
MODELE TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ A WZROST PKB I ROZWÓJ POTENCJAŁU EKONOMICZNEGO PODMIOTÓW W GOSPODARCE

Prof. Zbigniew Krysiak

Instytut Myśli Schumana

Zbigniew.Krysiak@IMSchuman.com

Tel. 796 140 400

Warszawa, 28 lutego 2025 r.

PORUSZANE ZAGADNIENIA

❑ ROZWÓJ GOSPODARCZY:

- Zwiększa popyt na energię
- Redukuje ubóstwo energetyczne
- Zwiększa PKB jako źródło funduszy na energetykę

❑ MODEL IDEOLOGICZNY TZW. ZIELONEGO ŁADU:

- Tworzy ryzyko niewydolności system gospodarczego
- Generuje koszty utraconych korzyści przy inwestycjach w PV i FW
- Dyktuje wysokie ceny energii
- Narzuca, poza logiką ekonomii, podatek za emisję CO₂

❑ MODEL SOLIDARYZMU SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO:

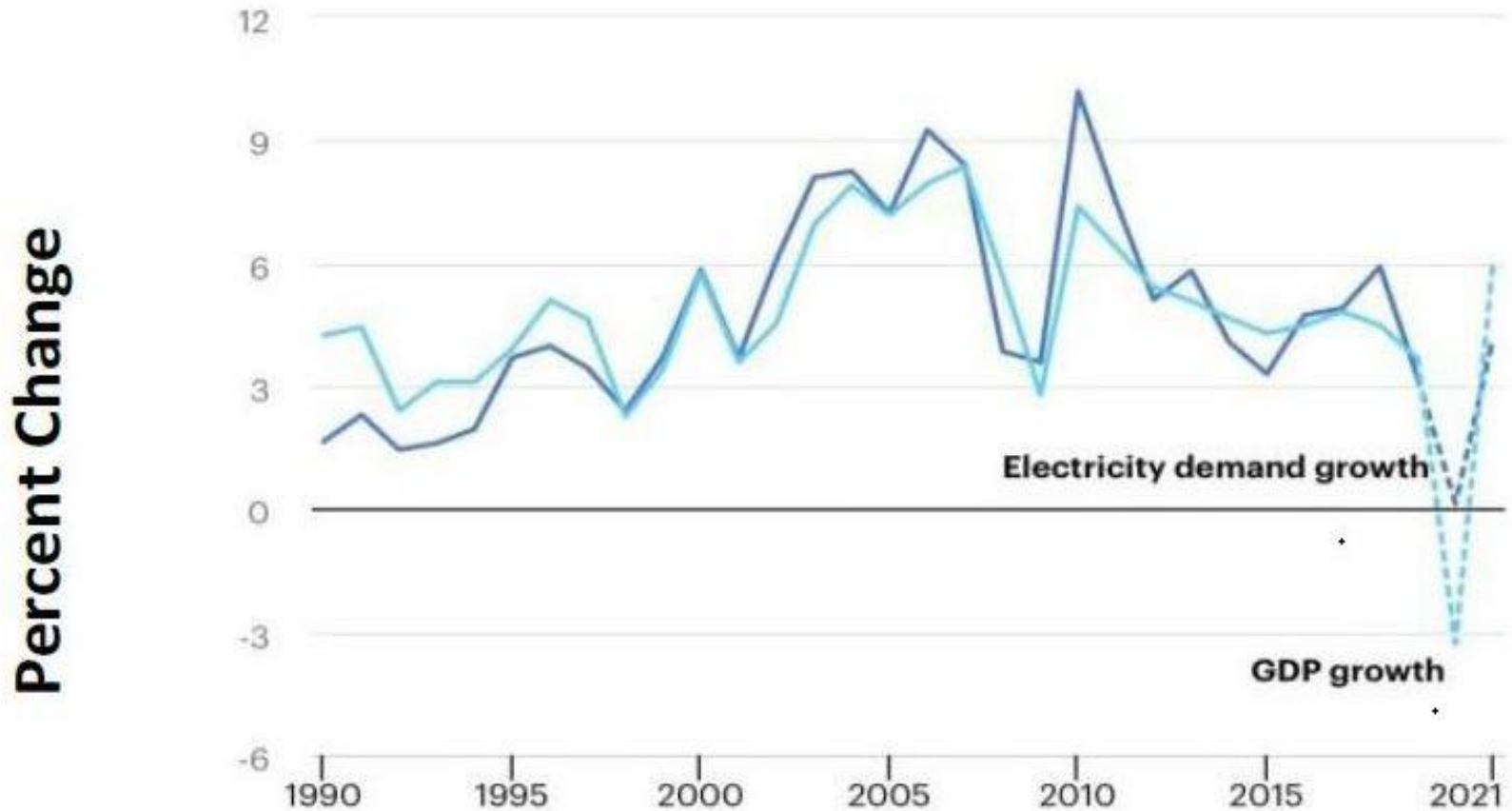
- Zwiększa PKB i zamożność obywateli
- Zwiększa potencjał finansowania energetyki
- Stosuje efektywne technologie produkcji energii
- Buduje konsumencki model finansowania elektrowni – Model Mankala

❑ POLSKI REAKTOR SMR HTGR POLA SZANSĄ DLA ENERGETYKI JĄDROWEJ

- Metody i modele oceny efektywności ekonomicznej inwestycji w SMR-y
- SMR-y HTGR a najniższe LCOE

□ ROZWÓJ GOSPODARCZY:

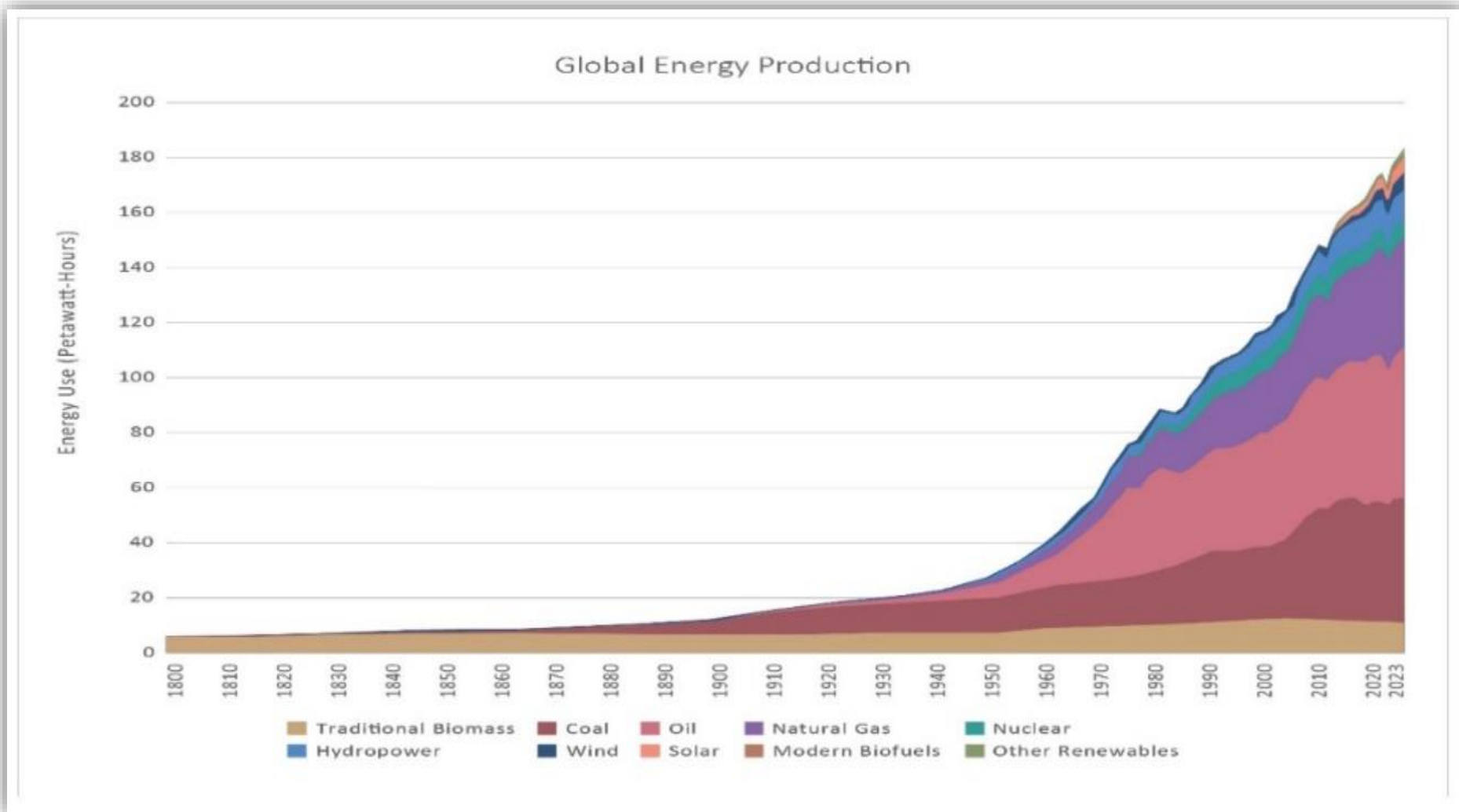
Dynamika popytu na prąd elektryczny na tle zmian PKB w rozwijających się i rozwiniętych gospodarkach w latach 1990-2021



[źródło: IEA <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-december-2020/outlook-2021>], podano za: Bryce R., *Overcoming the Barriers to Electrification in the Developing World*, October 2023, ISBN:978-1-916948-16-7; <https://www.arcforum.com/energy-and-environment>, s. 4.

☐ ROZWÓJ GOSPODARCZY:

Struktura źródeł w produkcji energii na świecie w latach 1800-2023



[źródło: „Global primary energy consumption by source”, Our World In Data, <https://ourworldindata.org/grapher/global-energy-consumption-source> (dostęp: 2.01.2025)]

[podano za: Mills M., Tinker S. *Energy for the 21st Century: A Declaration of Guiding Principles*, February 2025, ISBN: 978-1-916948-44-0, www.arcforum.com.

ROZWÓJ GOSPODARCZY:

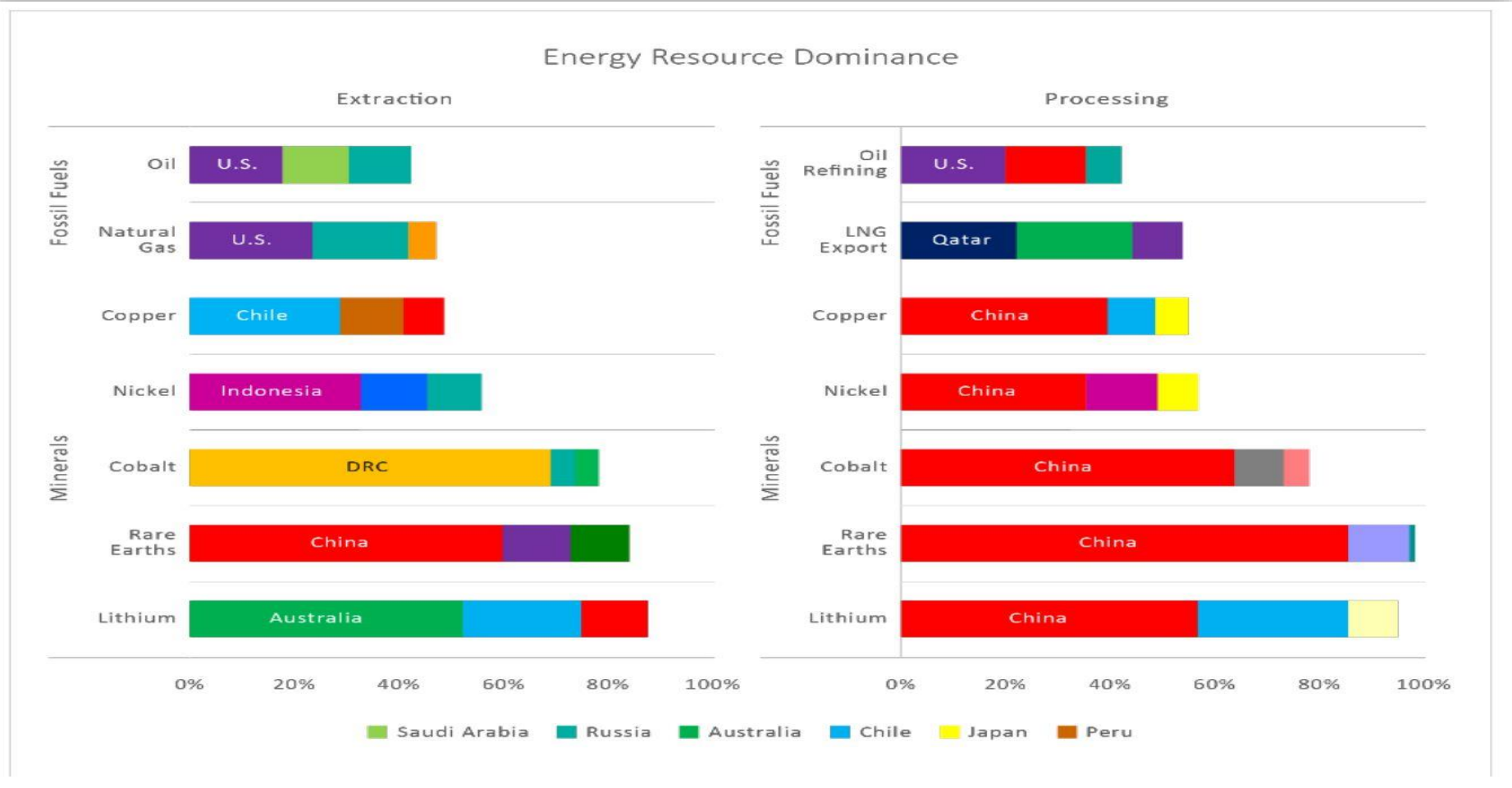
- Prawie jeden na dziesięciu obywateli świata nie ma w ogóle prądu, a miliardy ludzi są ograniczone do minimalnych ilości energii.**
- Ok. 3,7 miliarda ludzi (prawie 47% populacji świata) mieszka w krajach, w których zużycie energii elektrycznej na mieszkańca wynosi mniej niż 1200 kilowatogodzin rocznie, co jest wystarczającą ilością energii do zasilania dużej lodówki kuchennej,**
- 1,3 miliarda ludzi (16% populacji świata) ma dostęp do od 1200 do 4000 kilowatogodzin energii elektrycznej rocznie,**
- 2,9 miliarda ludzi (37% populacji świata) korzysta ze zużycia energii elektrycznej na mieszkańca wynoszącego ponad 4000 kilowatogodzin rocznie.**
- Minimalna ilość energii elektrycznej potrzebna w długim okresie do dobrej jakości życia wynosi około 4000 kilowatogodzin rocznie.**

❑ ROZWÓJ GOSPODARCZY:

- ❑ **Konsekwencją, niewłaściwego modelu transformacji energetycznej, rosnącego ryzyka politycznego wskutek budowy superpaństwa i wprowadzenia waluty Euro, dla Unii Europejskiej jest dekapitalizacja gospodarki w relacji do USA, co jeszcze bardziej redukuje potencjał do finansowania transformacji energetycznej.**
- ❑ **Obecny model gospodarczy UE nie daje także możliwości konwergencji potencjałów gospodarczych poszczególnych państw, a narzucana transformacja energetyczna ten stan jeszcze bardziej pogłębia.**
- ❑ **W 2010 PKB UE bez Wielkiej Brytanii wyniosło 12 Trylionów USD, podczas gdy PKB USA było równe 15 Trylionów USD. Wówczas iloraz PKB UE do PKB USA wyniósł 81%, a w 2024 zmniejszył się do 65%, tak więc UE stale się cofa w stosunku do USA, ale także w stosunku do Chin i Indii.**
- ❑ **W 2024 r., PKB UE wyniosło 19 Trylionów USD, zaś PKB USA osiągnęło poziom 29 Trylionów USD. Gospodarka UE zostaje coraz bardziej w tyle w stosunku do USA, chociaż w 2010 UE miała plany, aby za 10 lat, czyli w 2020 przewyższyć PKB USA, a tymczasem dzieje się odwrotnie.**

ROZWÓJ GOSPODARCZY:

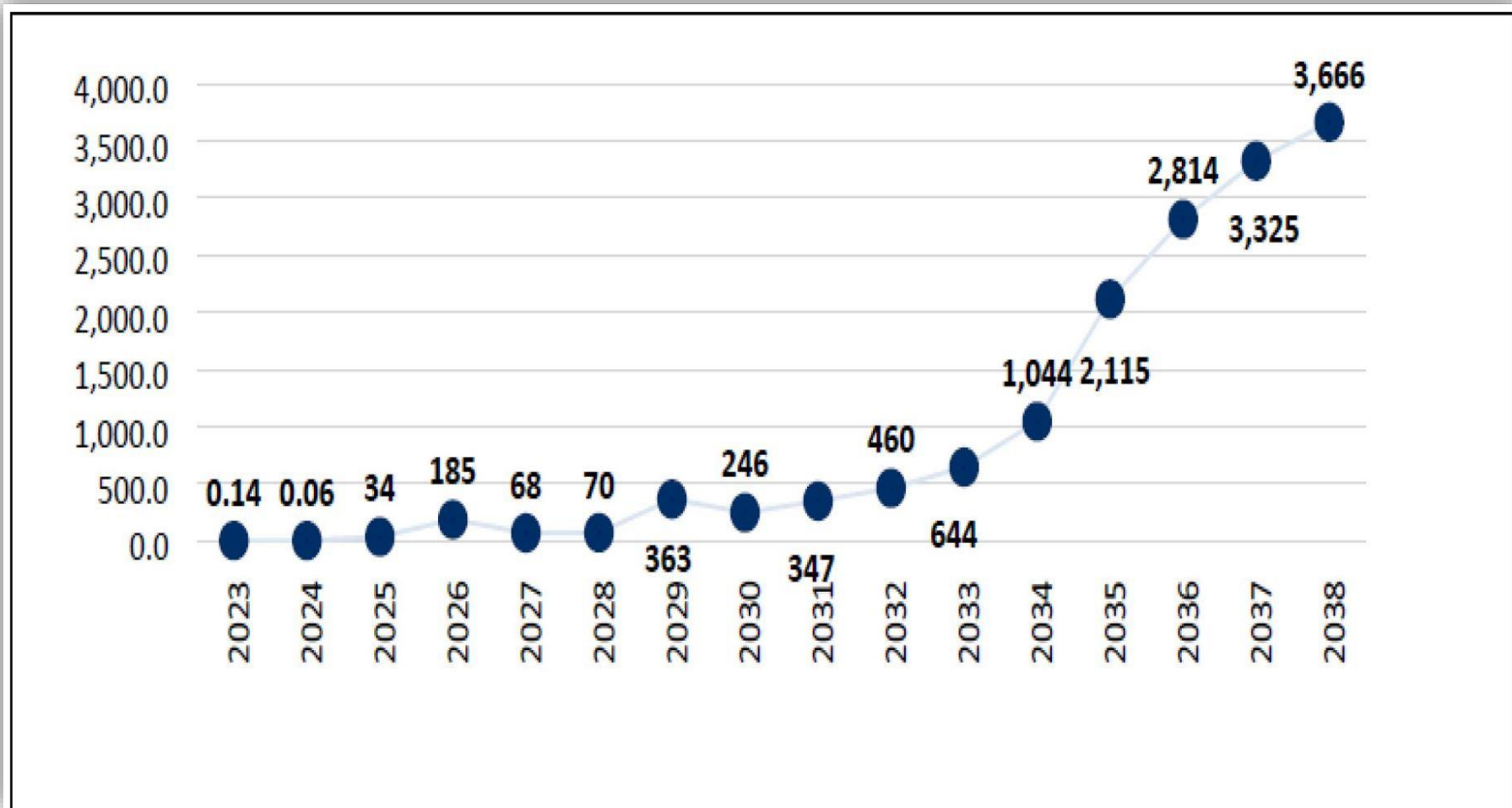
Struktura wydobycia i przetwarzania zasobów naturalnych istotnych dla różnych technologii produkcji energii



[źródło: IEA, "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", International Energy Agency, 2021, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary>],
podano za: Mills M., Tinker S. *Energy for the 21st Century: A Declaration of Guiding Principles*, February 2025, ISBN: 978-1-916948-44-0, www.arcforum.com, s. 14.

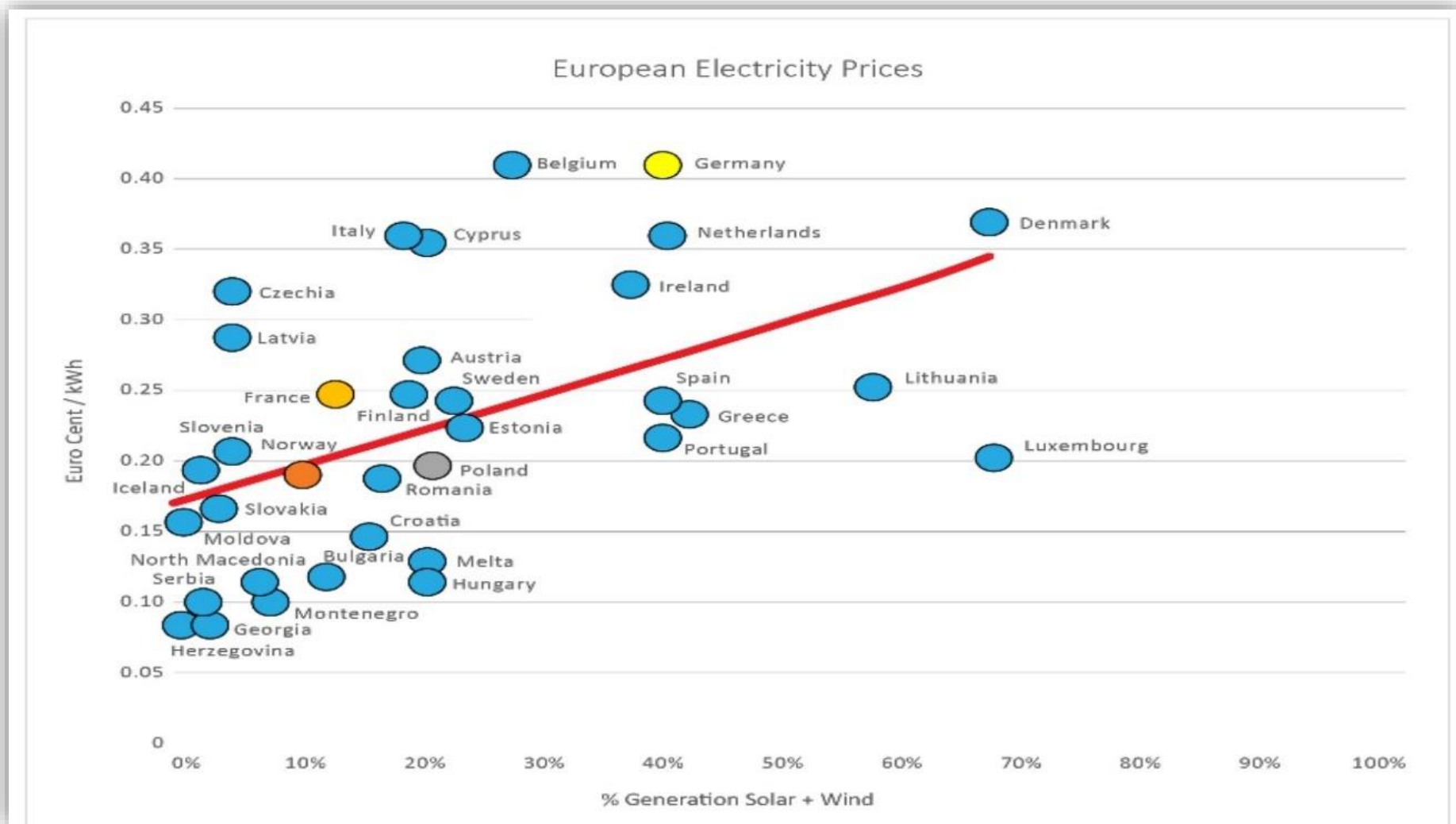
☐ MODEL IDEOLOGICZNY TZW. ZIEŁONEGO ŁADU:

Prognozowane przerwy w dostawach energii w Polsce w godzinach/rok w latach 2023-2038



[źródło: Mielczarski W., Polityka i Energetyka Wpływ rewolucji energetycznej na politykę krajową i międzynarodową, Konferencja - Energetyczna Rewolucja: Skutki Społeczne i Polityczne, Stowarzyszenie Instytut Gospodarki Narodowej, 14 października 2024]

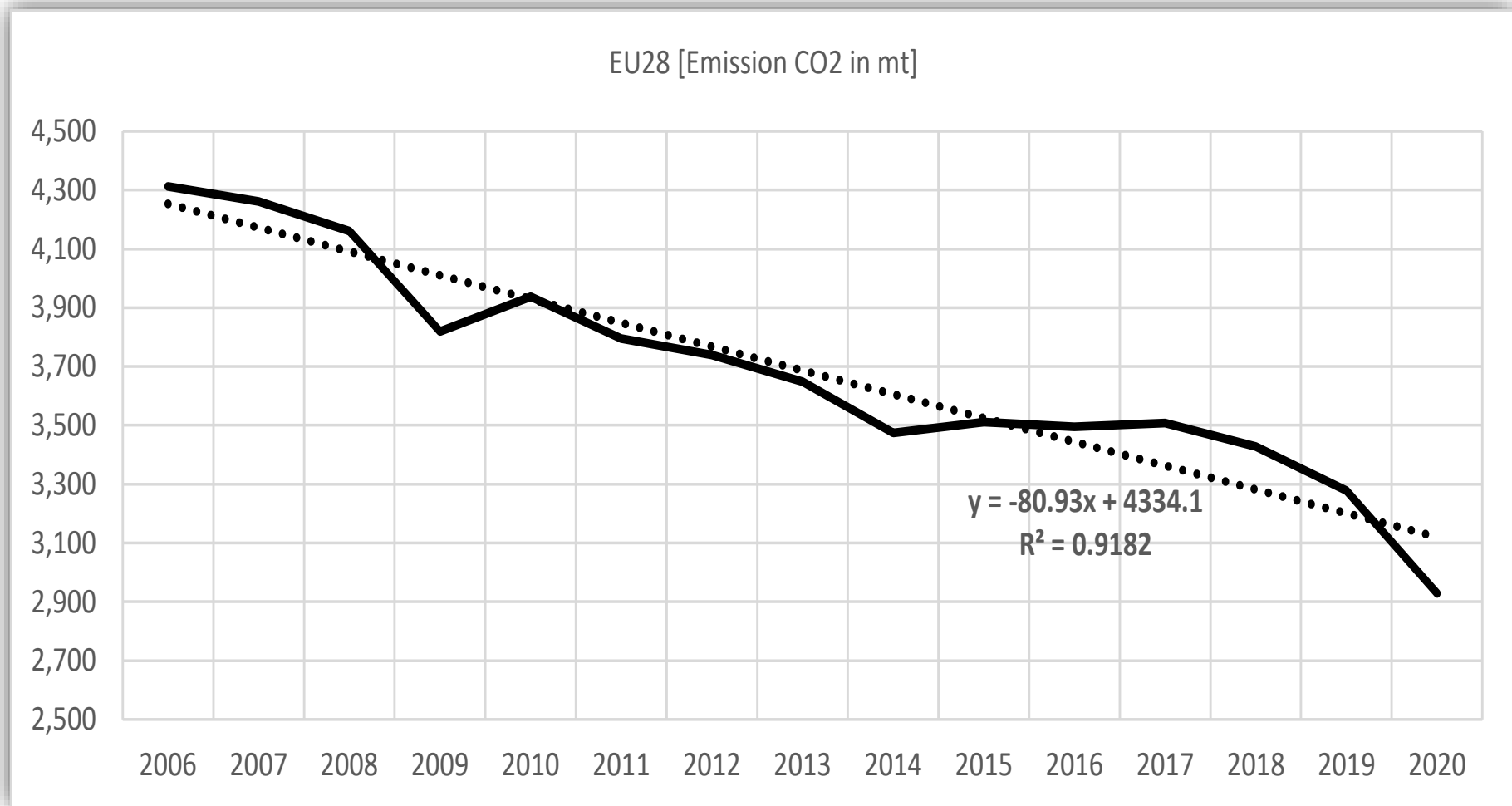
☐ MODEL IDEOLOGICZNY TZW. ZIELONEGO ŁADU: Ceny prądu w Europie



[źródło: Gautam Kalghatgi, "Are domestic electricity prices higher in countries with higher installed capacity of wind and solar?" (2019 data) J Automotive Safety and Energy, Vol. 11 No. 1, (2021), 20210.3969/j.issn.1674-8484.2021.01.008, podano za: Mills M., Tinker S. *Energy for the 21st Century: A Declaration of Guiding Principles*, February 2025, ISBN: 978-1-916948-44-0, www.arcforum.com]

☐ MODEL IDEOLOGICZNY TZW. ZIELONEGO ŁADU:

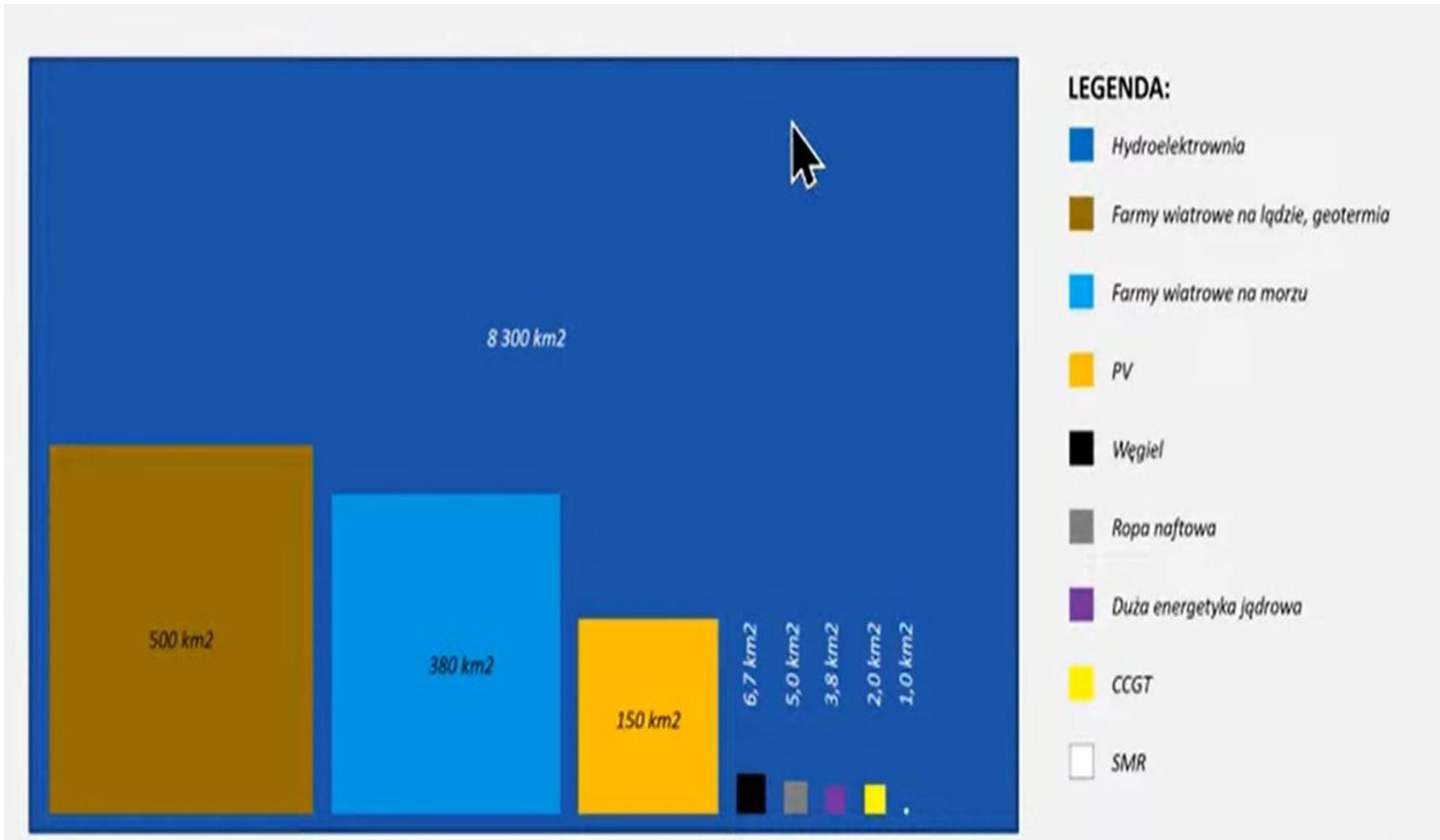
Trend spadkowy wielkości emisji CO2 w milionach ton w UE w latach 2006-2020



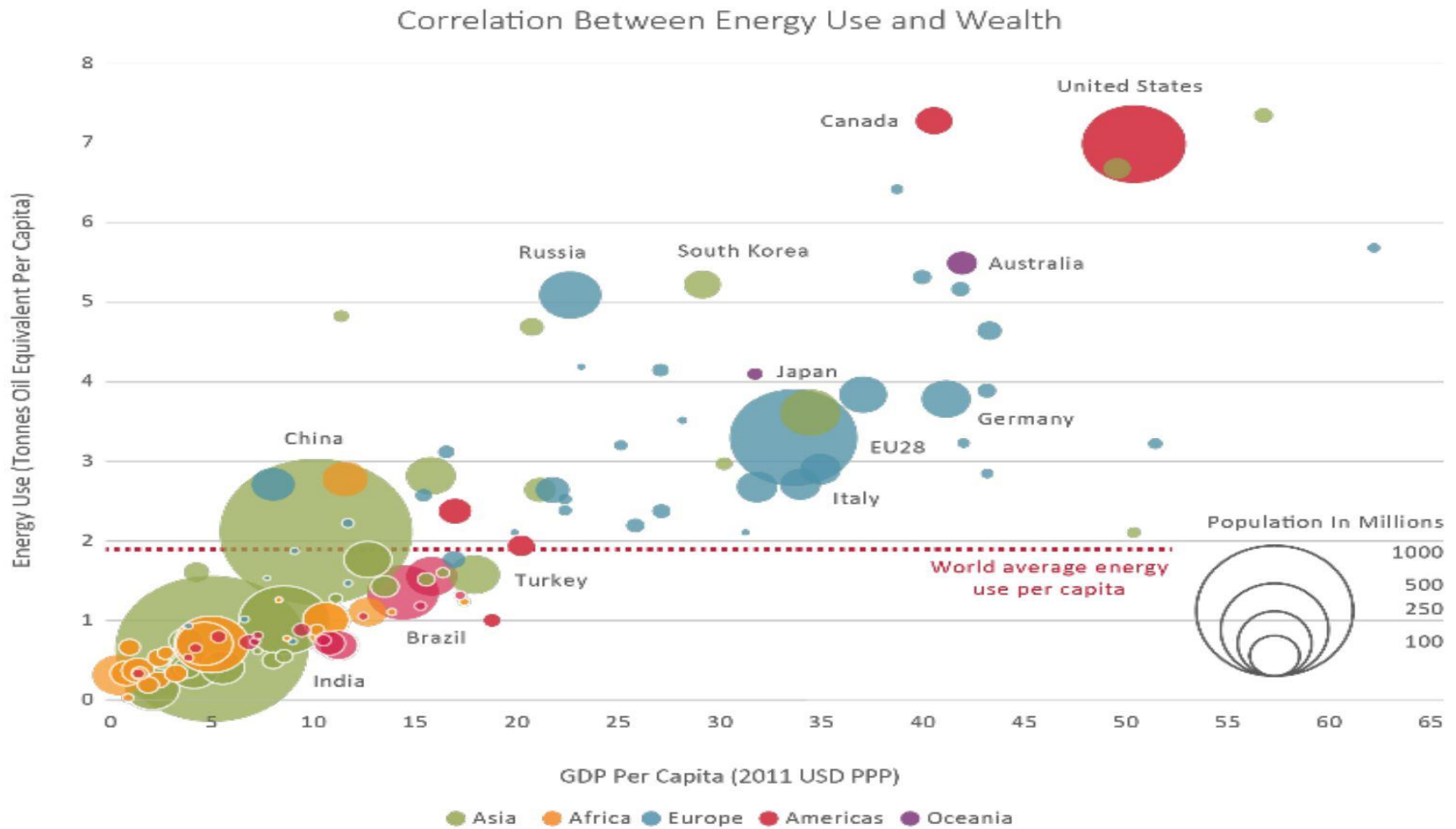
[źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Eurostat].

☐ MODEL IDEOLOGICZNY TZW. ZIEŁONEGO ŁADU:

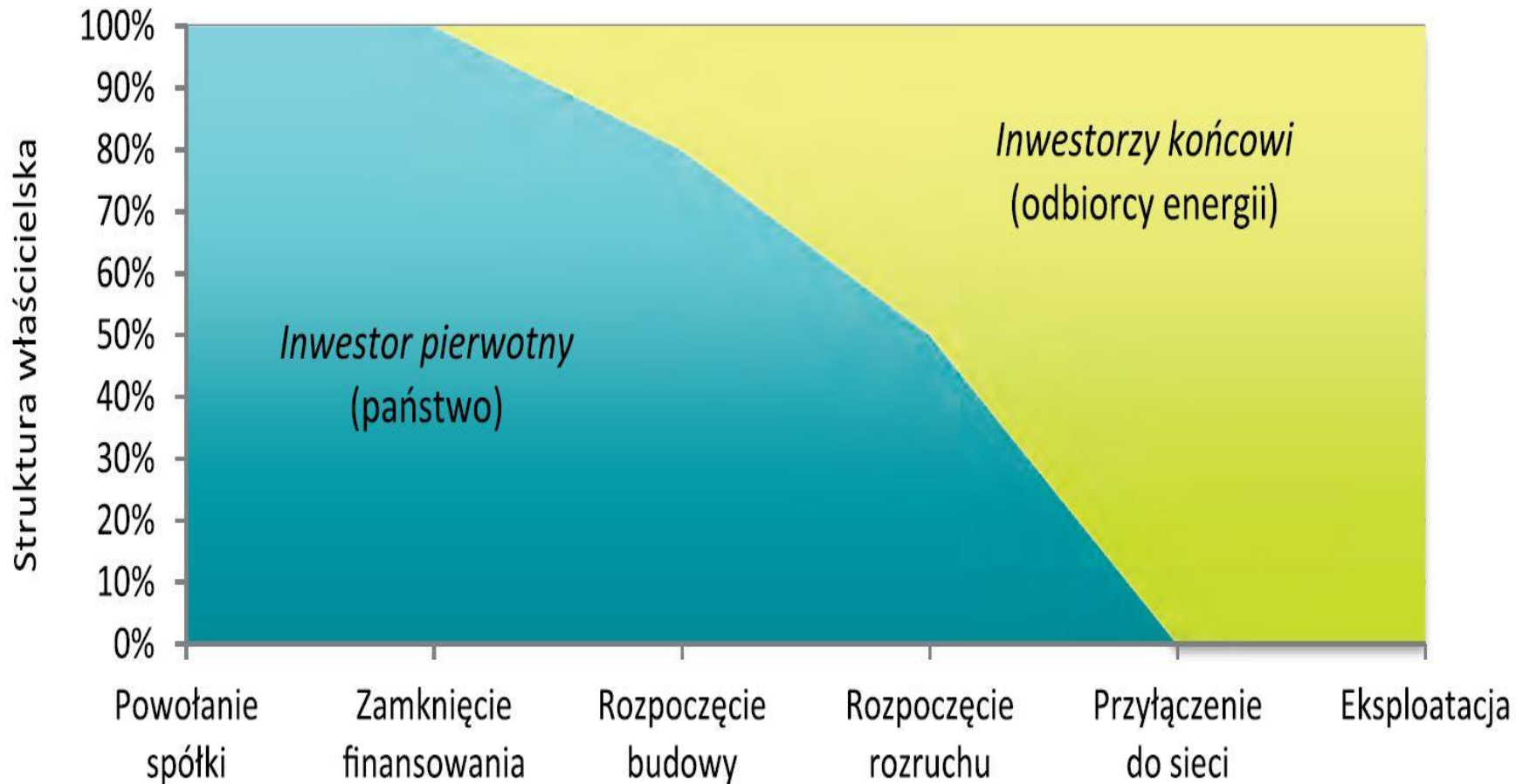
WYMAGANA POWIERZCHNIA GRUNTU DLA RÓŻNYCH TECHNOLOGII PRODUKCJI ENERGII O MOCY 1 GWE



☐ MODEL SOLIDARYZMU SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO: Zależność pomiędzy wielkością używanej energii a zamożnością



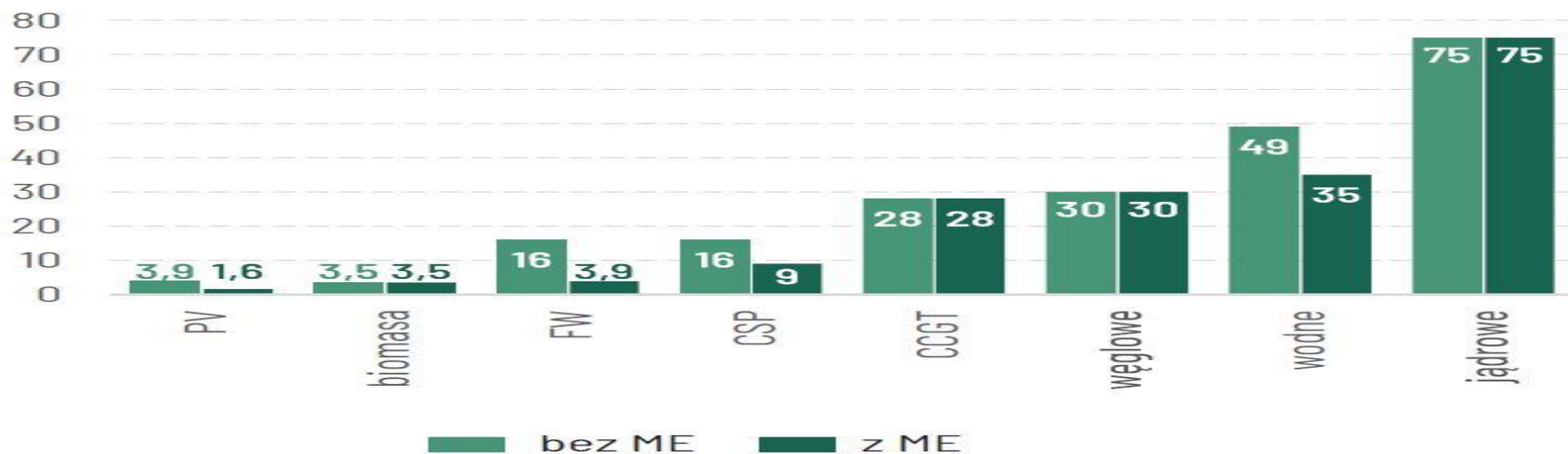
☐ MODEL SOLIDARYZMU SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO: KONSUMENCKI MODEL FINANSOWANIA ELEKTROWNI - MANKALA



Rys. 2. Zmiany struktury właścicielskiej w Modelu SaHo – wersja podstawowa
Figure 2. Change in the ownership structure in the SaHo Model – basic version

❑ MODEL SOLIDARYZMU SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO:

Wartość EROI dla różnych technologii wytwarzania energii



Legenda: PV – panele fotowoltaiczne, FW – lądowe farmy wiatrowe o wysokim współczynniku wykorzystania mocy, CSP – elektrownie skoncentrowanej energii słonecznej, CCGT – elektrownia gazowo-parowa, ME – magazyn energii.

$$EROI = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

E_{out} = oznacza energię użyteczną, jaką oddaje jednostka wytwórcza (elektrownia) przez cały czas okresu jej eksploatacji.

E_{in} = oznacza energię użyteczną, jak jest konieczna, aby można było zbudować i eksploatować źródło wytwarzające energię o wielkości E_{out} . Zaangażowanie energetyczne na wejściu obejmuje koszty wydobycia paliwa i innych potrzebnych kopalin, koszty przetwarzania kopalin, magazynowanie i inne niezbędne nakłady energetyczne)

❑ MODEL SOLIDARYZMU SPOŁECZNO-GOSPODARCZEGO: MAPA RYZYKA NIEWYDOLNOŚCI SYSTEMU GOSPODARCZEGO

dla $EROI > 15$

nie ma ryzyka niewydolności systemu gospodarczego,

$10 < EROI < 15$

oznacza niskie ryzyko niewydolności systemu gospodarczego,

$5 < EROI < 10$

oznacza wejście w obszar niebezpieczny dla systemu gospodarczego,

$5 < EROI < 3$

oznacza wejście w obszar bardzo niebezpieczny dla systemu gospodarczego,

$3 > EROI$

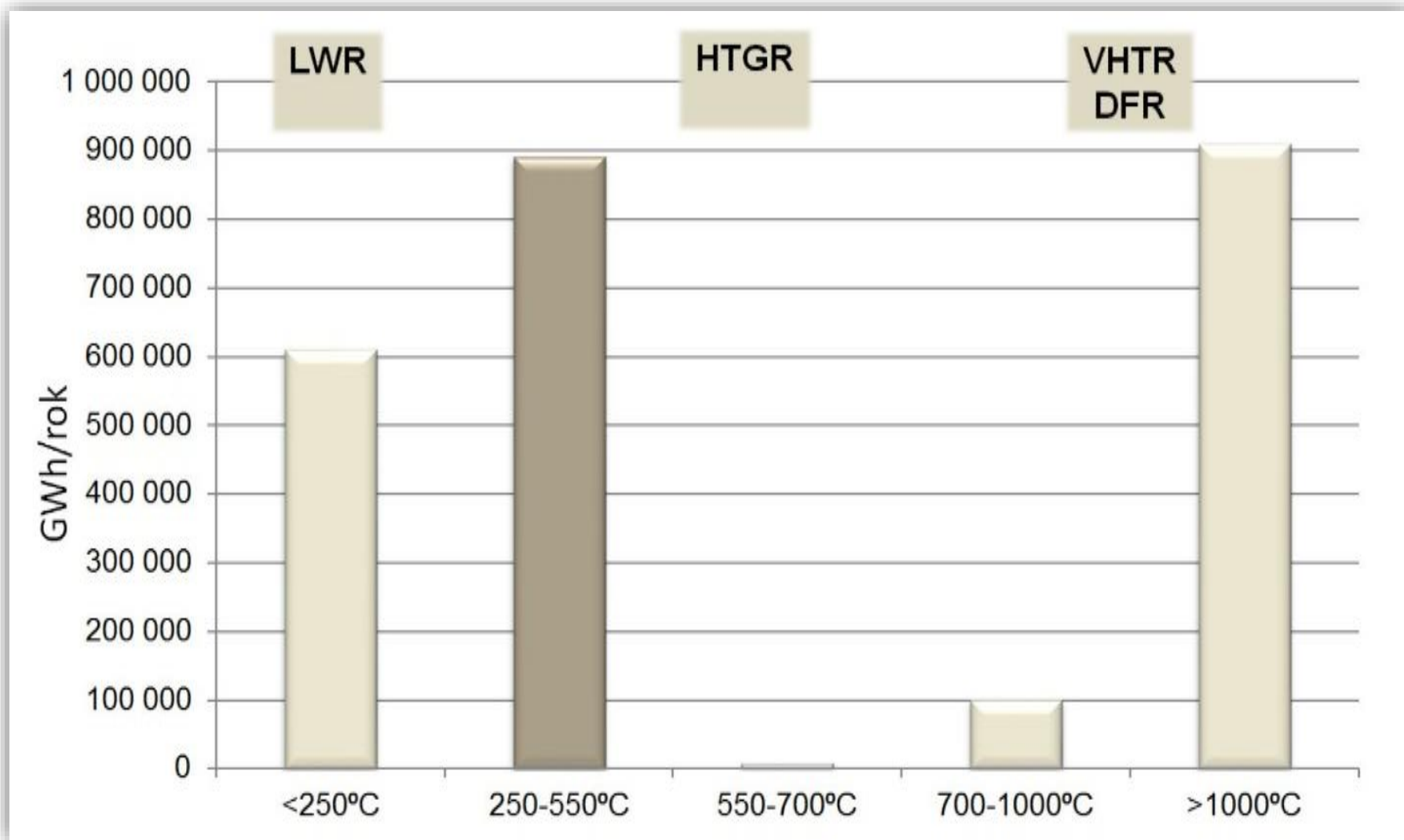
oznacza niewydolność systemu gospodarczego.

POLSKI REAKTOR POLA TYPU HTGR

- ❑ **Polski reaktor SMR POLA-HTGR został skonstruowany w latach 2016-2024 i należy on do grupy pięciu tego typu reaktorów w świecie, które czekają na przygotowanie dokumentacji inżynierskiej w celu rozpoczęcia budowy i ostatecznie rozpoczęcia działania operacyjnego**
- ❑ **Prawdopodobnie polski rząd w 2024 r. zatrzymał finansowanie rozwoju reaktora POLA i wdrażania go do przemysłu, co tworzy poważne ryzyko, że budowany latami zespół konstruktorów o niezwykle wysokich kompetencjach zostanie przejęty przez inne światowe ośrodki.**
- ❑ **Potrzebne środki finansowe na stworzenie dokumentacji inżynierskiej dla reaktora POLA nie są duże i wynoszą prawdopodobnie ok. 80 mln zł.** Szybkie wybudowanie reaktora POLA-HTGR, na który czeka obecnie już kilkadziesiąt przedsiębiorstw, które mogłyby po wybudowaniu lub w trakcie budowy refinansować takie inwestycje, gdyż jest to ich interes biznesowy.
- ❑ **Kontynuacja budowy reaktora POLA przyczyniłoby się do tworzenia w Polsce know-how, będącego dalej bazą do produkcji SMR-ów w Polsce nie tylko na potrzeby wewnętrzne, ale także na eksport.**
- ❑ **Wdrożenie polskiej myśli technicznej technologii SMR do działalności operacyjnej w biznesie tworzyłaby szansę na dołączenie do światowej czołówki, co przyczyniłoby się do silnego rozwoju polskiej gospodarki.**

POLSKI REAKTOR POLA TYPU HTGR

Zapotrzebowanie europejskiego przemysłu na ciepło procesowe



LCOE

Levelized Cost of Electricity

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} = \frac{\text{sum of costs over lifetime}}{\text{sum of electricity produced over lifetime}}$$

I_t Investment expenditures in year t
 M_t Operation & maintenance expenditures in year t
 F_t Fuel expenditures in year t

E_t Electrical energy generated in year t
 r Discount rate
 n Expected lifetime of system

Oszacowanie wartości LCOE metodą Symulacji Monte Carlo

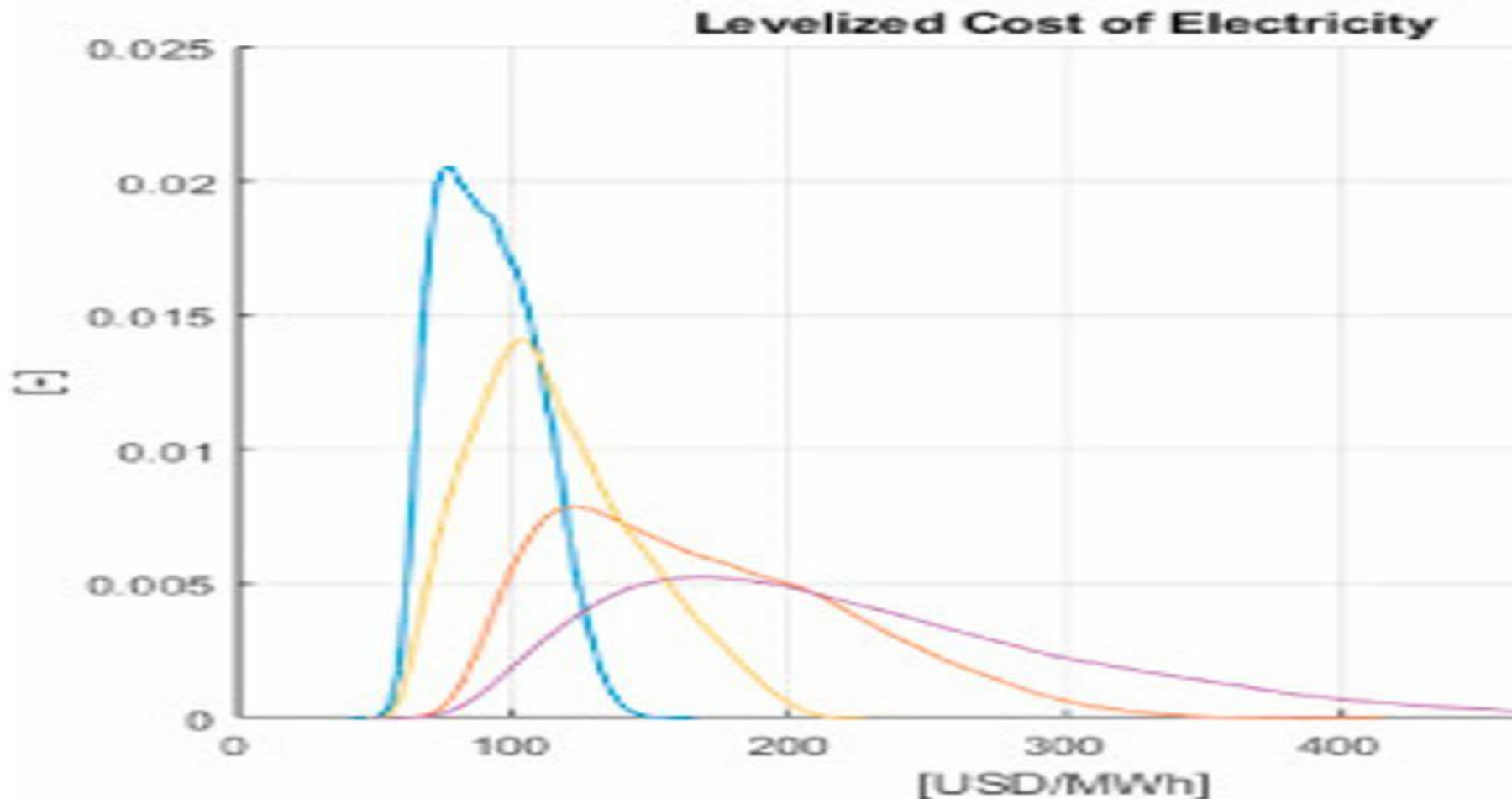
Summary statistics for LCOE simulations using the Roulstone estimation in USD₂₀₂₀/MWh.

Project	mean	std	min	q25	median	q75	max
BWRX-300	230	54	129	188	224	266	400
UK SMR	222	40	145	190	218	250	343
SMR-160	273	99	107	198	254	332	614
SMART	329	140	108	221	300	412	826
NuScale	414	187	133	267	371	524	1.088
RITM 200M	506	258	141	301	441	656	1.451
ACPR 50S	619	336	162	347	532	824	1.830
KLT-40S	672	376	169	368	572	901	2.042
CAREM	732	428	172	385	614	991	2.304
EM2	116	20	81	99	116	133	161
HTR-PM	136	22	94	117	134	153	193
PBMR-400	139	26	88	118	137	158	216
ARC-100	1.217	530	405	805	1.101	1.530	3.100
CEFR	3.484	2.244	733	1.648	2.805	4.861	11.662
4S	5.222	3.946	758	2.031	3.906	7.519	20.178

Istotnym wnioskiem z tej tabeli jest fakt, że reaktory HTR oferują najniższą wartość średnią LCOE przy jednocześnie najniższym odchyleniu standardowym, co może świadczyć o dużej dokładności oszacowanej wartości lub także o większej przewidywalności czynników kształtujących ekonomikę SMR typu HTR.

Przykładowe rozkłady LCOE uzyskiwane w symulacji Monte Carlo

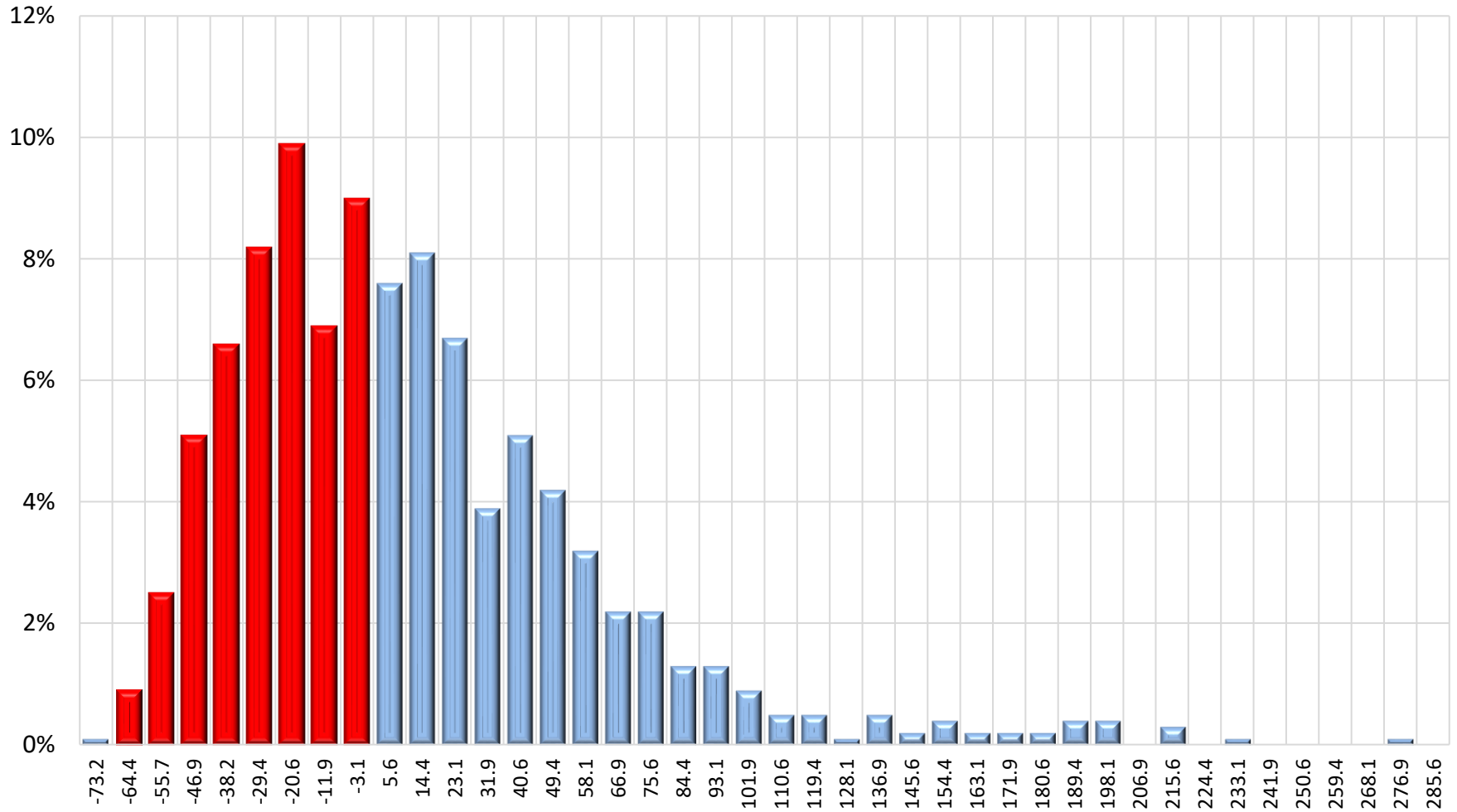
Niebieski rozkład charakteryzuje SMR-y typu HTR



Źródło: Krysiak Z., Uwarunkowania i metody oceny ekonomiczno-finansowo-efektywnościowej wdrażania małych reaktorów modułowych w Polsce, Postępy Techniki Jądrowej, 1/2025, w przygotowaniu do druku

ROZKŁAD NPV INWESTYCJI W SMR - METODA MONTE CARLO

Wartość i ryzyko projektu



POTENCJAŁ ŚWIATOWEGO POPYTU NA SMR

- ❑ **Obecnie, na świecie działa ok. 450 różnego typu elektrowni jądrowych**, a prognozy wskazują, że w długiej perspektywie do 2050 roku nastąpi wielki boom popytowy na nowe elektrownie jądrowe.
- ❑ **W perspektywie 25 lat na świecie może powstać ok. 1000-2000 nowych elektrowni jądrowych**, w Europie ok. 100-200, zaś w Polsce ok. 10-20.
- ❑ **Można sądzić, że istotny udział w budowie elektrowni jądrowych będą miały technologie wysokotemperaturowych reaktorów (eng. High Temperature Gas Reactors, HTGR)**, w których chłodziwem jest hel i należą one do reaktorów najnowszej generacji.

CENY PRĄDU DLA RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

☐ Ceny energii dla odbiorców z ETS:

węgiel=ok. 560 zł.

gaz 450

wiatr=750 zł.

fotowoltaika=820 zł.

☐ Ceny energii dla odbiorców bez ETS:

węgiel=ok. 280 zł,

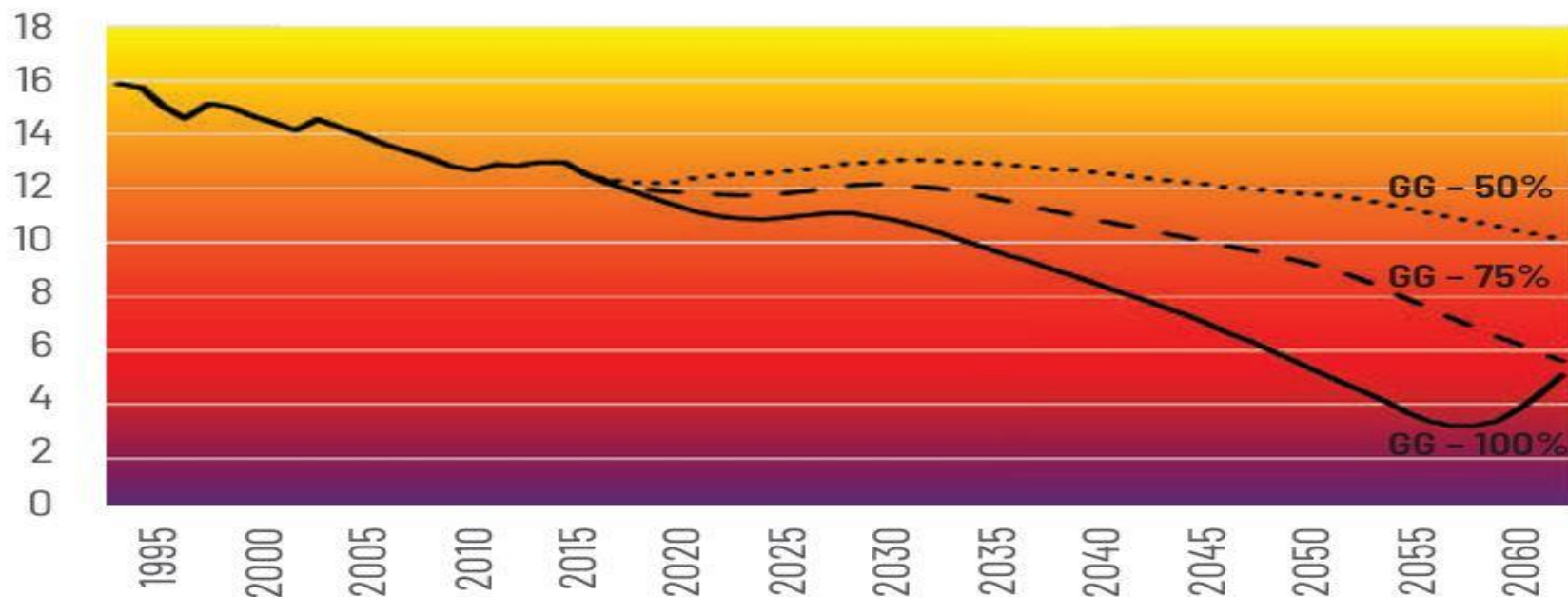
gaz=450 zł.

wiatr=750 zł.

fotowoltaika=820 zł.

SPADEK EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ I WZROST RYZYKA NIEWYDOLNOŚCI SYSTEMU GOSPODARCZEGO DLA RÓŻNYCH POZIOMÓW GREEN GROWTH (GG) W OKRESIE DO 2060

Rysunek 3. Zmiana EROI systemu energetycznego w czasie dla scenariuszy GG – 50%, GG – 75% i GG – 100% wraz z poziomem ryzyka



Źródło: opracowanie własne na podstawie I. Capellán-Pérez, C. de Castro, L.J.M. González, dz. cyt.cyt.

PROGNOZA DEFICYTU MOCY W POLSCE DO 2040

Wykres 2. Wymagana dodatkowa moc dyspozycyjna netto w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w latach 2025–2040 (w GW)



Źródło: Polskie Sieci Elektroenergetyczne, Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2025–2034, marzec 2024.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Prof. Zbigniew Krysiak

Zbigniew.Krysiak@IMSchuman.com

Tel. 796 140 400

Warszawa, 28 stycznia 2025 r.