



# **ENERGIA ODNAWIALNA I NIEODNAWIALNA, A EMISJA CO<sub>2</sub> W KRAJACH GRUPY WYSZEHRADZKIEJ DOWODY EMPIRYCZNE Z ZASTOSOWANIA MODELU NARDL-PMG**

---

Dr Błażej Suproń

Katedra Ekonomii, Finansów i Rachunkowości

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa im. Profesora Zbigniewa Czerwińskiego  
„Matematyka i informatyka na usługach ekonomii”



Wydział  
Ekonomiczny

22 września 2023 r.



Zachodniopomorski  
Uniwersytet  
Technologiczny  
w Szczecinie



## Wprowadzenie do przedmiotu badania

---

- Globalne wyzwania energetyczne i środowiskowe
- Wpływ źródeł produkcji energii na środowisko
- Implikacje ekonomiczne i społeczne transformacji energetycznej
- Umowy i zobowiązania międzynarodowe związane z redukcją
- Korzyści gospodarcze i społeczne wynikające ze zrównoważonej energii
- Grupa Wyszehradzka w obliczu zmian polityki energetycznej



## Dotychczasowe badania i metody

---

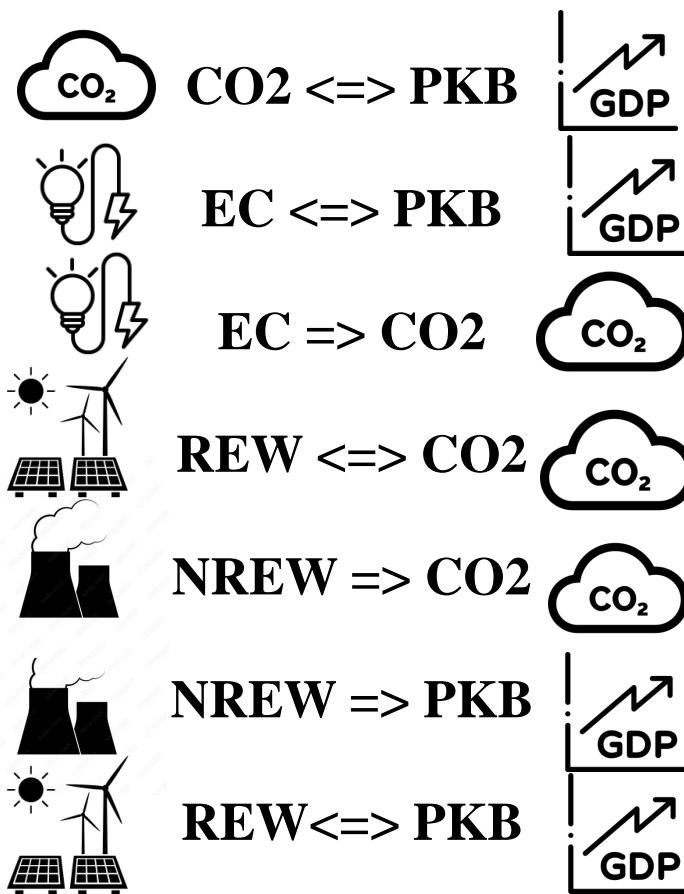
Badania pojedynczych krajów oraz badania panelowe m.in:

- BRICS
- Unia Europejska
- OECD
- Kraje afrykańskie
- Bliski wschód
- Pakistan, Arabia Saudyjska, Indie

Metody: ECM, OLS, VAR, VECM, ARDL, FMOLS, DOLS

Długość szeregów: zróżnicowana od 1970 r. - 2020 r.

# Dotychczasowe wnioski



\*REW – konsumpcja/produkcja energii z odnawialnych źródeł energii

\*\*NREW – konsumpcja/produkcja energii z nieodnawialnych źródła energii

\*\*\*EC – konsumpcja/produkcja energii

# Wprowadzenie do przedmiotu badania

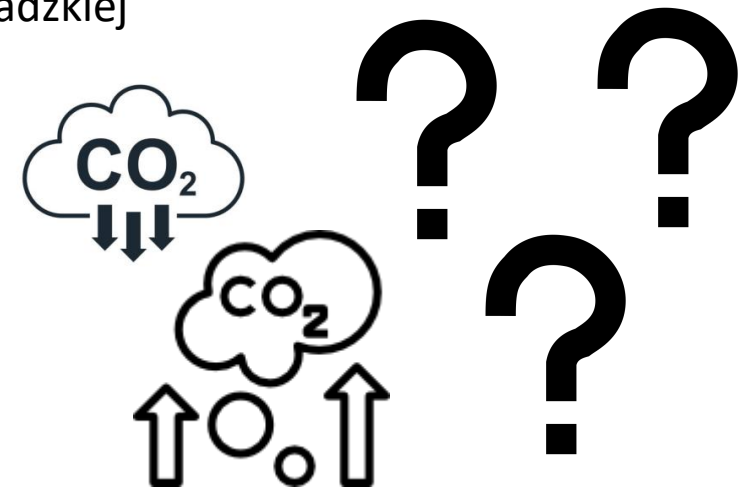
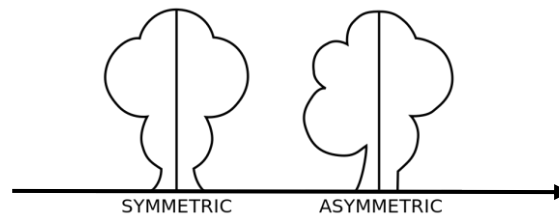
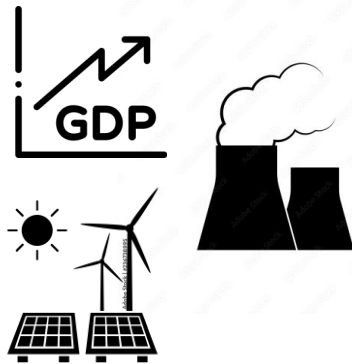
---

## Cel badania:

Celem badania było ustalenie krótko- i długoterminowego oddziaływania produkcji energii z odnawialnych i nieodnawialnych źródeł oraz wzrostu gospodarczego na emisję CO<sub>2</sub> w krajach V4 z uwzględnieniem efektów nieliniowych

## Hipoteza:

Istnieją istotne związki długookresowe między produkcją energii z odnawialnych i nieodnawialnych źródeł, wzrostem gospodarczym a emisją CO<sub>2</sub> w krajach Grupy Wyszehradzkiej



# Dane

**Zakres geograficzny:** Kraje Grupy Wyszehradzkiej

**Okres badawczy:** od 1991 r. do 2021 r.

**Tabela 1. Opis danych i zmiennych wykorzystanych w badaniu**

Zmienna	Pełna nazwa	Jednostka	Źródło
CO2	Emisję dwutlenku węgla (CO2) per capita	tony metryczne na mieszkańca	WDI
GDP	PKB per capita	PKB na mieszkańca w stałych dolarach amerykańskich z 2015 roku	WDI
REW	Zużycie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych	w tonach ekwiwalentu ropy naftowej (per capita)	EEA
NREW	Zużycie energii elektrycznej ze źródeł nieodnawialnych	w tonach ekwiwalentu ropy naftowej (per capita)	EEA

# Etapy badania

---

*Badanie stacjonarności szeregów w oparciu o testy pierwiastka jednostkowego (unit root test) za pomocą testu IPS, CIPS oraz Levin, Lin & Chut (Im i in., 2003)*

*Badanie kointegracji w oparciu o test kointegracji resztkowej Pedroniego (2004) oraz testy kointegracyjny Kao (1999).*

*Estymacja modeli przy wykorzystaniu metody ARDL-PMG*

*Analiza uzyskanych wyników, ocena efektów asymetrycznych oraz związków długo i krótkookresowych*

# Metodologia

## Modele i metody

- Kointegracja została zbadana przy pomocy testów panelowych – Kao i Pedroniego
- W badaniu wykorzystano nieliniowy model autoregresyjny z rozproszonymi opóźnieniami (NARDL)
- Zastosowano estymator danych panelowych *Pooled Mean Group* (PMG)

$$\Delta CO2_t = f(GDP, REW, NREW)$$

$$\ln CO2_t = \beta_0 + \beta_{1t} \ln GDP_t + \beta_{2t} \ln REW_t + \beta_{3t} \ln NREW_t + \varepsilon_t$$

$$y_t = \sum_{i=1}^p \lambda_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^q (\delta_j^{+'} x_{t-i}^+ + \delta_{t-i}^{-'} x_{t-i}^-) + \varepsilon_t$$

Gdzie:

$\beta_0$  są parametrami regresji do oszacowania  $\varepsilon_t$  jest terminem błędu.

Parametry relacji krótkoterminowej ze składnikami asymetrii:  $\lambda_i, \delta^+, \delta^-$

Parametry relacji długoterminowej ze składnikami asymetrii:  $\rho, \varphi^+, \varphi^-$



# Metodologia

---

- Kointegracja została zbadana przy pomocy testów panelowych – Kao i Pedroniego
- W badaniu wykorzystano nieliniowy model autoregresyjny z rozproszonymi opóźnieniami (NARDL)
- Zastosowano estymator danych panelowych *Pooled Mean Group* (PMG)

$$\Delta CO2_t = f(GDP, REW, NREW)$$

$$\ln CO2_t = \beta_0 + \beta_{1t} \ln GDP_t + \beta_{2t} \ln REW_t + \beta_{3t} \ln NREW_t + \varepsilon_t$$

$$y_t = \sum_{i=1}^p \lambda_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^q (\delta_j^{+'} x_{t-i}^+ + \delta_{t-i}^{-'} x_{t-i}^-) + \varepsilon_t$$

Gdzie:

$\beta_0$  są parametrami regresji do oszacowania  $\varepsilon_t$  jest terminem błędu.

Parametry relacji krótkoterminowej ze składnikami asymetrii:  $\lambda_i$ ,  $\delta^+$ ,  $\delta^-$

Parametry relacji długoterminowej ze składnikami asymetrii:  $\rho$ ,  $\varphi^+$ ,  $\varphi^-$

# Testy pierwiastka jednostkowego

Tabela 2. Testy pierwiastka jednostkowego danych panelowych

Zmienna	Poziom [I 0]			Pierwsza różnica [I 1]		
	CIPS	Levin, Lin & Chu t	IPS	CIPS	Levin, Lin & Chu t	IPS
<b>lnCO2</b>	-2.16	-1.93**	-2.16	-5.63*	-4.97*	-4.48*
<b>lnGDP</b>	-1.55	-1.93**	0.97	-3.60*	-4.97*	-4.48*
<b>lnNREW</b>	-2.07	-1.58*	-0.78	-4.94*	-4.51*	-5.25*
<b>lnREW</b>	-1.24	0.27	0.67	-3.34*	-5.28*	-5.38*

CO2 – emisja CO2 per capita; GDP – PKB per capita; NREW – zużycie energii nieodnawialnej; REW – zużycie energii odnawialnej

# Testy kointegracji

---

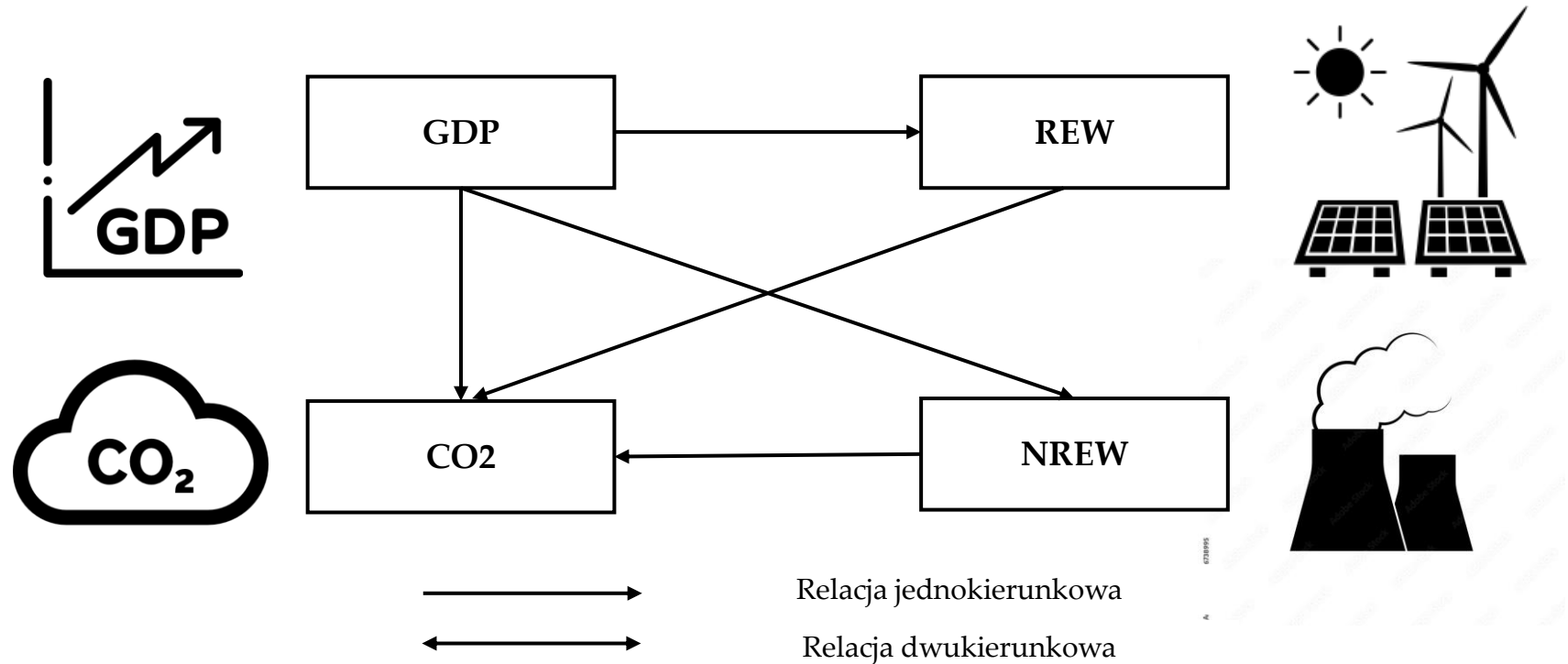
Tabela 2. Testy kointegracji Pedroni oraz Kao

Test	Statistic	Weighted Statistic
<b>Within-Dimension</b>		
v-Statistic panel	1.25***	1.34***
rho-Statistic panel	-0.67	-0.30
PP-Statistic panel	-1.84**	-1.46***
ADF-Statistic Panel	-2.22**	-2.47*
<b>Between-Dimension</b>		
Group rho-Statistic	0.62	
Group PP-Statistic	-2.20**	
Group ADF-Statistic	-2.99*	
<b>Kao-cointegration test</b>		
ADF	-2.37*	

# Przyczynowość

**Metoda:** Panelowy test przyczynowości Dumitrescu-Hurlin

**Hipoteza 0:** X nie powoduje jednorodnie Y



CO<sub>2</sub> – emisja CO<sub>2</sub> per capita; GDP – PKB per capita; NREW – zużycie energii nieodnawialnej;  
REW – zużycie energii odnawialnej

# Testy asymetrii

Tabela 3. Wyniki testu asymetrii modelu NARDL (*Wald test*)

Zmienna	Statystyka	Wartość	Prawdopodobieństwo
lnGDP	F-statistic	4.594	0.034
	Chi-square	4.595	0.032
lnNREW	F-statistic	2.833	0.095
	Chi-square	2.834	0.092
lnREW	F-statistic	1.182	0.279
	Chi-square	1.183	0.276

CO2 – emisja CO2 per capita; GDP – PKB per capita; NREW – zużycie energii nieodnawialnej; REW – zużycie energii odnawialnej

# Model długookresowy (long-run)


Tabela 4. Wyniki modelu długookresowego

Zmienna	Współczynnik	Błąd standardowy	Statystyka t	Prawdopodobieństwo
lnREW	-0.045	0.016	-2.831	0.005
$\varphi^+$ lnNREW	0.269	0.158	1.700	0.092
$\varphi^-$ lnNREW	0.637	0.098	6.496	0.000
$\varphi^+$ lnGDP	0.208	0.062	3.340	0.001
$\varphi^-$ lnGDP	1.022	0.339	3.014	0.003
Const.	1.442	0.098	14.588	0.000

$\varphi^+$ ,  $\varphi^-$  - parametry relacji długoterminowej ze składnikami asymetrii

CO2 – emisja CO2 per capita; GDP – PKB per capita; NREW – zużycie energii nieodnawialnej; REW – zużycie energii odnawialnej

# Interpretacja wyników (long-run)



Asymetria	<u>Wzrost zużycia</u> energii ze źródeł nieodnawialnych o <b>1%</b> prowadzi do <u>wzrostu emisji CO2</u> o <b>0,26%</b> $1\% \uparrow NREW \rightarrow 0,26\% \uparrow CO2$
	<u>Spadek zużycia</u> o <b>1%</b> energii ze źródeł nieodnawialnych generuje <u>spadek emisji CO2</u> o <b>0,63%</b> $1\% \downarrow NREW \rightarrow 0,63\% \downarrow CO2$
Asymetria	<u>Wzrost PKB</u> o <b>1%</b> przekłada się natomiast na <u>zwiększenie emisji CO2</u> o <b>0,21%</b> $1\% \uparrow PKB \rightarrow 0,21\% \uparrow CO2$
	<u>Spadek PKB</u> o <b>1%</b> przekłada się natomiast na <u>zmniejszenie emisji CO2</u> o <b>1,02%</b> $1\% \downarrow PKB \rightarrow 1,02\% \downarrow CO2$
	<u>Spadek zużycia</u> energii ze źródeł odnawialnych o <b>1%</b> wiąże się ze <u>spadkiem emisji CO2</u> o <b>0,05%</b> $1\% \downarrow REW \rightarrow 0,05\% \downarrow CO2$

Zmiany zużycia energii z odnawialnych źródeł i ich wpływ na emisję CO2 z w długim okresie nie wykazuje istotnej statystycznie asymetrii.

# Model krótkookresowy (short-run)

Tabela 5. Wyniki modelu długookresowego

Zmienna	Współczynnik	Błąd standardowy	Statystyka t	Prawdopodobieństwo
$ECT_{t-1}$	-0,614	0,312	-1,970	0,032
$\Delta \ln CO2_{t-1}$	0,168	0,186	0,905	0,368
$\Delta \ln CO2_{t-2}$	-0,063	0,137	-0,459	0,647
$\Delta \ln CO2_{t-3}$	-0,118	0,226	-0,521	0,604
$\Delta \ln REW$	-0,029	0,041	-0,700	0,486
$\Delta \ln REW_{t-1}$	-0,038	0,026	-1,421	0,159
$\Delta \ln REW_{t-2}$	0,012	0,038	0,304	0,762
$\Delta \ln REW_{t-3}$	-0,003	0,036	-0,080	0,936
$\Delta \ln NREW$	0,355	0,190	1,868	0,065
$\Delta \ln GDP$	0,512	0,258	1,985	0,050
$\Delta \ln GDP_{t-1}$	0,083	0,195	0,428	0,670
$\Delta \ln GDP_{t-2}$	0,205	0,049	4,138	0,000
$\Delta \ln GDP_{t-3}$	0,236	0,342	0,691	0,491

CO2 – emisja CO2 per capita; GDP – PKB per capita; NREW – zużycie energii nieodnawialnej; REW – zużycie energii odnawialnej



# Interpretacja wyników (short-run)

W okresie krótkim wzrost PKB o 1% prowadzi do wzrostu emisji CO<sub>2</sub> o 0,51%

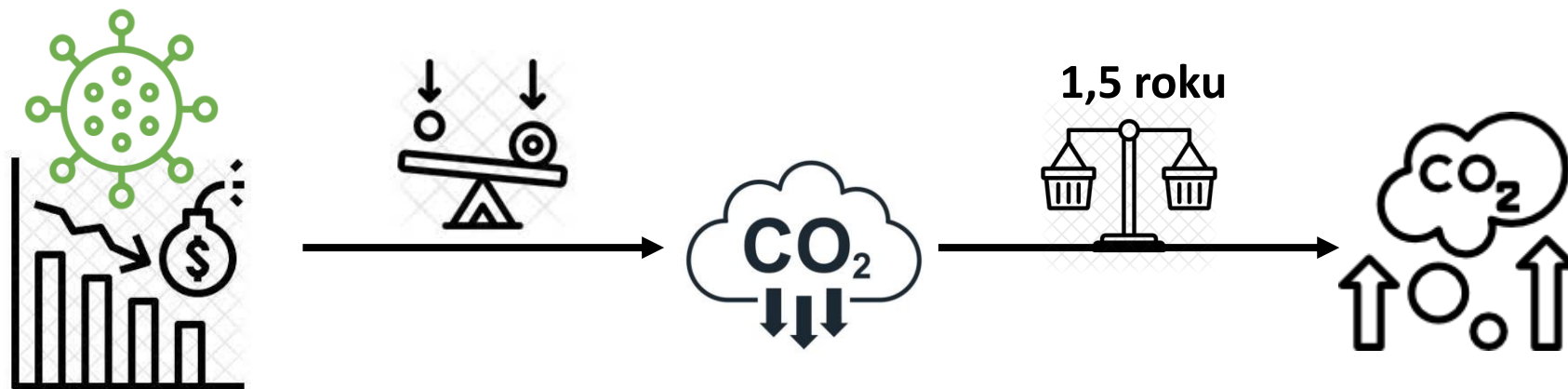
$$1\% \uparrow PKB \rightarrow 0,51\% \uparrow CO_2$$

W okresie krótkim wzrost zużycia energii ze źródeł nieodnawialnych prowadzi do wzrostu emisji CO<sub>2</sub> o 0,35%

$$1\% \uparrow NREW \rightarrow 0,35\% \uparrow CO_2$$

W badanym modelu **współczynnik korekcji błędem** ( $ECT_{t-1}$ ) **wyniósł -0,61**,

W krajach grupy V4 emisja CO<sub>2</sub> stosunkowo szybko dostosowuje się, do równowagi długookresowej w obliczu szoków (około 1,5 roku).



# Wnioski

---

## 1. Wpływ energii nieodnawialnej na emisję CO2

**Spadek zużycia energii z nieodnawialnych źródeł ma większy wpływ na redukcję emisji CO2, niż wzrost na jej zwiększenie**

*To sugeruje, że inwestycje w odnawialne źródła energii i redukcja wykorzystania źródeł nieodnawialnych mogą przyczynić się do obniżenia emisji CO2 w badanych krajach.*

## 2. Wpływ PKB na emisję CO2

**Spadek PKB ma znacznie większy wpływ na redukcję emisji CO2, niż wzrost na jej zwiększenie**

*To sugeruje, że w przypadku spadku aktywności gospodarczej (produkcji), emisja CO2 może znacząco maleć. Jednocześnie nieodpowiednio prowadzona transformacja energetyczna może doprowadzić do spadku produkcji kosztem redukcji CO2.*

## 3. Energia odnawialna i jej wpływ na emisję CO2

**Wzrost, jak i spadek zużycia energii z odnawialnych źródeł mają przewidywalny, symetryczny wpływ na emisję CO2**

*Wzrost zużycia energii odnawialnej nie przekłada się w znaczący sposób na redukcję emisji CO2 w porównaniu do redukcji zużycia energii ze źródeł nieodnawialnych.*

# Wnioski

---

- 4. Krótkoterminowe efekty wzrostu PKB i zużycia energii nieodnawialnej:** W okresie krótkim wzrost PKB i wzrost zużycia energii z nieodnawialnych źródeł prowadzą do wzrostu emisji CO<sub>2</sub>.

**W krótkim okresie wzrost gospodarczy i zwiększone zużycie źródeł nieodnawialnych mogą skutkować większą emisją CO<sub>2</sub>.**

- 4. Współczynnik korekcji błędem:** Wartość współczynnika korekcji błędem (ECTt-1) wynosząca -0,61 wskazuje na stosunkowo szybkie dostosowywanie się emisji CO<sub>2</sub> do równowagi długookresowej po wystąpieniu szoków.

**Emisja CO<sub>2</sub> ma tendencję do powrotu do stanu równowagi w długim okresie**

# Implikacje polityczne

---

1. Dywersyfikacja źródeł energii
2. Zrównoważona transformacja energetyczna
3. Monitorowanie i reakcja na zmiany krótkookresowe
4. Kształtowanie polityk skoncentrowanych na długookresowym zrównoważonym rozwoju
5. Utrzymywanie wzrostu gospodarczego vs transformacja energetyczna
6. Bezpieczeństwo energetyczne, a wzrost gospodarczy



# Podsumowanie

---

- 1. Energia nieodnawialna:** Zwiększenie zużycia energii z nieodnawialnych źródeł przyczynia się do wzrostu emisji CO<sub>2</sub>, a spadek ma silniejszy efekt na redukcję emisji. Inwestycje w źródła odnawialne mogą skutkować zmniejszeniem emisji CO<sub>2</sub>.
- 2. Wzrost gospodarczy:** Wzrost PKB zazwyczaj prowadzi do wzrostu emisji CO<sub>2</sub>, ale spadek gospodarczy może przyczynić się do jej zmniejszenia. Efekt ten jest istotny w kontekście walki ze zmianami klimatycznymi.
- 3. Energia odnawialna:** Zużycie energii z odnawialnych źródeł wykazuje liniowy wpływ na emisję CO<sub>2</sub> w długim okresie, co jest korzystne dla planowania działań związanych z odnawialnymi źródłami energii.



# Kontakt i współpraca naukowa

W przypadku pytań lub współpracy naukowej zapraszam do kontaktu

E-mail: [bsupron@zut.edu.pl](mailto:bsupron@zut.edu.pl)

