

Konferencja zorganizowana przez Senacką
Komisję Nadzwyczajną do spraw Klimatu

Energia jądrowa – stabilne źródło niskoemisyjne dziś i jutro

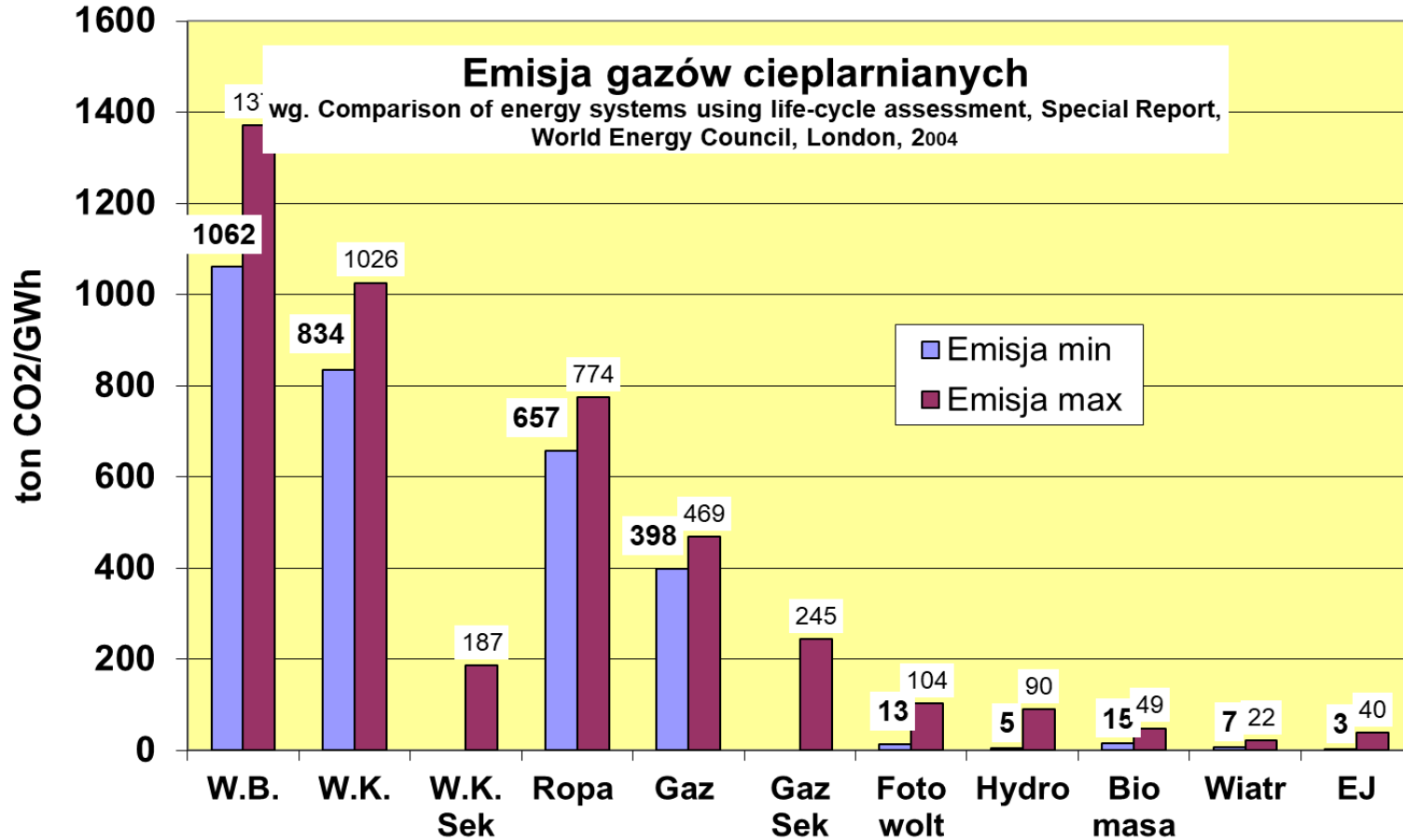
05.04.2022

Prof. NCBJ dr inż. Andrzej Strupczewski
Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Główne problemy omawiane w wykładzie

- Możliwości wiatrowych źródeł energii – nierównomierna generacja Niemcy, W. Brytania
- Niewystarczające przesyłanie energii wiatrowej z innych krajów
- Porównanie skuteczności OZE i EJ w redukcji emisji CO₂
- Bilans emisji CO₂ w całym cyklu jądrowym
- Paliwo jądrowe – dostępne z różnych źródeł i na długo
- Wybór strategii dla Polski: OZE czy EJ

Drogi do redukcji emisji CO2



Wielkości emisji podano dla całego cyklu życia, od wydobywania surowców i paliwa do likwidacji elektrowni i unieszkodliwienia odpadów.

Dla energii jądrowej

40 t/GWh odpowiada wzbogacaniu uranu w zakładach dyfuzyjnych,

3 t/GWh – w wirówkach, obecnie już dominujących

Czy sama rozbudowa wiatraków i paneli fotowoltaicznych daje obniżenie emisji CO2?

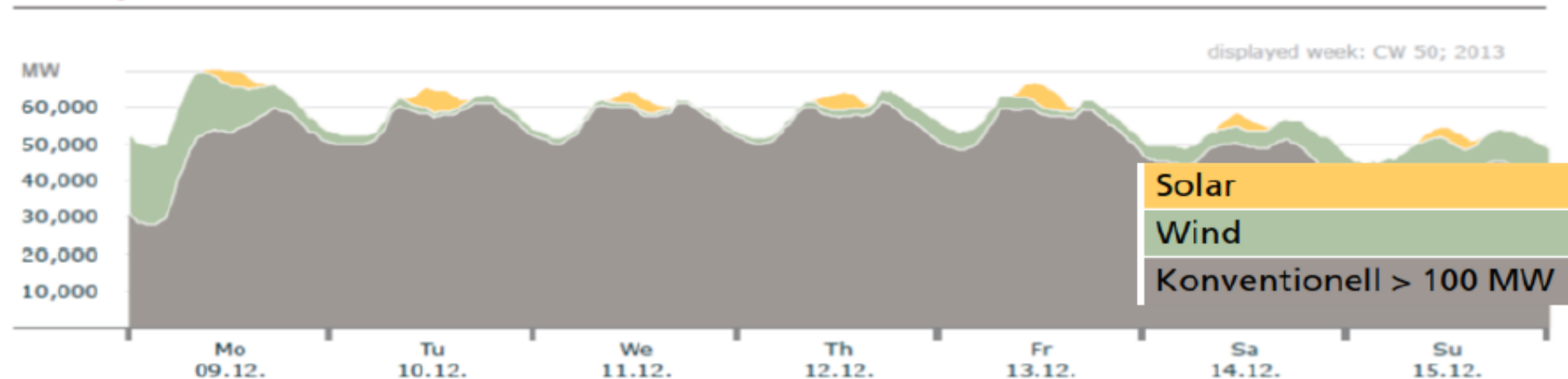
- Niestety nie.
- Sprawdźmy to na przykładzie Niemiec.
- Porównanie wielkości emisji CO2 podawanych przez urząd statystyczny UE wykazuje, że emisje CO2 przypadające na jednego mieszkańca są w Niemczech większe (**9.3 t/rok**) niż w Polsce (7,8 t/rok) i dużo większe niż we Francji (5,0 t/rok).
- W stosunku do 2014 r. emisje CO2 w Niemczech w 2015 r. wzrosły o 1.3%, a **w stosunku do roku 2009 średnie emisje roczne w latach 2010-2015 były o 2% wyższe.**
- Zamknięcie 8 elektrowni jądrowych, które nie emitują CO2, trudno jest skompensować

Nierównomierność generacji energii z OZE

Electricity Production in Germany: Calendar Week 50

Institut Fraunhofer für Solar und Wind Energie ISE

Actual production

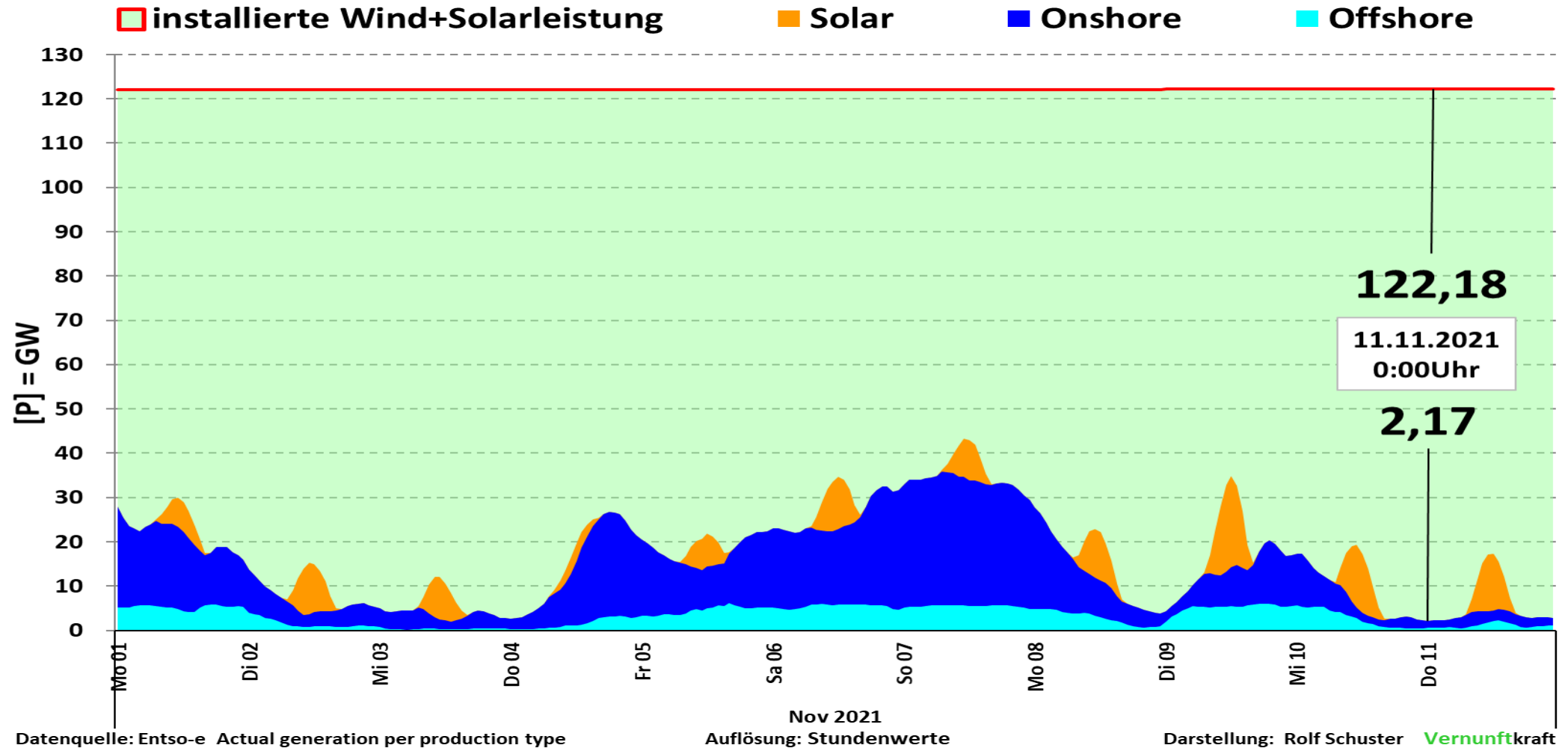


Die Welt: „Na początku grudnia 2013 r. produkcja energii z elektrowni wiatrowych i słonecznych niemal kompletnie stanęła. Nie obracało się ponad 23 000 wiatraków. Milion układów fotowoltaicznych niemal całkowicie przerwało wytwarzanie prądu. Przez cały tydzień EW, EJ i gazowe musiały zaspokajać około 95% zapotrzebowania Niemiec

Jeden z wielu przykładów zawodności zasilania wiatraków na lądzie w Niemczech. W Polsce warunki wiatrowe są podobne jak w Niemczech – przerwy w zasilaniu

Czy okresy braku wiatru były tylko w przeszłości?

Bynajmniej! Np. 11. listopada 2021

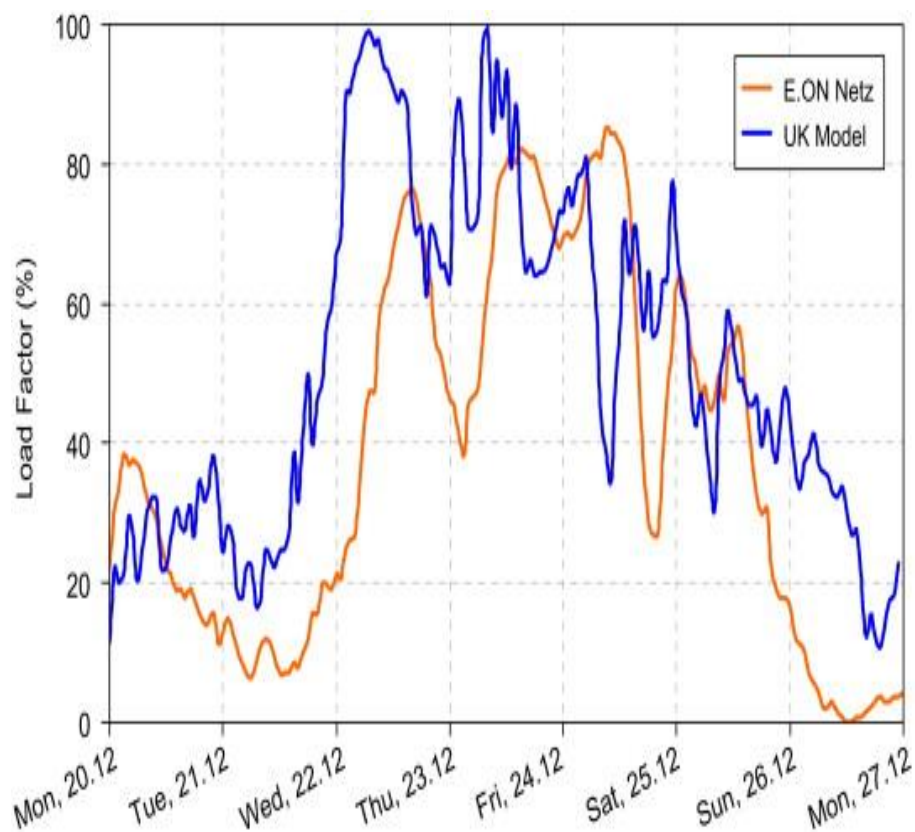


Czy wiatraki na morzu zapewnią sterowalne, niezawodne źródła czystej energii?



- Przerwy w generacji prądu występują też w morskich farmach wiatrowych. **Moc morskich farm wiatrowych MFW na Bałtyku w maju 2018 roku.** W ciągu okresu ciszy morskiej trwającego 4,5 dni i nocy, średnia moc MFW wynosiła $< 0,6\%$ mocy nominalnej. Z takimi okresami ciszy morskiej musimy się liczyć planując wprowadzanie MFW

Czy lekarstwem jest przesyłanie energii z sąsiednich krajów?



<http://docs.wind-watch.org/oswald-energy-policy-2008.pdf>

Budowa wielkich sieci przesyłowych jest kosztowna i sprzeczna z ideałem energetyki rozproszonej, gdzie każdy wytwarza sam potrzebną mu energię elektryczną.

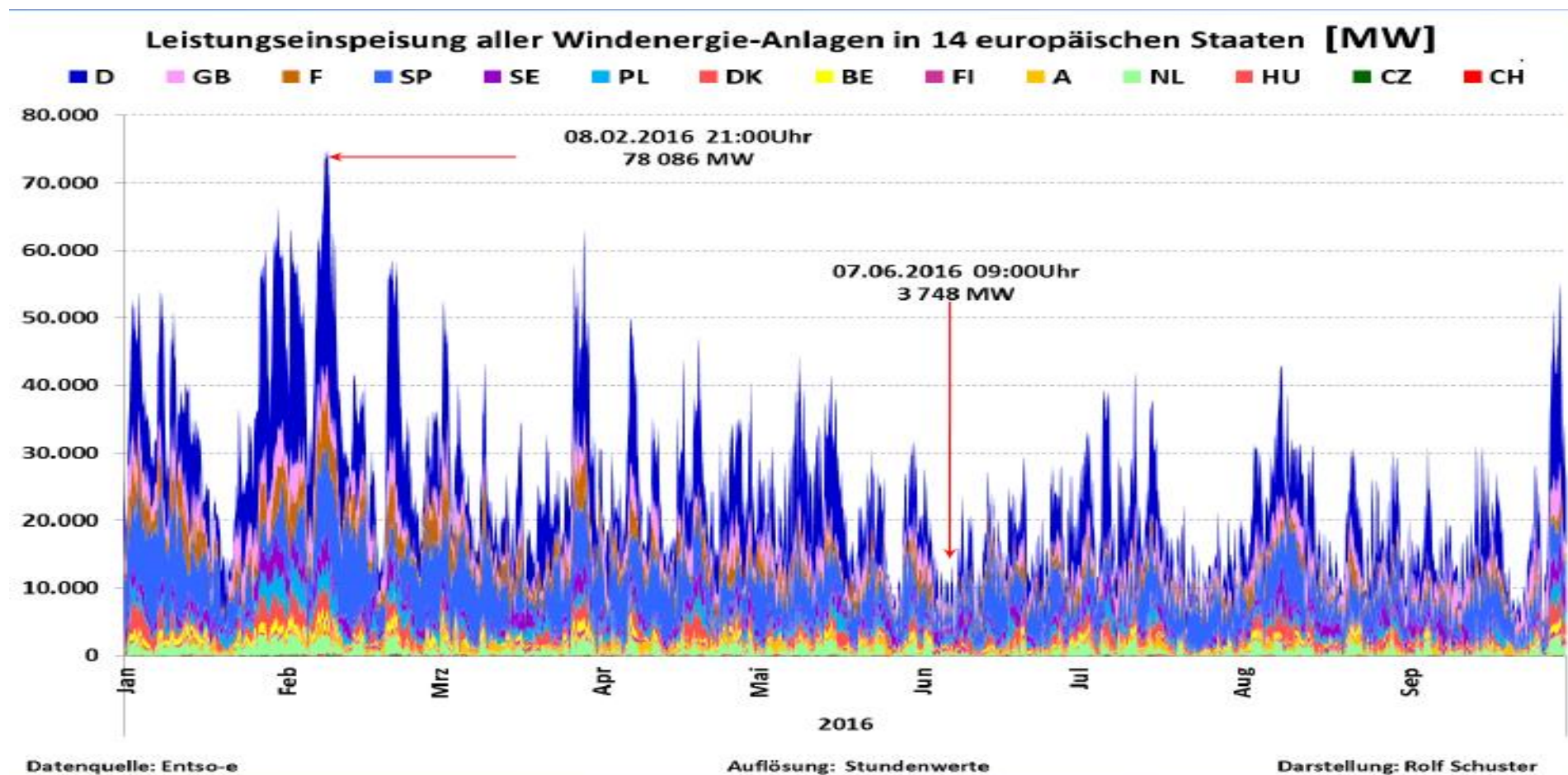
Co więcej, nie jest to wystarczające.

Zmiany mocy wiatru występują na dużych obszarach jednocześnie.

Przykład – moc wiatru w Wielkiej Brytanii i w Niemczech. (Oswald 2008)

Wzrost i spadki mocy od 100% do 10% i od 85% do 0% występują jednocześnie w obu obszarach

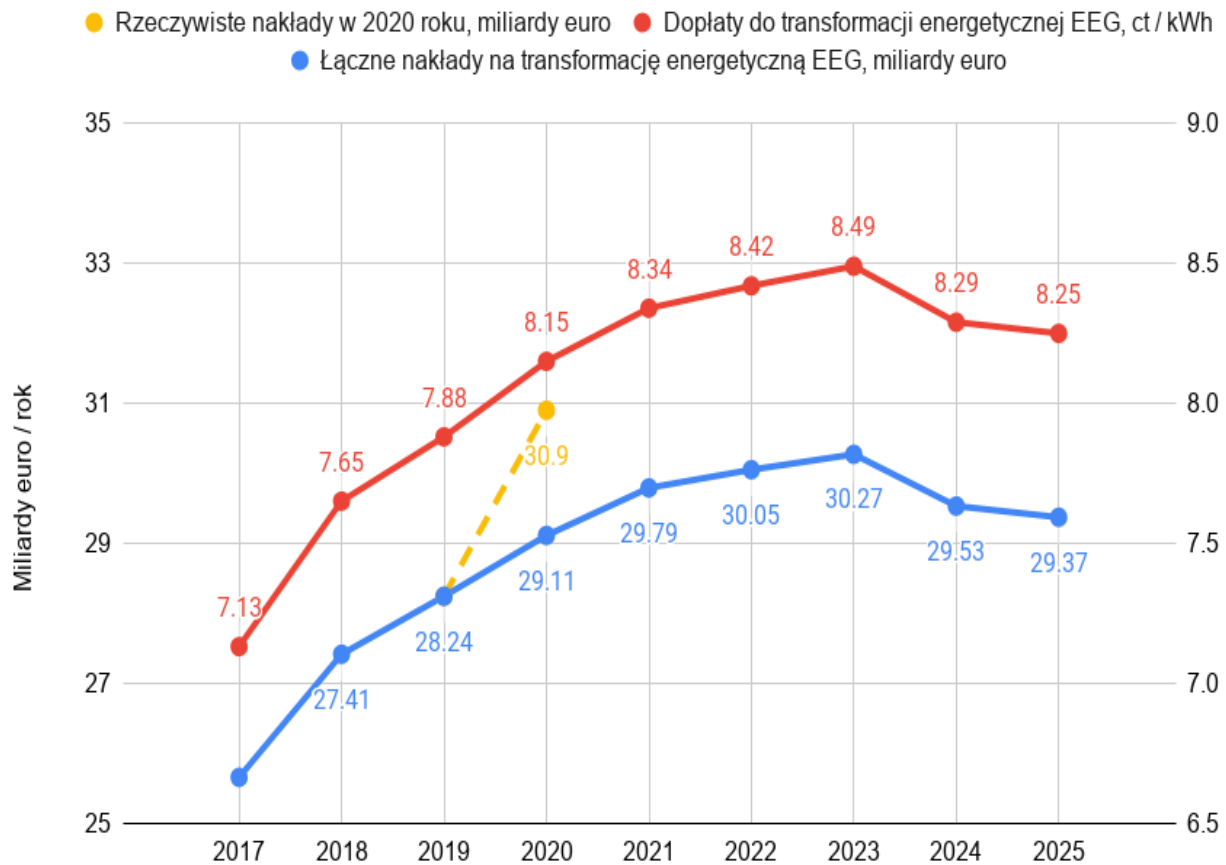
Wykres roczny dla 14 krajów od Finlandii do Hiszpanii



Zwiększanie liczby krajów nie daje wyrównania wykresu generacji mocy wiatraków.
Wahania są olbrzymie - od 3,7 GW do 78 GW.

Dane przedstawione przez R. Schustera, NGO Vernunftkraft

Efekty konieczności kompensacji nierównomierności generacji OZE



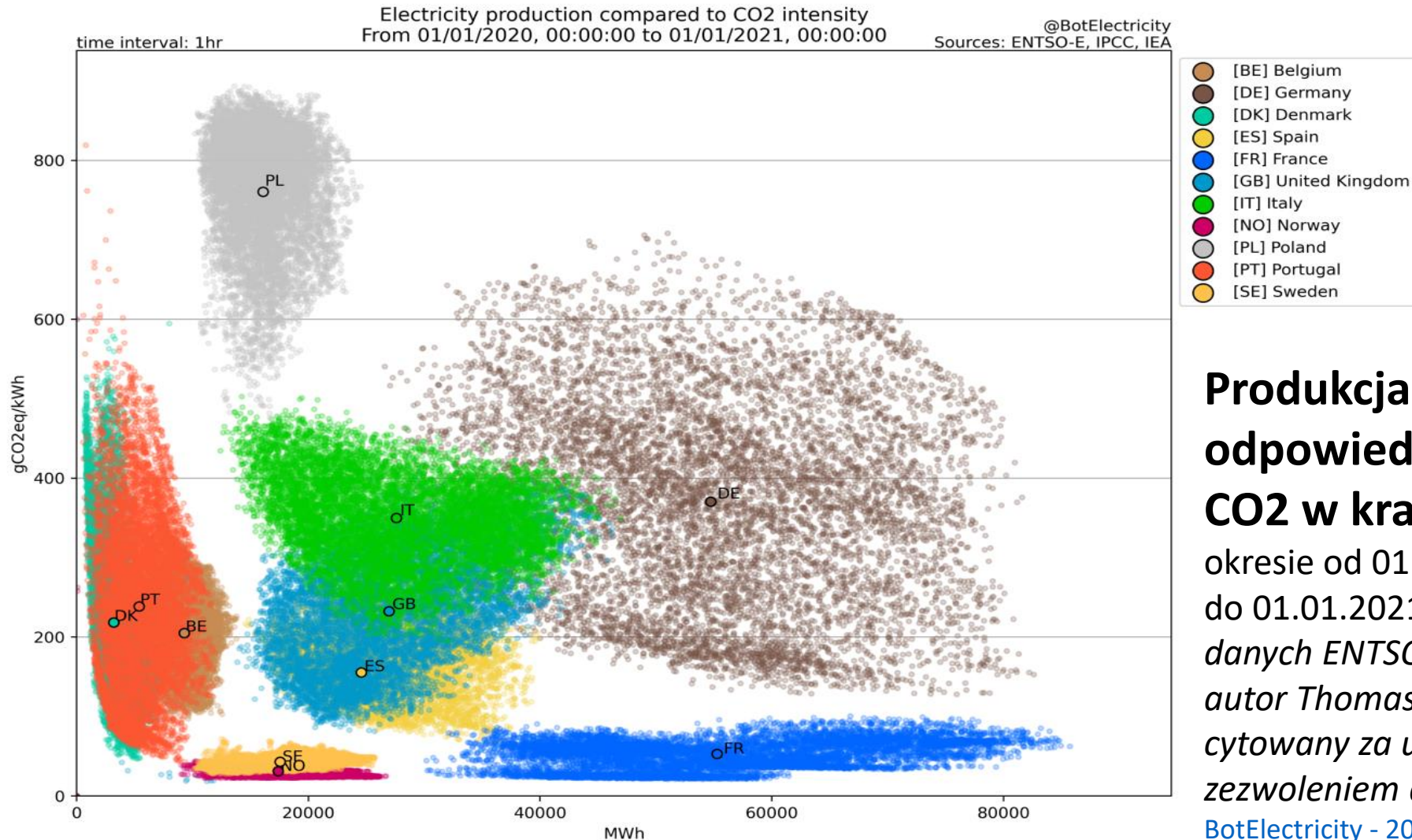
Moc zainstalowana większa niż potrzebna

Konieczność wzmocnienia sieci przesyłowej tak by mogła odebrać moc maksymalną większą niż średnia
Konieczność utrzymania rezerwowych źródeł energii – węgiel brunatny!

Subsydia dla OZE 30 mld euro /rok, przy 80 mln ludzi na 4 osobową rodzinę

1500 euro/rok

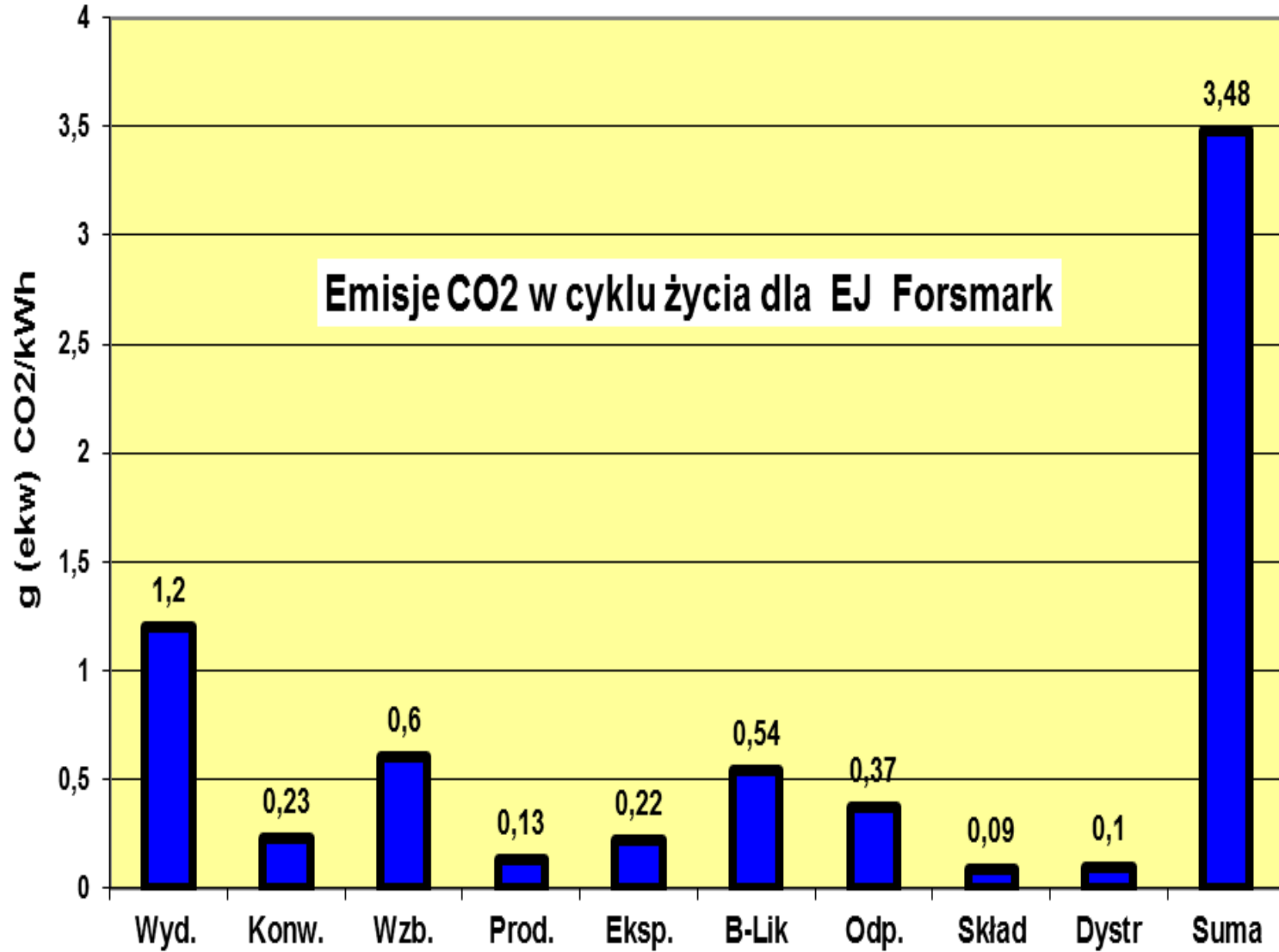
OZE czy EJ? Emisje w praktyce



Produkcja energii i odpowiednie emisje CO2 w krajach Europy, w

okresie od 01.01.2020 00.00.00 do 01.01.2021 00.00.00. Źródło danych ENTSO-E, IPCC 2014, autor Thomas-Auriel rysunek cytowany za uprzejmym zezwoleniem autora [\(12\)](#)

[BotElectricity - 2020 electricity insight | LinkedIn](#)



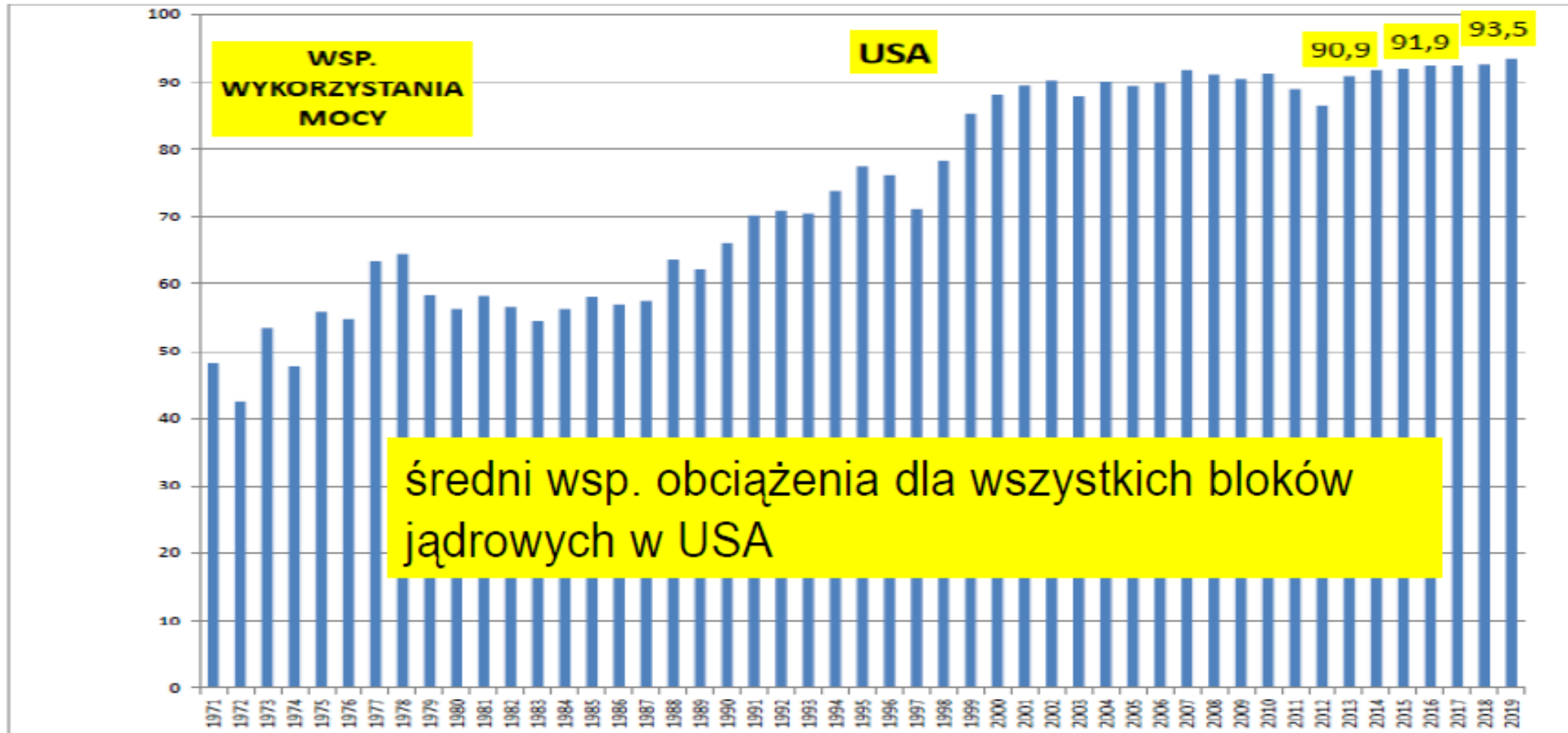
Emisje CO2 w cyklu życia EJ

1 g/kWh = 1 t/GWh

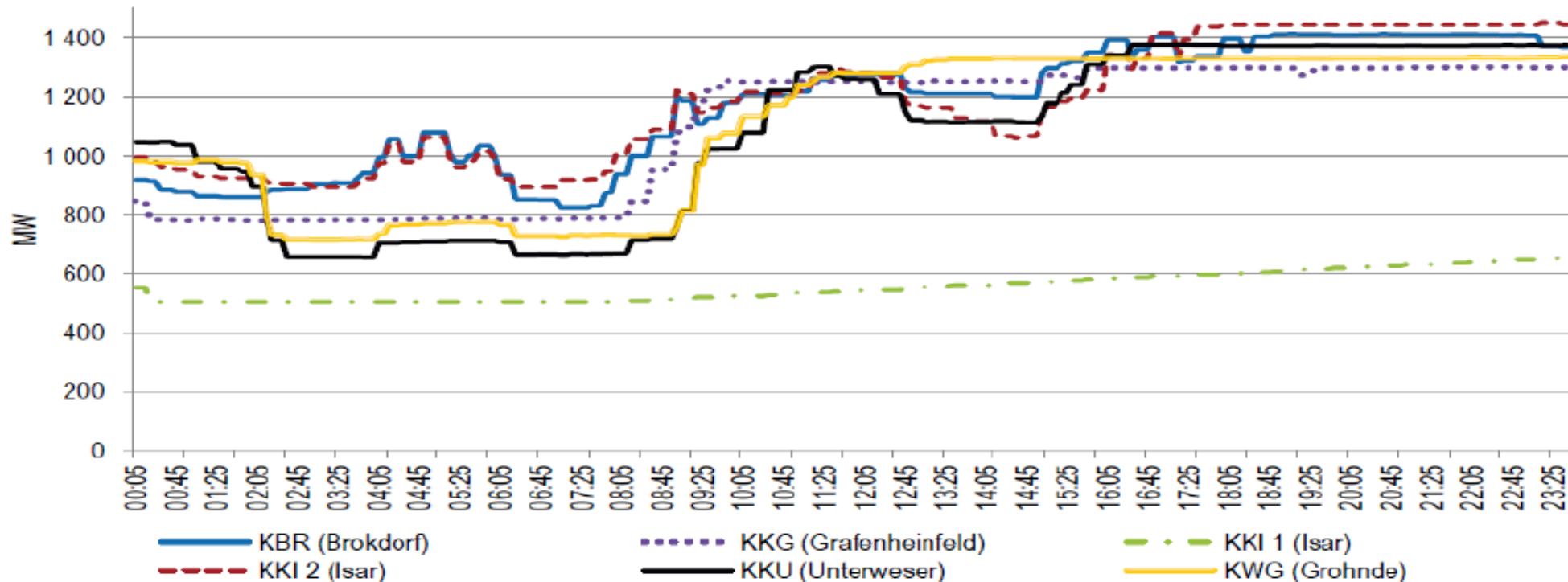
Łączne emisje **3,48 t/GWh** a dla gazu **398 t/GWh**, Dla węgla kam. **834**, a nawet dla wiatru **7 do 22 t/GWh**

Wydobycie to tylko **1,2 t/GWh**. Nawet gdyby koszt uranu wzrósł o **100%**, cena energii wzrosłaby **tylko o 5%**

Wsp wykorzystania mocy zainstalowanej w EJ b. wysoki

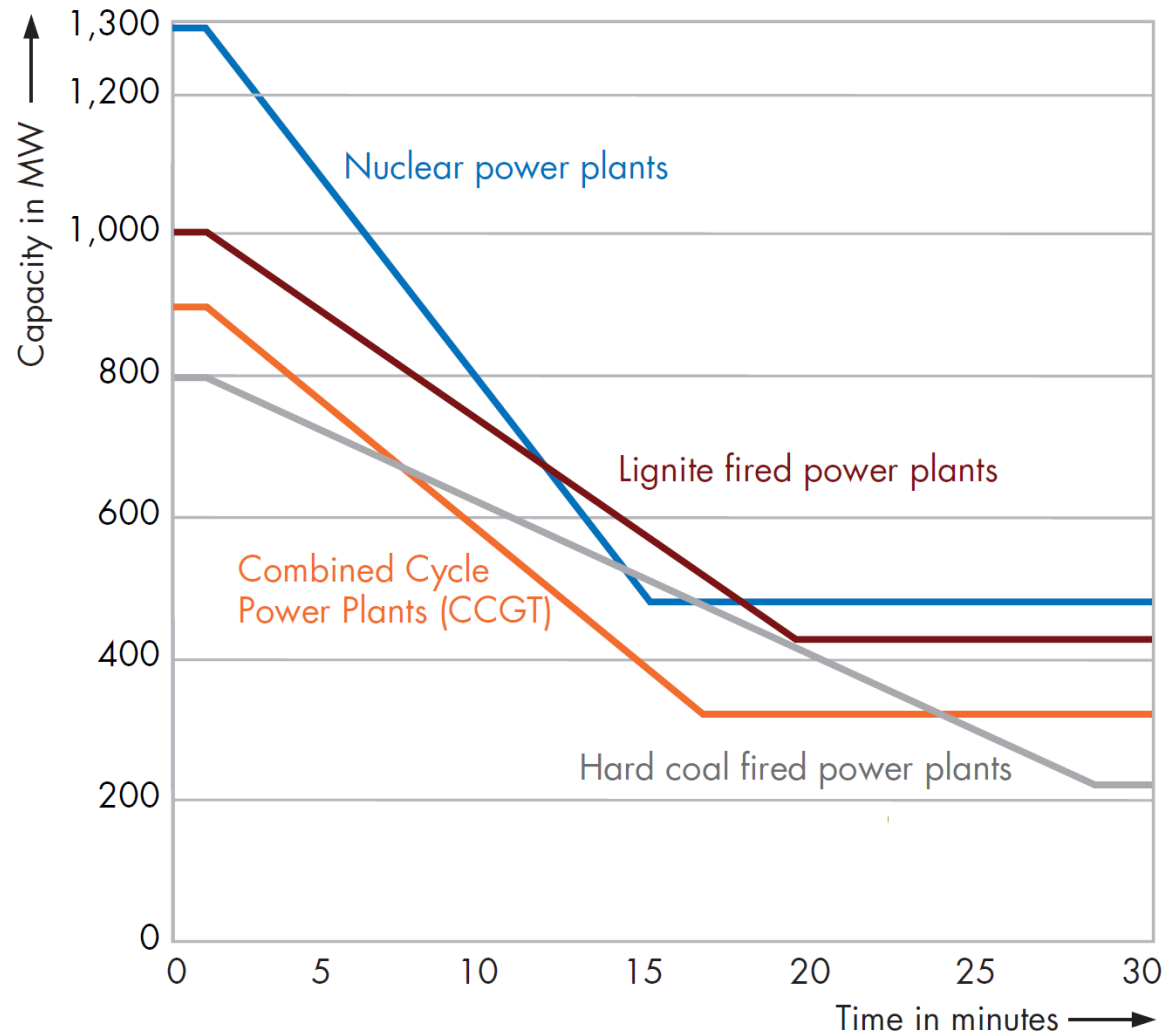


EJ mogą pracować w systemie nadążania za obciążeniem ... i pracują!



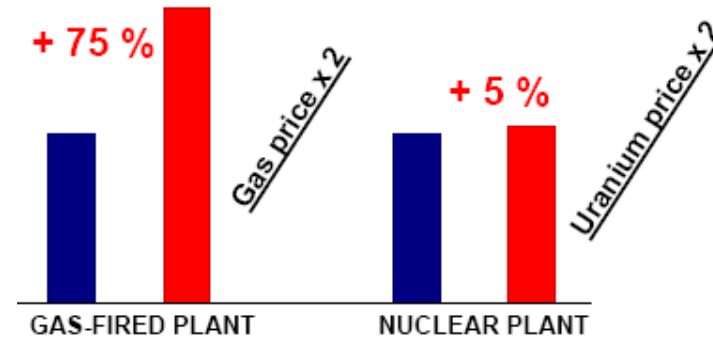
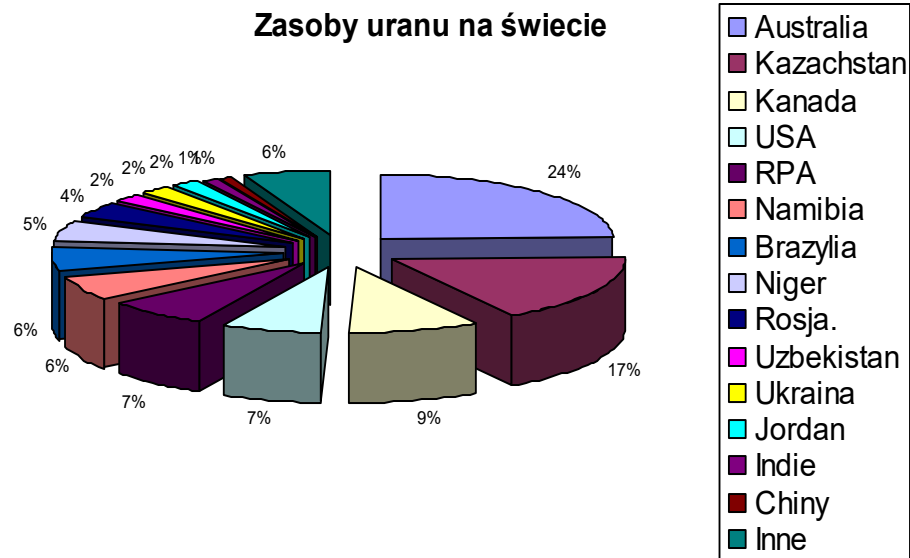
Zmiany mocy w funkcji obciążenia w niemieckich EJ w ciągu 24 h. Francuskie EJ pracują podobnie. A reaktory UK EPR zaprojektowano do **cyklicznych zmian mocy w granicach 25%- 100%**

Szybkość zmian mocy dla EJ i opalanych WK, WB i gazem (CCGT).



- EJ generacji III np. EPR są zaprojektowane tak, by mogły zmieniać swą moc **od 100% do 30% w ciągu 15 minut** – a więc szybciej niż elektrownie opalane węglem lub gazem.
- Dostarczają energię elektryczną wtedy kiedy jej potrzeba
- I tyle ile jej potrzeba!

Jakie mamy zasoby uranu opłacalne do wydobycia po cenie do 130 USD/kg(U)?



Kategoria zasobów	Zidentyfikowane	Wszystkie konwencjonalne	Konwencjonalne i niekonwencjonalne, (fosfaty)
Reaktory LWR/ Obecny cykl otwarty.	100	300	1690
Prędkie reakt. powielające. recykling Pu.	3070	8990	56 680
Prędkie reaktory powielające, recykling uranu i aktywności.	24 000	71 000	472 000

EJ dostarcza energię elektryczną po stałej cenie, niezależnie od wahań cen na światowym rynku surowcowym. Pomaga to w utrzymaniu stabilności cen energii, co sprzyja zrównoważonemu rozwojowi.

Czy Polska się nie uzależni energetycznie kupując paliwo od innych krajów?



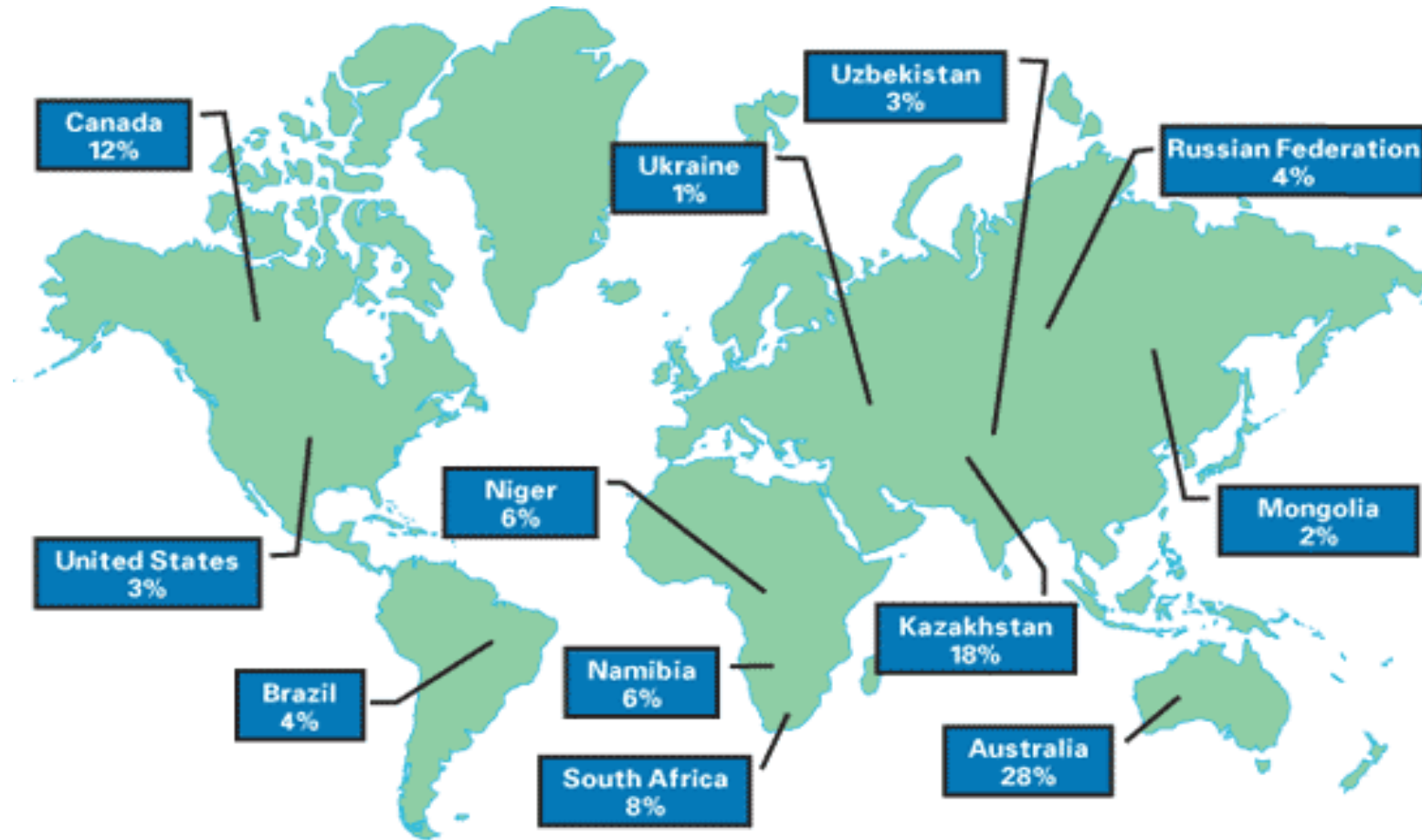
Ilość paliwa dla EJ jest mała,

640 kg of U-235 , co odpowiada paliwu o wadze około **25 ton**

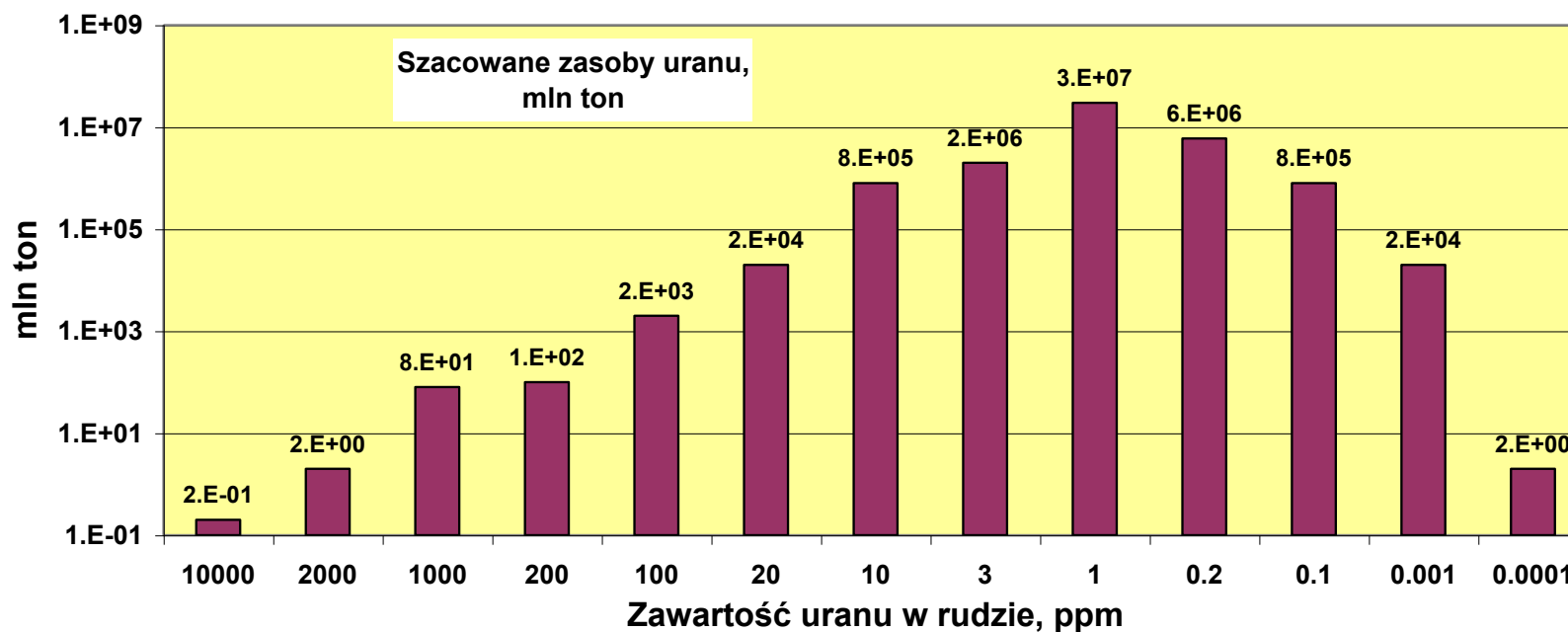
tzn. około 1 ciężarówka na rok do EJ 1000 MWe.

- Do elektrowni węglowej o tej samej moc potrzeba byłoby **3 000 000 ton** węgla.
- Tak małe ilości paliwa jądrowego można łatwo składować na kilka lat.
- Producentów paliwa jest wielu. Można też dostawcę zmieniać, jak to zrobili np. Czesi dla EJ Temelin
- Wzbogacanie uranu prowadzą USA, Francja, W. Brytania, Rosja, a kraje które nie chcą podlegać żadnej kontroli budują reaktory CANDU, mogące pracować z uranem naturalnym, bez wzbogacania.

Uran wydobywany jest w krajach stabilnych politycznie. Nie grozi nam szantaż ze strony Australii



Ile jest uranu w złożach o różnej zawartości U_3O_8 ?



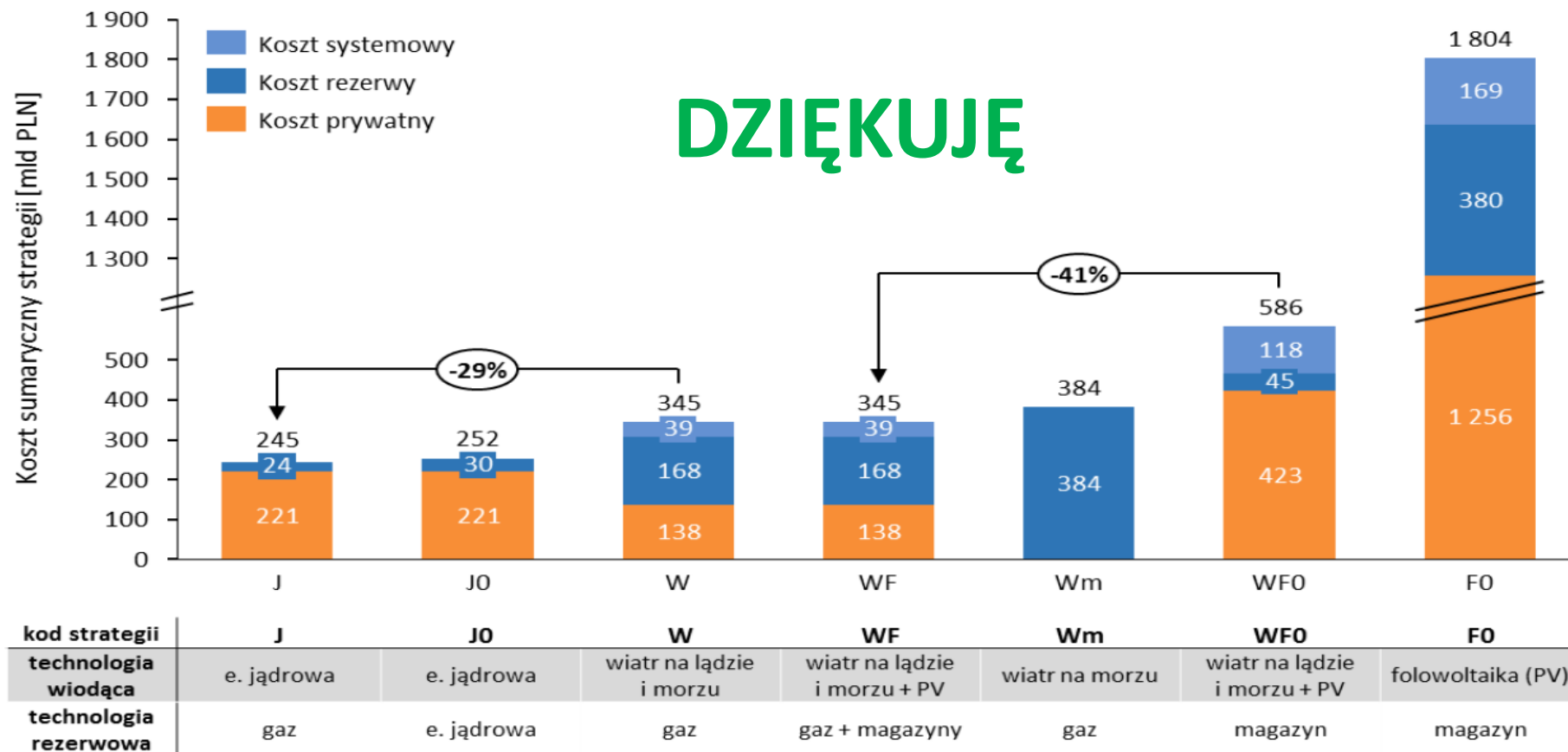
Dalsza eksploracja i wyższe ceny spowodują wzrost znanych zasobów w miarę zużywania obecnie rozpoznanych złóż. W miarę jak rozpatrujemy coraz uboższe złoża, ilość uranu możliwego do wydobycia rośnie.

W granicach od 1% do 0,0001% U_3O_8 przy obniżeniu zawartości uranu w rudzie 10 razy ilość łączna jego zasobów rośnie średnio o 2 rzędy wielkości.

EJ jest i będzie największym niskoemisyjnym źródłem energii elektrycznej

- Założono, że czas użytecznej pracy EJ Forsmark wynosi 40 lat. Okazało się, że EJ Forsmark wytwarza 75 razy więcej energii niż wynosi suma wkładów energetycznych w całym cyklu jądrowym.
- Nakład energii ze źródeł innych niż jądrowe potrzebny do pracy EJ przez 40 lat zwraca się w ciągu około 5 miesięcy pracy na pełnej mocy.
- EJ trzeciej generacji zapewniają wyższe wypalenie i mniejsze zapotrzebowanie na uran niż obecna II generacja.
- Emisje CO₂ i bilans energetyczny określone dla EJ Forsmark przedstawiają górną granicę prawdopodobnych emisji i potrzeb energii dla nowych EJ.

Skutki wyboru strategii EJ lub OZE (60 lat)



Źródło: NCAE ; W. Jaworski i inn. Bezpieczeństwo energetyczne w dobie neutralności klimatycznej , 2020