



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE  
AGH UNIVERSITY OF SCIENCE  
AND TECHNOLOGY

# ŚCIEŻKI TRANSFORMACJI POLSKIEJ ENERGETYKI

W. Suwała, A. Wyrwa, S. Tokarski



10 listopada 2022

# PLAN

- Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji
- Narzędzia formowania ścieżek
- Scenariusze transformacji
- Perspektywy transformacji



# Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji

## DOKUMENTY

- Green Deal
- Repower EU
- Fit for 55
- PEP 2040



# Uwarunkowania formowanie ścieżek transformacji

## RAPORTY

- PEP 2040 - Wnioski z analiz prognostycznych dla sektora energetycznego,
- Neutralna emisyjnie Polska 2050; McKinsey, 06 2020
- Mapa Drogowa Osiągnięcia Wspólnotowych Celów Polityki Klimatycznej dla Polski do 2050 r; CAKE – KOBIZE 06 2021
- Wpływ pakietu Fit for 55 na polską gospodarkę; Bank Pekao, 12 2021
- Pluta M. Modelowanie rozwoju krajowego systemu energetycznego z uwzględnieniem ograniczeń środowiskowych, 10 2022
- Polska ścieżka transformacji energetycznej, Polski Komitet Energii Elektrycznej, Warszawa, 10 2022
- Projekt planu rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2023-2032; PSE, 06 2022



# Uwarunkowania formowanie ścieżek transformacji

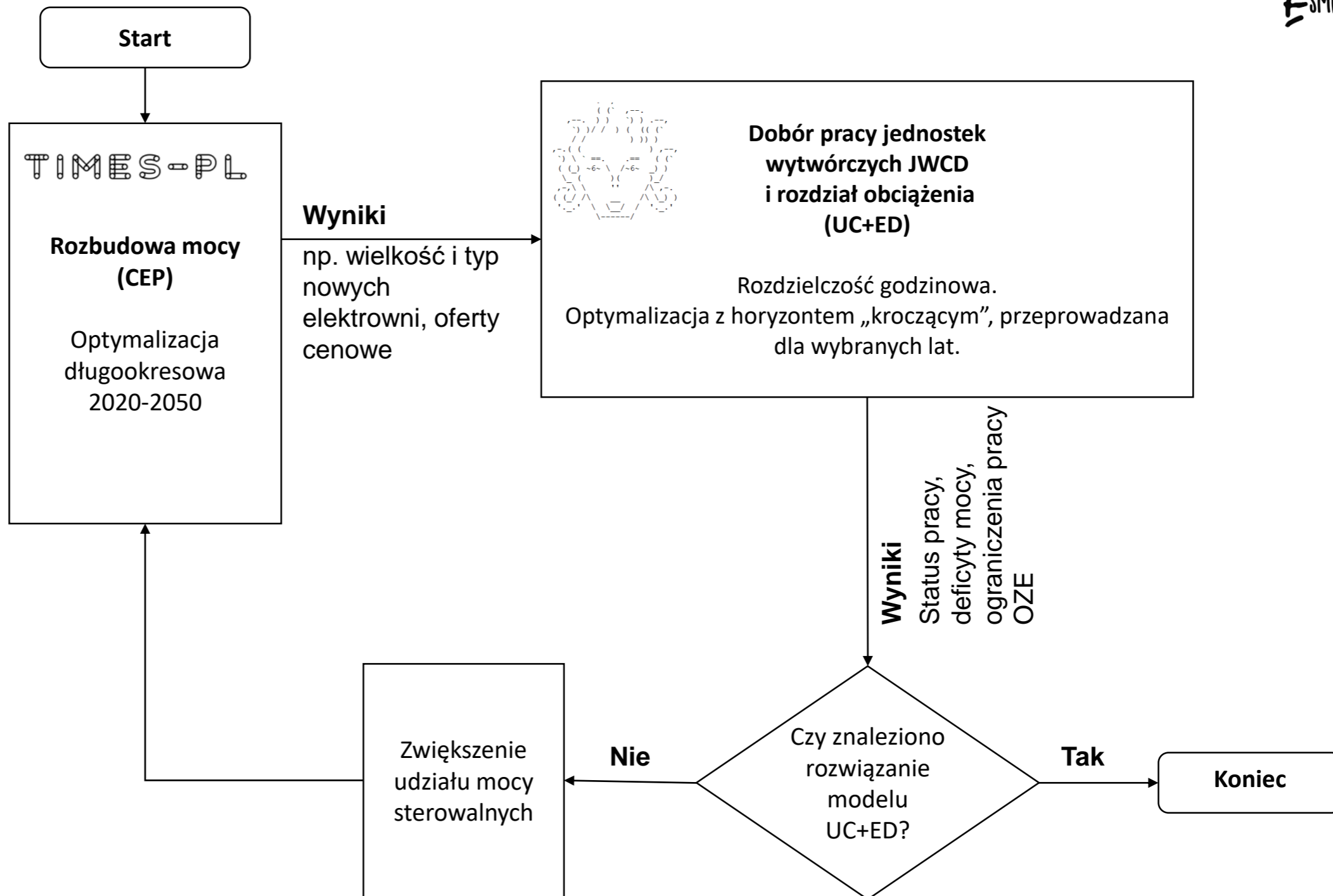
# RAPORTY

World Energy Outlook 2022; IEA, 10 2022

EU Reference Scenario 2020. Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050; 07 2021

## Cele badania

- Połączenie metod planowania długo- i krótko-okresowego w celu zaprojektowania możliwych ścieżek transformacji KSE
- Analiza scenariuszowa możliwości osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 r.





# Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji

## CELE

- Dekarbonizacja – 95% emisji GHG w 2050
- 55% w roku 2030 r. zgodnie z FIT55? (raczej 2040 r.)



# Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji

## SCENARIUSZE podstawowe założenia

- Dekarbonizacja 2050 (95% redukcji)
- Utrzymanie istniejących mocy węglowych według planów wycofań
- Narzucone, minimalne progi wykorzystania OZE
- Różne założenia o dostępności i akceptacji społecznej nowych technologii

# Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji

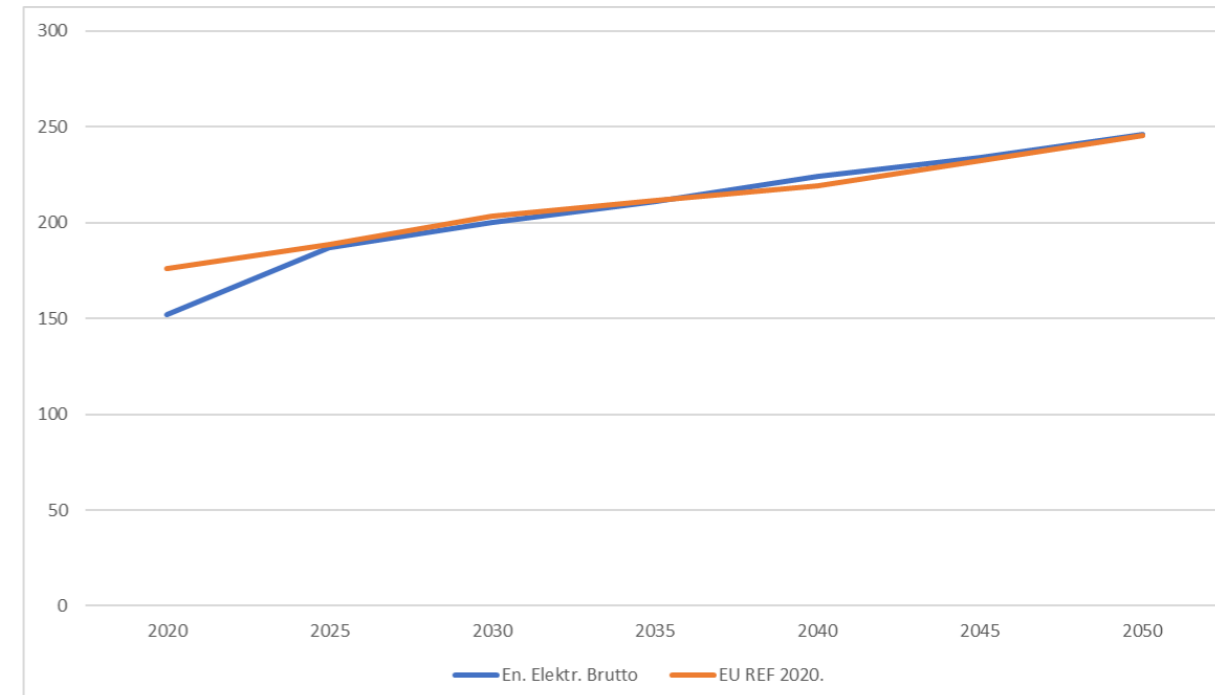
## SCENARIUSZE

Scenariusz	Redukcja emisji CO <sub>2</sub> 2050	Udział energii z OZE 2050	Technologie energetyki jądrowej	Technologie z systemem CCS
NUC	≥ 95%	≥ 40%	TAK	NIE
CCS	≥ 95%	≥ 40%	NIE	TAK
OZE+GAZ	≥ 95%	≥ 40%	NIE	NIE
DIV	-	-	TAK	TAK

# Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji

## SCENARIUSZE – zapotrzebowanie na energię elektryczną TWh

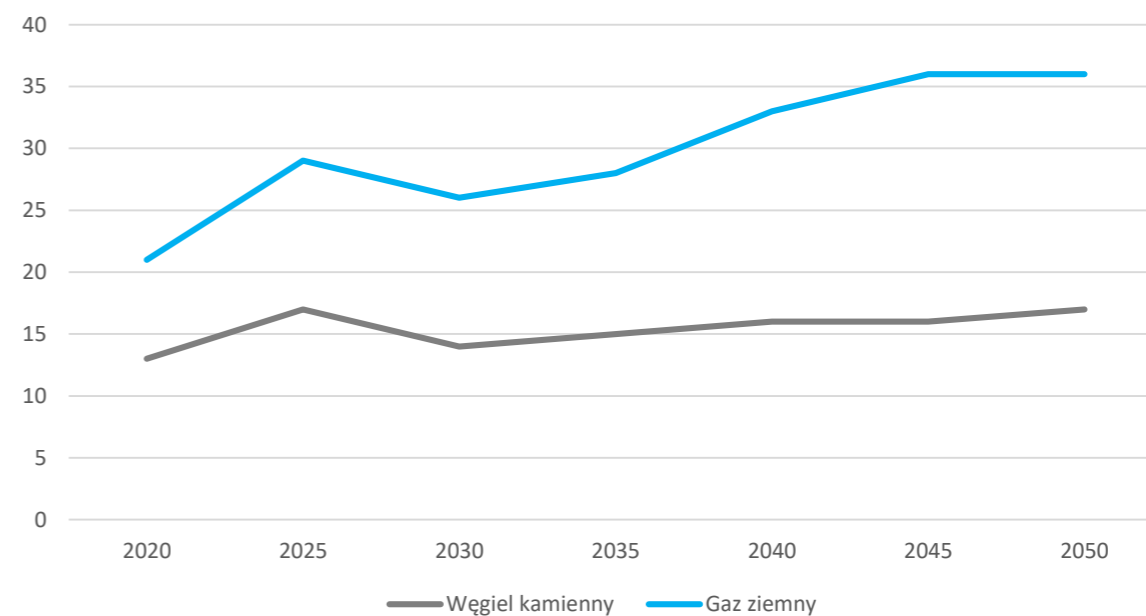
TWh/rok	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
En. el. brutto	152	187	200	211	224	234	246
EU REF 2020	176	188	203	212	219	232	245



# Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji

## SCENARIUSZE – ceny paliw [zł/GJ]

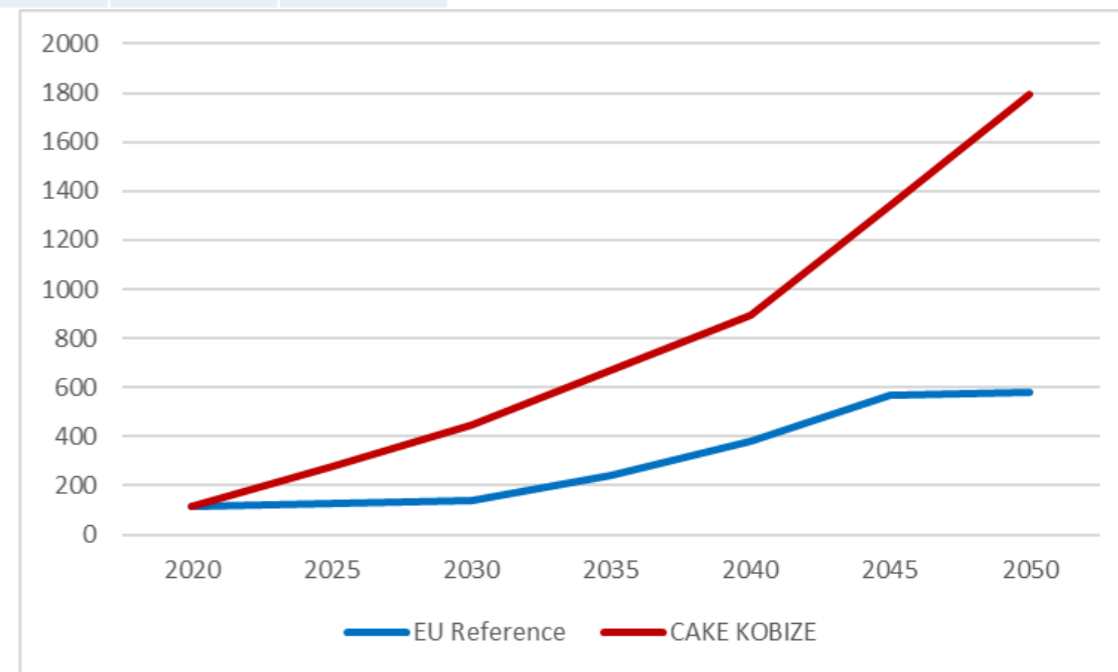
PLN 2020/GJ	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Węgiel kamienny energetyczny	13	17	14	15	16	16	17
Gaz ziemny	21	29	26	28	33	36	36



# Uwarunkowania formowania ścieżek transformacji

## SCENARIUSZE – ceny EUA [zł]

PLN 2020/t CO <sub>2</sub>	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EU Reference	112	125	140	240	380	570	580
CAKE KOBIZE	112	280	448	672	896	1344	1792



## Skumulowana maksymalna moc osiągalna netto w nowych jednostkach wytwórczych [GW]

Rodzaj technologii	Rok	Scenariusz			
		NUC	CCS	OZE+GAZ	DIV
Wiatrowa na lądzie	2030	4,2	4,2	4,2	4,2
	2040	10	10	10	10
	<b>2050</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>28</b>	<b>28</b>
Wiatrowa na morzu	2030	6	6	6	6
	2040	10	10	10	10
	<b>2050</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Ogniwa fotowoltaiczne	2030	11	11	11	11
	2040	17,5	17,5	22	22
	<b>2050</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>33</b>	<b>33</b>

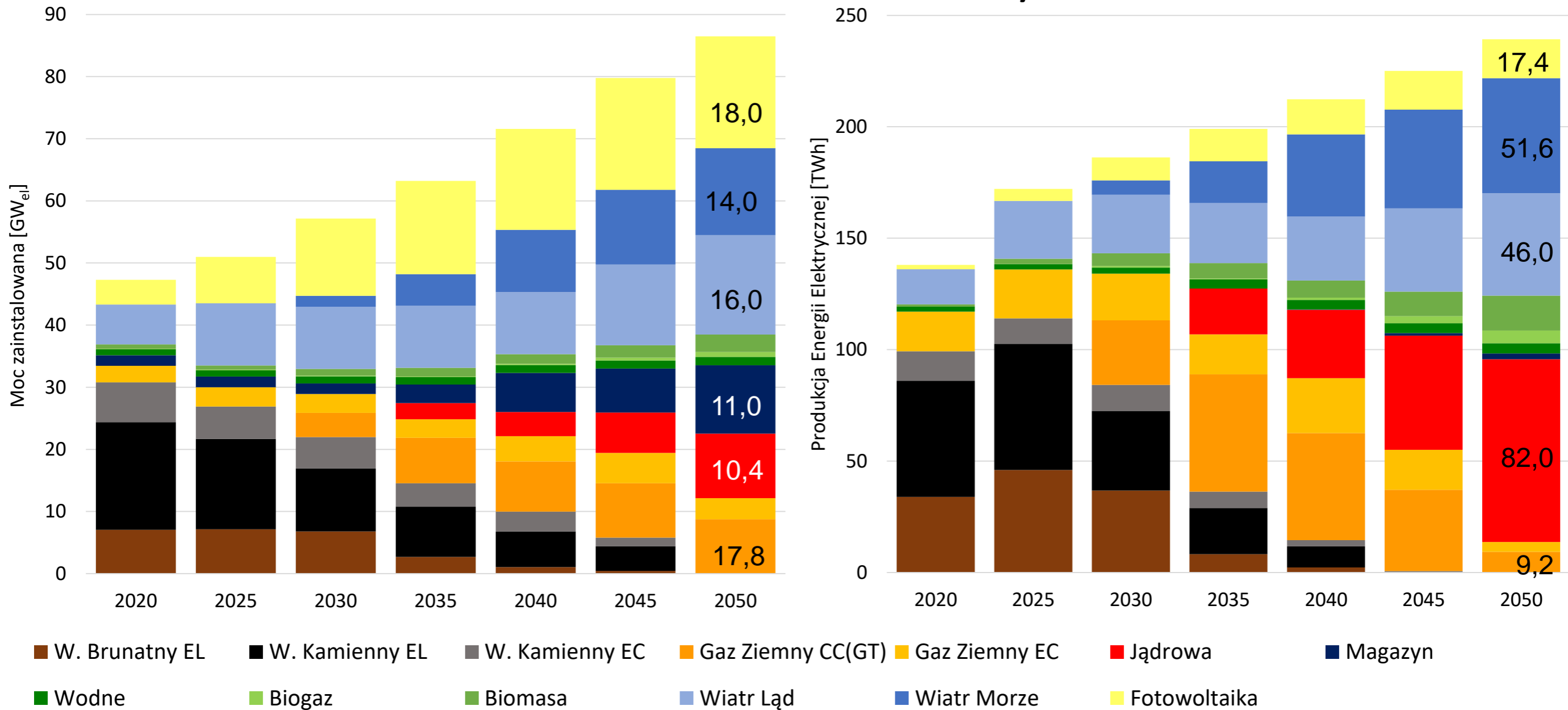
# WYNIKI

- Moce i produkcja energii elektrycznej w scenariuszach
- Emisje dwutlenku węgla
- Koszty produkcji energii elektrycznej



# MOCE I PRODUKCJA

## Scenariusz NUC, ceny EUA niskie

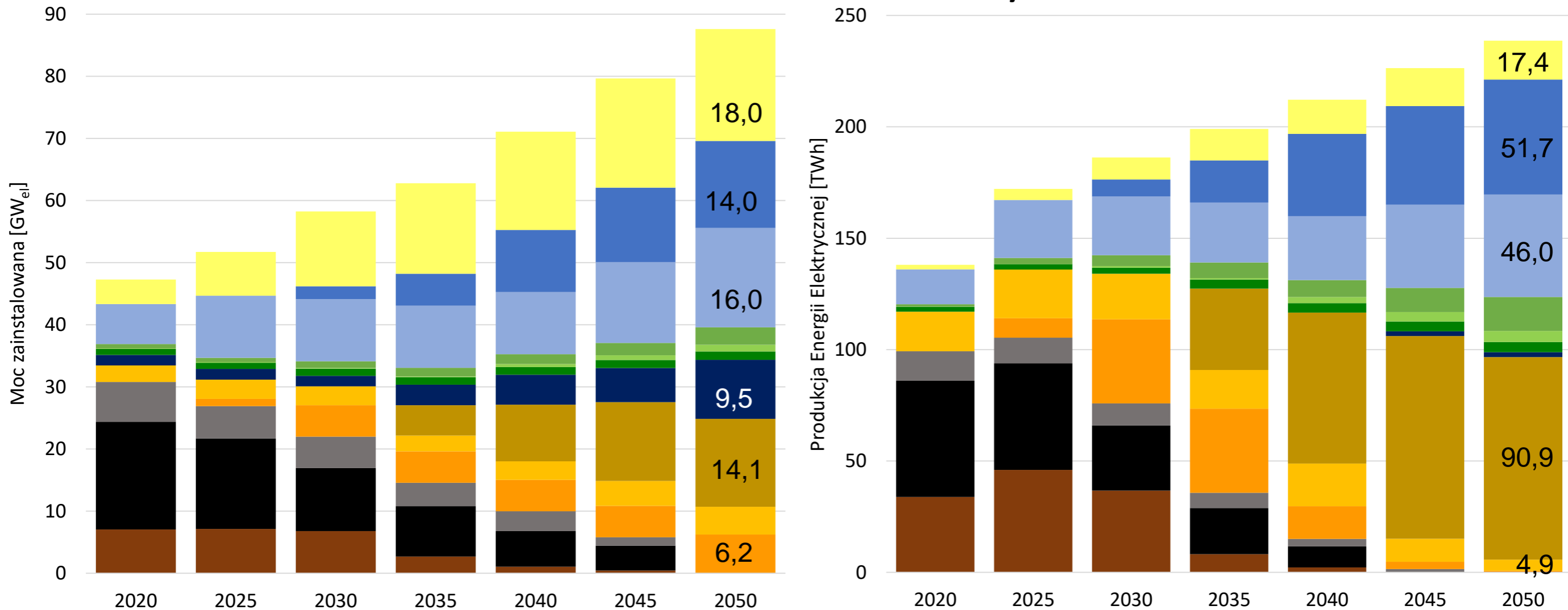






# MOCE I PRODUKCJA

## Scenariusz CCS, ceny EUA niskie

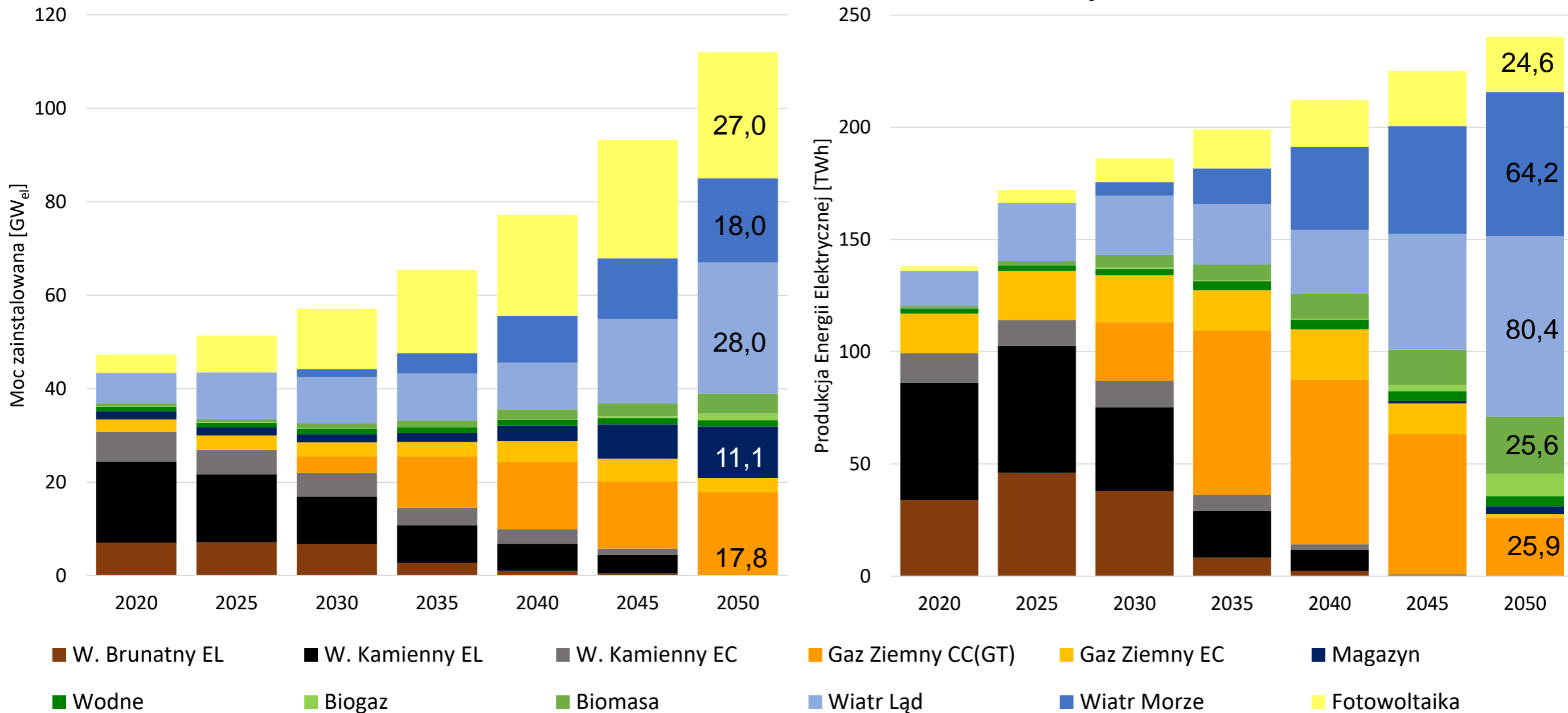


- W. Brunatny EL
- W. Kamienny EL
- W. Kamienny EC
- Gaz Ziemi CC(GT)
- Gaz Ziemi EC
- Gaz Ziemi CCS
- Magazyn
- Wodne
- Biogaz
- Biomasa
- Wiatr Ląd
- Wiatr Morze
- Fotowoltaika



# MOCE I PRODUKCJA

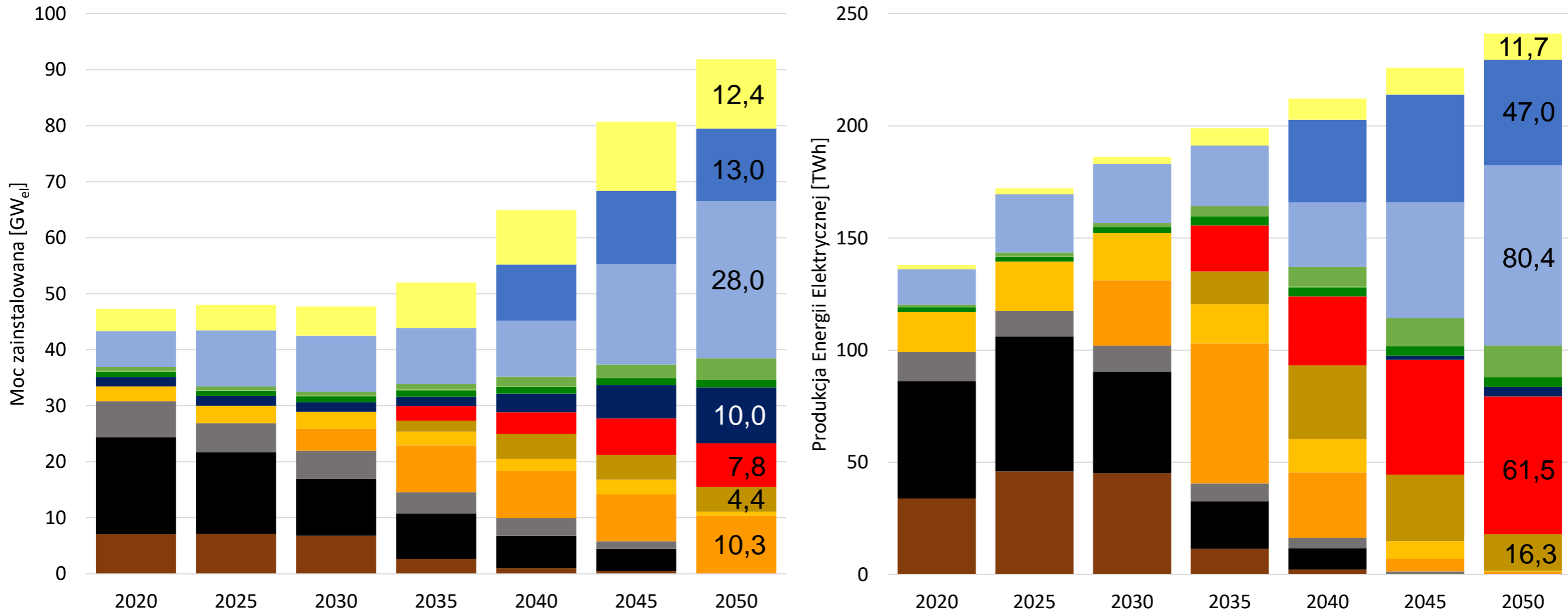
## Scenariusz OZE+GAZ, ceny EUA niskie





# MOCE I PRODUKCJA

## Scenariusz DIV, ceny EUA niskie

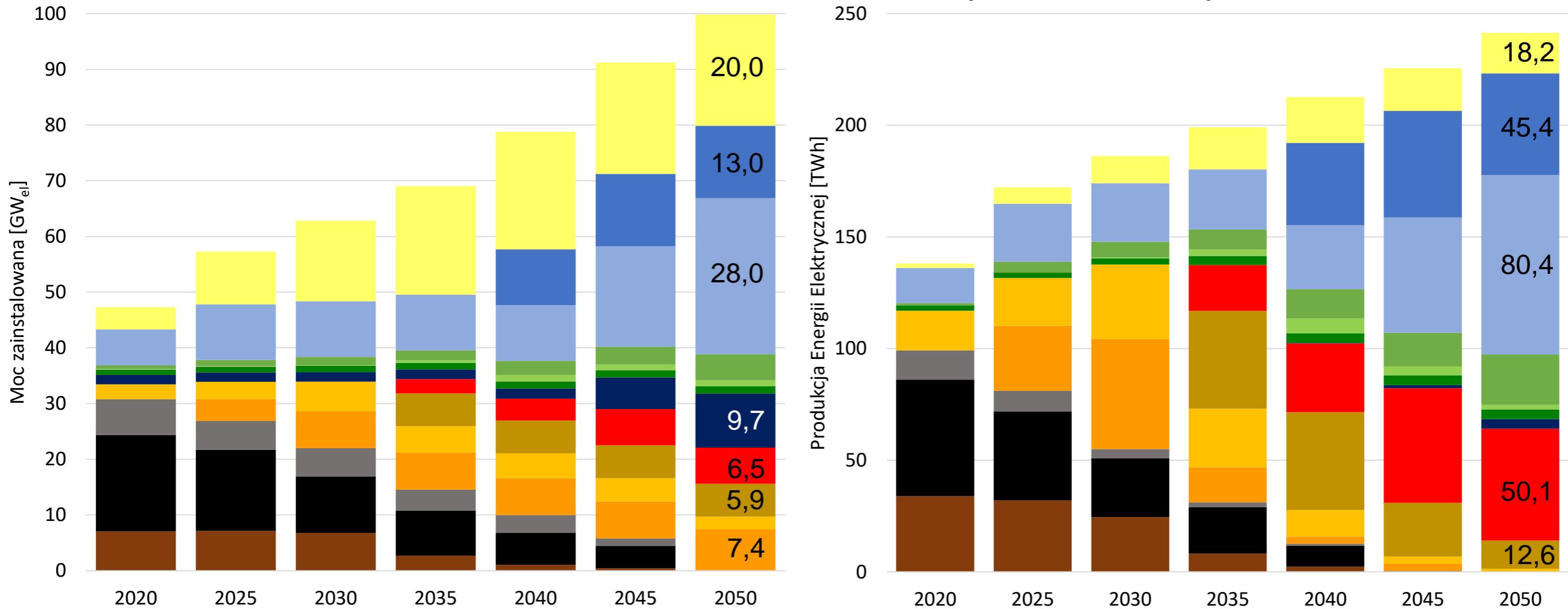


- W. Brunatny EL
- W. Kamienny EL
- W. Kamienny EC
- Gaz Ziemi CC(GT)
- Gaz Ziemi EC
- Gaz Ziemi CCS
- Jądrowa
- Magazyn
- Wodne
- Biogaz
- Biomasa
- Wiatr Łąd
- Wiatr Morze
- Fotowoltaika



# MOCE I PRODUKCJA

## Scenariusz DIV, ceny EUA wysokie

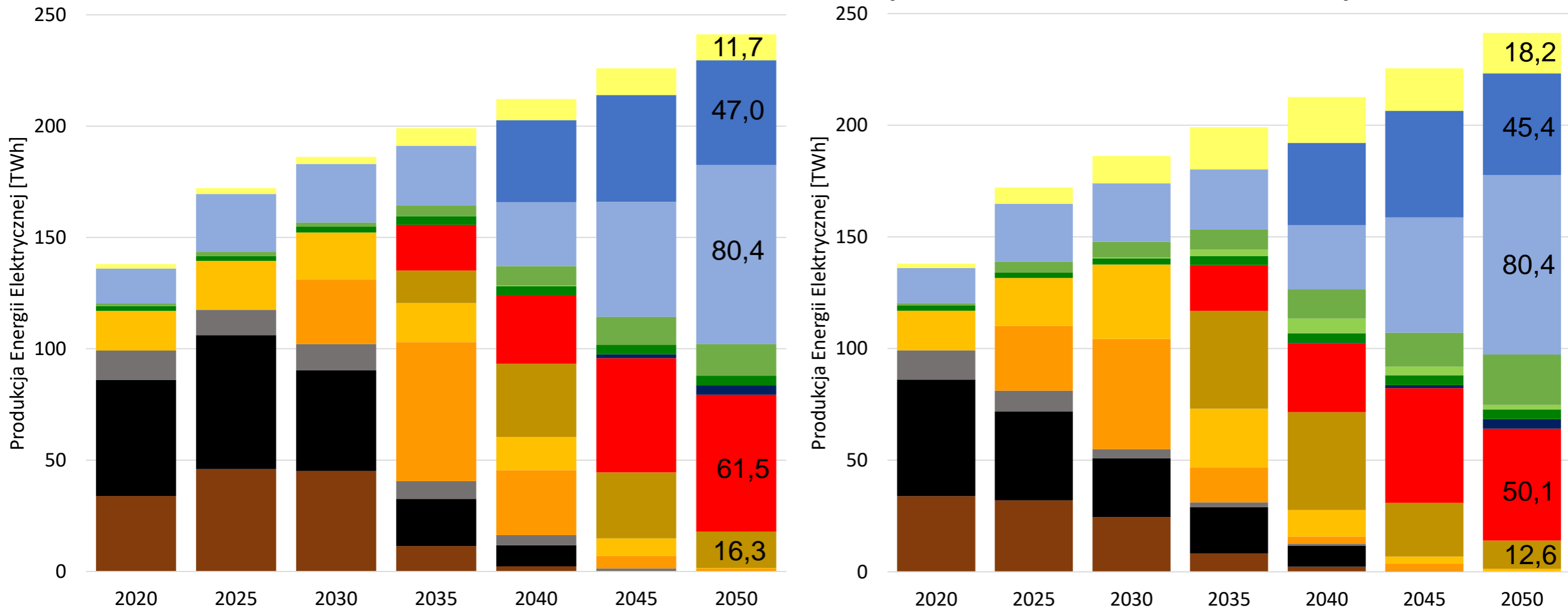


- W. Brunatny EL
- W. Kamienny EL
- W. Kamienny EC
- Gaz Ziemi CC(GT)
- Gaz Ziemi EC
- Gaz Ziemi CCS
- Jądrowa
- Magazyn
- Wodne
- Biogaz
- Biomasa
- Wiatr Ląd
- Wiatr Morze
- Fotowoltaika



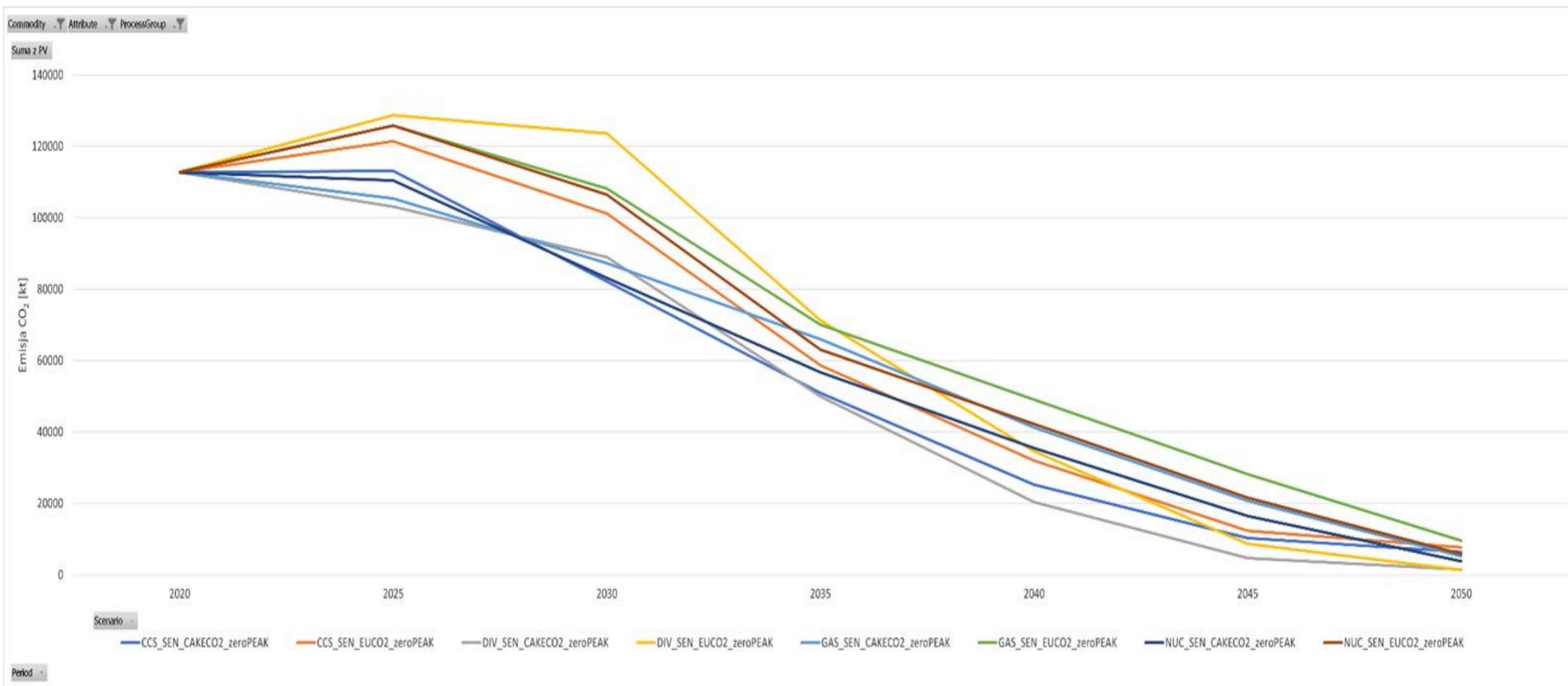
# PRODUKCJA

## Scenariusz DIV, ceny EUA niskie i wysokie

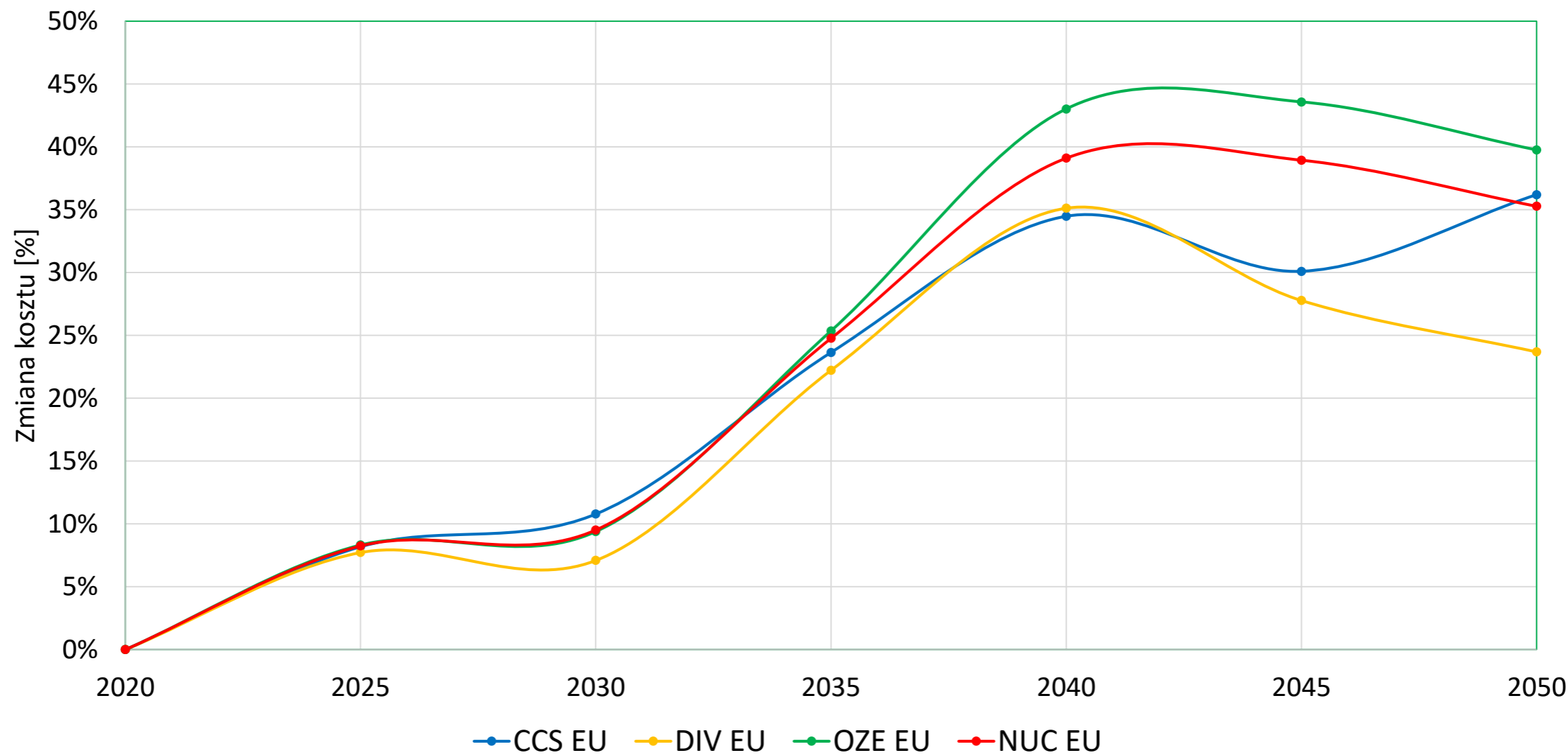


- W. Brunatny EL
- W. Kamienny EL
- W. Kamienny EC
- Gaz Ziarny (CC)GT
- Gaz Ziarny EC
- Gaz Ziarny CCS
- Jądrowa
- Magazyn
- Wodne
- Biogaz
- Biomasa
- Wiatr Łąd
- Wiatr Morze
- Fotowoltaika

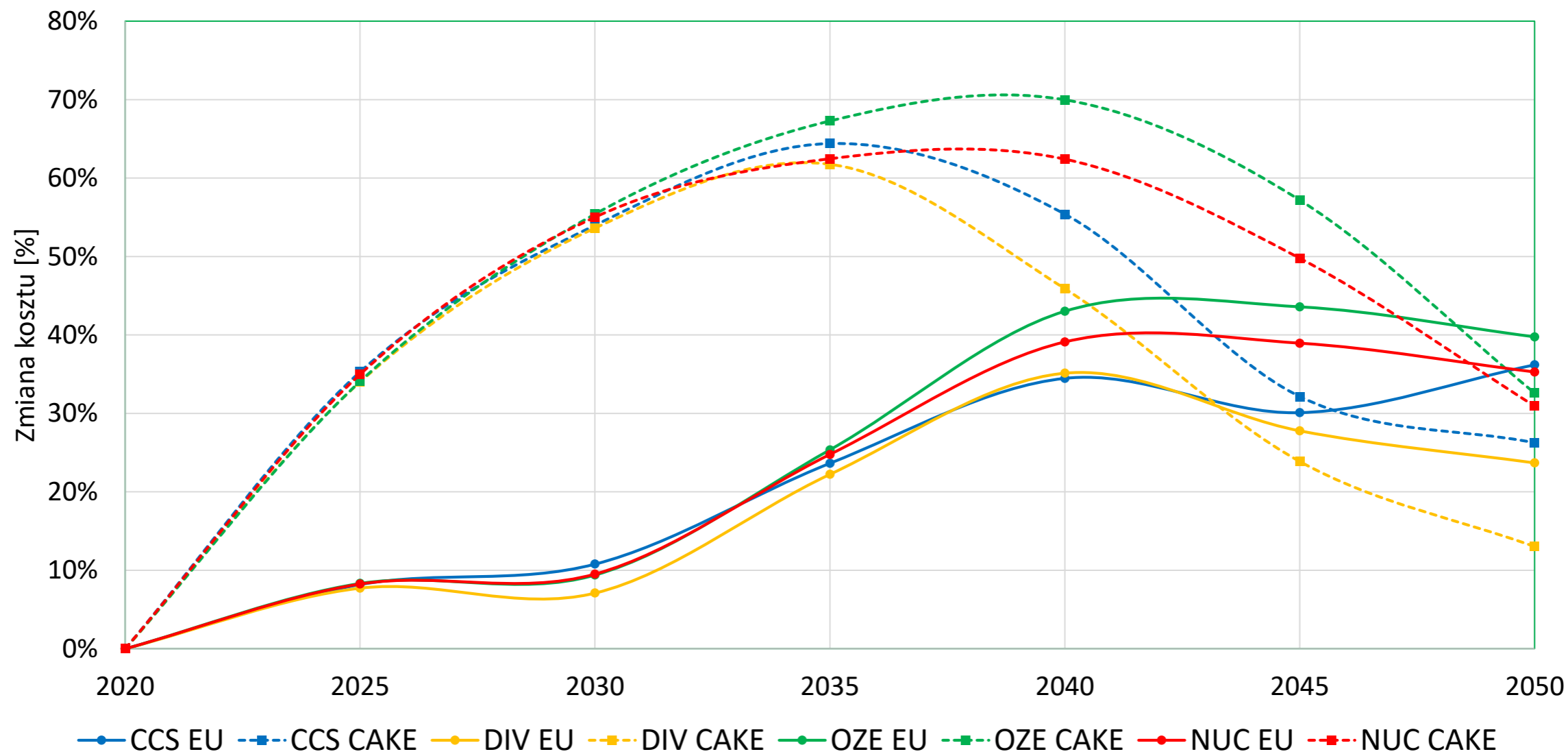
# EMISJE CO<sub>2</sub>



# Zmiana średniego kosztu wytwarzania ważonego produkcją względem roku 2020



# Zmiana średniego kosztu wytwarzania ważonego produkcją względem roku 2020





# PODSUMOWANIE

- Opracowano scenariusze ścieżek transformacji polskiej elektroenergetyki – dekarbonizacji: jądrowy, z wychwytem i składowaniem dwutlenku węgla, gazowy +OZE, zróżnicowany.
- Zastosowano dwa modele dla wyznaczenia optymalnego mixu technologii i zbadania jego funkcjonowania przy dużym udziale niekontrolowalnych źródeł odnawialnych.
- Mix energetyczny jest zależny od założonych ograniczeń dla technologii oraz przyjętych ścieżek cenowych dla paliw i EUA.
- Scenariusz zróżnicowany, bez ograniczeń mocy technologii, daje wyniki zbliżone do scenariusza jądrowego.

# PODSUMOWANIE

- Emisje dwutlenku węgla spadają o 95% według zbliżonych ścieżek – niezależnie od scenariusza (w DIV jedynym czynnikiem są ceny EUA) .
- We wszystkich scenariuszach udział OZE w generacji w 2050 r. przekracza 50% (w NUC i DIV ok. 60%).
- We wszystkich scenariuszach moc elektryczna netto w technologiach sterowalnych (z uwzględnieniem magazynów) w 2050 r. wynosi ok. 38 GW.
- Inwestycje i koszty paliw powodują wzrost kosztów energii, według zbliżonych ścieżek, wzrost wynosi od około 25 do 40% do roku 2050, najmniej w scenariuszu zróżnicowanym najwięcej w scenariuszu gazowym z OZE.
- Podwyższenie kosztów uprawnień do emisji powyżej EU Reference nie powoduje przyspieszenia, ani zasadniczej zmiany ścieżek transformacji, jedynie koszty rosną o 45-70% do roku 2040.



Dziękuję za uwagę.