

2030

Analiza dot. granicznego
roku odejścia od węgla
w energetyce
w Europie i Polsce



instrat

Instrat Policy Paper 01/2020

Paweł Czyżak

Michał Hetmański

2030

Analiza dot. granicznego roku odejścia od węgla w energetyce w Europie i Polsce



Instrat Policy Paper 01/2020
Paweł Czyżak
Michał Hetmański
Warszawa, luty 2020

Czyżak, P., Hetmański, M., (2020).
2030. Analiza dot. granicznego roku odejścia
od węgla w energetyce w Europie i Polsce,
Instrat Policy Paper 01/2020.

Kontakt:
michal.hetmanski@instrat.pl,
pawel.czyzak@instrat.pl

Projekt okładki: Ilja Naumenko,
Paulina Mazurek
Zdjęcia: Veeterzy, Zofia i Ruben Białoń
(Bialons)
Skład: Paulina Mazurek

Warszawa, luty 2020
ISBN: 978-83-946738-3-3

Abstrakt

Celem niniejszego metastudium jest porównanie scenariuszy dekarbonizacji sektora energetycznego głównych instytucji zajmujących się modelowaniem zmian klimatu (IPCC, IEA, Climate Analytics) ze szczególnym uwzględnieniem Europy oraz Polski. Aby wypełnione zostały zobowiązania redukcji emisji CO₂ ujęte w Porozumieniu Paryskim w krajach OECD i UE bezwzględnie musi dojść do wyeliminowania technologii spalania węgla (bez CCS) w energetyce zawodowej do 2030 r. - wynika z analizowanych scenariuszy. Nasza ekstrapolacja wyników z poziomu UE do poziomu krajowego potwierdza, że 2030 jest również rokiem granicznym odejścia od węgla dla Polski, a nie tylko regionu.

Treść publikacji dostępna na licencji Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

Arkusz kalkulacyjny dostępny w ramach licencji określonych każdorazowo przez właścicieli baz danych, lub CC BY-SA 4.0 jeśli jej nie podano.



Załącznik:

Arkusz kalkulacyjny pod nazwą „Instrat, 2030 - Data supplement - Public” z opisem pochodzenia źródeł, wybranymi wykresami i obliczeniami dostępny pod adresem

www.bit.ly/instrat2030data

Raport dostępny do pobrania pod adresem:

www.instrat.pl/2030-pl

The goal of this meta-analysis is to compare existing climate modelling results from major institutions (IPCC, IEA, Climate Analytics) in order to provide evidence for decarbonizing power generation sector in Europe and Poland in particular. Scenarios concerned indicate 2030 as the final year for use of coal in electricity generation (without CCS) in OECD and EU countries given that signatories of the Paris Agreement comply with intended CO₂ emission reductions. Our extrapolation of results from the EU to the country's level confirms that 2030 should be also Poland's last year to use coal in the electricity sector.



instrat

Instrat - Fundacja Inicjatyw Strategicznych
ul. Oleandrów 7/16
00-629 Warszawa
www.instrat.pl

Spis treści

1. Wprowadzenie	6
2. Przegląd scenariuszy	14
2.1. IPCC	14
2.2. IEA	20
2.3. Climate Analytics	30
2.4. CoalSwarm	37
3. Polska a Porozumienie Paryskie	41
4. Podsumowanie	47
5. Aneks	48
6. Podsumowanie zarządcze	49

Skróty i objaśnienia

ARA	Indeks cen węgla bazujący na cenach kontraktów futures w portach Amsterdam-Rotterdam-Antwerpia
CA	Climate Analytics
CCS	Carbon Capture and Storage, sekwestracja dwutlenku węgla
ETP	Energy Technology Perspectives, raport International Energy Agency
IEA	International Energy Agency, Międzynarodowa Agencja Energii
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu
ISI	Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research
KPEiK	Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030
LCOE	Levelized Cost of Electricity, uśredniony koszt wytworzenia energii
NPV	Net Present Value, wartość bieżąca netto
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development, Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju
PEP2040	Projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 r.
WEO	World Energy Outlook, raport International Energy Agency

1. Wprowadzenie

Ustalenia Porozumienia Paryskiego, działania organizacji międzynarodowych i polityka klimatyczna Unii Europejskiej zobowiązują rządy państw członkowskich do intensyfikacji działań na rzecz ograniczenia wpływu człowieka na zmiany klimatu oraz przeciwdziałania jego skutkom. W szczególności, działania te obejmują redukcję emisji gazów cieplarnianych – za największą część, prawie jedną trzecią ich globalnej produkcji, odpowiada sektor energetyczny. Z tego względu, jego transformacja i odejście od wykorzystywania węgla w wytwarzaniu energii jest jednym z priorytetów dla rządów państw, które przystąpiły do Porozumienia Paryskiego w 2015 roku, w tym Unii Europejskiej oraz Polski. Dekarbonizacja sektora energetycznego jest krokiem koniecznym do osiągnięcia neutralności klimatycznej.

Niniejsza publikacja prezentuje scenariusze transformacji sektora energetycznego opracowane przez międzynarodowe instytucje badawcze – IPCC, IEA oraz Climate Analytics. Na podstawie tych modeli klimatyczno-energetycznych można wnioskować, iż konieczne jest wyłączenie węgla z wytwarzania energii w krajach OECD/UE oraz tym samym Polsce do roku 2030. Odejście od energetyki węglowej jest konieczne, aby spełnić cele Porozumienia Paryskiego, którego Polska jest sygnatariuszem, a także by przeciwdziałać najbardziej katastrofalnym skutkom zmian klimatu przewidywanym w piętnastym specjalnym raporcie Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) *Global warming of 1.5°C*.

1.1. Zmiany klimatu

Wśród źródeł opisujących zmiany klimatu, jako najbardziej rozbudowane, kompletne i aktualne uznaje się piętnasty raport specjalny Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) z 06.09.2018 - *Global warming of 1.5°C*¹. Raport ten jest podsumowaniem stanu wiedzy o antropogenicznej zmianie klimatu, a projekcje w nim zawarte oparte są na kilkuset scenariuszach klimatycznych, energetycznych i ekonomicznych stworzonych przez jednostki badawcze na całym świecie.

Raport IPCC przedstawia prognozy wzrostu temperatury globalnej przy różnych założeniach dotyczących emisji gazów cieplarnianych. Ocenia się, że działalność człowieka już spowodowała ocieplenie klimatu o 0,8-1,2°C powyżej poziomu sprzed rewolucji przemysłowej (Rys. 1.1). Przy obecnych trendach, wartość ta wzrośnie do 1,5°C pomiędzy rokiem 2030 a 2052. Ocieplenie klimatu wynika z nadmiernych emisji gazów cieplarnianych - dwutlenku węgla (CO₂) oraz innych czynników zmieniających bilans promieniowania w atmosferze takich jak emisje metanu czy tlenków siarki i azotu. Ograniczenie emisji tych substancji jest kluczowe dla utrzymania globalnego ocieplenia poniżej wartości zagrażających funkcjonowaniu ludzkości na ziemi.

W zależności od skuteczności i szybkości działań związanych z redukcją emisji gazów cieplarnianych, globalne ocieplenie może zostać ograniczone do 1,5°C lub też wzrosnąć do 2°C i więcej. Możliwe są też scenariusze pośrednie, w których temperatura tymczasowo wzrośnie powyżej 1,5°C, żeby później do niego wrócić - efekt ten nazywa się przekroczeniem (ang. *overshoot*).

W scenariuszach zakładających ograniczenie ocieplenia do 1,5°C z małym przekroczeniem (*low overshoot*), globalne emisje CO₂ netto zmniejszają się o 45% (40-60%) pomiędzy rokiem 2010 a 2030, osiągając zerowy bilans emisji około roku 2050 (2045-2055). Ograniczenie ocieplenia do 2°C wymaga redukcji emisji o 25% (10-30%) do 2030, i do zera około roku 2070 (2065-2080).

Należy zaznaczyć, że mimo ambitnych celów Porozumienia Paryskiego z 2015 roku, globalne ocieplenie przekroczy 1,5°C nawet jeśli spełnione zostaną przyjęte w nim zobowiązania redukcji emisji poszczególnych państw (Nationally Determined Contributions, NDC).

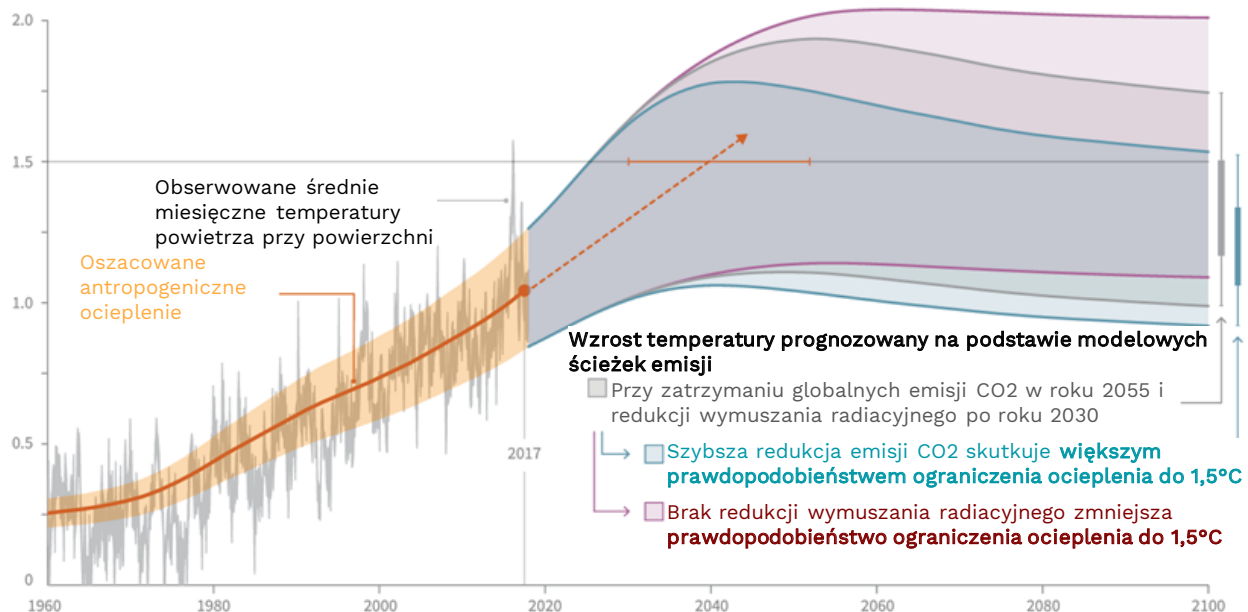
¹ First, P.J., 2018. Global warming of 1.5 C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Rys. 1.1. Wartości obserwowane i prognozy temperatury globalnej przy różnych założeniach dotyczących emisji CO₂ i innych czynników zmieniających bilans promieniowania.

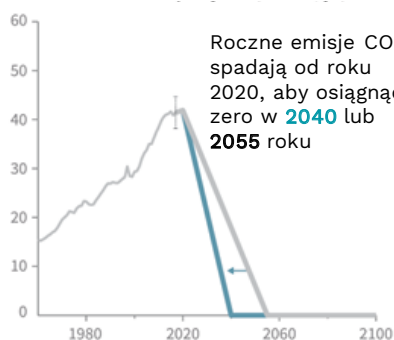
Skumulowane emisje CO₂ i inne czynniki zmieniające bilans promieniowania w atmosferze determinują możliwość ograniczenia globalnego ocieplenia do 1,5°C

a) Obserwowane zmiany temperatury globalnej oraz prognozowane reakcje na dalszy wzrost emisji CO₂ i zmiany bilansu promieniowania

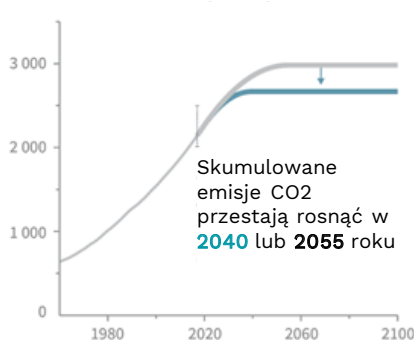
Globalne ocieplenie w stosunku do wartości z okresu 1850-1900 (°C)



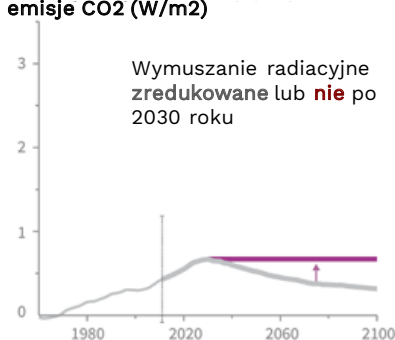
b) Modelowe ścieżki rocznej emisji CO₂ netto (GtCO₂/rocznie)



c) Modelowe ścieżki skumulowanej emisji CO₂ netto (GtCO₂)



d) Zmiany bilansu promieniowania wynikające z czynników innych niż emisje CO₂ (W/m²)



Maksymalny wzrost temperatury zależy od skumulowanych emisji CO₂ oraz innych antropogenicznych czynników zmieniających bilans promieniowania - np. emisji metanu, tlenków azotu (tzw. wymuszania radiacyjnego)

Źródło: opracowanie własne na podstawie IPCC 2018.

1.2. Skutki globalnego ocieplenia

Ograniczenie globalnego ocieplenia do 1,5°C jest niezwykle istotne z uwagi na negatywne skutki dalszego wzrostu do 2°C i więcej. Ocieplenie klimatu spowodowane działalnością człowieka będzie trwało przez kilkaset do kilku tysięcy lat, wpływając na ekosystem. Zagrożenie dla funkcjonowania życia na Ziemi jest przy ociepleniu klimatu o 1,5°C wyższe niż obecnie, rośnie także wraz ze wzrostem ocieplenia do 2°C. Stopień zagrożenia zależy od wielkości i tempa globalnego ocieplenia, lokalizacji, poziomu rozwoju. Wiele ekosystemów już obecnie doświadcza skutków wzrostu temperatury.

Raport IPCC wymienia szereg potencjalnych skutków globalnego ocieplenia:

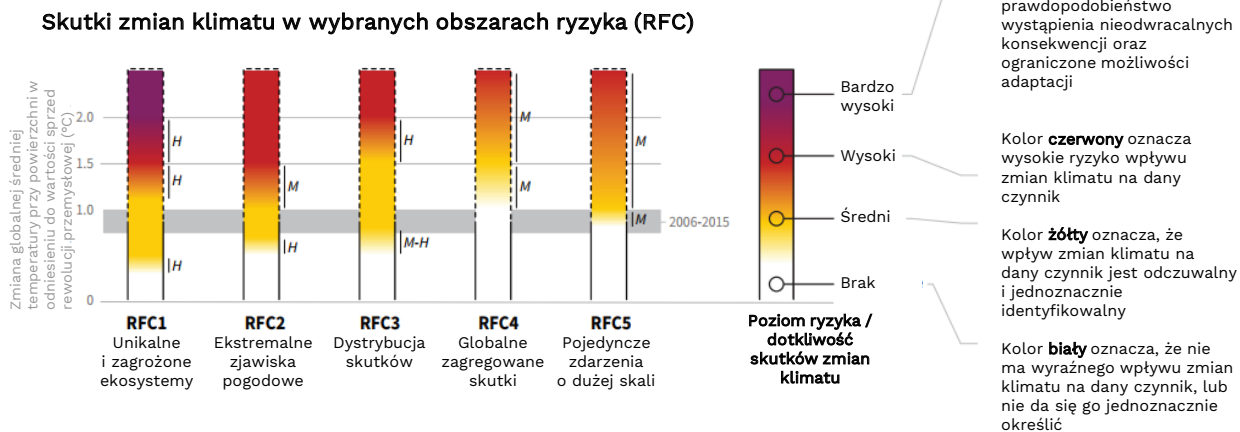
- **wzrost średniej temperatury powietrza, występowanie fal gorąca zagrażających życiu ludzi na wybranych obszarach**
- **wzrost temperatury wody w oceanach, zakwaszenie i niedotlenienie oceanów**
- **nadmierne opady deszczu w niektórych regionach prowadzące do powodzi**
- **susze i niedobory wody pitnej w wybranych regionach**
- **cyklony występujące na rozszerzającym się obszarze**
- **zaburzenia prądów morskich, w tym zaburzenia cyrkulacji wody w Oceanie Atlantyckim prowadzące do zaburzeń klimatu m.in. w północnej Europie i Ameryce**
- **topnienie lodowców, wiążące się m.in. z podniesieniem poziomu wód w morzach i oceanach**

Skutki te niosą za sobą dalsze konsekwencje, krytyczne dla funkcjonowania ludzkości – problemy z dostępnością wody pitnej, niedobory żywności, masowe migracje ludności, konflikty zbrojne. Niektóre ze skutków globalnego ocieplenia i ich intensywność w zależności od skali ocieplenia przedstawiono na Rys. 1.2.

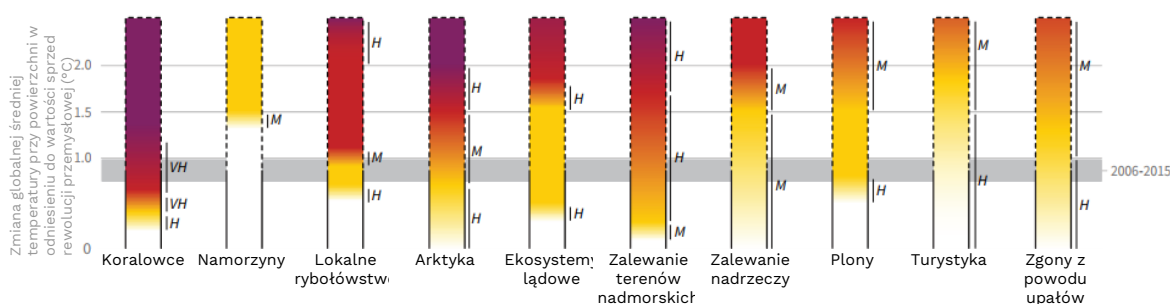
Rys. 1.2. Wybrane skutki globalnego ocieplenia.

Jak globalne ocieplenie kształtuje określone przez IPCC czynniki ryzyka oraz wpływa na wybrane systemy naturalne i ludzkie

Pięć obszarów ryzyka (RFC) określa zagrożenia dla funkcjonowania ludzi i ekosystemów w różnych regionach Świata



Skutki zmian klimatu dla wybranych systemów ludzkich i naturalnych



Poziom ufności: L - Niski (Low), M - Średni (Medium), H - Wysoki (High), VH - Bardzo wysoki (Very High)

Źródło: opracowanie własne na podstawie IPCC 2018.

Na Rys. 1.2. widoczna jest intensyfikacja zagrożeń wraz ze wzrostem globalnego ocieplenia, w szczególności powyżej 1,5°C. Ryzyko dla funkcjonowania ludzkości i ekosystemów rośnie także przy nawet chwilowym przekroczeniu wartości 1,5°C. Jeśli tymczasowe przekroczenie będzie znaczne (do 2°C), skutki mogą być nieodwracalne - jak np. całkowita utrata niektórych ekosystemów.

Kluczowe jest nasilenie skutków w przypadku wzrostu ocieplenia do 2°C w porównaniu do ocieplenia na poziomie 1,5°C. Globalny wzrost poziomu wód w oceanach w roku 2100 będzie mniejszy o ok. 0,1m przy ograniczeniu ocieplenia do 1,5°C w stosunku do ocieplenia o 2°C. Poziom wód będzie rósł po roku 2100, a skala i szybkość tego wzrostu zależą od emisji gazów cieplarnianych. Wolniejszy wzrost daje większe możliwości adaptacji na obszarach zagrożonych zalaniem.

Na lądzie, wpływ na bioróżnorodność i ekosystemy, w tym wyginięcie gatunków, są mniejsze przy ograniczeniu ocieplenia do 1,5°C w stosunku do 2°C. Ograniczenie ocieplenia do 1,5°C zmniejsza też negatywne skutki dla systemów lądowych, nadmorskich i śródlądowych, koniecznych do funkcjonowania ludzkości.

W przypadku oceanów, ograniczenie ocieplenia do 1,5°C ograniczy wzrost średniej temperatury wody, jej zakwaszenie i niedotlenienie, zmniejszając zagrożenie dla organizmów morskich, niektórych z nich kluczowych dla funkcjonowania ludzkości.

Ryzyko dla zdrowia, poziomu życia, bezpieczeństwa dostaw żywności i wody pitnej, rozwoju gospodarczego jest mniejsze przy ograniczeniu ocieplenia do 1,5°C w porównaniu do 2°C.

Minimalizacja negatywnych skutków globalnego ocieplenia jest kluczowa dla funkcjonowania ludzkości, a podjęcie działań mających na celu ograniczenie tego ocieplenia do 1,5°C jest krytyczne.

1.3. Porównanie globalnych scenariuszy dekarbonizacji

Międzynarodowe instytucje badawcze publikują scenariusze redukcji emisji gazów cieplarnianych, prowadzące do ograniczenia globalnego ocieplenia. Wśród globalnych modeli analitycznych, za najbardziej kompleksowe, a także wielokrotnie weryfikowane i cytowane, należy uznać modele przytoczone w raporcie IPCC oraz modele stworzone przez Międzynarodową Agencję Energii – IEA. Wyniki tych analiz omówiono w szczegółach w rozdziale 2, w Tab. 1.1. zaprezentowano ich krótkie porównanie.

Prognozy IPCC oparte są na dużej liczbie modeli analitycznych, z których każdy zawiera szereg możliwych scenariuszy, różniących się założeniami dotyczącymi czynników socjo-ekonomicznych oraz celami dotyczącymi postępów w redukcji globalnego ocieplenia. Scenariusze prezentowane w raporcie IPCC podzielono na klasy wg celów dotyczących wzrostu globalnej temperatury. Scenariusze IEA zawarte w raportach ETP i WEO (szczegóły w p. 2.2.1 i 2.2.2) również podzielono wg docelowej wartości ocieplenia.

Tab. 1.1. Porównanie scenariuszy IPCC, IEA WEO i IEA ETP.

Źródło	Scenariusz EN	Scenariusz PL	Zakres temperatury oraz prawdopodobieństwo jej osiągnięcia	Emisje CO ₂ z sektora energetycznego w 2030 (MtCO ₂)			Produkcja energii elektrycznej z węgla w 2030 (TWh)		
				Świat	OECD	UE	Świat	OECD	UE
IPCC	Below 1.5C	Poniżej 1,5°C	< 1,5°C w całym XXI w. z prawdopodobieństwem 50-66%	3 297	339	n/a	98	2	n/a
	1.5C low overshoot	1,5°C z małym przekroczeniem	< 1,5°C w XXI w. z 50-66% prawdopodobieństwem czasowego przekroczenia tej wartości o 0,1°C	7 873	1 892	n/a	2 629	319	n/a
	1.5C high overshoot	1,5°C z dużym przekroczeniem	< 1,5°C w XXI w. z 67% prawdopodobieństwem czasowego przekroczenia tej wartości o 0,1-0,4°C	9 539	2 331	n/a	4 470	939	n/a
	Lower 2C	2°C i nieznacznie powyżej	< 2°C w całym XXI w. z prawdopodobieństwem 66%	9 801	3 041	n/a	4 051	921	n/a
IEA ETP 2017	B2DS (Below 2°C)	B2DS (Poniżej 2°C)	1,75°C w 2100r.	7 083	1 821	234	3 496	620	3
	2DS (2°C)	2DS (2°C)	2°C w 2100r.	7 710	1 895	346	4 682	869	131
	RTS (Reference Scenario)	RTS (Scenariusz referencyjny)	Co najmniej 2,7°C w 2100 r.	13 662	3 025	553	10 399	1 758	257
IEA WEO 2018	Sustainable Development Scenario	Scenariusz zrównoważonego rozwoju	Długoterminowa stabilizacja na poziomie 1.7-1.8 °C	4 456	361	96	4 847	411	83
	New Policies Scenario	Scenariusz nowych polityk	< 2°C	9 553	1 848	272	10 172	1 982	262
	Current Policies Scenario	Scenariusz obecnych polityk	n/d	11 097	2 310	484	12 834	2 480	483

Źródło: opracowanie własne na podstawie IPCC 2018, IEA ETP 2017, IEA WEO 2018.

Scenariusze IPCC zakładają bardziej ambitne cele dot. ograniczenia temperatury globalnej, redukcja emisji CO₂ oraz wyłączenie energetyki węglowej postępują więc w nich szybciej niż w scenariuszach IEA. Mimo tego, zarówno w modelach IPCC, jak i w najbardziej progresywnych scenariuszach IEA, następuje niemal całkowita eliminacja wytwarzania energii elektrycznej z węgla już około roku 2035 w skali całego świata. **W krajach OECD i UE odejście od węgla w energetyce dzieje się znacząco szybciej – najpóźniej w roku 2030.**

2. Przegląd scenariuszy

2.1. IPCC

Jak wspomniano w rozdziale pierwszym, kluczowym dokumentem wyznaczającym globalne kierunki działania na rzecz ograniczenia globalnego ocieplenia jest specjalny Raport IPCC pt. *Global warming of 1.5°C*. Wymienione w raporcie cele, których realizacja ma prowadzić do ograniczenia najbardziej katastrofalnych skutków zmian klimatu, obejmują przede wszystkim redukcję emisji gazów cieplarnianych, w tym w szczególności CO₂. Globalnie i w Polsce największym emitentem gazów cieplarnianych jest sektor energetyczny (wytwarzanie prądu i ciepła). Jego najbardziej emisyjną częścią jest wytwarzanie energii ze spalania węgla, odpowiedzialne globalnie za emisję 10,1 Gt CO₂ w roku 2018².

W raporcie IPCC zakłada się ograniczanie emisyjności wszystkich sektorów gospodarki, zaczynając od wyłączenia energetyki węglowej i zastąpienia ją m.in. odnawialnymi źródłami energii w celu ograniczenia globalnego ocieplenia. Odejście od spalania węgla w skali globalnej następuje w różnym czasie w zależności od celu dot. wzrostu temperatury. Proponowane scenariusze zaprezentowano w Tab. 2.1³.

2 BP Statistical Review of World Energy 2019, 68th edition.

3 Na podstawie Tab. 2.4 str. 119 raportu IPCC.

Tab. 2.1. Raport IPCC 2018 - scenariusze w podziale na klasy oznaczające różne cele wzrostu temperatury.

Klasa	Liczba scenariuszy	Czas osiągnięcia zerowych emisji CO2 - mediana (min;max)		Czas osiągnięcia zerowych emisji CO2 w sektorze energetycznym - mediana (min;max)	
		Świat	OECD	Świat	OECD
Poniżej 1,5°C	9	2044 (2037;2054)	2042 (2032;2051)	2034 (2032;2044)	2030 (2030;2035)
1,5°C z małym przekroczeniem	44	2050 (2047;>2060)	2045 (2037;>2060)	2041 (2028;>2060)	2038 (2025; 2053)
1,5°C z dużym przekroczeniem	37	2052 (2049;2060)	2048 (2042;>2060)	2043 (2036;2057)	2040 (2035; 2048)
2°C i nieznacznie powyżej	74	>2060	>2060	2051 (2029;>2060)	2045 (2027;>2060)

Źródło: opracowanie własne na podstawie IPCC 2018.

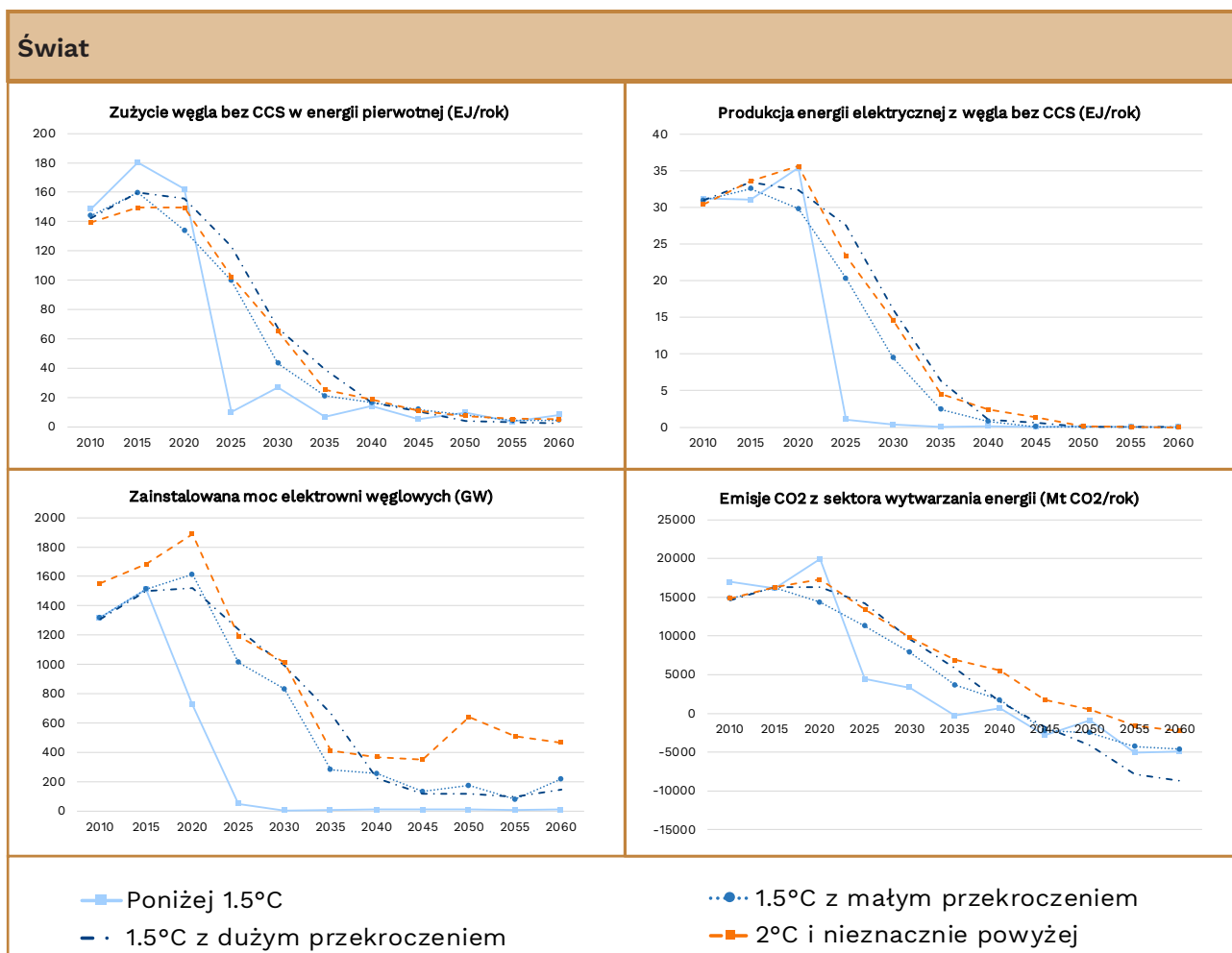
Zgodnie z projekcjami IPCC, udział węgla w globalnym wytwarzaniu energii spada niemal do zera. Dla scenariuszy 2°C w miksie energetycznym pozostaje minimalny udział węgla w miksie energetycznym - na poziomie 1 do 7 %, przy czym po roku 2050 jest to wyłącznie energetyka węglowa z systemem sekwestracji i składowania CO2.

Ścieżki wygaszania generacji energii elektrycznej z węgla dla różnych klas wzrostu temperatury zaprezentowano na Rys. 2.1, który prezentuje **mediany dla wszystkich scenariuszy z danej klasy**, dla czterech zmiennych:

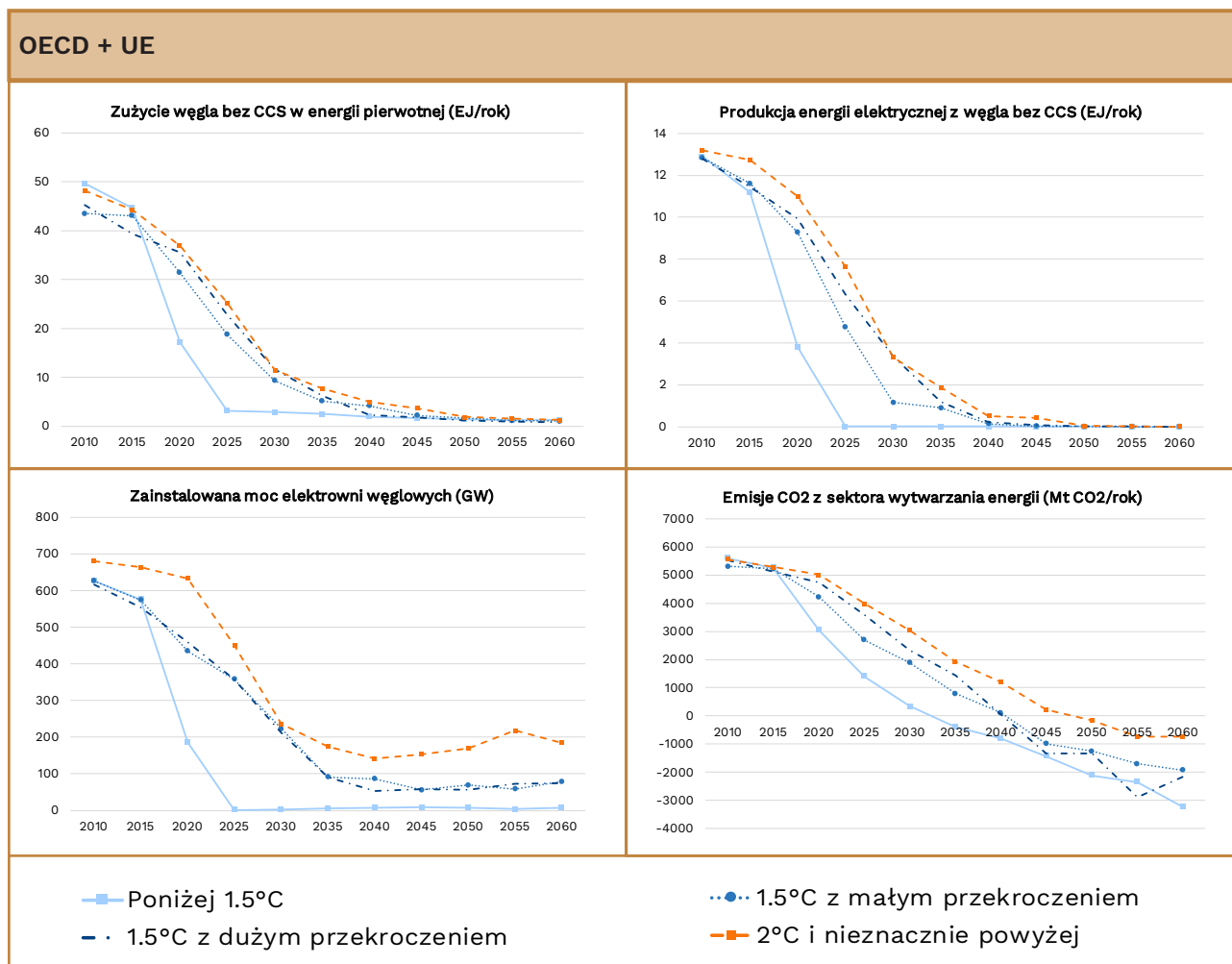
- zużycie węgla (jako energii pierwotnej) w celu wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach węglowych bez systemu sekwestracji (CCS) w EJ/rok,
- generację energii elektrycznej (jako energii wtórnej) w elektrowniach węglowych bez systemu sekwestracji (CCS) w EJ/rok,
- moc elektrowni węglowych w GW,
- emisje CO2 pochodzące z sektora wytwarzania energii w Mt CO2 / rok,

przy czym pierwsze cztery wykresy prezentują dane globalne, a **kolejne cztery dla krajów OECD i Unii Europejskiej**. Należy zaznaczyć, że w analizie pominięto wytwarzanie energii z węgla ze wsparciem technologii sekwestracji (czyli wyłapywania i składowania CO2), gdyż jest ona dopiero w fazie rozwoju i nie można zagwarantować jej skuteczności.

Rys. 2.1. Raport IPCC 2018 - Scenariusze dekarbonizacji dla różnych celów wzrostu temperatury - globalnie i dla krajów OECD + UE.



Rys. 2.1. Raport IPCC 2018 - Scenariusze dekarbonizacji dla różnych celów wzrostu temperatury - globalnie i dla krajów OECD + UE.



Źródło: opracowanie własne na podstawie IAMC 1.5°C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA - na bazie scenariuszy użytych w IPCC 2018.

Dla gospodarki światowej, w scenariuszach zakładających ograniczenie globalnego ocieplenia do 1,5°C, wytwarzanie energii elektrycznej z węgla spada gwałtownie od roku 2015, aby osiągnąć wartość bliską zero już w roku 2025. Dla scenariuszy z małym przekroczeniem, również następuje spadek wytwarzania energii z węgla od roku 2015, jest on jednak nieco mniej gwałtowny, a wartość bliska zero osiągnięta jest w roku 2035. W przypadku scenariuszy z dużym przekroczeniem, wytwarzanie energii elektrycznej z węgla nie spada od razu, w latach 2015-2020 jest stałe. Po roku 2020 następuje spadek aż do zera ok. roku 2040. Podobnie w scenariuszach zakładających ocieplenie o 2°C, produkcja energii z węgla utrzymuje się w latach 2015-2020, później spadając do niemal zera po roku 2040.

Dla krajów OECD i UE, spadek generacji energii z węgla jest szybszy i zaczyna się już w roku 2010. Dla scenariuszy poniżej 1,5°C, zero osiągnięte jest w roku 2025, dla scenariuszy 1,5°C z małym i dużym przekroczeniem wartości bliskie zero (redukcja powyżej 90% w stosunku do roku 2010) osiągnięte są w 2030 roku, dla scenariusza 2°C w roku 2040.

W przypadku emisji CO₂, różnice pomiędzy poszczególnymi klasami scenariuszy są większe. Dla scenariuszy poniżej 1,5°C, emisje CO₂ z energetyki maleją gwałtownie po roku 2020 aż do zera w 2034 roku. Dla scenariuszy 1,5°C z małym i dużym przekroczeniem, zerowe emisje osiągnięte są około roku 2040, przy czym w scenariuszach z dużym przekroczeniem ograniczanie emisji zaczyna się później – po roku 2020. W scenariuszu 2°C, emisje rosną do roku 2020, później następuje spadek aż do zera ok. roku 2050. Dla krajów OECD i UE, niemal zerowe emisje (redukcja o ponad 90% w stosunku do roku 2010) osiągnięte są około roku 2030 dla scenariuszy poniżej 1,5°C, w roku 2038 dla scenariusza 1,5°C z małym przekroczeniem, w roku 2040 dla scenariusza 1,5°C z dużym przekroczeniem i około roku 2045 dla scenariuszy 2°C.

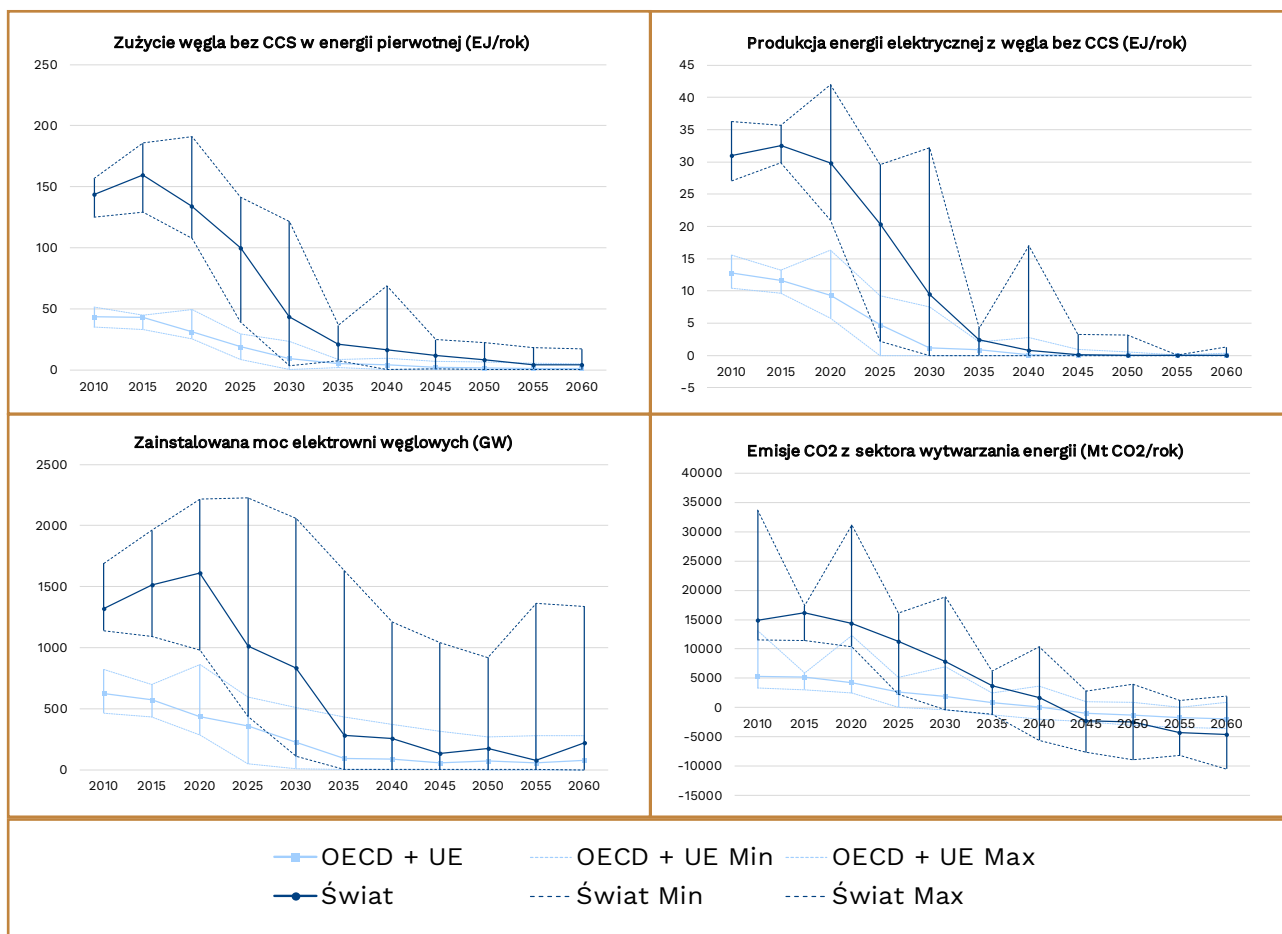
Wygaszanie elektrowni węglowych odbywa się dwutorowo – elektrownie węglowe mogą być całkowicie wyłączane lub pracować z mniejszą mocą. Różnica ta jest widoczna na wykresie prezentującym globalną moc elektrowni węglowych (lewy dolny) – moce nominalne elektrowni węglowych maleją wolniej niż sama produkcja energii elektrycznej, gdyż część elektrowni pracuje z mniejszym obciążeniem, a niektóre jednostki pozostają w systemie jako jednostki rezerwowe. Niemniej jednak wyraźnie widoczny jest spadek mocy nominalnych elektrowni węglowych dla wszystkich klas scenariuszy.

Projekcje IPCC w kontekście sektora energetycznego są jasne – ograniczenie katastrofalnych zmian klimatu wiąże się z szybkim wycofywaniem energetyki węglowej, z całkowitą eliminacją udziału węgla w globalnym wytwarzaniu energii elektrycznej w latach 2030–2035, a nawet wcześniej (2025–2030) dla krajów OECD i UE.

Jak wspomniano, zgodnie z projekcjami IPCC wygaszanie energetyki węglowej następuje szybciej w krajach OECD i UE niż w skali globalnej, mimo że raport IPCC nie uwzględnia w tym zakresie zróżnicowania wieku i emisyjności elektrowni węglowych w różnych regionach – w krajach OECD i UE elektrownie węglowe powstawały wcześniej, są mniej zaawansowane technologicznie i emitują więcej CO₂, a ich wyłączenie powinno być szybsze niż bloków nowszych budowanych np. w Azji. **Dla UE i OECD, scenariusz poniżej 1,5°C zakłada wyłączenie elektrowni węglowych już w 2025 roku, a scenariusze 1,5°C z małym i dużym przekroczeniem w 2030.** Jednocześnie, zakładane jest osiągnięcie niemal zerowych emisji CO₂ z energetyki w latach 2030–2038.

Na Rys. 2.2. pokazano w szczegółach ścieżki dekarbonizacji sektora energetycznego dla drugiej z czterech wybranych klas scenariuszy – 1,5°C z małym przekroczeniem, która wciąż nie mając ogromnych negatywnych konsekwencji środowiskowych scenariuszy 2°C, jest jednocześnie bardziej możliwa do osiągnięcia niż pierwszy scenariusz poniżej 1,5°C.

Rys. 2.2. Raport IPCC 2018 - Scenariusze dekarbonizacji dla scenariuszy 1,5°C z małym przekroczeniem – globalnie i dla krajów OECD + UE.



Źródło: opracowanie własne na podstawie IAMC 1.5°C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA - na bazie scenariuszy użytych w IPCC 2018.

Wykres prezentuje mediany oraz wartości minimalne i maksymalne dla świata oraz krajów OECD i UE. **Biorąc pod uwagę medianę, w roku 2030 produkcja energii elektrycznej z węgla w krajach OECD + UE jest marginalna, spada o 91% w stosunku do wartości z roku 2010, a jednostki węglowe używane są już tylko w celach bilansowania systemu. Należy jednak zaznaczyć, że najbardziej progresywne scenariusze (reprezentowane przez wartość minimalną) zakładają całkowite wyłączenie produkcji energii z elektrowni węglowych już w roku 2025.** W konsekwencji, emisje CO2 z sektora energetycznego w krajach OECD + UE w najbardziej optymistycznych scenariuszach osiągają wartość zerową już w roku 2025, przy czym mediana wskazuje na rok 2040 jako rok osiągnięcia neutralności klimatycznej całej gospodarki.

Prognozy IPCC nie zawierają danych na poziomie krajowym. Na podstawie danych dot. udziału Polski w produkcji energii w grupie OECD + UE (1,56% w roku 2015⁴), możliwe jest oszacowanie wartości produkcji

energii z węgla w Polsce w 2030 zgodnej z założeniami IPCC. W 2017 roku produkcja energii elektrycznej w Polsce wyniosła 131,2 TWh⁵, w tym 77%⁶ pochodziło ze spalania węgla kamiennego i brunatnego. Dla ścieżki IPCC 1.5°C z małym przekroczeniem, mediana produkcji energii elektrycznej z węgla w 2030 roku dla krajów OECD wynosi 319 TWh. Mnożąc tę wartość przez udział Polski w produkcji energii w OECD (1,56%) otrzymujemy wartość 5 TWh – szacunkową wysokość produkcji energii z węgla w Polsce w 2030 roku zgodną ze ścieżką IPCC 1.5°C z małym przekroczeniem.

Oznacza to, że wytwarzanie energii z węgla w Polsce musiałoby zmniejszyć się 20-krotnie w okresie 2017-2030. Jednocześnie, w 2030 roku, węgiel zapewniałby jedynie 3,8 % krajowej produkcji energii elektrycznej – wartość znikomą w perspektywie obecnych ok. 77%. W scenariuszu IPCC poniżej 1.5°C, produkcja energii elektrycznej z węgla w Polsce musiałaby zostać zatrzymana w roku 2025.

2.2. IEA

Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) jest jedną z najważniejszych globalnych instytucji analizujących rynki energii i ciałem Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD). Polska jest jej aktywnym członkiem i do raportuje do niej dane o gospodarce paliwowo-energetycznej oraz rynku energii. IEA publikuje szereg analiz dotyczących rozwoju sektora energetycznego, w tym cykliczne opracowania *Energy Technology Perspectives* (co 2 lata) i *World Energy Outlook* (co rok).

2.2.1. IEA ETP 2017

Raport IEA *Energy Technology Perspectives* (ETP)⁷ analizuje techniczne możliwości transformacji sektora energetycznego. W raporcie IEA ETP punktem wyjścia są historyczne trendy na rynkach energii, obecnie dostępne rozwiązania techniczne oraz potencjał wdrożenia ich w różnych regionach, a także założenia dotyczące rozwoju technologicznego w przyszłości. Te założenia techniczne determinują tempo dekarbonizacji sektora energetycznego w różnych regionach świata. Wynikiem analiz IEA ETP jest możliwy do osiągnięcia poziom redukcji emisji gazów cieplarnianych i wynikające z tego temperatury globalne.

Mechanika raportu IEA ETP jest więc inna niż w raporcie IPCC, który wychodzi od założeń klimatycznych, proponując cele dot. poziomu globalnego ocieplenia na podstawie oceny jego wpływu na funkcjonowanie

5 Dane Eurostat - country datasheets.

6 Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030, 15.06.2019.

7 IEA, *Energy Technology Perspectives* 2017.

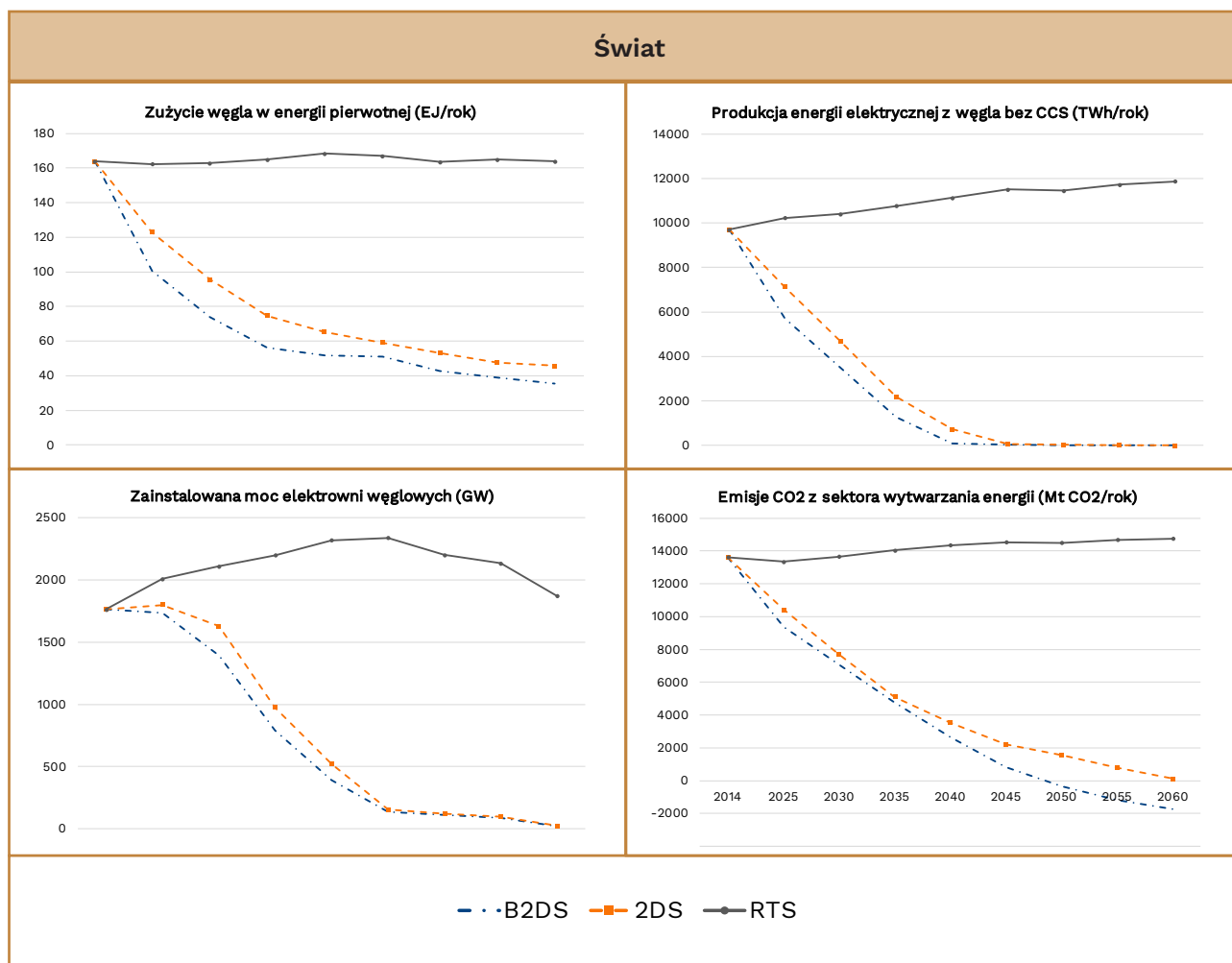
ekosystemów. ETP proponuje trzy scenariusze rozwoju sektora energetycznego do roku 2060, które przybliżamy poniżej w rosnącej kolejności ich poziomu ambicji:

- Scenariusz bazowy (RTS) opierający się na obecnych politykach klimatycznych państw, w tym krajowych celach zaproponowanych przez sygnatariuszy Porozumienia Paryskiego. Jak wspomniano, ponieważ cele te (NDC) nie są wystarczające do ograniczenia zmian klimatu, scenariusz RTS prezentuje jedynie częściową zmianę paradygmatu w stosunku do historycznych trendów w rozwoju energetyki. IEA ocenia, że scenariusz ten doprowadzi do ocieplenia klimatu o 2,7°C w 2100, co uniemożliwi stabilizację temperatury i spowoduje jej dalszy, niekontrolowany wzrost.
- Scenariusz 2°C (2DS) zakłada ograniczenie ocieplenia do 2°C w 2100 z prawdopodobieństwem co najmniej 50%. Aby osiągnąć cel, emisje CO₂ z sektora energetycznego muszą spaść o 70% pomiędzy rokiem 2015 a 2060. Do roku 2100 konieczna jest całkowita dekarbonizacja sektora energii. Założenia te wymagają ogromnego wysiłku ze strony państwa i silnej woli politycznej.
- Scenariusz poniżej 2°C (B2DS) uwzględnia technologie obecnie dostępne oraz innowacje będące jeszcze w fazie rozwoju, które mogą przyczynić się do spełnienia celów ambitniejszych niż w scenariuszu 2DS. Zakładane jest maksymalne możliwe tempo wdrożenia tych technologii, prowadzące do osiągnięcia zerowych emisji CO₂ w energetyce do roku 2060 (globalnie) i ujemnych emisji po roku 2060 osiągniętych z użyciem sekwestracji CO₂. Scenariusz nie zakłada ograniczenia wzrostu gospodarczego lub użycia przełomowych rozwiązań technologicznych nie będących obecnie w fazie rozwoju. Ambitne założenia scenariusza B2DS pozwalają na ograniczenie globalnego ocieplenia do 1,75°C w roku 2100 z prawdopodobieństwem 50%.

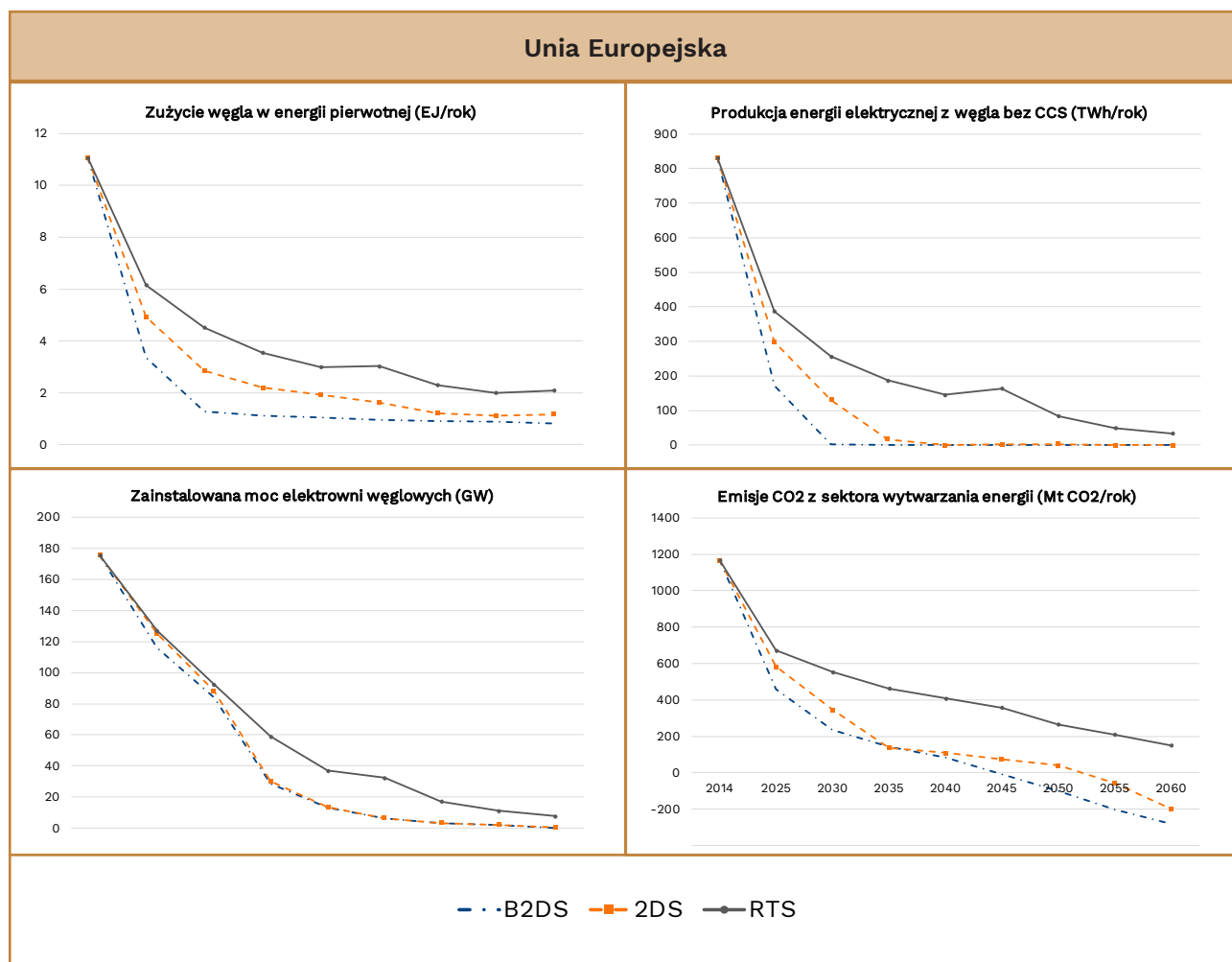
Należy zauważyć, że nawet najbardziej ambitny scenariusz IEA - B2DS nie pozwala na osiągnięcie celu 1,5°C IPCC. Raport IEA ETP ocenia, że ograniczenie ocieplenia do 1,5°C wymagałoby transformacji sektora energetycznego w bardzo szybkim tempie i skali biorąc pod uwagę obecne uwarunkowania techniczne, polityczne oraz socjo-ekonomiczne. Osiągnięcie celu 1,5°C musiałoby wiązać się z rewolucją ekonomiczną, zmianą zachowań ludzkich oraz wystąpieniem szeregu przełomów technologicznych, w tym rozwiązań umożliwiających wielkoskalową sekwestrację CO₂. Ścieżki dekarbonizacji ETP B2DS są jednak zbieżne z IPCC 1,5°C w okresie do roku 2030.

Wyniki projekcji IEA ETP przedstawiono na Rys. 2.3. **Należy zaznaczyć, że scenariusze ETP zawierają nie tylko prognozy globalne, ale także dla poszczególnych regionów, w tym krajów Unii Europejskiej. Wyniki te są więc istotną wskazówką dla analizy celów transformacji energetycznej na poziomie krajowym.**

Rys. 2.3. IEA ETP 2017 - Scenariusze dekarbonizacji IEA ETP 2017 - globalnie i dla krajów UE.



Rys. 2.3. IEA ETP 2017 - Scenariusze dekarbonizacji IEA ETP 2017 - globalnie i dla krajów UE.



Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA ETP 2017.

Wyniki analiz ETP wskazują na szeroką i szybką elektryfikację sektora energetycznego oraz transportu. W scenariuszu 2DS w 2060 roku, 74% energii finalnej pozyskiwane jest ze źródeł odnawialnych, 15% z energii jądrowej, a 7% z paliw kopalnych z systemem sekwestracji CO₂. Globalne wycofanie energetyki węglowej następuje ok. roku 2045 w scenariuszu 2DS. W scenariuszu B2DS globalna produkcja energii elektrycznej jest zdekarbonizowana (bezemisyjna) w roku 2050, a energetyka węglowa wycofywana jest na całym świecie do roku 2040. W obu scenariuszach zakładany jest docelowy udział energii atomowej na poziomie 15%.

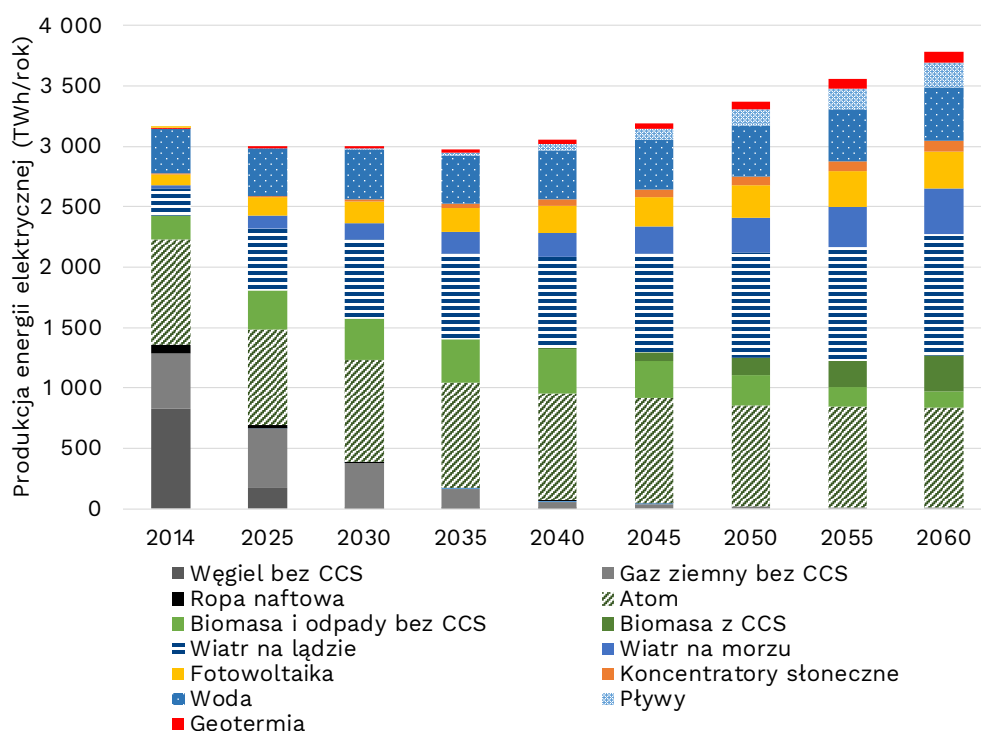
Cele scenariusza B2DS osiąmane są z pomocą dodatkowych wysiłków technicznych w stosunku do scenariusza 2DS - większej penetracji odnawialnych źródeł energii, wdrożenia systemów sekwestracji CO₂ na skalę przemysłową, znaczącej poprawy efektywności energetycznej oraz zwiększonego udziału energii jądrowej w miksie energetycznym.

W scenariuszu B2DS, dekarbonizacja w krajach UE jest znacznie szybsza niż na poziomie globalnym z powodu ambitnych celów UE zawartych w Porozumieniu Paryskim. Produkcja energii elektrycznej z węgla zatrzy-

mywana jest w roku 2030 (2DS - lata 2035-2040). Całkowita redukcja emisji CO₂ z sektora energetycznego osiągnięta jest w 2045 roku (2DS - lata 2050-2055).

Na Rys. 2.4. przedstawiono strukturę produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej wynikającą ze scenariusza B2DS. Udział węgla bez CCS spada do zera w 2030 roku, jednocześnie scenariusz nie przewiduje użycia energetyki węglowej z CCS w perspektywie roku 2060. Gaz ziemny bez CCS wykorzystywany jest do roku 2035, nie zakłada się użycia elektrowni na gaz ziemny z systemem CCS. Udział ropy naftowej w wytwarzaniu energii elektrycznej jest marginalny. Udział energii atomowej nie zmienia się znacząco - pozostaje na poziomie 28-30% do roku 2045, później malejąc do 22%. Nieznacznie rośnie udział biomasy w wytwarzaniu energii, od 6% w 2014 r. do ok. 12% po roku 2035, przy czym po 2055 r. większość z tego pochodzi z elektrowni z systemem CCS. Największy wzrost notuje energetyka wiatrowa - od 8% w 2014 r. do 26% w 2030 r. i 36,5% w 2060. Dominująca pozostaje energia wiatrowa na lądzie. Rośnie również udział energii słonecznej w miksie energetycznym, z 3% w 2014 r. do 6,5% w 2030 r. i 10,5% w 2060, obejmuje to zarówno fotowoltaikę, jak i systemy koncentracji promieniowania słonecznego. Udział energii wodnej pozostaje stały, na poziomie 12-13%. Po roku 2030 pojawia się także wytwarzanie energii z pływów oceanicznych, dochodząc do 5% udziału w miksie energetycznym w 2060 r. Rośnie udział energii geotermalnej, pozostając jednak bardzo małym - do 2,5% w 2060 r.

Rys. 2.4. IEA ETP 2017 - Struktura produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej w scenariuszu B2DS.



Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA ETP 2017.

Scenariusz B2DS zakłada więc eliminację węgla z energetyki w UE w roku 2030, całkowite wycofanie paliw kopalnych w latach 2035-2040 i zastąpienie ich energią wiatrową, słoneczną, geotermalną i energią pływów oceanicznych.

Należy podkreślić, że mimo mniej ambitnych celów dotyczących globalnego ocieplenia niż w raporcie IPCC, scenariusz IEA ETP B2DS również zakłada zakończenie spalania węgla w Unii Europejskiej - w tym w Polsce - już w 2030 roku.

2.2.2 IEA WEO 2018

Oprócz raportów ETP skupiających się na transformacji technologicznej, Międzynarodowa Agencja Energii raz do roku publikuje także opracowanie *World Energy Outlook* zawierające dogłębne analizy sektora energetycznego i ocenę kierunków jego rozwoju. Raport WEO różni się od ETP podejściem - wychodzi nie od założeń technologicznych, a przede wszystkim od uwarunkowań regulacyjnych, politycznych i socjo-ekonomicznych na poziomie globalnym i w poszczególnych krajach. Raport WEO pokazuje, jakie cele klimatyczne możliwe są do osiągnięcia przy obecnych i przyszłych rozwiązaniach regulacyjnych. Jest traktowany jako bazowe narzędzie analityczne dotyczące rozwoju globalnych i lokalnych rynków energii⁸.

W raporcie WEO proponowane są trzy scenariusze zawierające inne założenia wejściowe. Należy podkreślić, że scenariusze WEO nie są bezpośrednio porównywalne ze scenariuszami IEA ETP i są, co do zasady, mniej ambitne od scenariuszy IPCC oraz siostrzanego IEA ETP. Przybliżamy je poniżej w rosnącej kolejności ich poziomu ambicji:

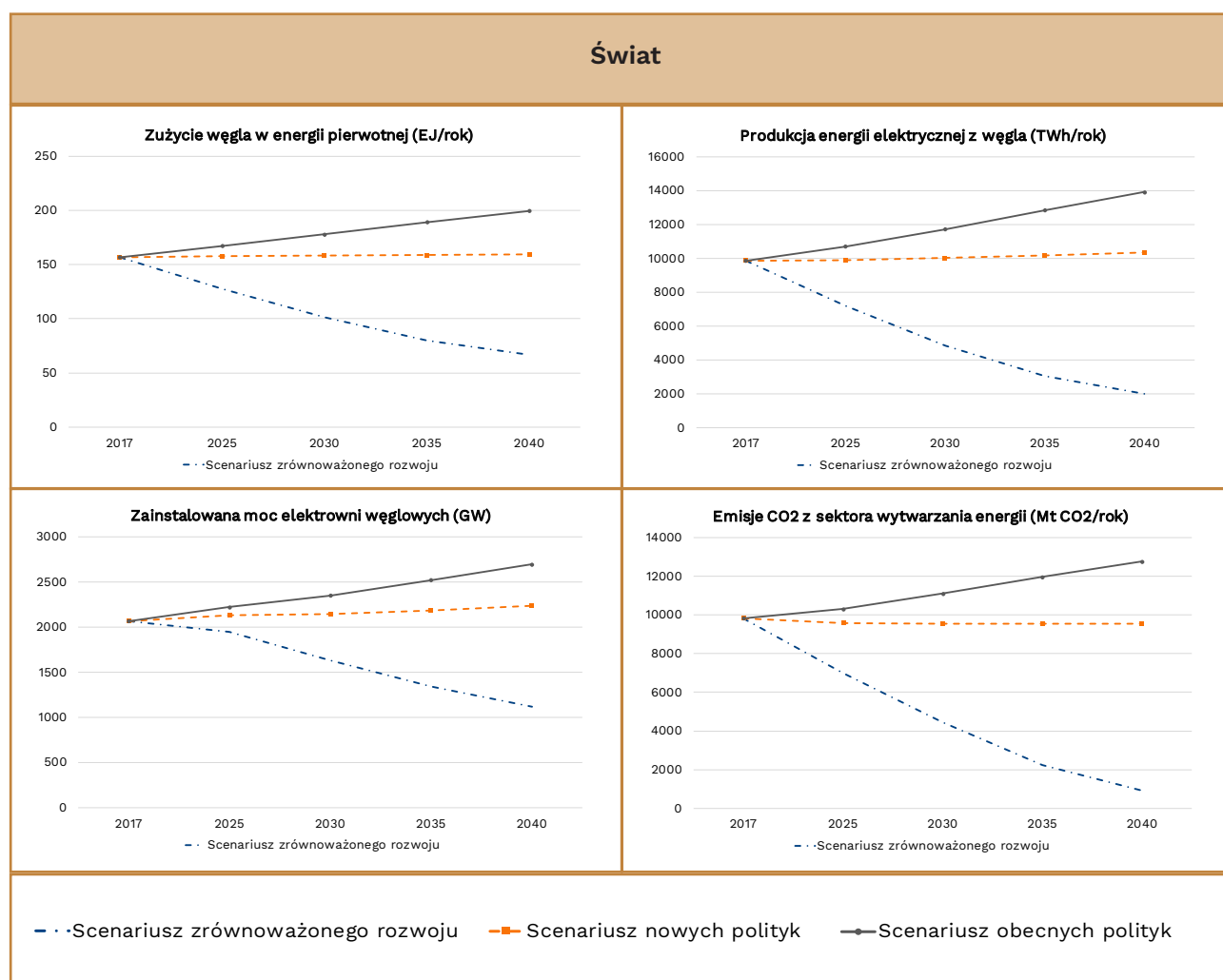
- **Scenariusz obecnych polityk** (Current Policies Scenario, CPS) traktowany jako scenariusz bazowy opiera się tylko i wyłącznie na prawach już obowiązujących (stan na czerwiec 2018), nie uwzględniając ambicji i deklaracji politycznych, które zostały ogłoszone, ale będą wdrażane w przyszłości.
- **Scenariusz nowych polityk** (New Policies Scenario, NPS) analizuje w jakim kierunku zmierzać będzie sektor energetyczny przy obecnych i planowanych rozwiązaniach regulacyjnych, biorąc także pod uwagę ciągły rozwój technologiczny. Scenariusz uwzględnia decyzje polityczne podjęte do sierpnia 2018, w tym m.in.: zobowiązania redukcji emisji CO₂ z Porozumienia Paryskiego; najnowsze, bardziej ambitne cele UE dotyczące przyspieszenia rozwoju energetyki odnawialnej do roku 2030; zmiany w amerykańskim prawie energetycznym.
- **Scenariusz zrównoważonego rozwoju** (Sustainable Development Scenario, SDS) wychodzi od szeregu celów, proponując ścieżki ich osią-

gnięcia. Cele te powiązane są z Celami Zrównoważonego Rozwoju ONZ i ustaleniami Porozumienia Paryskiego, w tym ograniczeniem globalnego ocieplenia poniżej 2°C, powszechnej dostępności energii do roku 2030 oraz ograniczeniu negatywnego wpływu zanieczyszczenia powietrza na ludzkie zdrowie.

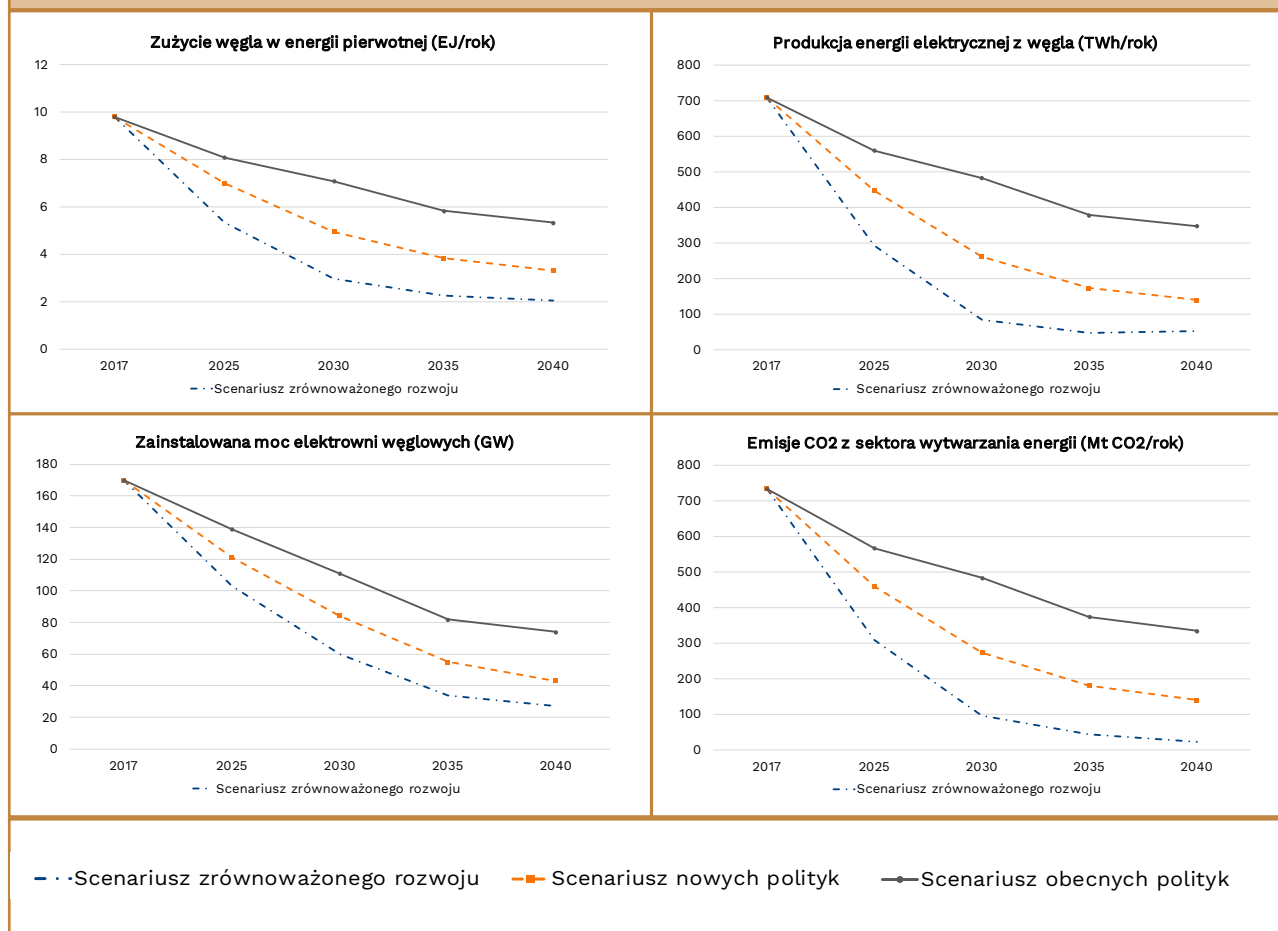
Obliczenia zawarte w IEA WEO 2018 bazują na modelu sektora energetycznego, transportu, efektywności energetycznej i klimatu IEA, przy założeniu wzrostu globalnego PKB o średnio 3,4% rocznie i wzrostu globalnej populacji do ok. 9 mld w roku 2040. Należy zaznaczyć, że IEA skupia się na sektorze energetycznym i jego roli w kształtowaniu klimatu, nie bada innych czynników emisji gazów cieplarnianych jak rolnictwo, budownictwo. Okres analizy w IEA WEO to lata 2017-2040.

Wyniki projekcji IEA WEO przedstawiono na Rys. 2.5. Podobnie jak w raporcie ETP, scenariusze WEO zawierają prognozy globalne i regionalne.

Rys. 2.5. IEA WEO 2018 - scenariusze dekarbonizacji - globalnie i dla krajów UE.



Unia Europejska



Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA WEO 2018.

Raport IEA WEO 2018 przewiduje następujące ścieżki dekarbonizacji dla gospodarki światowej:

W **Scenariuszu zrównoważonego rozwoju** węgiel jest systematycznie redukowany z miks energetycznego. W roku 2040 globalne zapotrzebowanie na energię pierwotną z węgla spada w tempie ok. 3,6% rocznie do poziomu 66 EJ (12% w mikse energetycznym) - odpowiadającego wartości z 1975 r., kiedy globalna gospodarka była czterokrotnie mniejsza niż obecnie. Jednocześnie, węgiel odpowiedzialny jest jedynie za 5% globalnego wytwarzania energii elektrycznej w 2040 roku, z czego dwie trzecie pochodzą z elektrowni wyposażonych w systemy CCS. Elektrownie węglowe wyłączone są w tempie 60 GW rocznie do 2040. W latach 2025-2040 udział energii nuklearnej w mikse minimalnie rośnie z 11% do 13%, zaś znacząco spada udział gazu - z 24% do 15%.

W **Scenariuszu nowych polityk** globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną rośnie o ok. 60% pomiędzy rokiem 2017 a 2040. Jednocześnie jednak spada udział paliw kopalnych w jej generacji. Dominująca staje się rola odnawialnych źródeł energii, w szczególności energii wodnej.

Globalne emisje CO₂ po kilkuletniej stabilizacji na poziomie 32 mld ton osiągnęły w 2018 roku wartość 33,1 mld ton. W **Scenariuszu nowych polityk** prognozowany jest wzrost emisji z energetyki o 10% do roku 2040, co stawia pod znakiem zapytania możliwości osiągnięcia celów dotyczących globalnego ocieplenia w tym scenariuszu. W **Scenariuszu zrównoważonego rozwoju** emisje z energetyki węglowej spadają gwałtownie – o 90% do roku 2040, kiedy sektor jest niemal całkowicie zdekarbonizowany.

Raport IEA WEO 2018 przewiduje dla Unii Europejskiej następujące scenariusze dekarbonizacji:

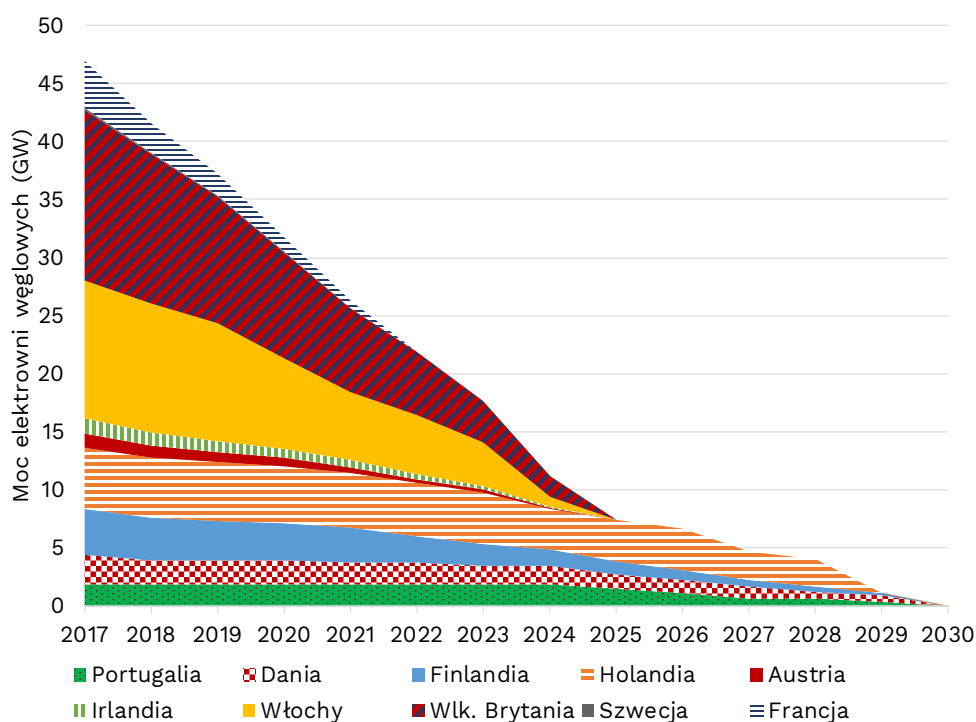
Scenariusz zrównoważonego rozwoju zakłada gwałtowny spadek wytwarzania energii elektrycznej z węgla do 2030 roku oraz redukcję emisji CO₂ z sektora energetycznego o ponad 80% w 2040 roku. Miks energetyczny w UE zmienia się gwałtownie, do roku 2040 dominujące obecnie węgiel i energia jądrowa zmniejszają udział w wytwarzaniu energii elektrycznej (udział węgla spada do ok. 5% w 2040 roku). Zastępowane są one przez energię wiatrową, gaz ziemny, energię wodną, bioenergię i energię słoneczną. Istniejące elektrownie węglowe operują z minimalnym obciążeniem, wspierając bilansowanie systemu. Współczynnik wykorzystania mocy znamionowej na poziomie 60–70% uzyskiwany jest tylko dla elektrowni wyposażonych w system sekwestracji CO₂, używany przez ok. 20% elektrowni węglowych w 2040 roku.

Raport IEA WEO 2018 proponuje szereg dróg dojścia do założonych celów emisji CO₂, w tym poprzez wyłączenie najmniej efektywnych elektrowni węglowych, zwiększenie udziału OZE, poprawę efektywności energetycznej, zmniejszenie zużycia ropy naftowej i emisji metanu, utrzymanie udziału energetyki jądrowej oraz wyposażenie elektrowni węglowych i gazowych w systemy sekwestracji CO₂. Te działania pozwalają na przejście ze ścieżek zgodnych ze **Scenariuszem nowych polityk** do ścieżek ze **Scenariusza zrównoważonego rozwoju** – osiągnięcie bardziej ambitnych celów klimatycznych⁹.

W wielu krajach UE, już podjęte decyzje polityczne zakładają rezygnację z energii węglowej przed rokiem 2030. Jednocześnie, firmy energetyczne w 26 państwach członkowskich UE zadeklarowały wstrzymanie budowy nowych bloków węglowych bez systemu CCS po roku 2020. Czternaście z tych krajów dołączyło do inicjatywy “Powering Past Coal Alliance” zakładającej zamknięcie elektrowni węglowych w ciągu najbliższych lat – we Francji i Szwecji do roku 2022, w Austrii, Irlandii, Włoszech i Wielkiej Brytanii do 2025, w Finlandii i Holandii do 2029, a w Danii i Portugalii do 2030. Plan wyłączeń elektrowni węglowych w krajach uczestniczących w “Powering Past Coal Alliance” pokazano na Rys. 2.6.

9 Jedną z kluczowych różnic jest projekcja cen CO₂ w trzech scenariuszach – w dwóch mniej ambitnych scenariuszach (obecnych, nowych polityk) jest ona w 2030 roku ok. 3 razy niższa niż w bardziej ambitnym scenariuszu zrównoważonego rozwoju.

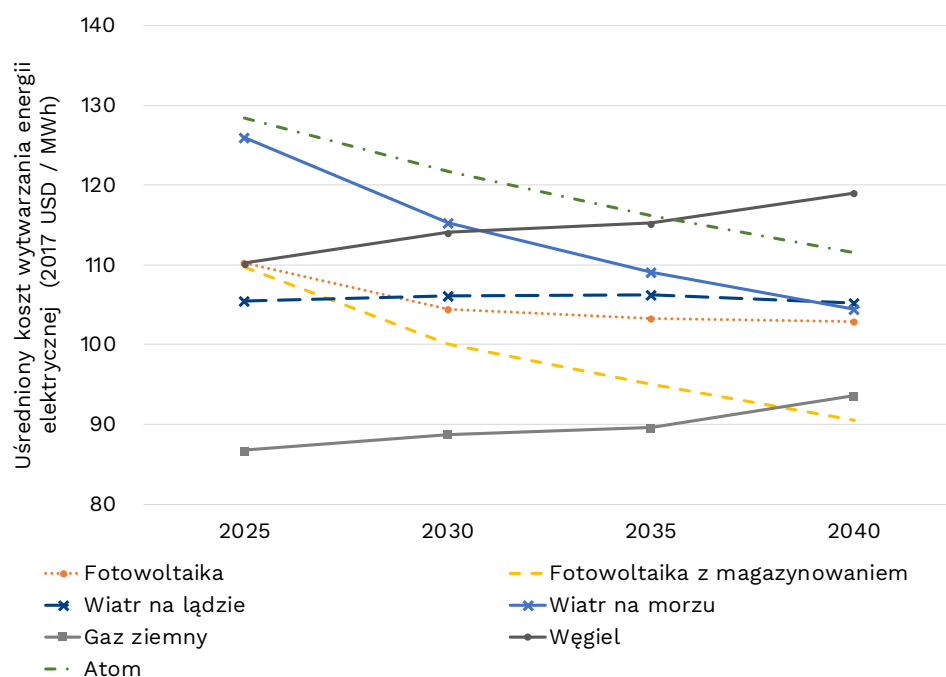
Rys. 2.6. Powering Past Coal Alliance - Plan wycofania energetyki węglowej w krajach UE wśród sygnatariuszy porozumienia.



Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA WEO 2018

Raport IEA WEO 2018 szacuje także uśredniony koszt wytwarzania energii (Levelized Cost of Electricity - LCoE) z poszczególnych źródeł - Rys. 2.7.

Rys. 2.7. IEA WEO 2018 - Uśredniony koszt wytwarzania energii elektrycznej (LCoE) z różnych źródeł w UE w Scenariuszu Nowych Polityk.



Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA WEO 2018

W Unii Europejskiej, struktura kosztów zmienia się istotnie pomiędzy rokiem 2020 a 2040. W 2020, dla **Scenariusza nowych polityk** najtańsze koszty osiągają elektrownie gazowe i węglowe, najwyższe są koszty dla elektrowni atomowych i wiatrowych na morzu. W 2040 roku, sytuacja odwraca się - węgiel staje się najdroższym źródłem energii, najtańszym zaś jest fotowoltaika z systemami magazynowania energii. Czynniki ekonomiczne stają się więc dodatkowym, obok celów klimatycznych, motywarem transformacji energetycznej i odejścia od energetyki węglowej.

Projekcje zawarte w IEA WEO są mniej ambitne niż te z raportu ETP, mimo to również zakładają **błyskawiczną rezygnację z energetyki węglowej i niemal całkowite wyłączenie węgla z wytwarzania energii elektrycznej do roku 2030**, a w niektórych krajach UE nawet wcześniej.

2.3. Climate Analytics

Climate Analytics (CA) to ośrodek badawczy skupiający ekspertów ds. klimatu i energii, zajmujący się prognozowaniem skutków zmiany klimatu, proponujący ścieżki działania i adaptacji, w szczególności w obszarze energetyki. Climate Analytics jest jedną z wiodących pozarządowych organizacji zajmujących się ekonomiczną analizą transformacji sektora energetycznego. CA publikuje liczne raporty oparte na własnych modelach prognostycznych m.in. Integrated Assessment Model (IAM) oraz MAGICC¹⁰.

2.3.1. CA & Fraunhofer ISI

Raport Climate Analytics i Instytutu Fraunhofer ISI pt. *The EU long-term strategy to reduce GHG emissions in light of the Paris Agreement and the IPCC Special Report on 1.5°C*¹¹ z 2018 roku zawiera analizę prawną i syntezę literatury dotyczącej roli Unii Europejskiej w realizacji celów redukcji emisji gazów cieplarnianych z Porozumienia Paryskiego i raportu IPCC.

Climate Analytics krytykuje cele redukcji emisji gazów cieplarnianych Unii Europejskiej zawarte w strategicznej wizji Komisji Europejskiej *A clean planet for all* z listopada 2018, jako zbyt mało ambitne i niekompatybilne z postanowieniami Porozumienia Paryskiego. Komisja Europejska utrzymuje, że założenia dot. redukcji emisji gazów cieplarnianych w krajach

10 M. Meinshausen, S. C. B. Raper, and T. M. L. Wigley, Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6 – Part 1: Model description and calibration, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 1417–1456, <https://doi.org/10.5194/acp-11-1417-2011>, 2011.

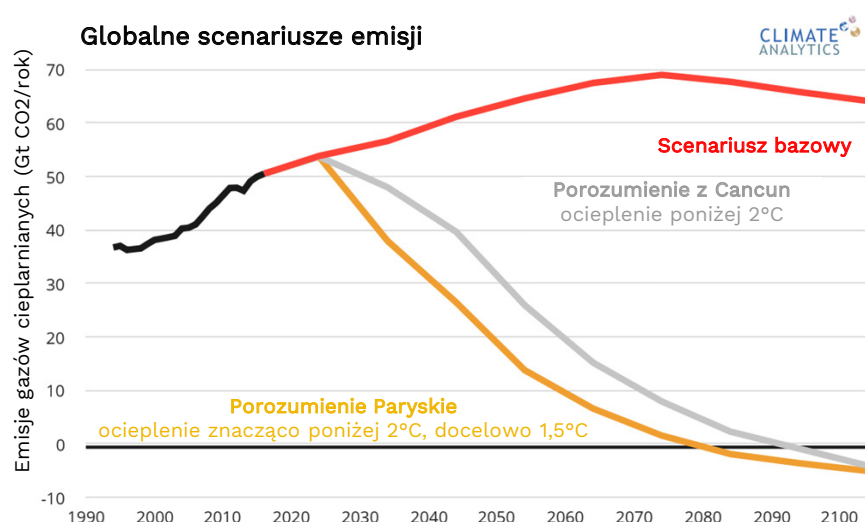
11 Wachsmuth, J., Schaeffer, M. and Hare, B., 2018. The EU long-term strategy to reduce GHG emissions in light of the Paris Agreement and the IPCC Special Report on 1, 5° C (No. S22/2018). Working Paper Sustainability and Innovation.

członkowskich UE o co najmniej 80% do roku 2050 (w stosunku do wartości z 1990) są zbieżne z celami Porozumienia Paryskiego - ograniczeniem globalnego ocieplenia znacząco poniżej 2°C i wysiłkami na rzecz ograniczenia ocieplenia do 1,5°C. Climate Analytics podważa to stanowisko, pokazując, że scenariusze zaproponowane przez Komisję Europejską są identyczne jak scenariusze zaproponowane w Porozumieniu z Cancun¹², prowadzące do uzyskania temperatury jedynie nieznacznie poniżej 2°C, prawdopodobnie na poziomie 1,7-1,8°C. Nie zaproponowano scenariuszy prowadzących do ograniczenia ocieplenia do 1,5°C. Raport IPCC dobitnie pokazuje jednak zwiększone ryzyko związane ze wzrostem globalnego ocieplenia z 1,5°C do 2°C. Climate Analytics ocenia, że utrzymanie temperatury na poziomie 1,5°C wymaga redukcji emisji gazów cieplarnianych w UE o co najmniej 90% w 2050 roku (w stosunku do wartości z 1990). Jednocześnie, przy braku dostępności technologii sekwestracji CO₂ w drugiej połowie wieku, CA sugeruje całkowitą dekarbonizację Unii Europejskiej do 2050.

2.3.2. CA Stress test for coal in Europe

W roku 2017, Climate Analytics zaprezentowało raport *A stress test for coal in Europe under the Paris Agreement*¹³ proponujący ścieżki wycofywania energetyki węglowej w odpowiedzi na cele klimatyczne Porozumienia Paryskiego. Raport wychodzi od globalnych ścieżek redukcji emisji gazów cieplarnianych - Rys. 2.8.

Rys. 2.8. Globalne scenariusze redukcji emisji gazów cieplarnianych.



Źródło: Climate Analytics 2017.

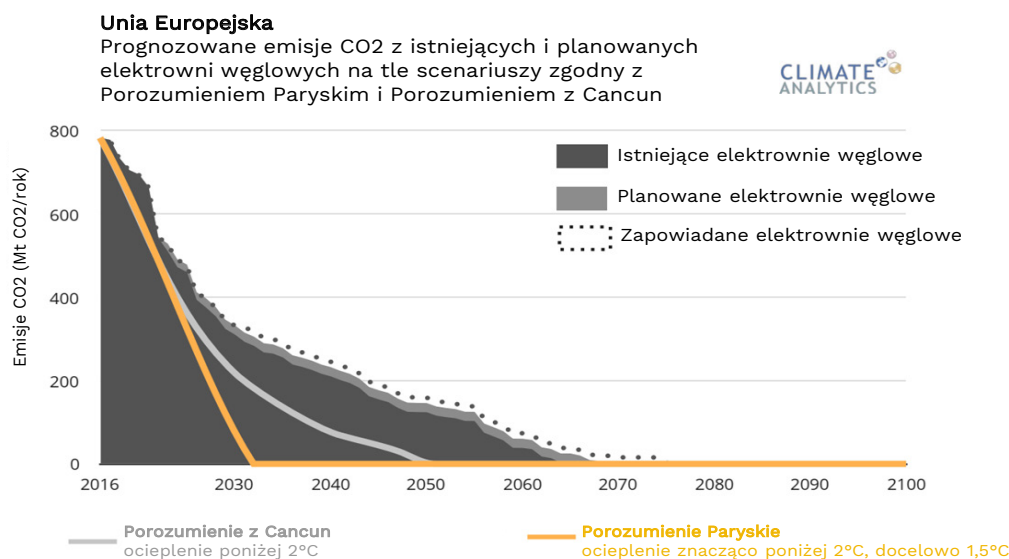
- 12 Porozumienie z Cancun - ustalenia szesnastej Konferencji Stron (COP16) odbywającej się w 2010 roku w Cancun (Meksyk) zgodnie z Ramową Konwencją ONZ w Sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC). Wyniki negocjacji w Cancun zakładały podjęcie szeregu działań na rzecz mitygacji zmian klimatycznych, zmierzających do ograniczenia globalnego ocieplenia do 2°C.
- 13 Climate Analytics, 2017. *A stress test for coal in Europe under the Paris Agreement*.

W Rys. 2.8 prezentuje globalne projekcje redukcji gazów cieplarnianych wynikające z postanowień Porozumienia Paryskiego i Porozumienia z Cancun (na podstawie danych IIASA). Scenariusz stworzony na podstawie Porozumienia Paryskiego zakłada utrzymanie globalnego ocieplenia znacząco poniżej 2°C – na poziomie 1,5°C w 2100 roku, przy jej czasowym przekroczeniu w ciągu XXI wieku. Porozumienie z Cancun zakłada ograniczenie ocieplenia poniżej 2°C. Scenariusze stworzone na podstawie obu Porozumień zakładają dekarbonizację globalnej gospodarki w latach 2080–2090. Scenariuszem bazowym jest prognoza zakładająca brak intensywnych działań na rzecz ochrony klimatu.

Bazując na scenariuszach globalnych, Climate Analytics proponuje ścieżki dekarbonizacji sektora energetycznego dla świata i Unii Europejskiej. Wyniki te są rezultatem użycia autorskiego modelu Climate Analytics SIAMESE. Warto zaznaczyć, że CA wybiera ścieżki optymalne ekonomicznie – zakładające minimalne możliwe koszty transformacji energetycznej. Climate Analytics argumentuje na bazie sporządzonych modeli, iż aby osiągnąć cele zawarte w Porozumieniu Paryskim, niezbędny jest gwałtowny spadek emisji gazów cieplarnianych w sektorze energetyki węglowej. W scenariuszu zgodnym z Porozumieniem Paryskim, światowa produkcja energii elektrycznej z węgla kończy się w roku 2050, a w Unii Europejskiej w roku 2030.

Analiza obecnych węglowych jednostek wytwórczych pokazuje, że znacząca ich liczba to stare i wysokoemisyjne jednostki. W Polsce ok. 80% elektrowni węglowych ma ponad 30 lat. Mimo to, przy bardzo długich okresach eksploatacji bloków węglowych, aby spełnić założenia Porozumienia Paryskiego konieczne będzie wyłączenie wielu bloków węglowych przed czasem, co zostało zilustrowane na rysunku 2.9. Rysunek bazuje na danych Global Coal Plant Tracker, CAN Europe i własnych obliczeniach Climate Analytics.

Rys. 2.9. Prognozowane emisje CO₂ w Unii Europejskiej z istniejących i planowanych bloków węglowych na tle ścieżek z Porozumienia Paryskiego i Porozumienia z Cancun.



Źródło: Climate Analytics 2017.

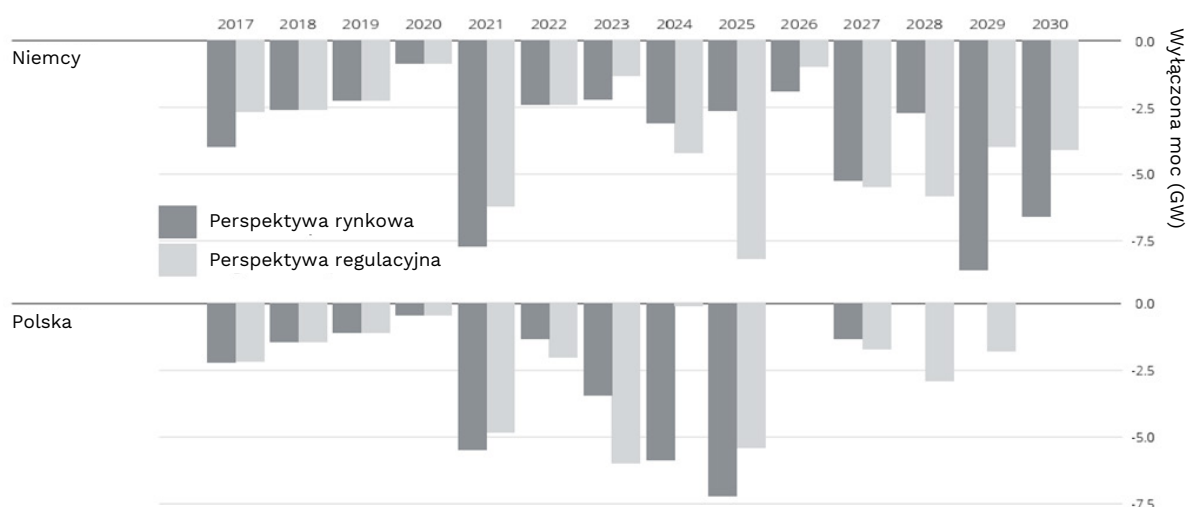
Jeśli istniejące i obecnie planowane bloki węglowe pracowałyby do końca swoich okresów eksploatacji, dekarbonizacja sektora węglowego nastąpiłaby około roku 2070, 40 lat po granicznej dacie dekarbonizacji wynikającej z potrzeby ograniczenia wzrostu temperatury poniżej 1.5°C. Jednocześnie, brak wyłączenia bloków węglowych przed nominalnym czasem eksploatacji doprowadziłoby do przekroczenia celów emisji Porozumienia Paryskiego o 99% (dla już istniejących elektrowni) lub nawet o 123% uwzględniając elektrownie planowane i zapowiadane.

Climate Analytics proponuje więc przyspieszoną ścieżkę wyłączeń elektrowni węglowych w dwóch wariantach z:

- **Perspektywy regulacyjnej** - zakładającej wyłączenie bloków węglowych zaczynając od najstarszych, biorąc jednak pod uwagę generowane przez nie przychody. Jednostki węglowe sortowane są od najbardziej emisyjnych, a następnie wśród jednostek o podobnej emisyjności, od najbardziej dochodowych pod względem NPV na MW.
- **Perspektywy rynkowej** - biorącej pod uwagę priorytety właścicieli elektrowni i operatorów sieci energetycznych. Perspektywa ta ogranicza całkowity koszt transformacji energetycznej, wyłączając jednostki w kolejności od najmniej dochodowych. Dopiero dla jednostek o podobnej dochodowości (NPV / MW) oceniana jest ich emisyjność, a jednostki bardziej emisyjne wyłączane są szybciej. Perspektywa ta jest więc odwróceniem perspektywy regulacyjnej i kładzie większy nacisk na aspekt ekonomiczny niż środowiskowy.

Wyniki prognozy dla obu perspektyw zaprezentowano na Rys. 2.10 i w Tab. 2.2.

Rys. 2.10. Climate Analytics - Wyłączenia elektrowni węglowych w Polsce i Niemczech dla perspektywy regulacyjnej i rynkowej.



Źródło: Climate Analytics 2017.

Climate Analytics zauważa, że Polska i Niemcy odpowiadają za połowę zainstalowanej mocy elektrowni węglowych i 54% rocznych emisji z energetyki węglowej w Unii Europejskiej (dane z 2013 roku). W Polsce perspektywa rynkowa zmusza właścicieli elektrowni do szybszego ich wyłączenia z powodu ich małej dochodowości, mimo że w perspektywie regulacyjnej niektóre z wyłączonych jednostek mogłyby funkcjonować nieco dłużej przy ich relatywnie niższej emisyjności. Scenariusze proponują także daty wyłączenia konkretnych elektrowni w Polsce – Tab. 2.2.

Tab. 2.2. Climate Analytics - Wyłączenia wybranych elektrowni węglowych w Polsce według CA, Stress test for coal in Europe (2017).

Elektrownia	Moc (MW)	Rok wyłączenia		
		Nominalny	Perspektywa regulacyjna	Perspektywa rynkowa
Bełchatów	4 928	2055	2027	2027
Kozienice	3 915	2061	2028	2025
Opole	3 280	2063	2029	2025
Jaworzno 3	2 255	2063	2028	2025
Turów	1 765	2063	2028	2024

Źródło: Climate Analytics 2017.

Odejście od energetyki węglowej w Polsce wydaje się więc nieuniknione. Zgodnie z analizą Climate Analytics, **do 2030 elektrownie węglowe powinny zostać wyłączone z polskiego mixu energetycznego**, przy czym większość dużych jednostek zatrzymywanych jest już do roku 2025.

2.3.3. CA Coal Phase-Out in Germany

Jako rozwinięcie raportu omówionego wyżej, w październiku 2018 roku Climate Analytics przygotowało raport dotyczący wycofywania energetyki węglowej w Niemczech w tempie zgodnym ze scenariuszami IPCC i celami Porozumienia Paryskiego – *Science based coal phase-out pathway for Germany in line with the Paris Agreement 1.5°C warming limit*¹⁴.

Niemcy są największym emitentem gazów cieplarnianych w Unii Europejskiej, a węgiel odpowiada za 37% generacji energii elektrycznej. Rząd niemiecki dostrzega negatywne konsekwencje energetyki węglowej i od

¹⁴ Climate Analytics, 2018. Science based coal phase-out pathway for Germany in line with the Paris Agreement 1.5°C warming limit: Opportunities and benefits of an accelerated energy transition.

wielu lat podejmuje działania na rzecz zmniejszenia udziału węgla w produkcji energii. W 2007 rząd niemiecki ustalił cel redukcji emisji gazów cieplarnianych na 40% w roku 2020 w stosunku do wartości z 1990. W 2016 roku w połączeniu z ustaleniami Porozumienia Paryskiego przyjęto dokument *Climate Action Plan 2050* rozszerzający dotychczasowe cele redukcji emisji gazów zakładając niemal całkowitą dekarbonizację gospodarki w roku 2050. Cele redukcji emisji gazów cieplarnianych w poszczególnych latach zawarto w Tab. 2.3.

Tab 2.3. Cele redukcji emisji gazów cieplarnianych w Niemczech w stosunku do roku 1990.

Cel	2020	2030	2040	2050
Emisje gazów cieplarnianych	-40%	co najmniej -55%	co najmniej -70%	całkowita dekarbonizacja -80 do -95%

Źródło: BMUB, Climate Action Plan 2050, 2016.

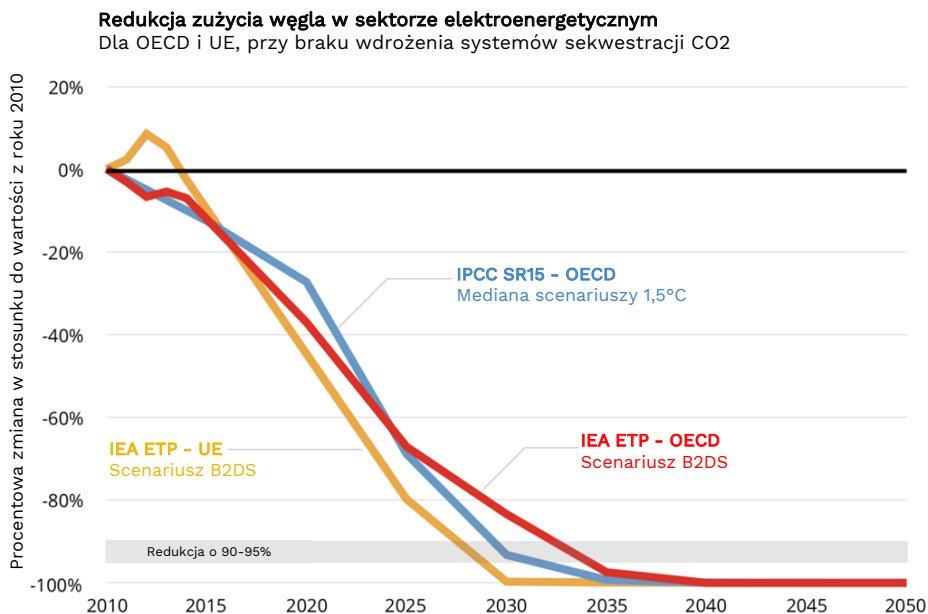
Plan zawiera także sektorowe cele redukcji emisji. Dla sektora energetycznego, w 2030 emisje gazów cieplarnianych mają spaść o 61-62% w stosunku do roku 1990. Jednocześnie, plan zakłada całkowitą dekarbonizację sektora energetycznego do roku 2050 i większościowy udział odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej.

W styczniu 2019, po wielu miesiącach analiz, debat oraz dyskusji politycznych, zaprezentowano finalny raport niemieckiej Komisji ds. Rozwoju, Zmian Strukturalnych i Zatrudnienia (Kohlekommission), omawiający plan wycofania energetyki węglowej. **Raport Komisji proponuje rok 2038 jako datę graniczną wyłączenia węgla z wytwarzania energii elektrycznej w Niemczech**, przy czym w zależności od możliwości transformacja ta może być przyspieszona do roku 2035.

Raport Climate Analytics opiera swoje prognozy na scenariuszach Międzynarodowej Agencji Energii, w szczególności na zaprezentowanym w rozdziale 2.2.1. scenariuszu IEA ETP B2DS, uznając, że jest on adekwatnym przybliżeniem scenariuszy IPCC 1,5°C dla krajów OECD i Unii Europejskiej - Rys. 2.11.

Przeprowadzono bowiem analizę ścieżek B2DS pod kątem osiągniętej wartości ocieplenia za pomocą metod modelowania zastosowanych w raporcie IPCC SR1.5 i AR5 - wyniki pokazują, że zastosowanie ścieżek dekarbonizacji z modelu B2DS skutkuje stabilizacją temperatury na poziomie 1,6°C po 2060 roku. Jednocześnie, temperatura ta nie spada jak w scenariuszach IPCC 1,5°C z przekroczeniem, gdyż, w odróżnieniu do IPCC, IEA nie zakłada przemysłowego wdrożenia technologii sekwestracji CO₂. Jednocześnie obliczenia wykazały, że gdyby technologie CCS stały się powszechnie dostępne, temperatura w scenariuszu B2DS spadłaby po roku 2060 do poziomu 1,5°C. Przy takich założeniach, scenariusz B2DS jest uzasadnionym przybliżeniem scenariuszy IPCC 1,5°C z małym przekroczeniem.

Rys. 2.11. Climate Analytics - Scenariusze dekarbonizacji sektora energetycznego wg IPCC i IEA.



Źródło: Climate Analytics 2018.

Rys. 2.11 prezentuje redukcję zużycia węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej w stosunku do poziomu z roku 2010, w elektrowniach bez systemu sekwestracji CO₂. Scenariusz IEA/B2DS przewiduje **datę odejścia od energetyki węglowej w krajach OECD w 2035 r. i w Unii Europejskiej w 2030 r.** Względem krajów OECD, to odpowiednio 5 lat później niż wynika to z mediany scenariuszy IPCC 1,5°C (2030), zaś prognoza dla UE w raporcie IPCC nie jest wyszczególniona. Ponieważ zobowiązania krajów UE zapisane w Porozumieniu Paryskim są bardziej ambitne niż dla wszystkich krajów OECD, dekarbonizacja UE musi odbyć się przed rokiem 2030. Rok 2030 wydaje się być zatem konserwatywnym szacunkiem.

Ścieżki dekarbonizacji dla Niemiec uzyskano za pomocą modelu SIAMESE, omówionego w rozdziale 2.3.2. Podobnie jak w wynikach dla całej Unii Europejskiej, wyniki analizy przewidują całkowitą dekarbonizację energetyki w Niemczech w roku 2030.

Należy zaznaczyć, że z punktu widzenia emisji gazów cieplarnianych elektrownie nie muszą być całkowicie rozbierane, a jedynie wyłączane, niektóre z bloków węglowych mogą pozostać w systemie energetycznym jako jednostki rezerwowe. Niemiecki plan wycofania energetyki węglowej zakłada utrzymanie jednostek węglowych przez 4 lata od ich wyłączenia, w celu uzupełnienia mocy w systemie energetycznym w momentach ograniczonej generacji z elektrowni słonecznych i wiatrowych. Koszty utrzymania elektrowni w stanie gotowości pokrywane będą z dotacji. Po czterech latach od wyłączenia, rezerwowe jednostki są rozbierane.

Raport proponuje plan wyłączeń poszczególnych elektrowni niemieckich, korzystając z dwóch perspektyw omówionych w rozdziale 2.3.2 - perspektywy regulacyjnej i rynkowej. Oba scenariusze wskazują na konieczność

wyłączenia ponad 20 GW mocy węglowej do roku 2020, aby spełnić założenia Porozumienia Paryskiego, przy czym w zależności od przyjętego scenariusza najpierw wyłączane są elektrownie na węgiel brunatny (w podejściu regulacyjnym) lub na węgiel kamienny (w podejściu rynkowym). Wskazuje to na wyższą wartość ekonomiczną elektrowni na węgiel brunatny, zasilanych tańszym, ale bardziej emisyjnym paliwem.

Climate Analytics prezentuje także przegląd literatury omawiającej transformację energetyczną Niemiec. Liczne przytoczone źródła wskazują na rok 2030 lub 2040 jako graniczną datę odejścia od węgla w energetyce niemieckiej w celu utrzymania założeń Porozumienia Paryskiego. Wnioski z raportu są zgodne z przedstawionymi wcześniej predykcjami dla całej Unii Europejskiej – dla Niemiec graniczną datą wycofania energetyki węglowej z użycia jest rok 2030.

Omówione raporty Climate Analytics wskazują rok 2030 jako graniczną datę eliminacji węgla w produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej, polegając na prognozach IPCC, IEA oraz własnym modelu analitycznym. Raporty Climate Analytics badają nie tylko Unię Europejską jako całość, ale także poszczególne kraje członkowskie, w tym Polskę i Niemcy – największych emitentów CO₂ w UE. Według wszystkich rozpisanych przez Climate Analytics scenariuszy eliminacja węgla w energetyce jest szczególnie istotna i musi dokonać się najpóźniej w roku 2030.

2.4. CoalSwarm

Raport organizacji CoalSwarm pt. *A Coal Phase-Out Pathway for 1.5°C*¹⁵ z października 2018 łączy scenariusze dekarbonizacji sektora energetycznego z raportu IPCC z własną bazą danych zawierającą informacje o pracujących i planowanych elektrowniach węglowych. Na podstawie danych o jednostkach węglowych, CoalSwarm proponuje bardziej ambitny scenariusz wycofania energetyki węglowej w krajach OECD.

W raporcie wskazane są trzy równoległe prowadzone inicjatywy prowadzące do spełnienia założeń raportu IPCC w sektorze energetyki:

- wstrzymanie budowy nowych bloków węglowych.
- wyłączanie istniejących bloków węglowych, w kolejności od najstarszych.
- zmniejszanie obciążenia istniejących elektrowni węglowych.

CoalSwarm zakłada, że aby spełnić założenia scenariuszy IPCC ograniczających globalne ocieplenie do 1,5°C (również tych z przekroczeniem), elektrownie węglowe będące w fazie planowania lub projektowania zostają

15 CoalSwarm, 2018. *A Coal Phase-Out Pathway for 1.5°C*.

wstrzymane, ukończone zostają tylko elektrownie będące już w budowie¹⁶. **Jest to kluczowe założenie, które zakłada determinację uczestników rynku w dążeniu do wycofania energetyki węglowej.**

Istniejące bloki węglowe są wycofywane zaczynając od najstarszych – najmniej zaawansowanych technologicznie i tym samym emitujących najwięcej gazów cieplarnianych, co czyni je najmniej efektywnymi. Aplikowane są dwa scenariusze wyłączeń – bardziej restrykcyjny dla krajów OECD i mniej restrykcyjny dla reszty świata. Rozdzielenie tych dwóch grup wspiera sprawiedliwą transformację energetyczną, bardziej obciążone finansowo zostają kraje, które najdłużej korzystały z energetyki węglowej i miały tym samym największy wkład w globalne skumulowane emisje CO₂.

W Tab 2.4. zaprezentowano scenariusz wycofań elektrowni węglowych zapewniający spełnienie założeń raportu IPCC w zakresie utrzymania globalnego ocieplenia na poziomie 1,5°C. W krajach OECD elektrownie wycofywane są stopniowo w latach 2019–2030 – w 2022 działać będą tylko elektrownie zbudowane po roku 1974 (czyli mające poniżej 48 lat), w 2025 działać będą tylko elektrownie mające 32 lata lub mniej, w 2030 wszystkie zostaną wyłączone. Tempo wycofań w krajach OECD wynosi ok. 47 GW mocy rocznie.

Tab. 2.4. CoalSwarm – Scenariusz wycofań elektrowni węglowych spełniający założenia raportu IPCC.

Rok wycofania	Rok budowy najstarszej działającej elektrowni	
	OECD	Reszta Świata
2018		
2022	1974 ¹⁷	1977
2025	1993 ¹⁸	1993
2030	całkowite wyłączenie	2008
2035		2010
2040		2011
2045		2015
2050		2026

Źródło: CoalSwarm 2018.

16 Global Coal Plant Tracker, Lipiec 2018.

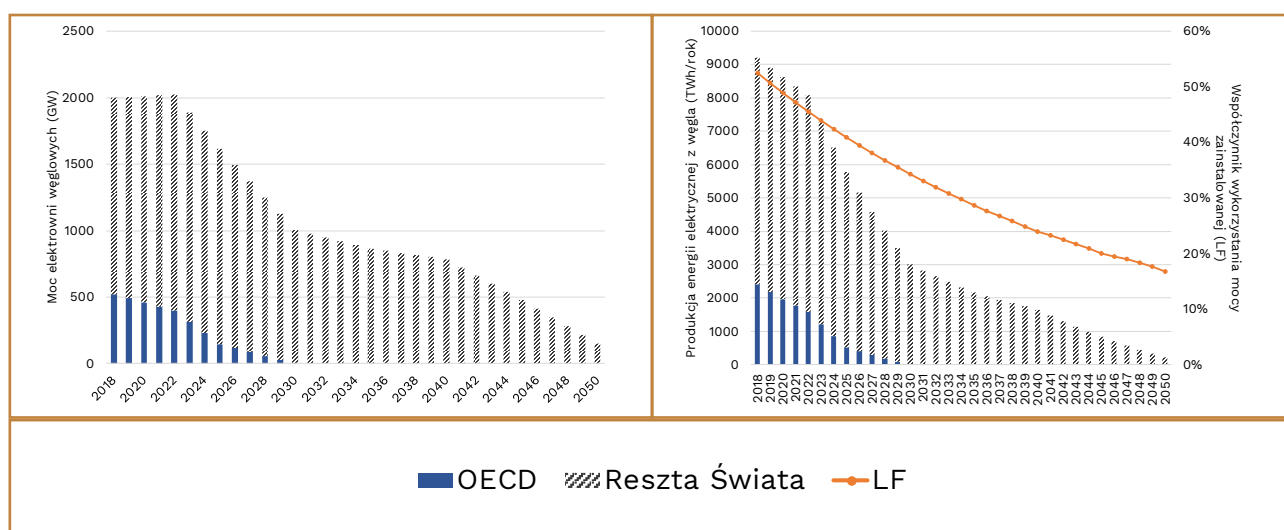
17 1974 – rok uruchomienia Elektrowni Dolna Odra.

18 1993 – rok uruchomienia pierwszych bloków Elektrowni

Jako działanie komplementarne do wycofań, w istniejących blokach węglowych redukowane jest ich obciążenie. Historycznie, współczynnik wykorzystania mocy znamionowej elektrowni węglowych był wysoki, gdyż były one głównym źródłem energii elektrycznej. Z powodu wprowadzania do miksu energetycznego odnawialnych źródeł energii, elektrownie węglowe zaczynają pełnić rolę źródła uzupełniającego / bilansującego, a ich współczynnik wykorzystania spada - między rokiem 2006 a 2016 spadł z 64% do 52%. CoalSwarm zakłada dalsze obniżanie współczynnika wykorzystania o 3,5 pkt. proc. rocznie, z 52,5% w 2018 roku do 16,8% w 2050.

Rezultatem trzech wymienionych rodzajów działań - wstrzymania budowy nowych elektrowni węglowych, wycofania najstarszych bloków węglowych oraz zmniejszenia współczynnika wykorzystania elektrowni węglowych jest autorski scenariusz dekarbonizacji sektora energetycznego zaprezentowany na Rys. 2.12.

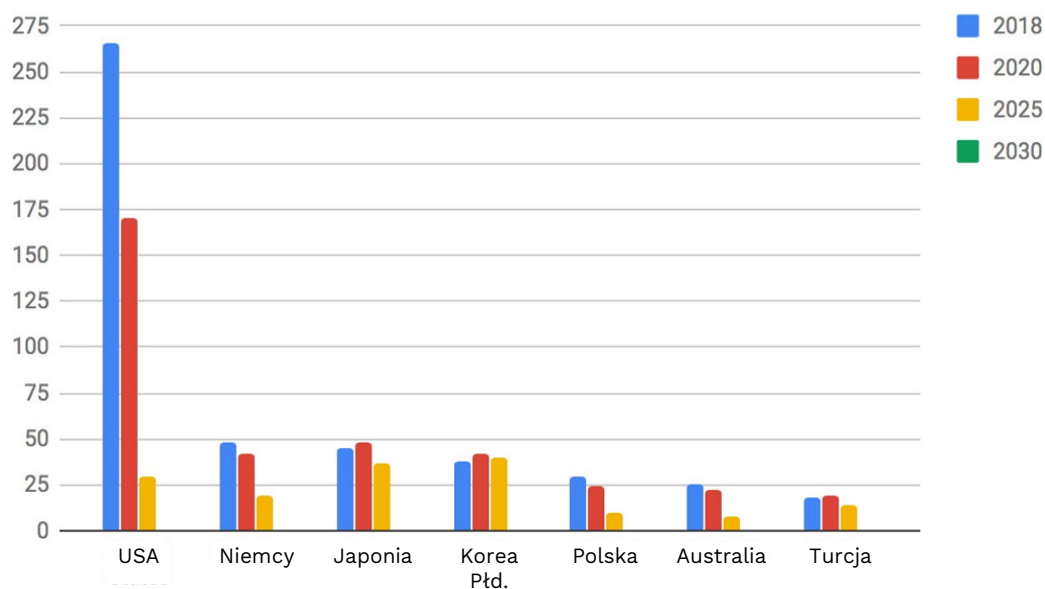
Rys. 2.12. Coal Swarm - Scenariusz dekarbonizacji sektora energetycznego zgodny z raportem IPCC.



Model CoalSwarm jest bardziej restrykcyjny niż szacunki IPCC, w szczególności pod względem wycofań bloków węglowych w krajach OECD. CoalSwarm zakłada redukcję zainstalowanych mocy elektrowni węglowych do zera w roku 2030 i tym samym zatrzymanie generacji energii elektrycznej z węgla w 2030 roku. Dla reszty świata, proces ten następuje do 2050.

Raport CoalSwarm zawiera też projekcje wycofań elektrowni węglowych w poszczególnych krajach OECD, w tym Polski, zaprezentowane na Rys. 2.13. W Polsce następuje gwałtowna redukcja mocy elektrowni węglowych pomiędzy rokiem 2020 a 2025, z ok. 25 GW do 10 GW, a następnie do 0 GW w roku 2030.

Rys. 2.13. CoalSwarm - Całkowita moc elektrowni węglowych (GW) w krajach OECD dla scenariuszy IPCC zgodnych z celem 1,5°C.



Źródło: CoalSwarm 2018.

Raport CoalSwarm proponuje ambitną ścieżkę dekarbonizacji, zgodną z celem ograniczenia globalnego ocieplenia do 1,5°C IPCC. Ścieżka ta zakłada wyłączenie wszystkich elektrowni węglowych w krajach OECD do roku 2030, w tym w Polsce.

3. Polska a Porozumienie Paryskie

3.1. Węgiel jako surowiec energetyczny w polskim miksie energetycznym

Polska jest największym producentem węgla kamiennego w Unii Europejskiej i jedynym krajem UE, który zaspokaja większość krajowych potrzeb wydobyciem własnym. Udział Polski w produkcji węgla kamiennego w UE wyniósł 81% w 2017 roku, czyli o 2 pkt. proc. więcej niż rok wcześniej¹⁹. Przewiduje się, że udział ten będzie rósł z powodu zakończenia wydobycia węgla kamiennego w Niemczech w 2018 roku i problemów finansowych czeskiego producenta węgla OKD.

Węgiel kamienny wydobywany jest w Polsce w prawie 30 kopalniach zlokalizowanych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym oraz Lubelskim Zagłębiu Węglowym, opowiadającym za ok. 90% i ok. 10% rocznego wydobycia. Jego produkcja sukcesywnie spada z poziomu 97,8 mln ton rocznie w 2005 r. do 61,6 w roku 2019²⁰. W 2019 r. elektrownie i elektrociepłownie zawodowe zużyły 34,1 mln ton węgla kamiennego, czyli ok. połowę wartości krajowego wydobycia - za pozostałą połowę odpowiadają gospodarstwa domowe i przemysł²¹.

Niemniej jednak, nowością na polskim rynku jest rosnący import węgla kamiennego z Rosji, za pomocą którego krajowa energetyka uzupełnia braki dostaw od polskich kopalni - w szczególności zainteresowaniem cieszy się węgiel o odpowiednich parametrach (niskim zasiarczeniu). Na przestrzeni lat 2016-2019 za spadkiem krajowego wydobycia z 70,4 do 61,6 mln ton nastąpił wzrost importu z zagranicy z 8,3 do 19,7 mln t -

19 Dane Eurostat.

20 Dane GUS.

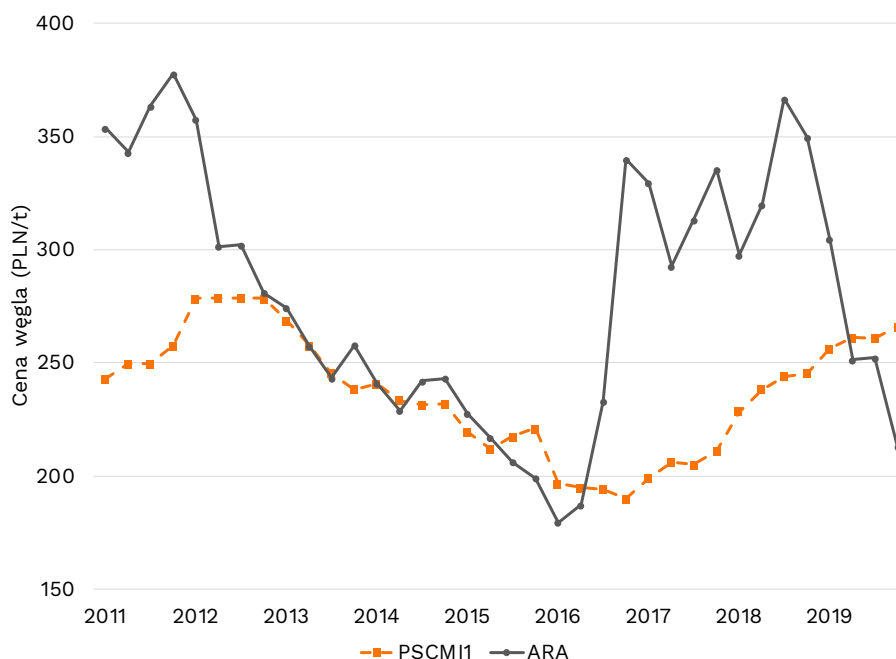
21 Dane Agencji Rynku Energii. Co ważne, Projekt Polityki Energetycznej Polski do roku 2040 (pierwsza wersja z 23.11.2018) zakłada utrzymanie zużycia węgla przez krajową energetykę na poziomie powyżej 30 mln ton rocznie w latach 2020-2038.

22 Dane: ARP Katowice, Rosyjski Urząd Statystyczny (WysokieNapiecie.pl 15.04.2019) oraz Państwowy Instytut Geologiczny. Dane dot. importu węgla tylko za 2018 rok. W okresie styczeń-październik 2019 import węgla kamiennego ogółem wyniósł 14,1 mln ton w porównaniu do 16,2 mln t w porównywalnym okresie rok wcześniej.

z czego z samej Rosji z ok. 5,2 do ponad 13,3 mln²².

Górnictwo węgla kamiennego jest, mimo wysiłków organizacyjnych i postępującej restrukturyzacji, sektorem stale nierentownym – wymaga dużych nakładów publicznych oraz prywatnych, które regularnie potrzebne są do uratowania płynności finansowej spółek wydobywczych w obliczu rosnącej rynkowej presji na ceny i jakość dostaw. Obrazem nieefektywności polskiego sektora wydobycia węgla jest różnica między ceną surowca na rynku polskim i na rynkach światowych – Rys. 3.1.

Rys. 3.1. Ceny węgla w Polsce (PSCMI1) i na świecie (ARA) wyrażone w PLN/tonę.



Źródło: opracowanie własne na podstawie ARP Katowice oraz NYSE.

Pierwsze, krajowe ceny mierzone są na podstawie Polskiego Indeksu Rynku Węgla Energetycznego 1 w sprzedaży do energetyki zawodowej i przemysłowej (PSCMI1)²³. Jak pokazano na Rys. 3.1., od roku 2017 ceny węgla w Polsce systematycznie rosną, osiągnąwszy w drugim kwartale 2019 cenę 261 PLN/t. Globalne ceny węgla mierzone są indeksem ARA (bazującym na cenach kontraktów futures w portach Amsterdam-Rotterdam-Antwerpia²⁴). Indeks ARA od drugiej połowy roku 2018 spada, zamykając drugi kwartał 2019 r. na poziomie 65,9 USD/t, czyli 251 PLN/t.

W latach 2012-2016 ceny węgla w Polsce były ściśle powiązane z indeksem ARA, od 2016 korelacja ta nie występuje, a od 2018 roku trend na rynkach globalnych jest odwrotny do trendu na rynku polskim. Co więcej, ceny węgla dla drugiego kwartału 2019 r. były na rynku globalnym niższe niż na rynku polskim (uwzględniając aktualny kurs USD/PLN).

23 ARP Katowice.

24 NYSE, CIF ARA futures.

Wysokie koszty wydobycia węgla w Polsce wywierają presję nie tylko na właścicieli polskich kopalń, ale także na krajowych elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych, których zdecydowana część stała się po dokapitalizowaniu PGG w 2016 r. współwłaścicielami. Elektrownie operowane przez spółki skarbu państwa z powodów historycznych i politycznych zobowiązane są do korzystania w pierwszej kolejności z surowca krajowego. W związku z rosnącą różnicą pomiędzy cenami węgla krajowego (Polska Grupa Górnicza, Bogdanka) a importowanego ze wschodu (Rosja, Kazachstan) lub notowanymi na giełdach światowych (ARA), presja na zakup surowca z zagranicy rośnie. Jednak w takiej sytuacji, uzyskiwanie niższych cen nabycia surowca przez tzw. państwową energetykę zawodową wiąże się z obniżaniem szans na uzyskanie pozytywnego wyniku finansowego przez PGG i koniecznością jej ponownego dokapitalizowania.

3.2. Polska a Porozumienie Paryskie

Polska jako członek UE jest sygnatariuszem Porozumienia Paryskiego i zobowiązała się do podjęcia wysiłków w celu redukcji emisji CO₂ i ograniczenia globalnego ocieplenia. Działania te wiążą się z gwałtowną redukcją emisji z sektora energetycznego i, tym samym, stopniowym odejściem od energetyki węglowej. Ochrona długoterminowych interesów państwowych spółek wydobywczych stoi więc w sprzeczności z deklaracjami zawartymi w Porozumieniu Paryskim.

W nawiązaniu do ustaleń Porozumienia Paryskiego, państwa Unii Europejskiej zadeklarowały redukcję emisji gazów cieplarnianych o 40% do 2030 r. w stosunku do roku 1990²⁵. Jak wspomniano wyżej na podstawie analizy IPCC, poziom redukcji nie jest wystarczający dla osiągnięcia celów Porozumienia Paryskiego, czyli ograniczenia globalnego ocieplenia do 1,5°C.

Mimo tego, cel założony przez Wspólnotę jest znacząco bardziej ambitny niż zaproponowany przez Polskę *Krajowym planie na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030*²⁶(KPEiK). Każde z państw członkowskich UE zobowiązane jest określić swoją politykę energetyczną nie tylko na cele wewnętrzne (do tego służy PEP2040²⁷), ale także na cele wspólnotowego definiowania zobowiązań do redukcji emisji. W KPEiK zakłada się redukcję udziału węgla w produkcji energii elektrycznej z obecnych 77% do 60% do 2030 r. i tym samym redukcję emisji gazów cieplarnianych w sektorze

25 Intended Nationally Determined Contribution of the EU and its Member States.

26 Ministerstwo Aktywów Państwowych, Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 przekazany do KE, 30.12.2019., <http://bit.ly/Plan2021-2030>

27 Ministerstwo Energii, Zaktualizowany projekt Polityki energetycznej Polski do 2040 r., 08.11.2019. <http://bit.ly/Politykaenergetyczna2040>

wytwarzania energii o 7% pomiędzy rokiem 2010 a 2030²⁸. **Wiąże się to ze spadkiem zużycia węgla w energetyce o 12% do 2030 r. i o 56% do 2040 r. (względem 2010 r.).**

Aby oszacować polskie ścieżki redukcji emisji zgodne z założeniami Porozumienia Paryskiego, proponujemy model bazujący na scenariuszu IEA ETP B2DS opisanym w rozdziale 2.2.1. Model i scenariusz wybrano na podstawie analizy zawartej w raporcie Climate Analytics (2018) – w przypadku krajów UE, scenariusz ten możliwie precyzyjnie przybliża ścieżki 1,5°C z raportu IPCC.

Na bazie ścieżki wycofania energetyki węglowej ujętej w IEA ETP B2DS dokonano ekstrapolacji z poziomu UE do poziomu Polski. W tym celu, obliczono udział Polski w sumie: (1) zużycia paliw stałych w energii pierwotnej, (2) wytwarzania energii elektrycznej z węgla, (3) zainstalowanej mocy elektrowni węglowych i (4) emisji CO₂ z sektora energetycznego dla wszystkich krajów UE. Założenia te zamieszczono w Tab. 3.1.

Tab. 3.1. Udział Polski w sektorze wytwarzania energii w UE w 2017 r.

Wskaźnik	UE	PL	Udział Polski w UE
Zużycie paliw stałych w energii pierwotnej (Mtoe/rok)	228,4	49,7	22%
Produkcja energii elektrycznej z węgla (TWh)	659,5	131,2	20%
Zainstalowana moc elektrowni węglowych (GW)	161,3	30,2	19%
Emisje CO ₂ z sektora wytwarzania energii (Mt CO ₂)	996,4	155,5	16%
PKB (mld 2010 EUR)	14 211,2	453,6	3%
Populacja w 2017 r. (mln)	511,4	38,0	7%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostat, ARE, EBC – Power Plant Database. Rok 2017 jest ostatnim dostępnym w momencie opracowania tego raportu w danych IEA oraz Eurostat.

Polska jako kraj z najwyższym udziałem węgla w miksie energetycznym w UE odpowiadała w 2017 r. za 20% energii elektrycznej wytworzonej z węgla i 16% emisji gazów cieplarnianych. Jednocześnie, miała jedynie 3-procentowy udział w PKB i 7-procentowy udział w populacji UE. Polska gospodarka ma tym samym jeden z najwyższych we Wspólnocie wskaźników emisji per jednostkę wytworzonego PKB (w tonach równoważnika CO₂/mld EUR 2010).

28 Załącznik 1 do KPEiK: Obecna sytuacja i prognozy przy istniejących politykach i środkach, Tab. 24.

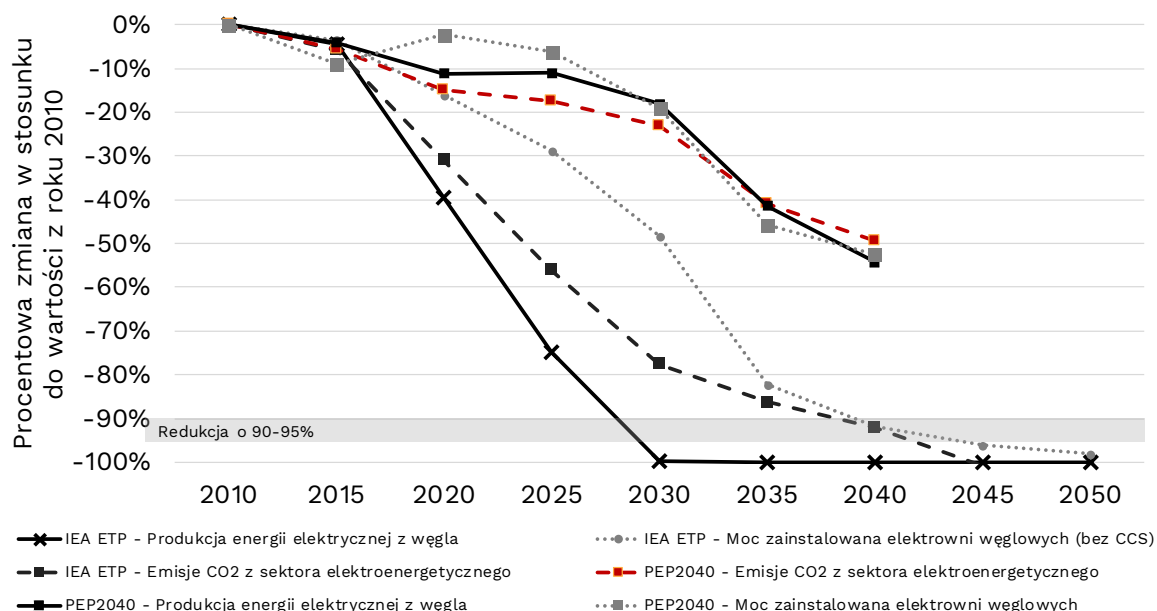
Utrzymujący się do dziś wysoki udział węgla w miksie powoduje **konieczność podjęcia specjalnych wysiłków w celu dekarbonizacji sektora energetycznego**.

Na podstawie wartości przedstawionych w Tab 3.1. obliczono scenariusze dekarbonizacji polskiego sektora energetycznego w podziale na wymienione wskaźniki:

- zużycie paliw stałych w energii pierwotnej,
- produkcja energii elektrycznej z węgla,
- zainstalowana moc elektrowni węglowych,
- emisje CO₂ z sektora wytwarzania energii.

Ścieżki IEA ETP B2DS dla Unii Europejskiej dla poszczególnych wskaźników (dla lat 2020-2060) przemnożono przez odpowiadające im wartości zamieszczone w Tabeli 3.1. w ostatniej kolumnie. Dla roku 2010 i 2015 użyto wartości historycznych. Następnie, uzyskane wartości bezwzględne przeliczono na procentową redukcję w stosunku do wartości bazowej w roku 2010. Wyniki ekstrapolacji przedstawiono na Rys. 3.2. z uwzględnieniem projekcji zawartych w PEP2040.

Rys. 3.2. Scenariusz dekarbonizacji sektora elektroenergetycznego w Polsce na podstawie ekstrapolacji modelu B2DS dla UE (IEA ETP 2017).



Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA ETP 2017.

Zgodnie z wynikami ekstrapolacji, produkcja energii elektrycznej z węgla w Polsce spada gwałtownie od roku 2015, w 2025 o 75% w stosunku do wartości z 2010. **W roku 2030, produkcja energii elektrycznej z węgla jest wstrzymywana całkowicie.** Wraz ze zmniejszaniem udziału węgla w produkcji energii elektrycznej, maleje również zainstalowana moc elektrowni węglowych – wartości bliskie zeru osiągnęte są ok. roku 2040. Warto zauważyć, że spadek mocy zainstalowanej jest wolniejszy niż w przypadku produkcji, część elektrowni węglowych pracuje bowiem z malejącym obciążeniem lub zostaje w systemie jako jednostki rezerwowe bądź elektrociepłownie. Zużycie paliw kopalnych (w tym gazu) w wytwarzaniu energii pierwotnej również maleje w szybkim tempie – między rokiem 2035 a 2040 są one eliminowane niemal zupełnie (redukcja o ponad 90%).

Spadek udziału węgla w wytwarzaniu energii przekłada się na redukcję emisji CO₂ z sektora energetycznego. Całkowita dekarbonizacja polskiego sektora energetycznego osiągnęta jest pomiędzy rokiem 2035 a 2040.

Już w 2025 roku wartość wytwarzanej energii elektrycznej z węgla musiałaby osiągnąć 34,3 TWh, czyli około trzykrotnie mniej, niż przewiduje się w KPEiK oraz projekcie PEP2040 na dany moment. To również wartość porównywalna z roczną produkcją energii elektrycznej z Elektrowni Bełchatów.

Wyniki ekstrapolacji pokazują więc, że Polska musi podjąć błyskawiczne działania na rzecz wyłączenia węgla z produkcji energii i dekarbonizacji innych sektorów gospodarki, aby być w zgodzie z deklaracjami zawartymi w Porozumieniu Paryskim i osiągnąć cel ograniczenia globalnego ocieplenia do 1,5°C.

4. Podsumowanie

Analiza raportów wiodących instytucji badawczych wskazuje na konieczność szybkiej dekarbonizacji globalnego sektora energetycznego aby spełnić cele Porozumienia Paryskiego i ograniczyć katastrofalne skutki zmian klimatu wynikające z nadmiernej emisji gazów cieplarnianych. W ujęciu globalnym, zużycie węgla w produkcji energii elektrycznej musi zostać zatrzymane w latach 2035-2040 aby utrzymać ocieplenie na poziomie około 1,5°C. W Unii Europejskiej, transformacja ta musi dokonać się znacząco szybciej, w szczególności z powodu wieku i stanu technicznego infrastruktury energetycznej. Zgodnie ze scenariuszami IPCC, IEA, Climate Analytics i CoalSwarm, graniczną datą odejścia od wytwarzania energii elektrycznej z węgla jest w Unii Europejskiej rok 2030.

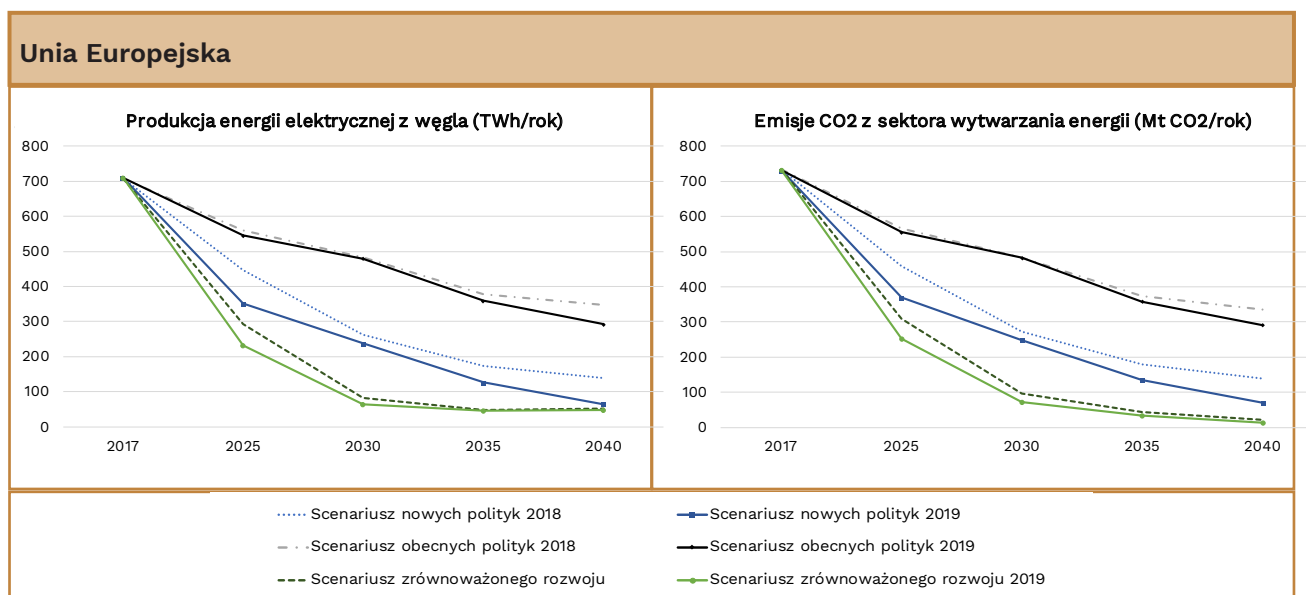
Cele redukcji emisji gazów cieplarnianych dotyczą także Polski, która jako członek UE jest sygnatariuszem Porozumienia Paryskiego. Dokonana przez nas ekstrapolacja modelu IEA ETP B2DS pokazuje, że produkcja energii elektrycznej z węgla musi w Polsce zakończyć się w roku 2030, a emisje CO₂ z sektora energetycznego muszą zmniejszyć się do zera w latach 2035-3040. Wnioski te potwierdzają wyniki analiz Climate Analytics i CoalSwarm przeprowadzonych dla Polski.

5. Aneks A. IEA WEO 2019

W listopadzie 2019 Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) wydała kolejną wersję raportu *World Energy Outlook* ze zaktualizowanymi prognozami na lata 2025 – 2040. Konstrukcja scenariuszy pozostała taka sama jak w WEO2018, wyniki są jednak nieco bardziej progresywne (Rys. A.1). W porównaniu do WEO 2018, WEO 2019 przewiduje znacząco szybsze zmniejszanie produkcji energii elektrycznej z węgla w okresie 2020 – 2025, w szczególności w **Scenariuszu nowych polityk**, w którym wartość dla 2040 roku zrównuje się ze **Scenariuszem zrównoważonego rozwoju**. Jednocześnie, w **Scenariuszu zrównoważonego rozwoju** odejście od węgla w produkcji energii elektrycznej (redukcja o ponad 90% w porównaniu do wartości z 2017 r.) następuje nieco wcześniej niż w WEO 2018 – w roku 2029.

Podobnie zmieniły się emisje CO₂ – w WEO 2019 ich redukcja jest szybsza niż w WEO 2018 dla wszystkich trzech scenariuszy, a wartości dla 2040 r. znacząco niższe dla **Scenariuszy nowych i obecnych polityk** (zmiana o ponad 20% w stosunku do WEO 2018).

Rys. A.1. Porównanie scenariuszy dekarbonizacji IEA WEO 2018 i 2019 dla krajów UE.



6. Podsumowanie zarządcze

Naukowcy wskazują, że Polska powinna odejść od spalania węgla w energetyce najpóźniej do 2030 roku. By sprostać granicznej dacie 2030 roku, tempo dekarbonizacji w polskiej energetyce, która nadal bazuje na węglu, powinno być szybsze niż w innych krajach europejskich.

Kluczowe wnioski:

1. By realizować postanowienia Porozumienia Paryskiego i przeciwdziałać katastrofie klimatycznej, konieczne jest odejście od spalania węgla w Unii Europejskiej, w tym także w Polsce najpóźniej do 2030 roku. Rok 2030 jest przy tym ostrożnym szacunkiem.
2. Wskazana graniczna data odejścia Polski od węgla wynika z opracowań i analiz naukowych renomowanych instytucji jak m.in. Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC), Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) oraz Climate Analytics.
3. Ponieważ Polska ma najwyższy w UE, 75-procentowy udział węgla w miksie energetycznym, tempo dekarbonizacji polskiego sektora elektroenergetycznego powinno być szybsze niż pozostałych krajów europejskich.

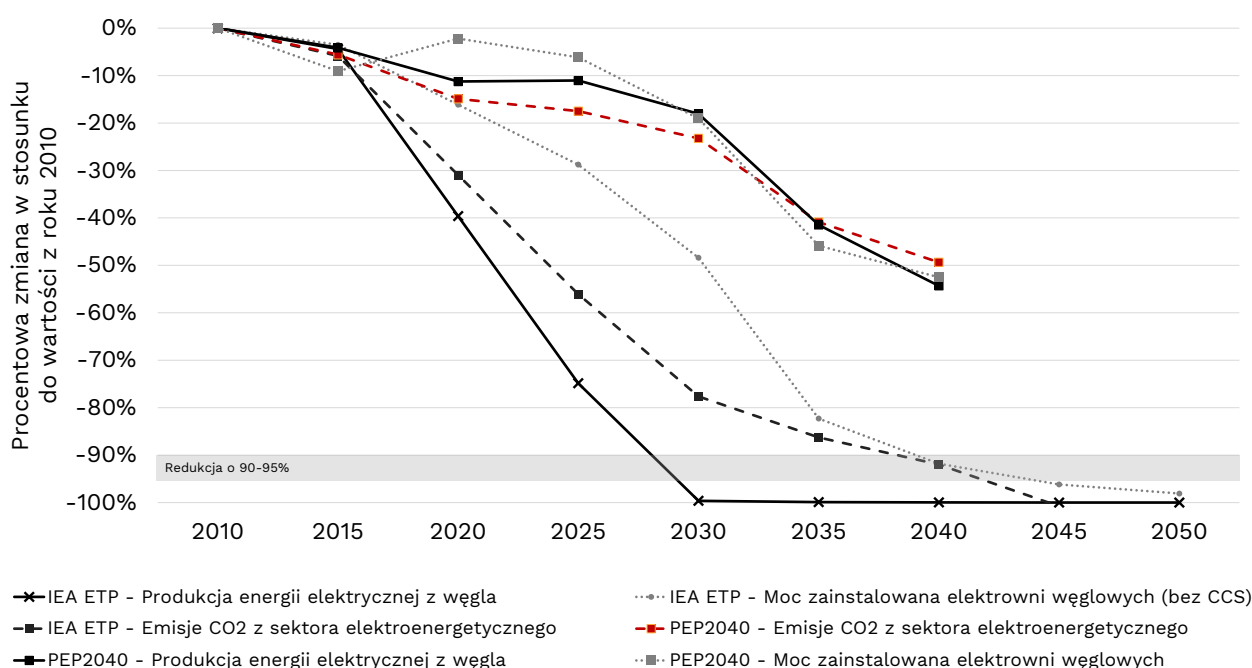
Sprawdziliśmy, ile czasu mają kraje OECD i Unii Europejskiej, w tym Polska, by odejść od spalania węgla w energetyce i pozostać możliwie blisko realizacji postanowień Porozumienia Paryskiego, w tym jego kluczowego wymogu – ograniczenia wzrostu temperatury globu poniżej 1,5 °Celsiusza względem epoki przedprzemysłowej.

Przeprowadzona analiza polegała na dokonaniu przeglądu najważniejszej literatury naukowej przedstawiającej modele i scenariusze klimatyczno-energetyczne, a także płynących z nich wniosków. Szczególną uwagę poświęcono scenariuszom, które zawierały modelowanie na poziomie uwzględniającym Polskę (kraje OECD, Unia Europejska) oraz scenariuszom prowadzącym do spełnienia postanowień Porozumienia Paryskiego. Jej głównym celem było ustalenie granicznej daty dekarbonizacji energetyki, czyli odejścia od spalania węgla kamiennego i brunatnego w celu produkcji prądu.

Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują, iż scenariusze najbliższe realizacji postanowień Porozumienia Paryskiego, oznaczają konieczność odejścia od spalania węgla w energetyce do 2030 roku w krajach Unii Europejskiej i OECD, w tym także w Polsce. Rok 2030 jako graniczna data odejścia od węgla wynika w szczególności z analizy opracowań oraz baz danych renomowanych instytucji i grup badawczych jak Międzypaństwowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC), Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) oraz think-tank Climate Analytics.

Obecnie kluczowym dokumentem wyznaczającym globalne kierunki przeciwdziałania kryzysowi klimatycznemu jest specjalny Raport IPCC pt. *Global warming of 1.5°C* z października 2018 roku. Jak wynika z analizy raportu, w grupie scenariuszy ograniczających ocieplenie globu do poziomu 1,5°C zakłada się praktycznie całkowite zakończenie produkcji energii elektrycznej z węgla w krajach OECD i Unii Europejskiej do roku 2025, a w grupie scenariuszy 1,5°C z małym przekroczeniem - do roku 2030. Są to grupy scenariuszy najbardziej zbieżne z postanowieniami Porozumienia Paryskiego. Wynika stąd, iż również Polska powinna odejść od spalania węgla w energetyce najpóźniej do 2030 roku. Tymczasem zaktualizowany projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku wskazuje, iż ponad 56 proc. energii elektrycznej wyprodukowanej w 2030 roku będzie wciąż pochodzić z węgla. Brak ambicji wynikający z tego scenariusza oraz rozbieżność z prognozami IEA pokazuje poniższy wykres.

Wykres. Porównanie scenariuszy dla sektora elektroenergetycznego wynikających z IEA Energy Technology Perspectives 2017 - B2DS oraz Polityki Energetycznej Polski 2040.



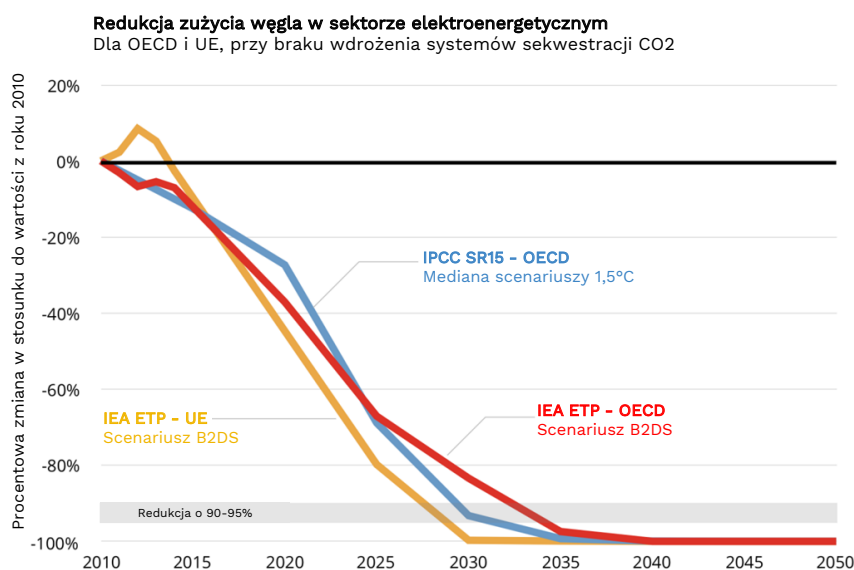
Źródło: opracowanie własne na podstawie IEA ETP 2017 i PEP2040

O podobnym, równie szybkim i niezbędnym tempie dekarbonizacji świadczą opracowania Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) – powszechnie uznawanej za mocno konserwatywną w swoich szacunkach.

Zgodnie z wydanym w 2017 roku raportem Energy Technology Perspectives (ETP), w najbardziej ambitnym scenariuszu, czyli zakładającym ocieplenie poniżej 2°C (*Beyond 2°C Scenario*, w skrócie B2DS), a więc – jednak nie spełniającym w pełni ambicji Porozumienia Paryskiego – produkcja prądu z węgla w krajach Unii Europejskiej, a więc również w Polsce, kończy się w 2030 roku. Scenariusz B2DS zakłada nie tylko eliminację węgla z energetyki w Unii Europejskiej do roku 2030, ale także niemalże całkowite wycofanie paliw kopalnych z produkcji energii elektrycznej w latach 2035–2040 i zastąpienie ich odnawialnymi źródłami energii: energią wiatrową, słoneczną i geotermalną.

Do podobnych wniosków oraz końca roku 2030 jako granicznej daty odejścia krajów Unii Europejskiej i Polski od spalania węgla również doszedł zespół analityczny Climate Analytics. Konkluzje swoich analiz organizacja przedstawiła w wielu raportach, wykorzystując do modelowania dane i prognozy IPCC oraz IEA, a także własny model analityczny. Climate Analytics zbadał w szczególności scenariusz B2DS pochodzący od Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) pod kątem osiągniętej wartości ocieplenia za pomocą metod modelowania zastosowanych w raporcie IPCC. Wyniki analiz wskazują, że zastosowanie ścieżek dekarbonizacji z modelu B2DS skutkuje stabilizacją wzrostu temperatury globu na poziomie 1,6°C po 2060 roku. Przy takich założeniach, scenariusz B2DS jest dobrym przybliżeniem scenariuszy IPCC 1,5°C.

Wykres. Redukcja zużycia węgla w sektorze elektroenergetycznym dla regionu OECD&UE.



Źródło: Climate Analytics. Wersja bez wdrożenia systemu CCS.

Biorąc pod uwagę fakt, iż:

- analiza Climate Analytics, bazująca na konserwatywnych założeniach modelowania IEA ETP 2017 dla scenariusza B2DS i założeniach IPCC, wskazuje na rok 2030 jako datę odejścia od węgla dla Unii Europejskiej, a więc datę o 5 lat wcześniejszą niż dla krajów OECD w tym scenariuszu,
- ten sam rok 2030 jest rokiem odejścia od węgla dla scenariuszy 1.5°C dla krajów OECD na bazie raportu IPCC

można uznać, że szacunek wskazujący na rok 2030 dla Unii Europejskiej jest estymacją konserwatywną. Graniczna data odejścia krajów Unii Europejskiej od węgla w energetyce może zatem być nawet wcześniejsza niż 2030.

Mając na uwadze rok 2030 jako graniczny dla odejścia od spalania węgla w elektroenergetyce w Unii Europejskiej, a także fakt, iż obecnie Polska generuje 75 proc. prądu z węgla (2019), tempo dekarbonizacji Polski powinno być szybsze niż pozostałych krajów. Tylko wówczas Polska – jako strona Porozumienia Paryskiego – nie pozostanie w tyle za Europą i będzie mieć swój solidarny wkład w walkę z kryzysem klimatycznym.

