzie w każdym kraju, przy czym największa część z nich pochodzi z krajów eksploatujących elektrownie jądrowe. **Obecnie panuje szeroki naukowy i techniczny konsensus, że składowanie wysokoaktywnych i długożyciowych odpadów w głębokich formacjach geologicznych jest odpowiednim i wystarczającym środkiem izolacji ich od biosfery w bardzo długiej skali czasowej.**
- Z punktu widzenia aspektu nieradiologicznego, faza zarządzania odpadami ma niewielki wpływ na całkowite emisje gazów cieplarnianych, użytkowanie terenu oraz wytwarzanie odpadów technologicznych. Nie wpływa ona (wyniki są zerowe lub pomijalne) na te wskaźniki, które są reprezentatywne dla wpływu na cele Rozporządzenia o Taksonomii dotyczące zrównoważonego korzystania i ochrony wód i zasobów morskich, zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli oraz ochrony i odtwarzania bioróżnorodności i ekosystemów.

- Średnie emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia ustalone dla wytwarzania elektryczności z energii jądrowej są porównywalne dla wartości charakterystycznych dla hydroenergetyki i wiatru.
- Energia jądrowa ma bardzo niskie emisje NO_x (tlenków azotu), SO₂ (dwutlenku siarki), PM (pyłów) i NMVOC (niemetanowych lotnych związków organicznych). Wartości są porównywalne do lub lepsze od odpowiadających im emisji z cykli życia paneli słonecznych oraz wiatru.
- Pod względem potencjału zakwaszania i eutrofizacji, energia jądrowa również jest porównywalna do lub lepsza niż panele słoneczne i wiatr.
- To samo stwierdzenie jest prawdziwe dla ekotoksyczności w wodach słodkich i morskich oraz zubażania warstwy ozonowej i POCP (potencjału tworzenia utleniaczy).
- Zajmowanie gruntu dla wytwarzania energii jądrowej jest w przybliżeniu takie, jak dla elektrowni gazowej o podobnej mocy, jednak wyraźnie mniejsze niż wymagania dla wiatru lub paneli słonecznych.
- **Według badań LCIA (Analizy Wpływu w Cyklu Życia) całkowity wpływ na ludzkie zdrowie łącznych emisji radiologicznych i nieradiologicznych pochodzących z łańcucha produkcji energii jądrowej jest porównywalny z wpływem na ludzkie zdrowie związanym z energią wiatrową na morzu.**
- Jeśli chodzi o narażenie ludności w przypadku awarii, obecnie działające zachodnie elektrownie II generacji mają bardzo niski wskaźnik śmiertelności ($5 \cdot 10^{-7}$ ofiar/GWh). Taka wartość jest znacząco mniejsza (o rzędy wielkości) od wartości właściwych dla każdej z metod wytwarzania energii z paliw kopalnych i porównywalna z hydroenergetyką w krajach OECD oraz energią wiatru.
- Po awarii w Czarnobylu wysiłki krajowe i międzynarodowe skupiły się na rozwoju **elektrowni jądrowych III generacji zaprojektowanych zgodnie z rozszerzonymi wymaganiami związanymi z zapobieganiem poważnym wypadkom i łagodzeniem ich skutków**. Wdrażanie różnych projektów elektrowni III generacji rozpoczęło się 15 lat temu na całym świecie i obecnie budowane i dopuszczane do pracy są w zasadzie wyłącznie reaktory o tym stopniu zaawansowania. Ten najnowszy postęp znajduje odzwierciedlenie w niższym o trzy rzędy wielkości współczynnika ofiar śmiertelnych dla projektu EPR III generacji (równym $8 \cdot 10^{-10}$ ofiar śmiertelnych/GWh; dla porównania współczynnik ten dla węgla brunatnego wynosi 0,03272, kamiennego 0,02462, dla biomasy 0,00463, dla gazu 0,00282, dla turbin wiatrowych $4 \cdot 10^{-5}$, a dla paneli fotowoltaicznych i elektrowni wodnych $2 \cdot 10^{-5}$). **Nowoczesne elektrownie jądrowe są zatem najbezpieczniejszym źródłem wytwarzania energii elektrycznej.**
- Jeśli chodzi o wysokoaktywne odpady, w tym zużyte paliwo jądrowe, panuje szeroki konsensus w środowiskach naukowych, technologicznych i regulacyjnych, że ostateczne składowanie w głębokich składowiskach geologicznych jest najbardziej efektywnym i najbezpieczniejszym rozwiązaniem, które może zapewnić, że nie powstaną znaczące szkody dla ludzkiego życia i środowiska przez wymagany czas. Ostateczne składowanie zużytego paliwa i odpadów promieniotwórczych w składowisku przewiduje umiejscowienie ich w zabezpieczonym wielokrotnymi barierami (naturalnymi i inżynieryjnymi) systemie w stabilnej geologicznie formacji kilkaset metrów poniżej poziomu gruntu. Konkretna konfiguracja składowiska zależy od charakterystyki i zawartości promieniotwórczej odpadów. Wielokrotne bariery w składowisku zapobiegają przedostawaniu się substancji

promieniotwórczych do biosfery przez niezbędny czas. **Wobec braku przedostawania się substancji promieniotwórczych do dostępnej biosfery, brak jest zarówno zanieczyszczeń radiologicznych jak i degradacji zdrowych ekosystemów, łącznie ze środowiskami wodnymi i morskimi.**

- Wykazanie bezpieczeństwa obejmuje obliczenia i modele dotyczące zachowania się barier inżynierskich w różnych okolicznościach, uwolnienia i transportu izotopów promieniotwórczych przez bariery, skutków zdarzeń klimatycznych, łącznie z ekstremalnymi zjawiskami hydrogeologicznymi, sejsmicznymi i innymi, a także wpływu możliwego uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska na ludzkie życie i/lub środowisko. Modele i obliczenia reprezentują najnowocześniejszą wiedzę pozyskaną przez kilka dekad studiów i badań nad wszystkimi związanymi z tym problemem mechanizmami i parametrami, które wpływają na cały system składowania. Analiza opiera się na stosowaniu naturalnych praw, które rządzą długoterminowym zachowaniem się podłoża geologicznego i ewolucją odpowiednich czynników zewnętrznych (np. klimatu). **Proces wykazania bezpieczeństwa jest poddawany gruntownej krytycznej i niezależnej recenzji przez organ regulacyjny, a procedura dopuszczenia obejmuje udział lokalnych społeczności w procesie podejmowania decyzji.**
- Poświęcono znaczący wysiłek badawczy maksymalizacji części zużytego paliwa jądrowego, która może być przetworzona wtórnie w reaktorach jądrowych oraz na zmniejszenie długoterminowej radiotoksyczności wysokoaktywnych odpadów przeznaczonych do składowania geologicznego. Oba cele są związane z celem środowiskowym "Przejście do gospodarki obiegu zamkniętego, zapobieganie tworzeniu odpadów i przetwarzanie wtórne". Ze względu na fakt, że reaktory prędkie pozwalają na wielokrotne użycie części paliwa/odpadów, która nie została zużytkowana, ostatecznym efektem cyklicznego powtarzania tego procesu byłoby niemal całkowite wykorzystanie paliwa oraz coraz mniejsza ilość substancji długożyciowych (głównie obejmujących niewielką zawartość pomniejszych aktywności) w napromieniowanym paliwie. Choć w zasadzie wszystkie kroki tego procesu, znanego również jako podział i transmutacja, zostały zademonstrowane w skali laboratoryjnej, poziom gotowości technologicznej nie odpowiada jeszcze dojrzałości przemysłowej.

Raport Wspólnego Centrum Badawczego Unii Europejskiej jest najnowszym i jednym z najpełniejszych i najważniejszych stanowisk nauki w sprawie atomu. Podobną narrację dotyczącą energetyki jądrowej prezentuje jednak wiele innych niezależnych, międzynarodowych organizacji, takich jak Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD). W swojej publikacji³² precyzyjnie identyfikuje kluczową rolę energetyki jądrowej w walce ze zmianami klimatu wskazując jednocześnie wyzwania jakie stoją przed decydentami w kontekście realizacji planu osiągnięcia zero emisyjnej gospodarki.

Podobne stanowisko w sprawie atomu prezentuje polska nauka. Komunikat 03/2021³³ interdyscyplinarnego zespołu doradczego (pod kierownictwem prof. Szymona Malinowskiego) do

³²OECD/NEA, *Nuclear Energy: Combating Climate Change*, 2015, dostęp online: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14914/nuclear-energy-combating-climate-change

³³Komunikat 03/2021 interdyscyplinarnego zespołu doradczego do spraw kryzysu klimatycznego przy prezesie Polskiej Akademii Nauk na temat perspektyw dekarbonizacji wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, dostęp online: https://klimat.pan.pl/wp-content/uploads/2021/04/Kom_03_2021_dekarbonizacja_logo.pdf

spraw kryzysu klimatycznego przy prezesie Polskiej Akademii Nauk na temat perspektyw dekarbonizacji wytwarzania energii elektrycznej w Polsce wskazuje na energetykę jądrową jako na niskoemisyjne źródło, którego nie należy pomijać w kształtowaniu miksu energetycznego służącemu ochronie klimatu.

Światowa i polska nauka jasno identyfikuje zatem energetykę jądrową jako kluczowy element strategii dążenia do neutralności klimatycznej. Tak ważny głos w debacie o ochronie klimatu powinien zostać wzięty pod uwagę przy kreśleniu strategii przez polityków.

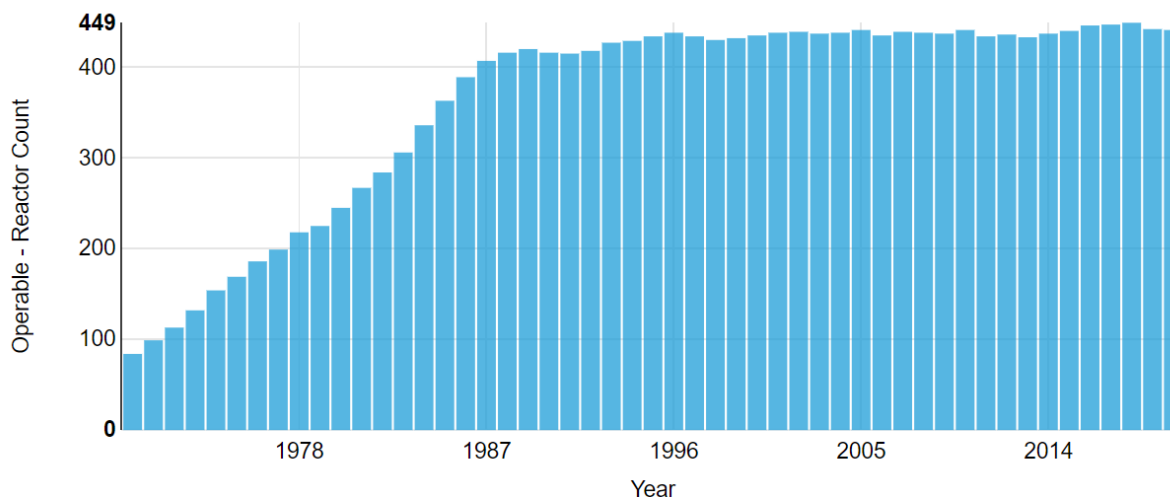
Energetyka jądrowa na świecie – droga do dekarbonizacji i bezpieczeństwa energetycznego

Wbrew często powtarzanej opinii, świat nie rezygnuje z atomu. W chwili obecnej w budowie jest 51 reaktorów energetycznych, a kolejne 230 jest w planach. Kraje, które budują nowe elektrownie jądrowe to: Argentyna, Bangladesz, Białoruś, Brazylia, Chiny, Finlandia, Francja, Indie, Iran, Pakistan, Rosja, Słowacja, Turcja, USA, Wielka Brytania, Zjednoczone Emiraty Arabskie. Prace przygotowawcze prowadzą także Egipt, Węgry i Rumunia, a niedługo rozpoczną także Czechy.

Fałszywe wrażenie trendu odchodzenia od atomu stwarza fakt, że Polska znajduje się w pewnego rodzaju europejskiej bańce informacyjnej, gdzie część krajów (w tym najsilniejsze gospodarczo Niemcy i istotna strategicznie Belgia) z powodów politycznych rezygnuje z rozwijania energetyki jądrowej. Rządziej natomiast mówi się o tym, że mniejsze kraje europejskie (np. Słowacja, Węgry, Finlandia) oraz kraje rozwijające się w pozostałej części świata stawiają na atom w swojej strategii dekarbonizacji. To właśnie rozmieszczenie bloków jądrowych na świecie oraz historyczny rozwój energetyki jądrowej wraz z polityką niektórych europejskich krajów potęguje wrażenie odchodzenia od atomu.

Patrząc historycznie, za początkowy dynamiczny rozwój energetyki jądrowej w latach 60., 70. i 80. odpowiadały najbardziej rozwinięte kraje-założyciele OECD, lub kraje, które na wczesnym etapie dołączyły do wspólnoty: Wielka Brytania, Stany Zjednoczone, Francja, Niemcy Zachodnie, Japonia, Kanada oraz spoza OECD – ZSRR. Pewną stagnację³⁴ (Rysunek 12) rozwoju energetyki jądrowej przyniósł wypadek w Czarnobylu w 1986 r. Początkowe zatajanie katastrofy przez Związek Radziecki oraz ogólny brak informacji o jej przebiegu doprowadziły do olbrzymiej dezinformacji i medialnych (często absurdalnych i niezwykle barwnych) spekulacji dotyczących ofiar śmiertelnych i przyjętych dawek promieniowania. To z kolei doprowadziło do nieuzasadnionego wzrostu strachu społeczeństwa przed promieniowaniem i zatrzymaniem rozwoju energetyki jądrowej w wielu krajach.

³⁴ World Nuclear Association, *Nuclear Power in the World Today*, dostęp online: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>



Rysunek 12. Ilość reaktorów jądrowych w użyciu [34]

Kolejnym czynnikiem obserwowanej stagnacji rozwoju energetyki jądrowej są planowane i nieplanowane trwałe odstawianie reaktorów. Dawniej reaktory jądrowe projektowane były na 30-40 lat eksploatacji. Ze względu na konserwatywne założenia przy projektowaniu, żywotność wielu z nich przedłużana jest do 60, a nawet 80 lat³⁵. Niemniej jednak część parku musi zostać wyłączona. Szybkość odstawiania pracujących bloków potęguje fakt, że część krajów, które początkowo najbardziej uczestniczyły w rozwoju energetyki jądrowej (a zatem mają najwięcej jednostek) nieplanowo odstawia swoje bloki – głównie z powodów politycznych (nietechnicznych), uruchamiając w ich miejsce bloki węglowe i gazowe. W efekcie dynamiczny rozwój energetyki jądrowej w krajach rozwijających się jest kompensowany przez planowane i nieplanowane odstawienia w krajach o dużej liczbie reaktorów, co oznacza, że bilans pracujących reaktorów pozostaje na zbliżonym poziomie. Masowo wyłączane bloki w krajach o dużej ilości jednostek mają zatem większą wagę dla bilansu pracujących bloków niż nowe, mozolnie budowane reaktory w wielu krajach (ze względu na ciągle zaostrzane normy, nieuzasadnione protesty czy skargi, które nie wytrzymują konfrontacji z technologicznym standardem elektrowni jądrowych, ale wpływają na opóźnienie projektów, itp.). **Można jednak oczekiwać, że gdy fala nieplanowanych wyłączeń opadnie nastąpi wzrost liczby pracujących jednostek.** Takie są zresztą prognozy Międzynarodowej Agencji Energetycznej³⁶ uwzględniające obecnie budowane jednostki. W kontekście scenariusza zrównoważonego rozwoju (ang. *sustainable development scenario* – *SDS*), oczekiwany jest jeszcze większy wzrost mocy zainstalowanej w energetyce jądrowej. Póki co jednak w Polsce, m.in. ze względu na bliskość Niemiec i Belgii opisana sytuacja tworzy wrażenie, że świat rezygnuje z atomu.

Jak wskazano wyżej, elektrownie jądrowe budują zarówno kraje rozwinięte jak i rozwijające się; zarówno bogate jak i biedne. Nie jest zatem prawdą, że Polski nie stać na atom. Wszystkie poza Polską państwa Europy Środkowej: kraje Grupy Wyszehradzkiej, a także Słowenia, Bułgaria, Chorwacja (wprawdzie nie na swoim terenie) czy Rumunia posiadają energetykę jądrową i są zainteresowane dalszym rozwojem tego sektora. O tym, że Polskę stać na atom świadczą też koszty już ponoszone przez sektor energetyczny za emisję dwutlenku węgla. W samym 2020 r. tylko PGE zapłaciło 6 mld zł za emisję

³⁵<https://www.energy.gov/ne/articles/whats-lifespan-nuclear-reactor-much-longer-you-might-think>

³⁶<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/nuclear>

CO₂³⁷. Do tej kwoty należy doliczyć koszty ponoszone przez pozostałych dużych operatorów: Enerę, Eneę i Tauron. **Tak wysokie opłaty za emisję oznaczają, że spalając węgiel i gaz Polska co trzy lata „puszcza z dymem” elektrownię jądrową.**

O skuteczności energetyki jądrowej w dekarbonizacji sektora energetycznego świadczą dane płynące z krajów, które wdrożyły atom do swoich systemów (rozdział I). Wiele państw wprowadza jednak energetykę jądrową nie tylko w trosce o środowisko naturalne, ale również z powodów ekonomicznych, czy ze względu na gwarancję zapewnienia sobie bezpieczeństwa energetycznego. Stabilność pracy energetyki jądrowej oraz jej dyspozycyjność jest szczególnie ważnym aspektem w kontekście rozwijania OZE. Ponadto łatwość magazynowania paliwa, charakteryzującego się dużą koncentracją energii, pozwala na stworzenie swoistych „magazynów energii” w postaci paliwa jądrowego na kilka lat. Pozwala to na zapewnienie dużych zasobów oraz uniezależnienie się od aktualnej w danym czasie sytuacji cenowej na rynku paliwa. Ważnym elementem zaopatrzenia w paliwo jądrowe jest fakt, że największe zasoby uranu oraz zakłady produkujące paliwo rozmieszczone są w krajach stabilnych politycznie. Eliminuje to duże ryzyko geopolityczne związane z wdrażaniem energetyki gazowej niezbędnej do bilansowania niestabilnych OZE. **Dywersyfikacja źródeł energii jest zatem kolejnym silnym argumentem na rzecz energetyki jądrowej. Pozwala ona na osiągnięcie szeroko rozumianego bezpieczeństwa energetycznego zarówno w kontekście technicznym jak i geopolitycznym.**

Aspekt techniczny to oczywiście stabilizacja sieci przesyłowych i minimalizacja ryzyka blackoutów. Energia elektryczna nie jest dobrem, które można magazynować na wymaganą skalę. Zarówno nadmiarowa produkcja jak i brak produkcji prowadzi do poważnych problemów przy bilansowaniu sieci przesyłowej i dystrybucyjnej. Polska i Czechy od lat zmagają się z tzw. „przepływami kołowymi” lub „przepływami nieplanowymi”, które wynikają z produkcji energii przez turbiny wiatrowe na północy Niemiec, a zapotrzebowania na uprzemysłowionym południu i w Austrii. Brak zdolności przesyłowych między północą a południem skutkuje przesyłem przez przyłączoną sieć Polski i Czech skutkującym destabilizacją systemów tych krajów³⁸. Warto zwrócić uwagę na to, że obecnie jedynie Niemcy są głównym destabilizatorem sieci w Europie Środkowej i zadać sobie pytanie, co by było, gdyby wszystkie kraje Unii Europejskiej tak bardzo polegały na zależnych od pogody OZE. Pomijając nawet ogromne koszty blackoutów dla firm i wielu podmiotów gospodarczych, dla wielu instytucji (na przykład szpitali czy obiektów bezpieczeństwa państwowego) przedłużający się brak dostępu do zasilania z sieci może być po prostu niebezpieczny. Analiza blackoutu w Nowym Jorku w 2003 r. wskazała, że oprócz oczywistego zagrożenia bezpieczeństwa kluczowych instytucji państwa, niedobory prądu prowadzą także do wzrostu „przypadkowych” śmierci wywołanych przez takie czynniki jak zatrucia tlenkiem węgla, zatrucia pokarmowe (brak działających lodówek), wyziębienie organizmu itp.³⁹

Ze względu na brak możliwości technologicznych w zakresie wielkoskalowego magazynowania energii (co najmniej przez najbliższą dekadę, a najprawdopodobniej dużo dłużej) niestabilność OZE prowadzi do konieczności budowy źródeł opartych o paliwo kopalne jakim jest gaz ziemny. Oprócz szkodliwych aspektów środowiskowych (wysoka emisyjność gazu) tworzenie systemu opartego o OZE i gaz zwiększa ekspozycję na ryzyko geopolityczne. Ceny gazu charakteryzują się dużymi wahaniami,

³⁷<https://wysokienapiecie.pl/feeds/pge-giek-koszty-oplat-z-tytulu-emisji-co2-to-ponad-6-mld-zl-w-2020-r/>

³⁸<https://biznesalert.pl/przeplywy-kolowe-austria-niemcy-polska-czechy-acer-pse/>

³⁹<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3276729/>

a polityka Rosji powinna skutecznie zachęcać do dywersyfikacji nie tylko kierunków dostaw surowców, ale również nośników energii. Zakręcanie kurka z gazem Ukrainie przez Rosję (choć takie praktyki były stosowane również wobec Polski) są jasnym komunikatem jakie narzędzia stosuje Kreml dla realizacji swoich celów politycznych. Powinno to stanowić poważną przestrożę dla Polski przy kształtowaniu strategii energetycznej. Największe zasoby uranu potrzebnego do produkcji paliwa jądrowego znajdują się tymczasem w krajach stabilnych politycznie: Australii, Kazachstanie i Kanadzie. Niezwykle ważnym atutem paliwa jądrowego pozostaje również fakt, że zmiana dostawcy paliwa dla elektrowni jądrowych nie wymaga budowy żadnej dodatkowej infrastruktury. W przypadku gazu budowa nowych połączeń czy terminali LNG to projekty na lata.

Spółeczno-gospodarcze aspekty wprowadzenia energetyki jądrowej

Jednym z fundamentów postulowanej w Strategii [1] transformacji energetycznej jest oparcie systemu elektroenergetycznego w jak największym stopniu na prosumentach. Programy wsparcia proponują dopłaty dla obywateli i społeczności chcących zainstalować np. fotowoltaikę, aby obywatele ci mogli oszczędzać na energii. Jednocześnie proponuje się zmianę ustawy o OZE, aby prosumenci mogli zarabiać na nadwyżkach produkowanej przez siebie energii.

Zarazem słusznie wskazuje się w Strategii [1] problem niestabilności sieci elektroenergetycznej. „Przechodzenie do modelu energetyki prosumenckiej opartej o rozproszone źródła niesie ze sobą wyzwanie zapewnienia ciągłości dostaw. W nocy nie świeci słońce. Nie zawsze wieje wiatr. Problem zapewnienia krajowi odpowiednich mocy wytwórczych będzie narastał około 2030 r. To wtedy wyłączonych zostanie wiele starych elektrowni węglowych. Dlatego też konieczne jest przygotowanie planu inwestycji w stabilne moce oparte o gaz ziemny, które będą wspierać rozwój energetyki wiatrowej i słonecznej.”

Podsumowując powyższe, w Strategii [1] postuluje się odejście od węgla na rzecz możliwie mocno zdecentralizowanego systemu opartego o OZE i gaz. Nieco zaskakujące jest jednak przedstawianie tworzenia takiego systemu jako kroku w kierunku solidarności i demokratyzacji energetyki. Wielu Polaków żyje przecież w blokach i nie każdy obywatel ma swój własny dach, na którym może zainstalować panel fotowoltaiczny. Jest tymczasem tak, że to raczej bardziej zamożny obywatel mieszka w domu jednorodzinnym i ma możliwość stania się prosumentem. Podobnie nie każda spółdzielnia, wspólnota mieszkaniowa, czy nawet gmina i powiat ma fizyczne i intelektualne zasoby (odpowiednią lokalizację, ukształtowanie terenu, zasoby ludzkie, itd.), aby rozwijać energetyką prosumencką. Zwykle to właśnie ci najbiedniejsi nie mają możliwości stania się prosumentami, a proponowane zmiany mogą doprowadzić do jeszcze większego wzrostu ubóstwa energetycznego w tej grupie.

Energetyka prosumencka jest niestety w dużym stopniu rozwiązaniem jedynie dla najbogatszych. Pogłębia ona tym samym różnice społeczne i stoi w opozycji do solidarności. Proponowane dopłaty ponoszone przez wszystkich (także najbiedniejszych) do prosumenckiego OZE prowadzą do oszczędności lub dodatkowych przychodów dla najzamożniejszych. Koszty – zarówno dopłat dla prosumentów, jak i budowania nowych jednostek gazowych potrzebnych do stabilizacji OZE i zapewnienia rezerw regulacyjnych – ponoszą tymczasem wszyscy.

Uwolnienie potencjału prosumentów dla rozwoju OZE wydaje się być jednak słusznym kierunkiem prowadzącym do wzrostu niskoemisyjnej produkcji energii elektrycznej. **Przedstawianie decentralizacji systemu jako czynnik służący wzrostowi demokracji jest jednak wątpliwe. Oprócz większego bezpieczeństwa energetycznego duża energetyka sprawia, że zarówno wszyscy płacą na utrzymanie systemu jak i wszyscy z niego korzystają. Nadmierny rozwój prosumeryzmu prowadzi natomiast do sytuacji, w której beneficjentem zmian jest pewna tylko (najbogatsza) grupa społeczeństwa.**

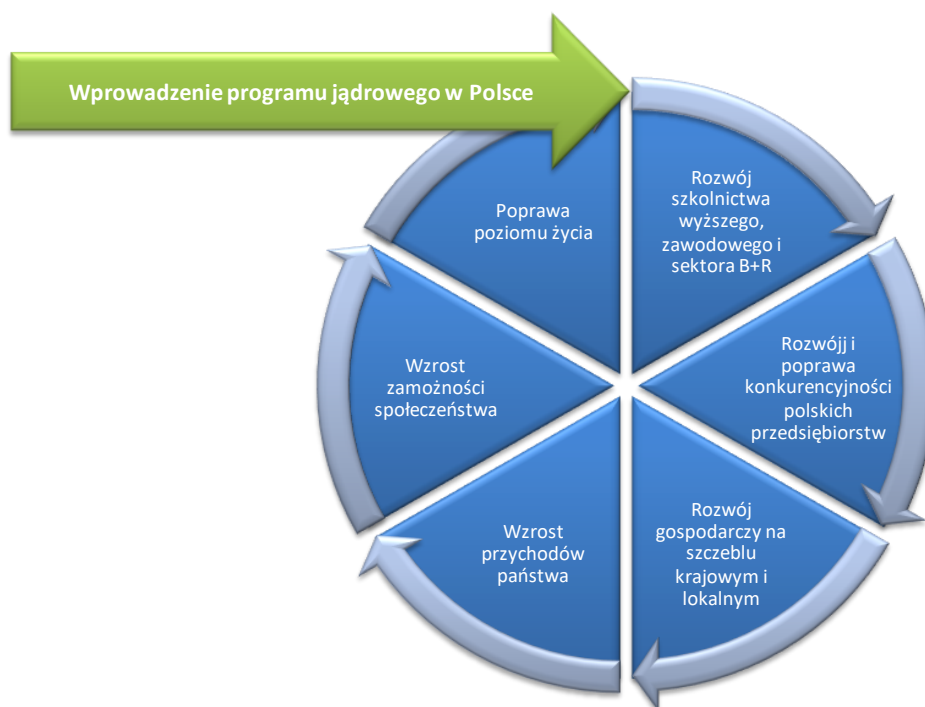
Z drugiej strony istnieją na świecie rozwiązania wspierające zarówno rozwój dużej, zeroemisyjnej energetyki zapewniającej bezpieczeństwo, stabilność i pewność dostaw prądu jak i znacznego udziału małych firm i społeczności lokalnych. Świetnym przykładem jest tutaj fińska „zasada Mankala”⁴⁰, czyli model współpracy różnych podmiotów w celu budowy wielkoskalowych, czystych jednostek wytwórczych. W ramach tego modelu tworzony jest duży podmiot, który wytwarza energię elektryczną na zasadzie non-profit, tj. udostępnia ją swoim akcjonariuszom w cenie równej poniesionym kosztom (nie osiąga zatem zysku i nie wypłaca dywidend akcjonariuszom). Energia uzyskana przez akcjonariuszy może być następnie zużyta w ramach własnych potrzeb lub odsprzedana na rynku. Właściwe wdrożenie modelu „Mankala” pozwala zatem zarówno na rozwój różnorodnych czystych źródeł (nie tylko małych instalacji OZE o dużej zmienności produkcji) jak również na rzeczywistą demokratyzację energetyki poprzez udziały jednostek samorządu terytorialnego w podmiocie wytwarzającym energię. Mechanizm ten zapewnia energię elektryczną po niskim koszcie dla obywateli danej społeczności lub gminy bez konieczności bezpośredniego ponoszenia kosztów przez osoby prywatne, gdyż udział danej jednostki w dużym podmiocie mógłby być finansowany ze wspólnego budżetu. **Demokratyzacja energetyki jest zatem możliwa, ale nie przez model prosumencki, a poprzez współużytkowanie wspólnych dóbr.** Dodatkowym atutem tego rozwiązania pozostaje możliwość rozwijania dowolnej technologii, w tym energetyki jądrowej. Przykładem jest tu fińska firma Fennovoima, która zamierza budowę bloku jądrowego Hanhikivi 1, i której udziałowcem jest w 34% RAOS voima, a w 66% Voimaosakeyhtiö SF, w której skład wchodzi około 60 mniejszych podmiotów.

Niezależnie od wyboru ścieżki transformacji energetycznej, będzie ona w pewnym stopniu miała wpływ na wszystkich obywateli. Wpływ ten będą z jednej strony kształtować ceny energii elektrycznej będące kosztem dla podmiotów gospodarczych i odbiorców indywidualnych, a z drugiej pobudzenie gospodarcze wynikające z intensyfikacji inwestycji w energetyce. Odpowiedzialnością decydentów w sprawie wyboru ścieżki transformacji jest wskazanie takiej strategii, aby zarówno podział kosztów jak i korzyści odbywał się możliwie sprawiedliwie.

Energetyka jądrowa jako branża nieistniejąca w polskiej gospodarce, a jednocześnie oddziałująca na wiele sektorów (zarówno w ujęciu krajowym, jak i regionalnym) stwarza potencjał dla zapoczątkowania pewnej reakcji łańcuchowej napędzającej całą gospodarkę. Dodatkową korzyścią z wywołania tej reakcji łańcuchowej jest pozytywne sprzężenie zwrotne całego procesu. Mianowicie większość wygenerowanych korzyści tworzy kolejne, które z kolei skutkują następnymi, co w

⁴⁰J. Kortenien, Ministry of economic affairs and employment, Finland, *Mankala principle: a concept to finance large clean energy investments in Finland*, Tokio, Japonia, 2018, dostęp online: https://www.ifnec.org/ifnec/upload/docs/application/pdf/2018-11/s3_3_fin_kortenien.pdf

konsekwencji kreuje warunki stabilnego wzrostu gospodarczego. Schemat oddziaływania na siebie wybranych aspektów wprowadzenia energetyki jądrowej przedstawia Rysunek 13.



Rysunek 13. Reakcja łańcuchowa w polskiej gospodarce wywołana wdrożeniem energetyki jądrowej

Polskie środowisko naukowe posiada niewątpliwie potencjał i ambicje do prowadzenia programów badawczych w dużo szerszym zakresie niż do tej pory. Obecnie sektor badań i rozwoju odpowiada polskim potrzebom w tym zakresie. Wdrożenie energetyki jądrowej będzie stymulowało rozwój części obszarów B+R, tak aby zapewnić właściwe zaplecze naukowo-badawcze będące w stanie rozwiązywać problemy techniczne wynikłe w trakcie eksploatacji elektrowni jądrowych. **Dołączenie do prestiżowego grona państw posiadających energetykę jądrową będzie pobudzało wymianę naukową pomiędzy krajami, co przyczyni się do dalszego wzrostu polskiej nauki.**

Dla zbudowania nowego sektora energetyki w Polsce konieczne jest kompleksowe kształcenie kadr zarówno na poziomie techników, studiów inżynierskich i magisterskich, podyplomowych i doktoranckich. Pomimo obecności specjalizacji energetyki jądrowej na polskich uczelniach w chwili obecnej występuje niedobór specjalistów. Prace nad publikacją „Programu polskiej energetyki jądrowej” na początku drugiej dekady XX wieku wniosły duże ożywienie i zainteresowanie kierunkiem energetyki jądrowej na polskich uczelniach. Pokazuje to, że zarówno kadra naukowa jak i młodzi ludzie są przychylni rozwojowi tej branży i chcą pracować w tym sektorze.

W branży energetyki jądrowej utworzenie systemu doskonalenia zawodowego kadr sektora jądrowego jest częściowo zadaniem inwestora. Obok szkolnictwa wyższego rozwijać się zatem będzie również szkolnictwo zawodowe mające na celu stworzenie kadr specjalistów niższego szczebla dla sektora jądrowego.

Świadome wdrożenie energetyki jądrowej prowadzące do wykorzystania wszystkich możliwości jakie stwarza realizacja takiego programu wiąże się zatem z intensywną działalnością edukacyjną zarówno

na poziomie edukacji szkolnej jak i szkolnictwa wyższego. Poszerzenie programów fizyki w szkołach podstawowych i średnich o zagadnienia związane z promieniowaniem jonizującym oraz produkcją energii elektrycznej przy wykorzystaniu rozszczepienia jąder ciężkich pierwiastków spowoduje wzrost ogólnej wiedzy technicznej w społeczeństwie. Podobne poszerzenie programów studiów wyższych oraz utworzenie nowych kierunków studiów pozwolą na zdobycie atrakcyjnego zatrudnienia zarówno w kraju jak i za granicą. **Wszystkie te działania będą tworzyły korzystne okoliczności do wzrostu świadomości technicznej społeczeństwa oraz zainteresowania kształceniem na kierunkach ścisłych i pracy w zawodach inżynierskich.**

Elementem o istotnym znaczeniu, który może zostać rozwinięty w trakcie wdrażania energetyki jądrowej w Polsce jest aktywizacja współpracy jednostek naukowo-badawczych i przemysłu. Pobudzenie tej współpracy może przynieść obustronne korzyści: przedsiębiorcy uzyskają dostęp do nowatorskich rozwiązań pozwalających na budowę przewagi technologicznej na rynku, a środowisko naukowe pozyska istotne źródło finansowania. Aktywizacja współpracy sektora badań i rozwoju z polskim przemysłem będzie zatem prowadzić do wzrostu konkurencyjności firm na arenie międzynarodowej. Dodatkowym bodźcem dla poprawy standardów jakościowych polskich przedsiębiorstw będzie konieczność przestrzegania rygorystycznych norm branży energetyki jądrowej. Ich wdrożenie poprzedzone okresem szkoleń i kontroli będzie prowadziło do ogólnej poprawy kultury technicznej polskich firm prowadzącej do wzrostu konkurencyjności. W efekcie wdrożenia jądrowego standardu jakości przedsiębiorstwo staje się członkiem elitarnego klubu dostawców dla sektora jądrowego, co daje możliwość świadczenia usług na całym świecie, w tym sektorze. **W perspektywie rosnącego zainteresowania rozwojem energetyki jądrowej na świecie posiadanie właściwych standardów i umiejętności będzie niewątpliwie stanowiło istotny atut polskich przedsiębiorstw.**

Wdrożenie wymagających norm jakości nie będzie jednak miało zastosowania jedynie dla sektora jądrowego. Po opanowaniu odpowiedniego standardu, przedsiębiorstwa będą go wykorzystywały przy realizacji usług i dostaw dla innych gałęzi przemysłu. To z kolei wymusi podniesienie jakości świadczonych usług przez te przedsiębiorstwa, które nie wyraziły zainteresowania udziałem w realizacji projektów jądrowych. W ten sposób zaangażowanie niektórych podmiotów w produkcję i usługi dla sektora jądrowego będzie skutkowało stopniowym podniesieniem jakości usług świadczonych przez wszystkie podmioty funkcjonujące na polskim rynku i ogólnej poprawy konkurencyjności polskiej gospodarki.

W debacie publicznej można spotkać stwierdzenie, że polskie firmy w projekcie jądrowym będą odpowiedzialne za lanie betonu i dowóz pizzy. To niezbyt eleganckie stwierdzenie nie wytrzymuje jednak konfrontacji z rzeczywistością. **W szczytowym momencie prac w fińskiej elektrowni jądrowej Olkiluoto 3 zatrudnionych było ok. 4500 osób, z czego aż 40% stanowili Polacy będąc tym samym najliczniejszą grupą narodowościową uwzględniając Finów.** Polscy specjaliści zatrudnieni są na większości istniejących stanowisk pracy dla: robotników, pracowników inżynierii lądowej, elektryków, techników, inżynierów i projektantów. Obecnie, gdy jednostka znajduje się w fazie rozruchu, Polacy, którzy dołączyli do projektu zajmują stanowiska inżynierów odpowiedzialnych za poszczególne systemy, koordynatorów testów rozruchowych i przekazania systemów do operatora. Kadra która zdobyła doświadczenie na tej budowie byłaby niewątpliwie cennym elementem polskiego projektu jądrowego. Budowa bloku w Polsce niesłaby ze sobą konieczność zatrudnienia w kolejnych podsektorach – częściach składowych całego projektu obejmujących m. in. następujące kadry: geodeci, inżynierowie nadzoru, kierownicy i inżynierowie budów, planiści, handlowcy, kosztorysanci, chemicy,

mechanicy, pracownicy ochrony radiologicznej, prawnicy, kierownicy projektu z ramienia inwestora, inspektorzy jądrowi i wiele innych. W dużej części są to stanowiska wymagające podobnych kompetencji, co istniejące w polskiej energetyce konwencjonalnej. Rozwój sektora energetyki jądrowej jest więc również szansą na sprawiedliwą i ewolucyjną transformację likwidowanych zagłębi węgla brunatnego.

Realizacja projektu jądrowego będzie zatem stanowić silny bodziec dla rynku pracy, co jest szczególnie istotne w kontekście odchodzenia w Polsce od górnictwa i energetyki węglowej, z którym związana jest konieczność zapewnienia miejsc pracy dla osób obecnie zatrudnionych w tych sektorach. Analizy liczby powstałych miejsc pracy dzięki obecności energetyki jądrowej w gospodarce są przedmiotem działalności OECD/NEA oraz IAEA⁴¹. Przy modelowaniu makroekonomicznym powstałego rynku pracy, całkowitą liczbę stanowisk dzieli się na trzy grupy:

- miejsca pracy bezpośrednio związane z budową i eksploatacją elektrowni,
- miejsca pośrednio związane z energetyką jądrową – obejmujące łańcuchy dostaw itp.,
- miejsca pracy indukowane, czyli nie związane z samą elektrownią jądrową i obejmujące sektory usługowe, z których korzystają pracownicy sektora jądrowego i pośrednio związanych branż.

Wspólny raport OECD i IAEA [41] wskazuje, że uśredniając w przeliczeniu na 1 GWe przygotowanie budowy i budowa bloku będzie wymagała 12 000 roboczo-lat. Zakładając, że budowa będzie trwała 8 lat oznacza to, że średnio w każdym roku budowy dostępne będzie 1500 stanowisk pracy. Raport [41] wskazuje również, że podczas eksploatacji bloku zatrudnionych jest bezpośrednio ok. 600 osób. 60 lat eksploatacji jednostki skutkuje 36 000 roboczo-latami. 10 lat rozbiórki bloku skutkuje kolejnymi 5 000 roboczo-latami, a kolejne 3 000 roboczo-lat powstaje w wyniku procesowania odpadów. Powyższe wartości (w sumie ok. 55 000 roboczo-lat) są miejscami tworzonymi bezpośrednio w przemyśle jądrowym. Bezpośrednie wydatki elektrowni na sprzęty i usługi będą skutkować kolejnymi, pośrednimi miejscami pracy sumującymi się do ok. 55 000 roboczo-lat. Suma bezpośrednich i pośrednich miejsc pracy skutkuje dodatkowo zatrudnieniem indukowanym w wysokości ok. 100 000 roboczo-lat.

Powyższe liczby stanowią pewne uśrednienie i konserwatywne konkluzje w stosunku do konkretnych danych z różnych krajów (w szczególności z Korei i Francji). Dla Korei współczynnik (pośrednie miejsca pracy/bezpośrednie miejsca pracy) wynosi 1,25, a dla Francji 0,912; z kolei współczynniki (pośrednie miejsca pracy + bezpośrednie miejsca pracy/ indukowane miejsca pracy) wynoszą odpowiednio 0,41 i 0,38.

Konkluzje raportu [41] zostały przedstawione w odniesieniu do 1 GWe mocy zainstalowanej. Program Polskiej Energetyki Jądrowej zakłada instalację 6-9 GWe do 2040 r. Jeśli jednak poważnie podchodzimy do ambitnych postulatów redukcji emisji zawartych w Strategii [1], (jednocześnie dalej uwzględniając jedynie elektromobilność i zaniedbując elektryfikację pozostałych sektorów) w Polsce – zakładając bardzo dynamiczny wzrost i wsparcie ograniczania emisji ze strony OZE – należałoby do 2050 r. zainstalować co najmniej 30 GWe. **Rozwinięcie sektora jądrowego do 2050 r. w wymaganej dla**

⁴¹ OECD/NEA, IAEA, Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector, A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, dostęp online: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14912

urealnienia Strategii [1] skali skutkowałoby zatem powstaniem kilkudziesięciu tysięcy miejsc pracy na kolejne 100 lat korzystania z energii jądrowej.

Nowe, bezpośrednie, pośrednie i indukowane miejsca pracy oraz wzrost standardów polskich firm wynikające z realizacji programu jądrowego przełoży się na wymierne korzyści zarówno na poziomie całego kraju jak i regionu. Oprócz ogólnej poprawy konkurencyjności gospodarki ze względu na stabilne koszty energii wynikające z ograniczenia nieprzewidywalnych kosztów środowiskowych (kosztów emisji CO₂) oraz uodpornienia się na duże wahania cen paliw węglowodorowych, z perspektywy kraju sektor energetyki jądrowej będzie stanowił istotny wkład w PKB. W ujęciu lokalnym, tak duża inwestycja będzie skutkowała wzrostem zatrudnienia w regionie, napływem nowych mieszkańców oraz wzrostem zapotrzebowania na produkty i usługi. Istotnym elementem rozwoju regionu będą wszystkie inwestycje towarzyszące budowie elektrowni jądrowej, m.in. rozbudowa infrastruktury energetycznej i drogowej. Kolejnym aspektem prowadzącym do skoku cywilizacyjnego gminy, w której powstanie elektrownia jądrowa oraz gmin ościennych jest podatek od nieruchomości odprowadzany do kas gmin. W ujęciu krajowym zauważalne będą natomiast wpływy do budżetu państwa z tytułu pozostałych podatków.

Wszystkie wymienione wyżej aspekty, tj. wzrost dochodów państwa z tytułu podatków, inwestycje regionalne i krajowe, wzrost standardów jakości polskich przedsiębiorstw, poprawa konkurencyjności polskiej gospodarki oraz wzrost kultury i świadomości technicznej społeczeństwa będą prowadziły do wzrostu zamożności obywateli i poprawy ich poziomu życia. Lepsze warunki bytowe będą generowały przesunięcie potrzeb części społeczeństwa z podstawowych do tych mniej fundamentalnych, tj. działalność na rzecz ochrony klimatu, wzrost zainteresowania sektorem B+R itp. To z kolei po raz kolejny przełoży się na poprawę kondycji polskich przedsiębiorstw tworząc tym samym samopodtrzymującą się reakcję łańcuchową korzyści wdrożenia energetyki jądrowej w Polsce.

VI. Bibliografia

- [1] Instytut Strategii 2050, *Polska na zielonym szlaku. Strategia dojścia do neutralności klimatycznej*.
- [2] <https://ember-climate.org/project/eu-power-sector-2020/>
- [3] <https://www.iea.org/countries/sweden>
- [4] <https://www.iea.org/countries/france>
- [5] <https://www.iea.org/countries/finland>
- [6] <https://www.iea.org/countries/slovak-republic>
- [7] <https://www.iea.org/countries/austria>
- [8] <https://www.iea.org/countries/denmark>
- [9] <https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2017/04/17/finlands-green-party-and-nuclear-power-really/?sh=2c1572755ec4>
- [10] <https://jmkorhonen.net/2017/03/06/minority-report-for-now-finnish-green-candidates-call-for-nuclear-power/>
- [11] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics
- [12] <https://www.iea.org/countries/poland>
- [13] <https://www.iea.org/countries/germany>
- [14] Frankfurt School of Finance & Management, *Global trends in renewable energy investment 2019*.
- [15] J. Wiech, *Energiewende – nowe niemieckie imperium*, Wydawnictwo Defence24 Sp. z o.o.
- [16] Quarterly Report on European Electricity Markets with special focus on extra-EU electricity trade”, Market Observatory for Energy, DG Energy, Volume 13, issue 2, second quarter of 2020.
- [17] <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Energie/strompreise.html>
- [18] <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/what-german-households-pay-power>
- [19] Bundesnetzagentur, Pressemitteilung 15.10.2020, *EEG-Umlage 2021 beträgt 6,500 ct/kWh*, dostęp online:
https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Pressemitteilungen/2020/20201015_EEGUmlage.pdf;jsessionid=70EF8B6CEEA667E72788B7D19047BE74?__blob=publicationFile&v=2
- [20] <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/ThreeYrsUnitCapabilityFactor.aspx>
- [21] OECD/NEA, *The Cost of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables*, dostęp online: https://www.oecd-neo.org/jcms/pl_15000/the-costs-of-decarbonisation-system-costs-with-high-shares-of-nuclear-and-renewables
- [22] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf
- [23] <https://ourworldindata.org/co2/country/poland>
- [24] The Boston Consulting Group, WWF, *2050 Polska dla pokoleń. Wybieramy przyszłość*, 2018. Dostępny pod: <https://media.wwf.pl/attachment/1554682>
- [25] W. P. Rabiega, P. Sikora, *Ścieżki redukcji emisji CO2 w sektorze transportu w Polsce w kontekście Europejskiego Zielonego Ładu*, Dostępny pod: <http://climatecake.pl/wp-content/uploads/2020/10/Ścieżki-redukcji-emisji-CO2-wsektorze-transportu-w-PL-w-kontekście-Europejskiego-Zielonego-Ładu.pdf>
- [26] <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>

- [27] <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/solar-power-germany-output-business-perspectives>
- [28] Andrew ZP Smith, ORCID: 0000-0003-3289-2237; *Germany's offshore wind capacity factors*. Retrieved from <https://energynumbers.info/germanys-offshore-wind-capacity-factors>
- [29] International Panel for Climate Change, *Global Warming of 1.5°C*, dostęp online: https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf
- [30] Joint Research Center for Policy Report, *Technical Assessment of nuclear energy with respect to the 'do no significant harm' criteria of Regulation (EU) 2020/852 ('Taxonomy Regulation')*, dostęp online: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf
- [31] <http://fota4climate.org/2021/04/30/ocena-techniczna-energii-jadrowej-pod-wzgledem-niepowodowania-znaczacych-szkod-wspolne-centrum-badawcze-komisji-europejskiej/?fbclid=IwAR2ZrG-fygNQK864jLMt6zK3hVUKwRp01bQz3XshVz0Bjs09IpIMQ3tUd0#foot-2>
- [32] OECD/NEA, *Nuclear Energy: Combating Climate Change*, 2015, dostęp online: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14914/nuclear-energy-combating-climate-change
- [33] Komunikat 03/2021 interdyscyplinarnego zespołu doradczego do spraw kryzysu klimatycznego przy prezesie Polskiej Akademii Nauk na temat perspektyw dekarbonizacji wytwarzania energii elektrycznej w Polsce, dostęp online: https://klimat.pan.pl/wp-content/uploads/2021/04/Kom_03_2021_dekarbonizacja_logo.pdf
- [34] World Nuclear Association, *Nuclear Power in the World Today*, dostęp online: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>
- [35] <https://www.energy.gov/ne/articles/whats-lifespan-nuclear-reactor-much-longer-you-might-think>
- [36] <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/nuclear>
- [37] <https://wysokienapiecie.pl/feeds/pge-giek-koszty-oplat-z-tytulu-emisji-co2-to-ponad-6-mld-zl-w-2020-r/>
- [38] <https://biznesalert.pl/przeplywy-kolowe-austria-niemcy-polska-czechy-acer-pse/>
- [39] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3276729/>
- [40] J. Kortenien, Ministry of economic affairs and employment, Finland, *Mankala principle: a concept to finance large clean energy investments in Finland*, Tokio, Japonia, 2018, dostęp online: https://www.ifnec.org/ifnec/upload/docs/application/pdf/2018-11/s3_3_fin_kortenien.pdf
- [41] OECD/NEA, IAEA, *Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*, A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, dostęp online: https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14912