



Forum
Innowacyjności

Rola energetyki jądrowej w ochronie klimatu i środowiska

Energetyka jądrowa – bezpieczne i chroniące klimat źródło energii elektrycznej

dr inż. Andrzej Strupczewski
prof. Narodowego Centrum Badań Jądrowych

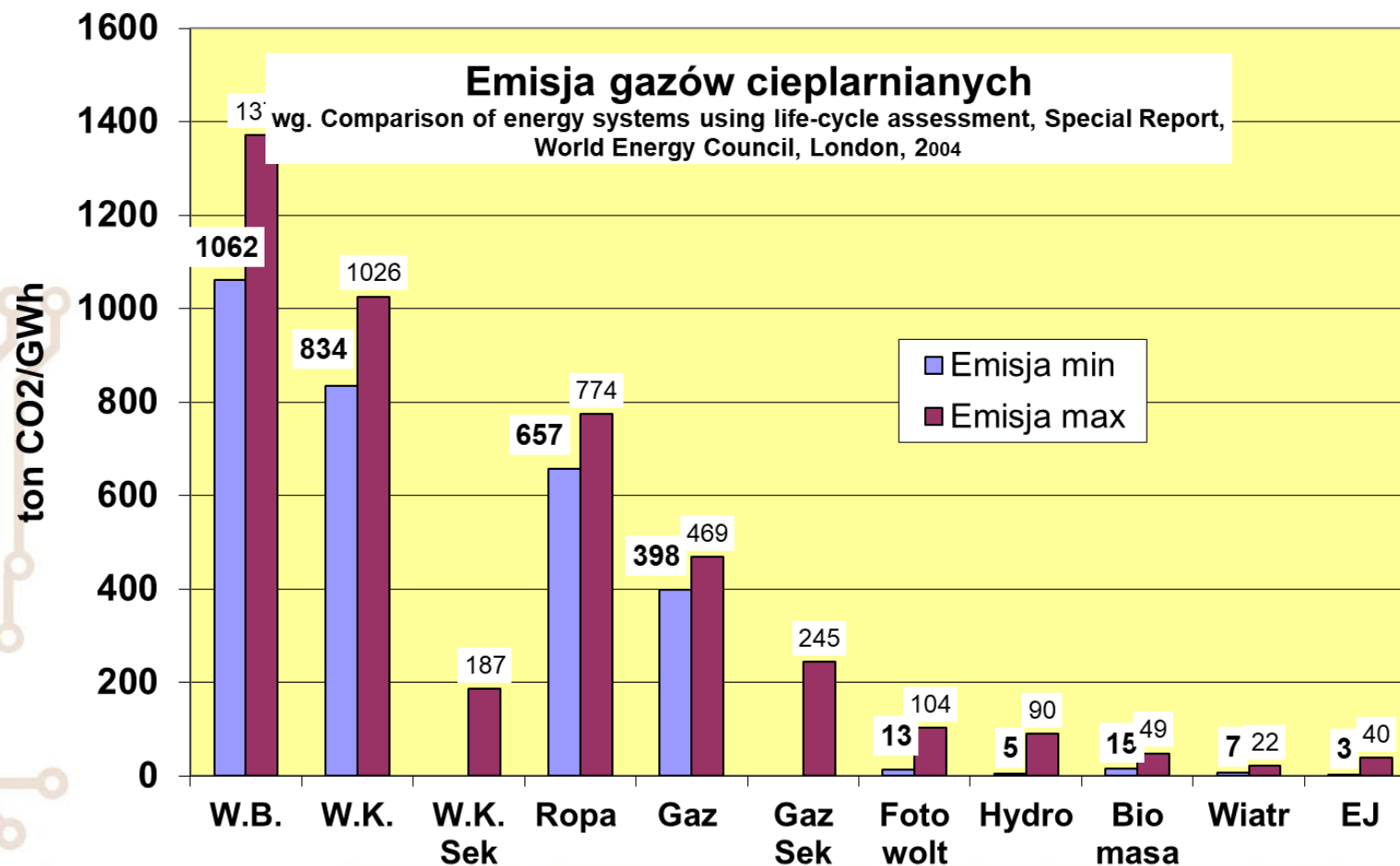


Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Drogi do redukcji emisji CO2



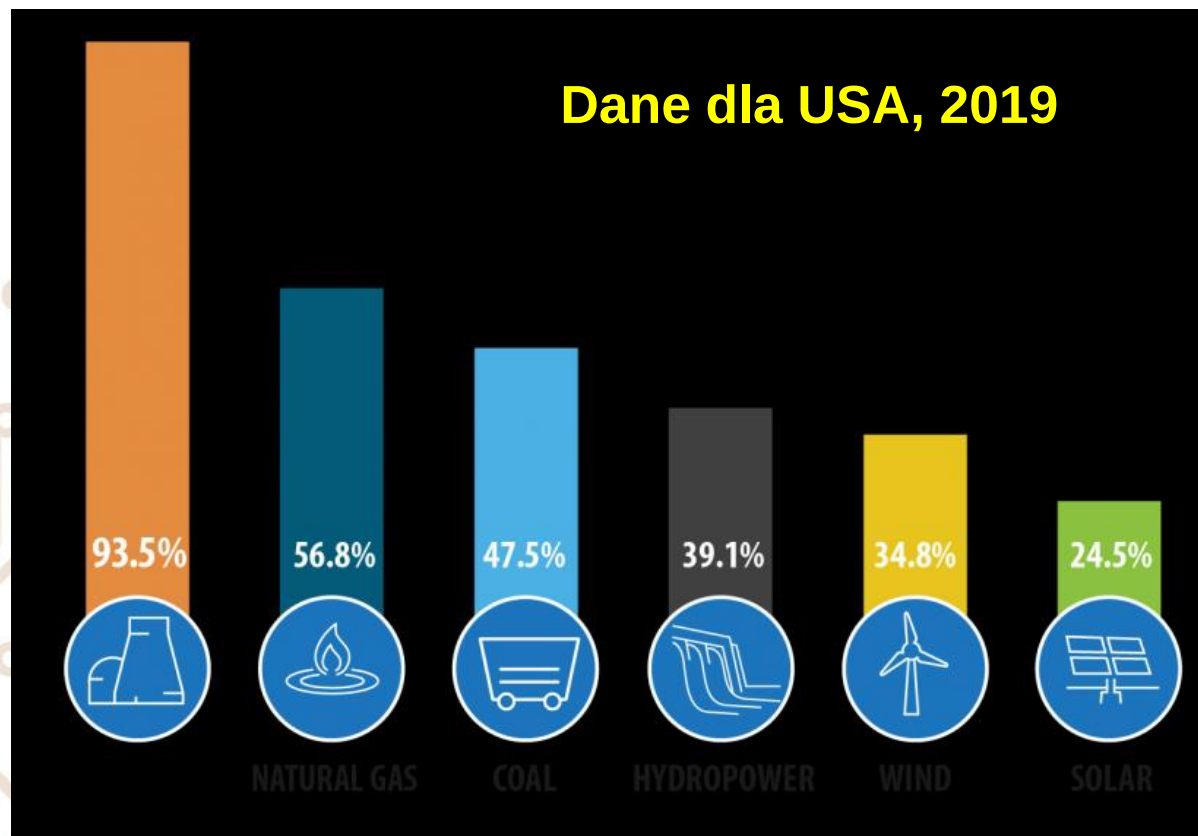
Wielkości emisji podano dla całego cyklu życia, od wydobycia surowców i paliwa do likwidacji elektrowni i unieszkodliwienia odpadów.

Dla energii jądrowej

40 t/GWh odpowiada wzbogacaniu uranu w zakładach dyfuzyjnych,

3 t/GWh - w wirówkach, obecnie już dominujących

Strategia zrównoważonego rozwoju



Rozwój Odnawialnych Źródeł Energii OZE

Lub

Równoległy rozwój OZE i energetyki jądrowej jako niezawodnego źródła energii

W Niemczech współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej mniejszy: dla wiatru średnio 20%, najlepsze 25%, panele słoneczne 11%

Na miejsce EJ 1000 MWe potrzeba w Niemczech lub w Polsce wiatraków o mocy 4000 MWe



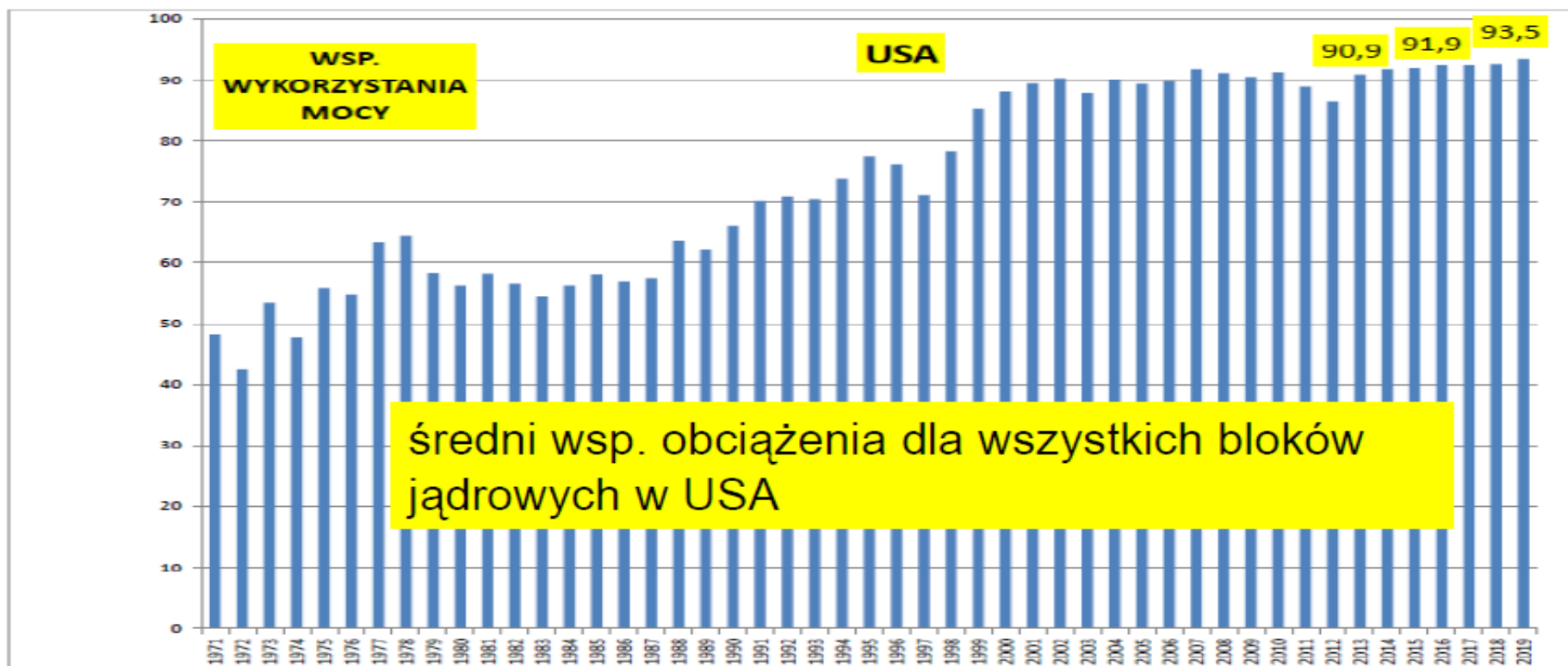
Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Wsp wykorzystania mocy zainstalowanej w EJ b. wysoki

Forum
Innowacyjności

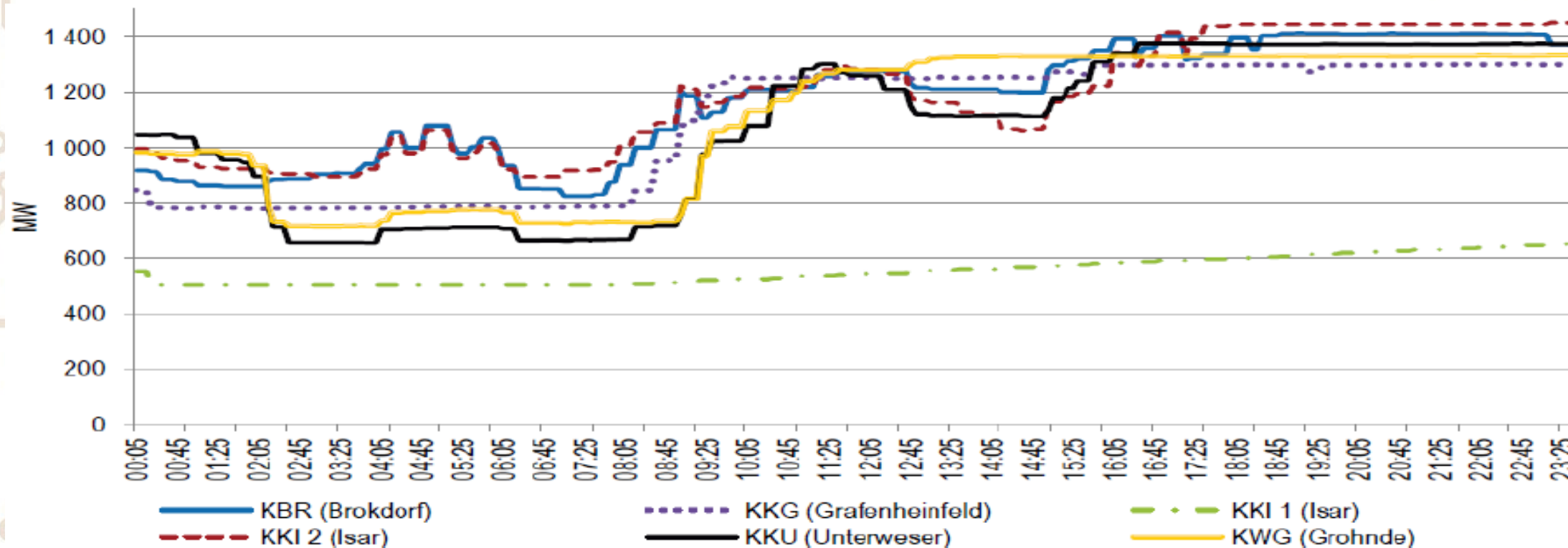


Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

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%**

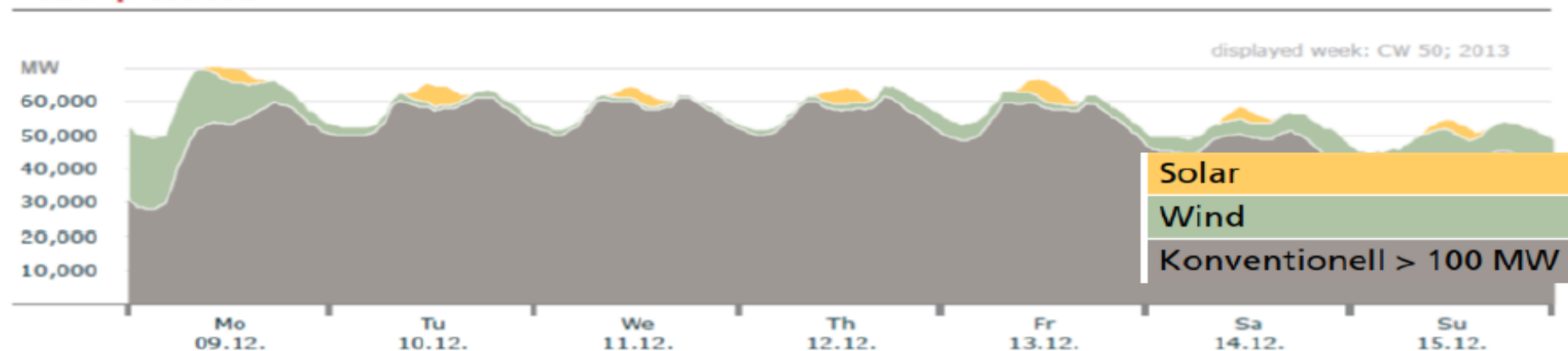


Nierównomierność generacji energii z OZE

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



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

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

Forum
Innowacyjności



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



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

W razie ciszy wiatrowej w Polsce, na ile starczą zapasy energii w hydroelektrowniach?

Wg PEP 2040 energia generowana rocznie z MFW w 2040 r. ma wynosić 40 TWh.

Oznacza to moc MFW **średnio 4,56 GW**, a moc nominalną $4,56/0,43 = 10$ GWe.

Brak wiatru na morzu przez 130 h oznaczać będzie lukę energetyczną 593 GWh

Maksymalna energia zgromadzona w elektrowniach szczytowo- pompowych to 7,8 GWh - czas ich pracy do opróżnienia to 1,7 h **A co potem?**

Czy wystarczyłaby energia elektryczna z akumulatorów aut elektrycznych?

Założmy że w Polsce będzie milion aut z napędem elektrycznym, każde z akumulatorem o pojemności 85 kWh.

Założmy, że w godzinach szczytu 10% tych samochodów będzie dostarczało prąd do sieci. Mamy więc w skali kraju rezerwę energetyczną 8,5 GWh.

Rezerwa z akumulatorów samochodowych pokryłaby lukę energetyczną przez 2 godziny.

Gdyby 50% właścicieli aut zgodziło się **by nimi nie jeździć** i tylko zasilać sieć (!), to wystarczyłoby to na 10 h. **A co potem?**



Twierdzenie OZE: Zawsze gdzieś wieje wiatr

„Eine ausreichende räumliche Verteilung leistet einen Beitrag zur besseren Verlässlichkeit und damit zur Versorgungssicherheit”.

„Wystarczające rozdzielenie przestrzenne farm wiatrowych zapewnia niezawodność i pewność zasilania”

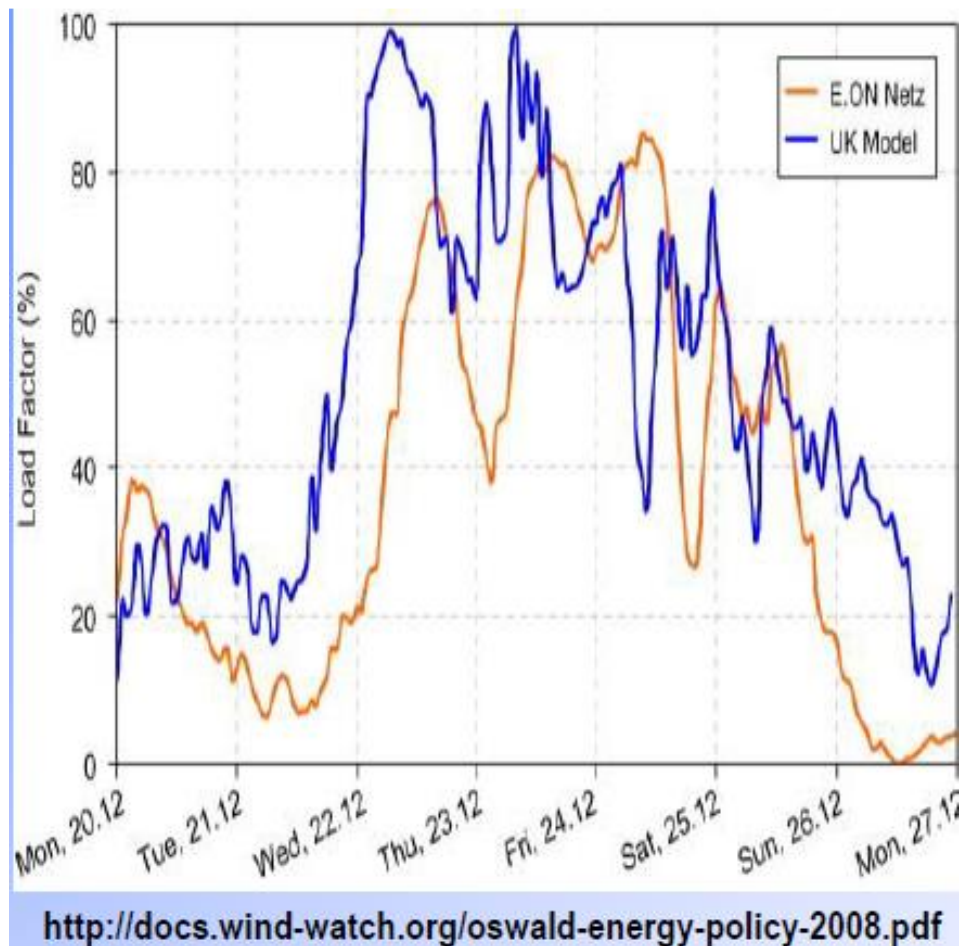
Naprawdę?

Zobaczymy **prawdziwe dane z 2, 9 i 14 krajów Europy**

Czy odległość od Finlandii do Hiszpanii to już wystarczające rozdzielenie przestrzenne?



Czy lekarstwem jest przesyłanie energii z sąsiednich krajów?



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.

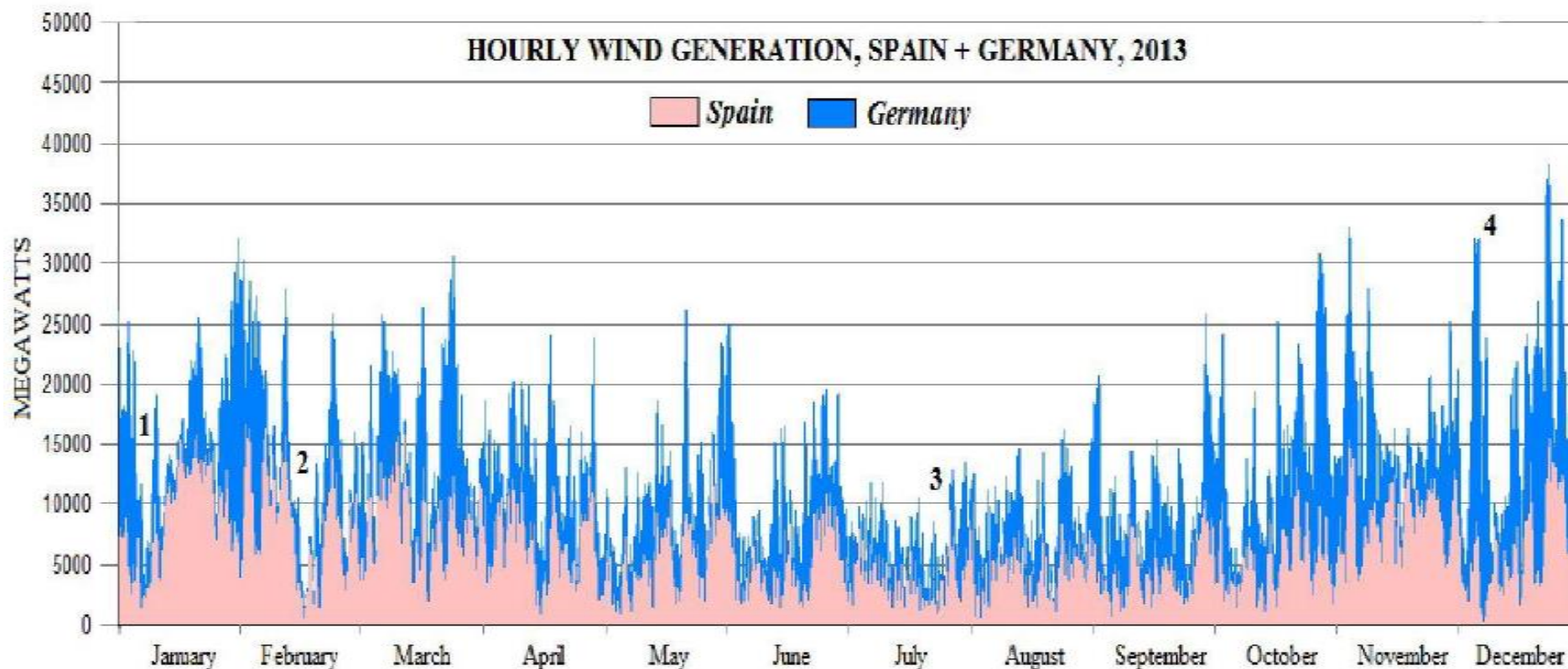
Zmiany mocy wiatru występują na dużych obszarach jednocześnie.

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 2 krajów Niemcy Hiszpania



Szczyty i doliny generacji z wiatraków NIE wyrównują się dla 2 krajów, są nadal ostre

Dane przedstawione przez R. Schustera, NGO Vernunftkraft

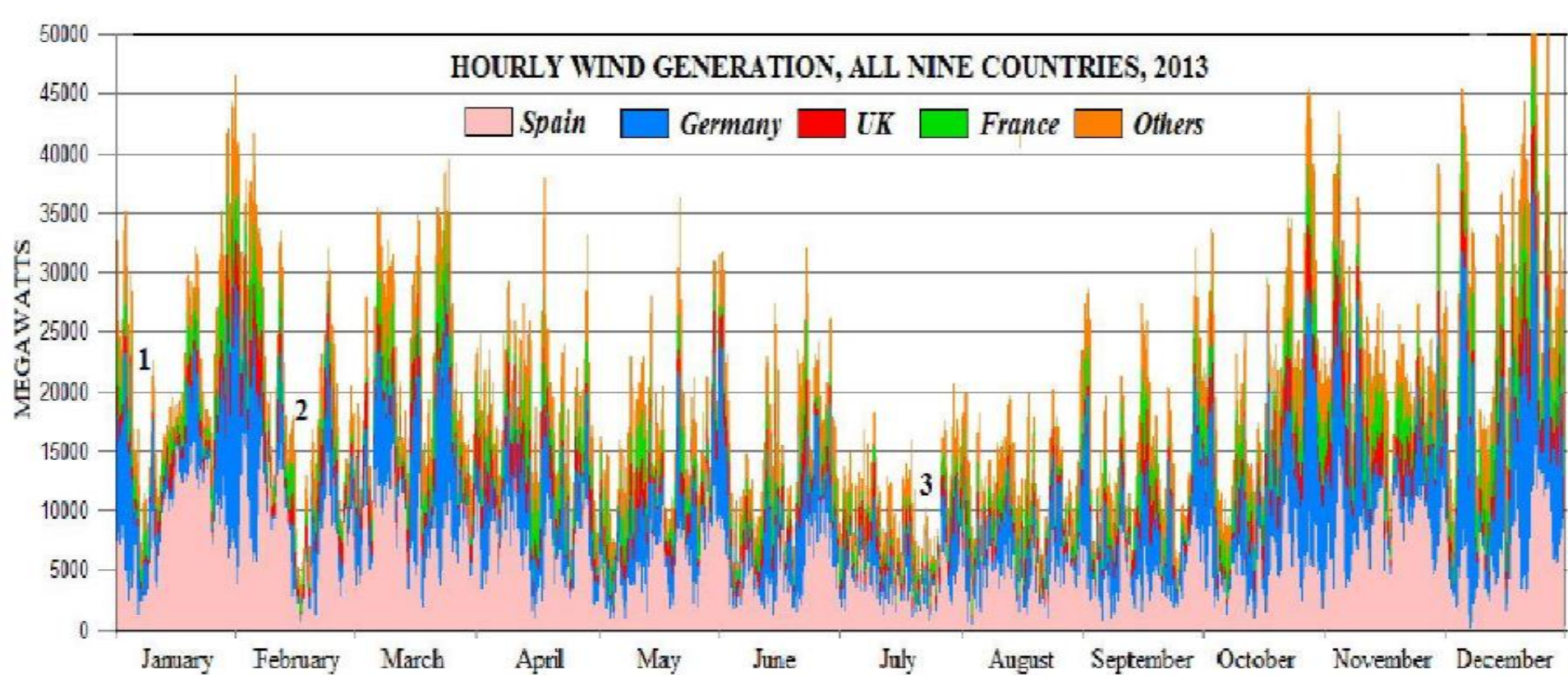


Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Wykres roczny dla 9 krajów w Europie



Dane przedstawione przez R. Schustera, NGO Vernunftkraft

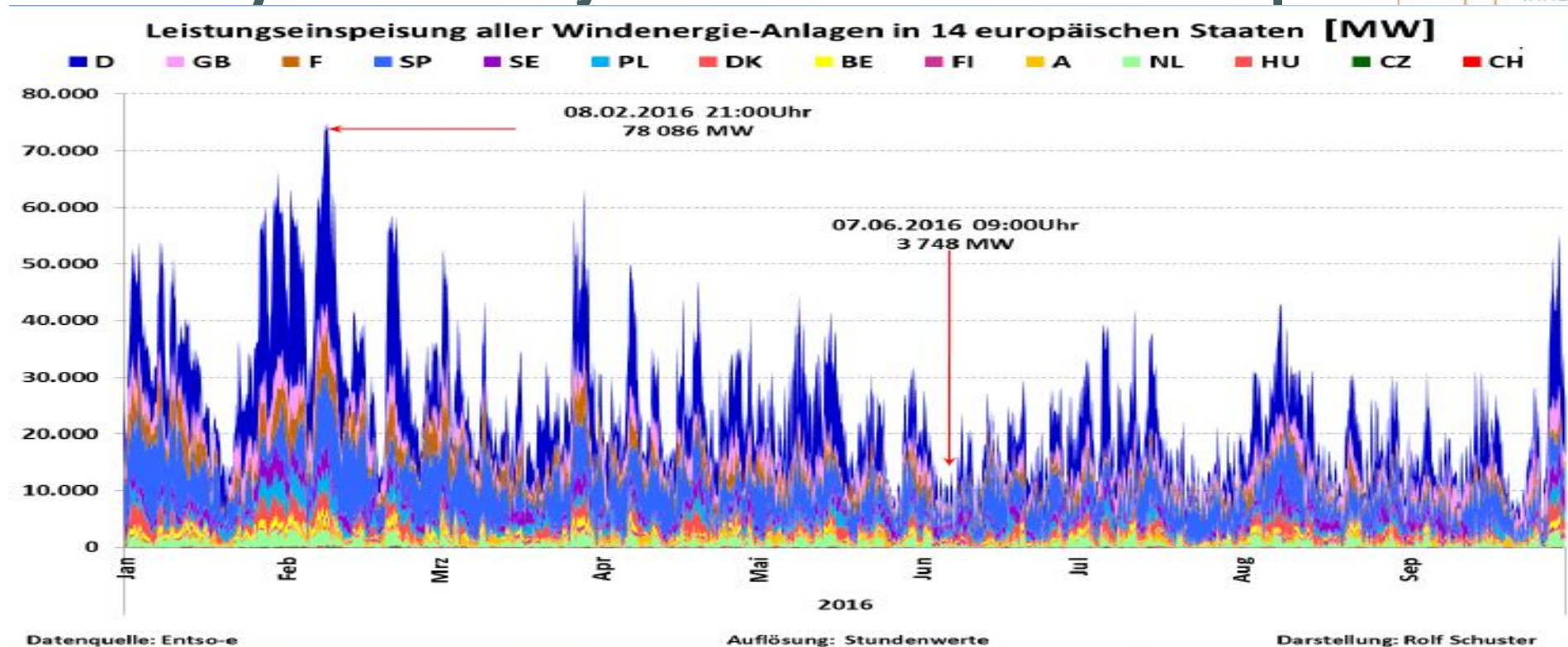


Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

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



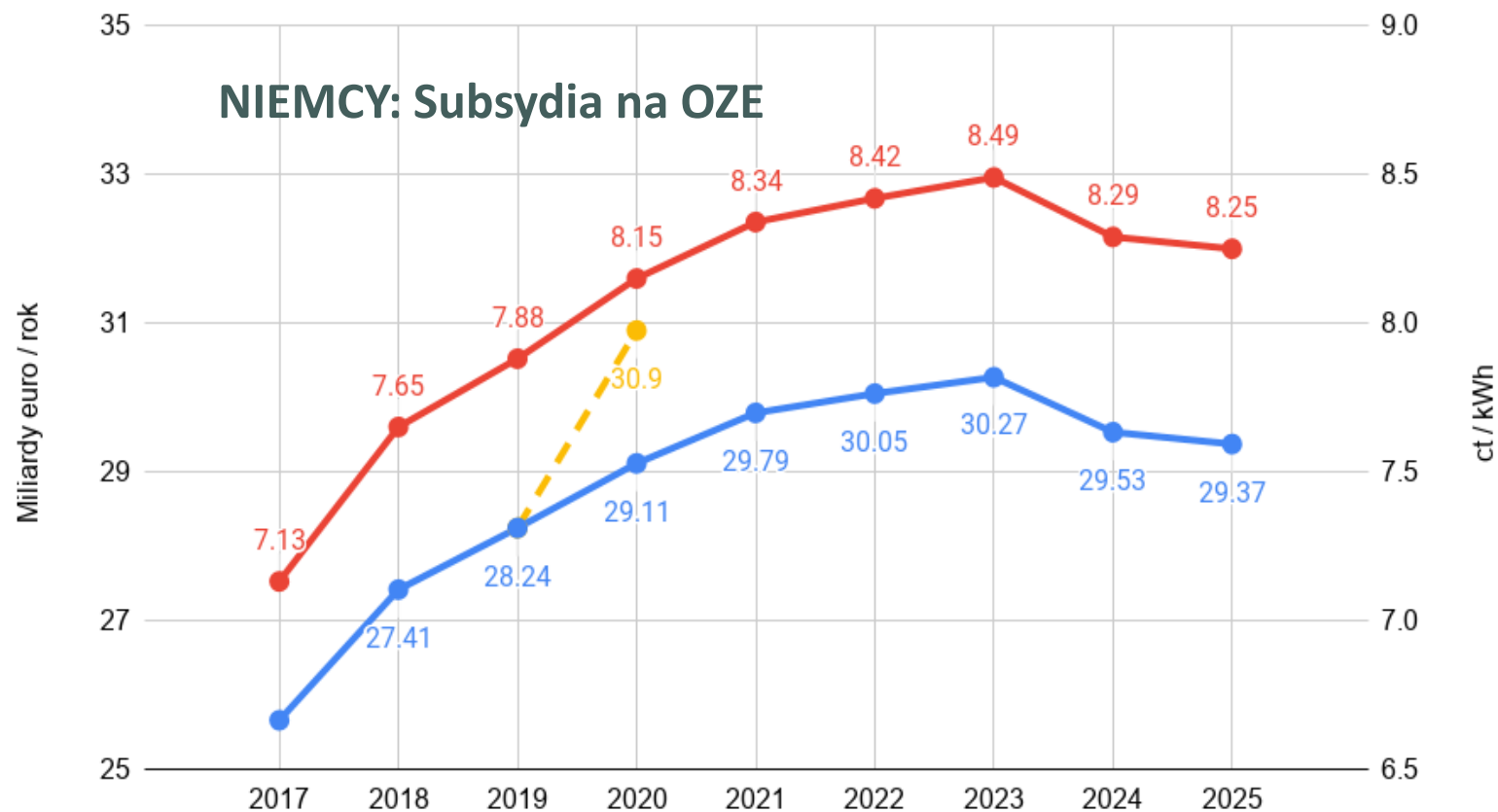
Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Efekty konieczności kompensacji nierównomierności generacji OZE

- Rzeczywiste nakłady w 2020 roku, miliardy euro
- Dopłaty do transformacji energetycznej EEG, ct / kWh
- Łączne nakłady na transformację energetyczną EEG, miliardy euro



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,**

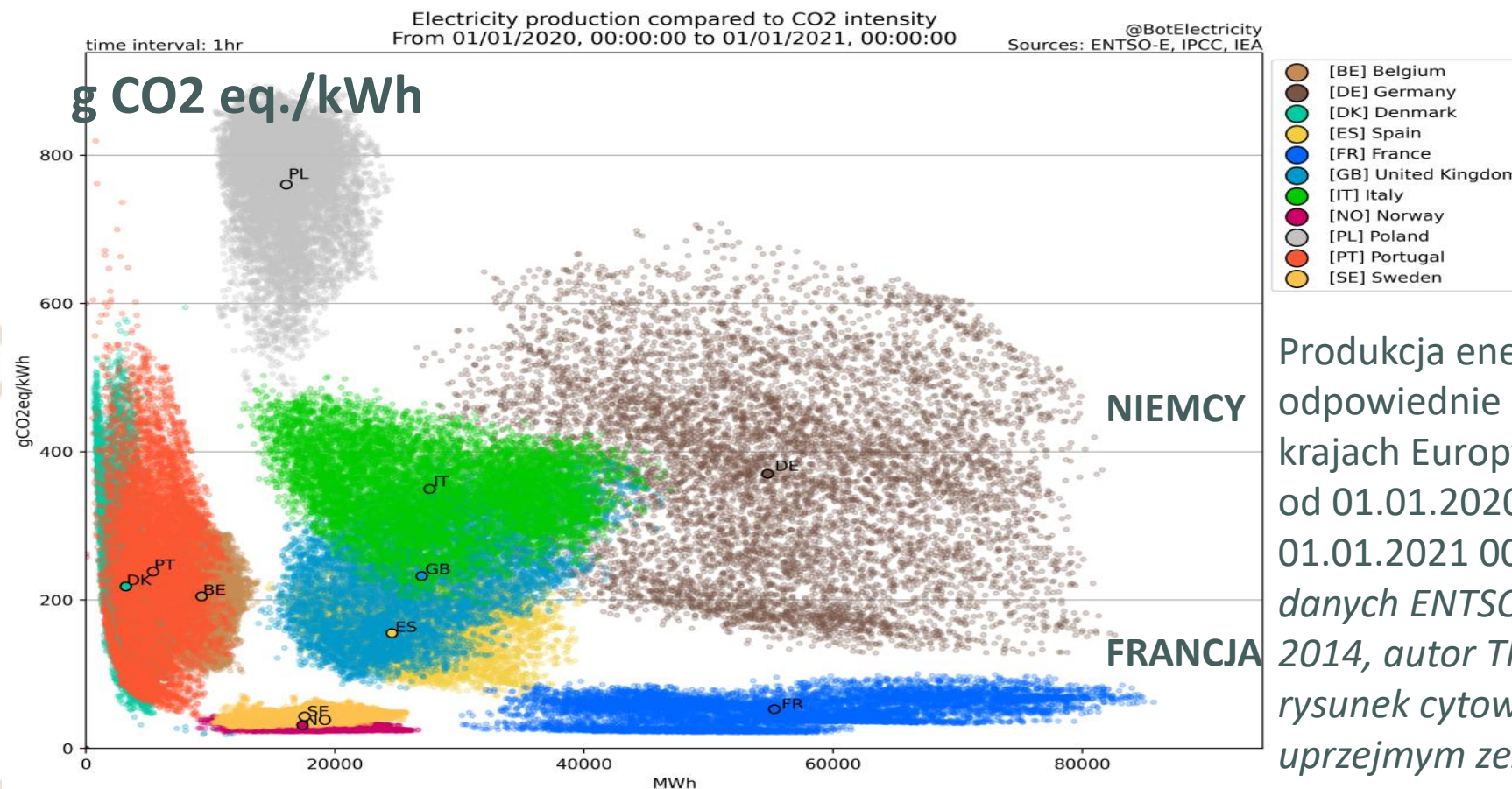


Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

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

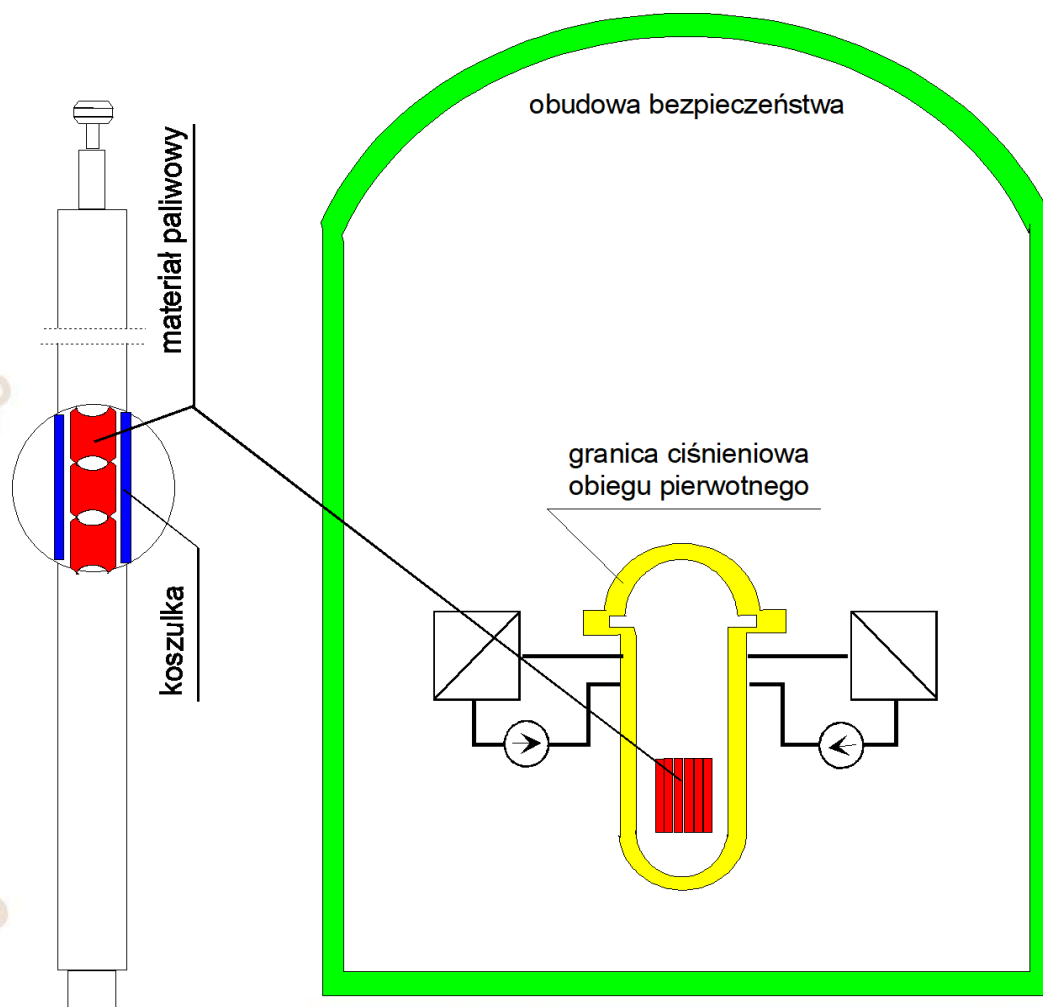


Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

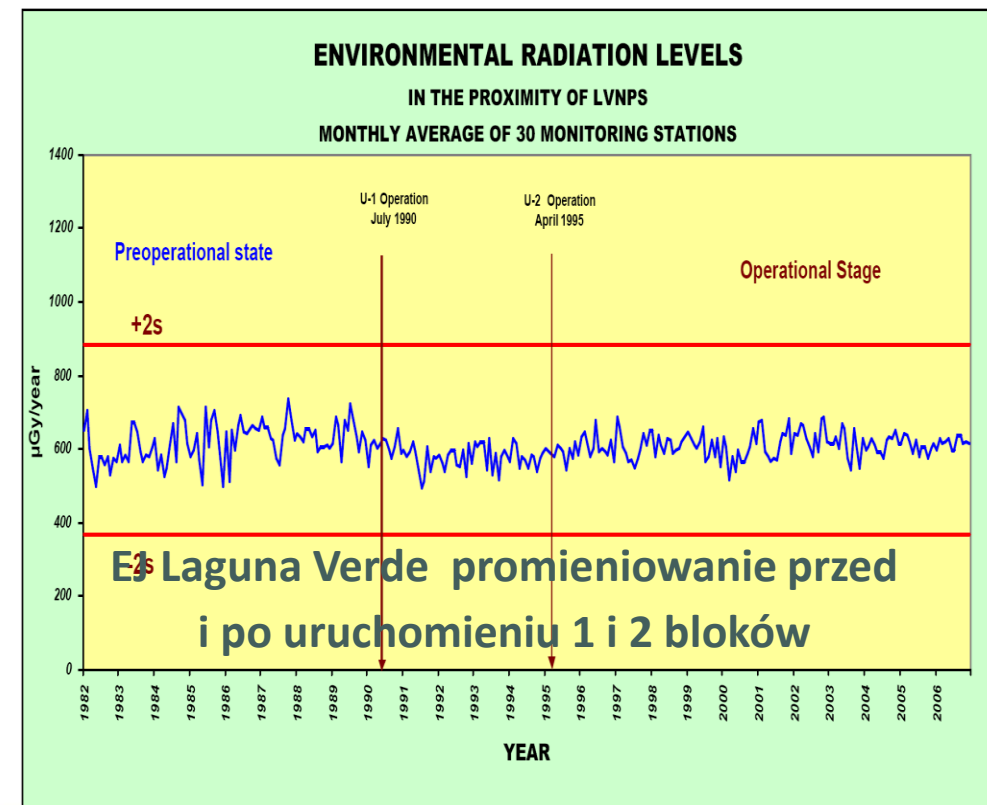


Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

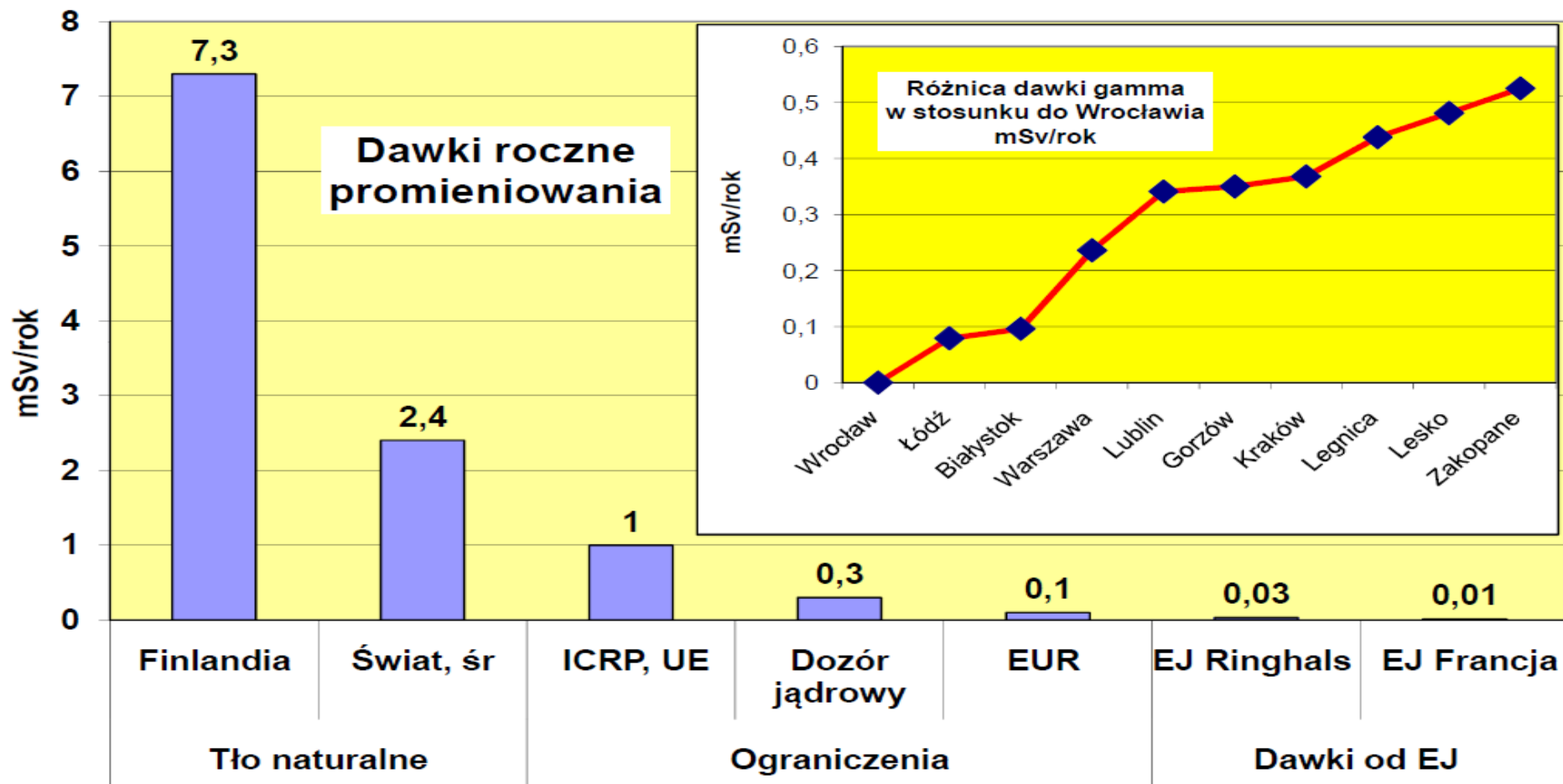
A czy mamy bać się promieniowania z EJ?



Układ 4 kolejnych barier powstrzymuje skutecznie promieniowanie



Normalna praca EJ – dawki mniejsze niż naturalne



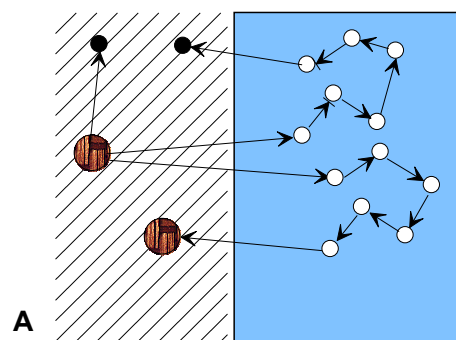
Promieniowanie z EJ powoduje mniejsze dawki wokoło elektrowni niż wahania tła naturalnego.

Dawka na płocie EJ < różnicy dawek między Warszawą a Wrocławiem



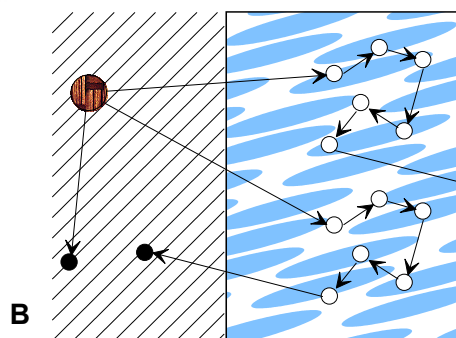
EJ odporne na zakłócenia i awarie

Forum
Innowacyjności



Uran

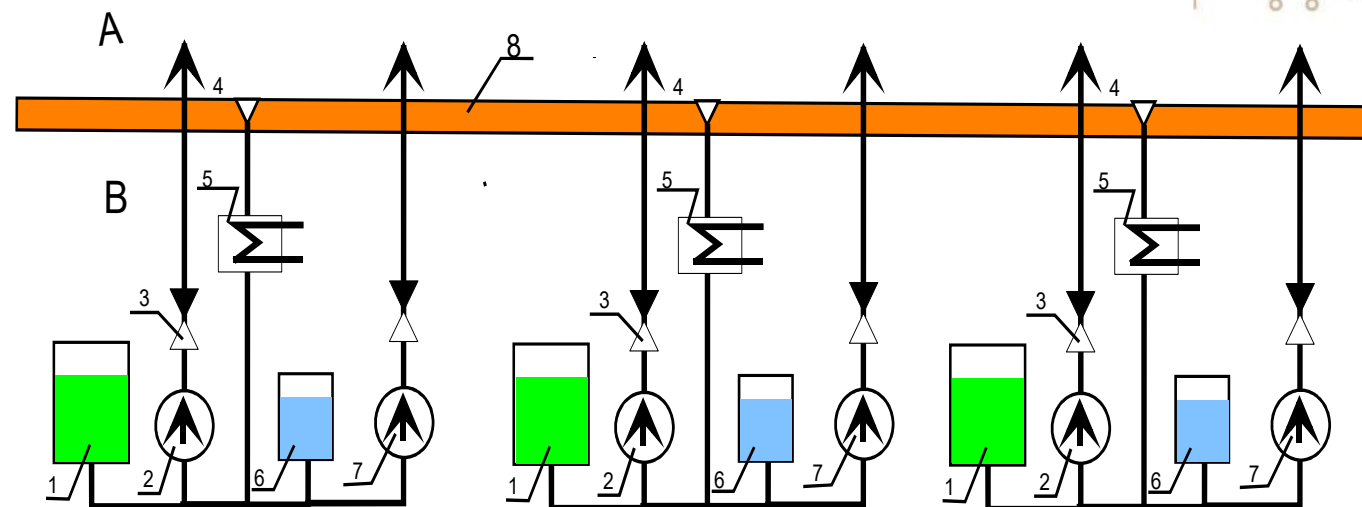
woda



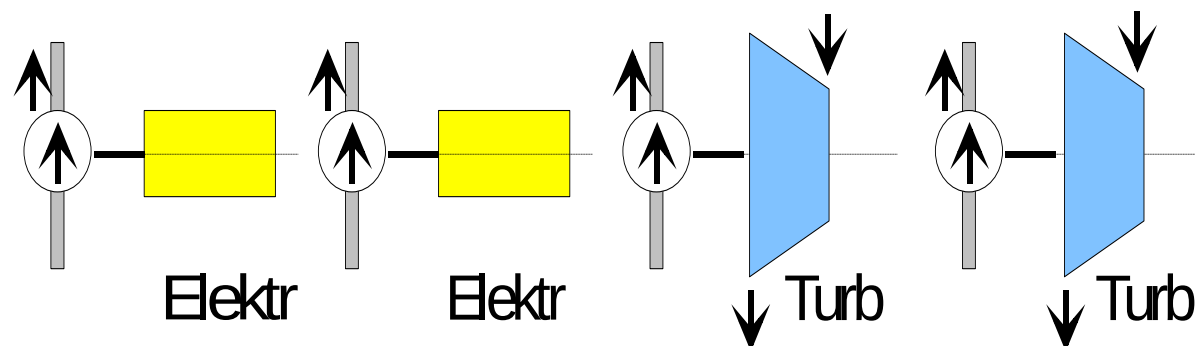
Uran

para wodna

Reaktory PWR i WWER



Chłodzenie awaryjne – wielokrotnie rezerwowane



Temp rośnie – moc maleje

Napędy pomp – zróżnicowane i rezerwowane



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Wspólna cecha EJ III generacji- odporność na ciężkie awarie

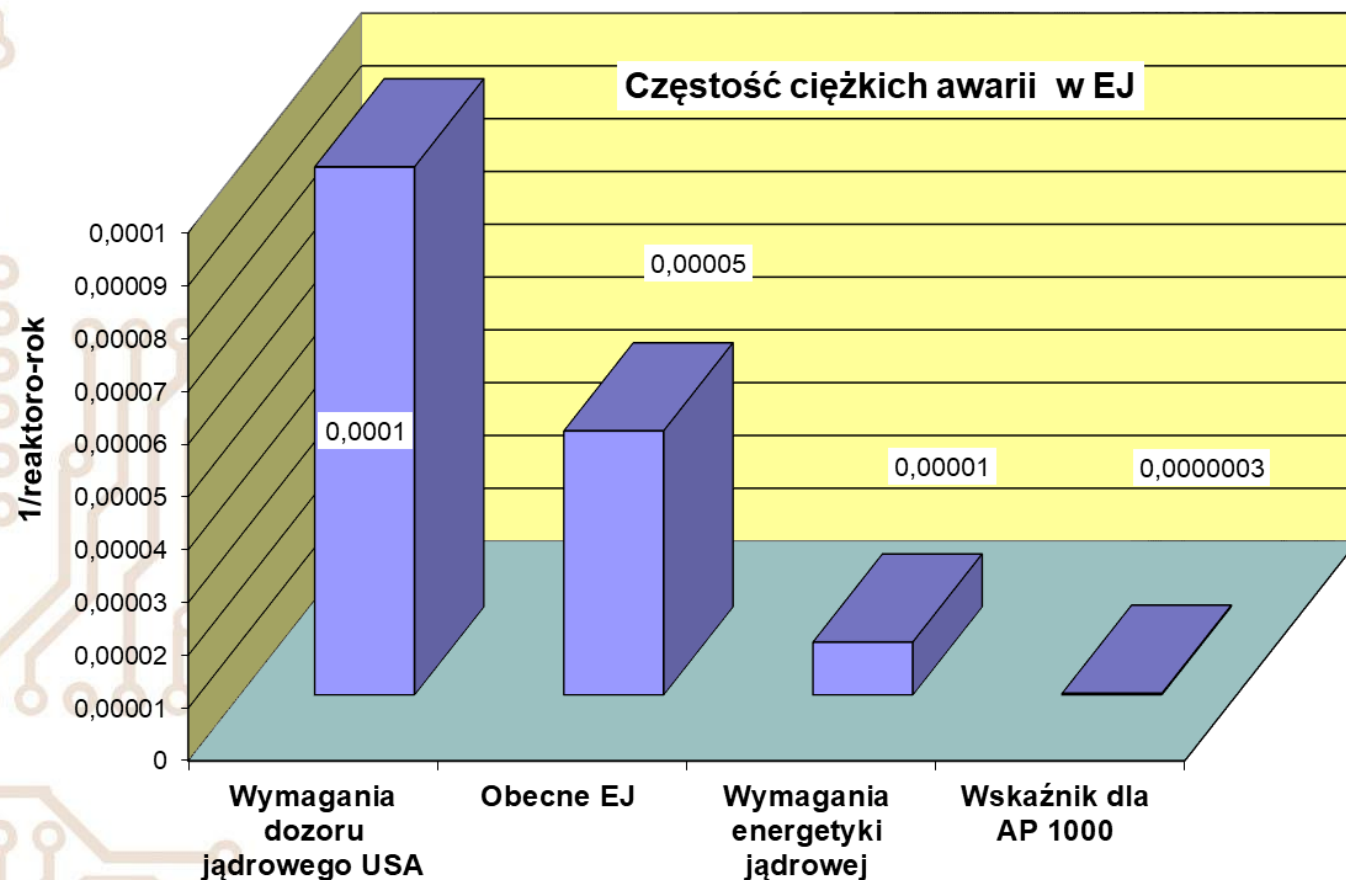
Forum
Innowacyjności

Po awariach w TMI-2 i w Czarnobylu zaprojektowano reaktory III generacji.

Przy budowie EJ II generacji przyjmowano, że awarie zdarzające się niesłychanie rzadko – np. raz na 100 000 lat – można pominąć, bo powodują one małe ryzyko w porównaniu z wojnami czy kataklizmami naturalnymi.

Natomiast przy projektowaniu EJ III generacji zakładamy, że mimo wszystkich środków bezpieczeństwa dojdzie jednak do takiej niesłychanie rzadkiej awarii – i wymagamy, by nawet wówczas reaktor nie powodował zagrożenia ludności.

AP1000 częstość 3/10 000 000 lat



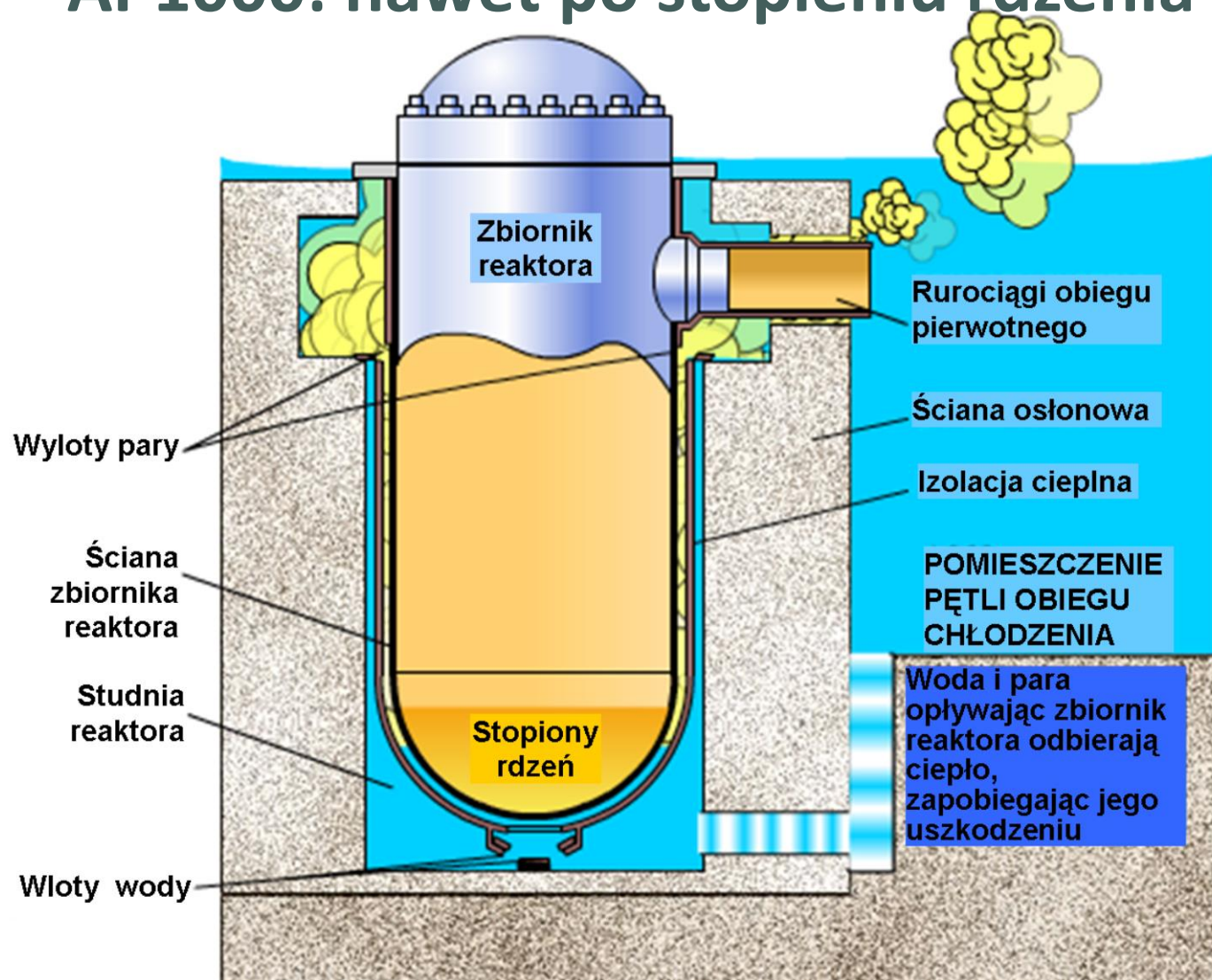
Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

AP1000: nawet po stopieniu rdzenia – pasywne chłodzenie

Forum
Innowacyjności



Woda z sąsiedniego basenu zalewa szyb reaktora.

Odbiera ciepło stopionego rdzenia poprzez zbiornik.

Produkty rozszczepienia pozostają w zbiorniku.

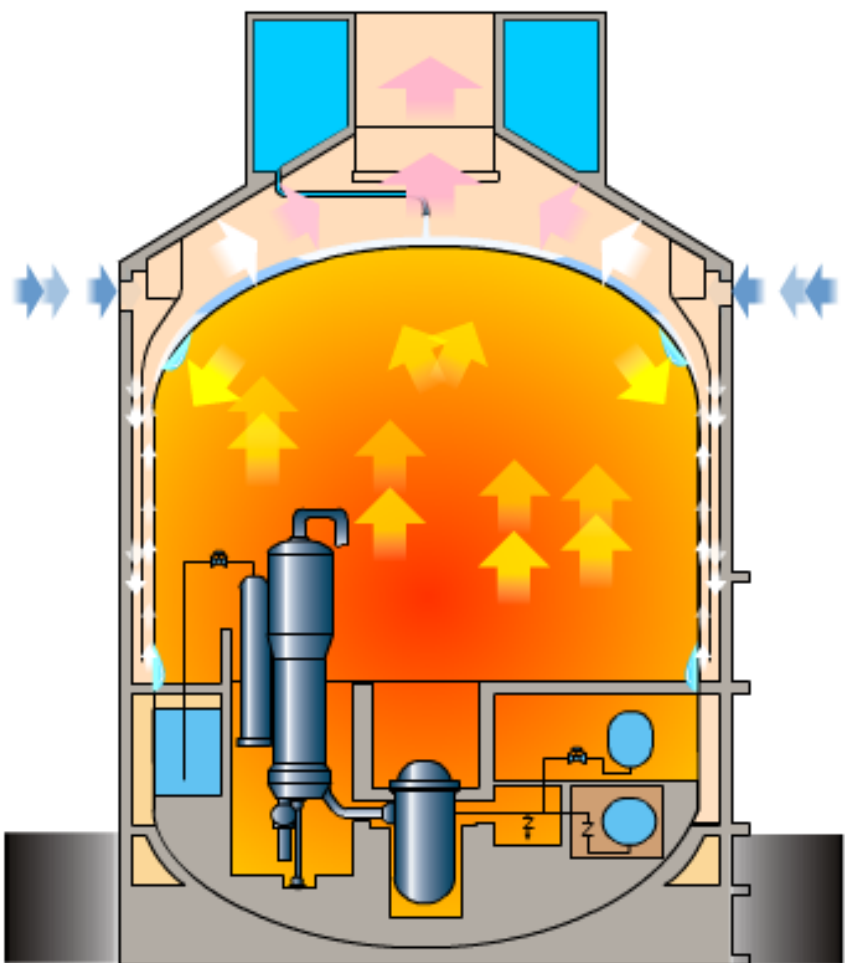
Nie ma zagrożenia radiologicznego.

Para wydostaje się szczeliną wokół zbiornika do hali reaktora

A jak odebrać ciepło unoszone z parą?

AP1000 przez 3 dni nie potrzebuje energii elektrycznej

Forum
Innowacyjności



Woda chłodząca zbiornik odparowuje, i skrapla się na wewnętrznej powierzchni stalowej obudowy bezpieczeństwa.

Najpierw ciepło odbiera woda spływająca w dół na zewnątrz stalowej obudowy

Potem ciepło odbiera powietrze w układzie konwekcji naturalnej

Nie potrzeba energii elektrycznej przez 72 godziny.

Wady –po 72 godzinach zasilanie elektryczne jednak jest potrzebne

Obudowa pojedyncza- warstwa zewnętrzna nie daje szczelności



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej



Ocena ryzyka EJ na tle innych energii wg UE

Nawet przy pesymistycznych założeniach, ExternE wykazało, że EJ jest jednym z najbezpieczniejszych źródeł energii. .



ności

Mieszkańcy UE-25 obecnie tracą średnio 7.5 miesiąca oczekiwanej długości życia wskutek zanieczyszczeń powietrza, które wcale nie są powodowane przez EJ.

Ujemne skutki zdrowotne energii jądrowej są niedostrzegalnie małe. Nawet awarie nie powodują znaczących ujemnych skutków zdrowotnych.

Wg ocen ExternE energia jądrowa należy do preferowanych, stabilnych i bezpiecznych źródeł energii



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

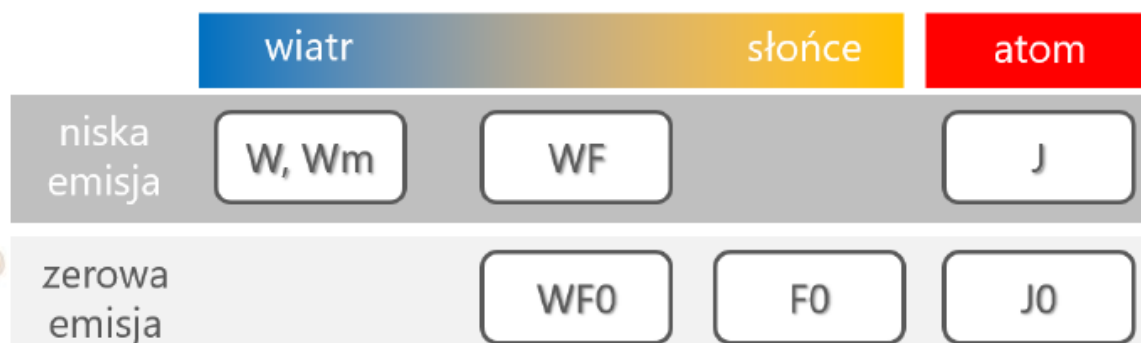
Wybór strategii EJ lub OZE

Analizy z NCAE: W. Jaworski i inn. **Bezpieczeństwo energetyczne w dobie neutralności klimatycznej , 2020**

Założenia: oprocentowanie kapitału 3%: Czas budowy 8 lat, Okres działania 60 lat.

Wsp. Wykorzystania mocy zainst. **Wiatr 40%, MFW 52%, pV 16%, EJ 95%**

Zdyskontowany koszt stały mln PLN/MW, , wiatr 17, FW 31,4, pV 8, EJ 28, gaz CCGT, mag en. 7,5 mln PLN/MW obejmuje sumę **zdyskontowanej wartości amortyzacji, kosztów stałych O&M, kosztów systemowych oraz kosztów likwidacji**



W	wiatr na lądzie i morzu + gaz
Wm	wiatr na morzu + gaz
F0	fotowoltaika + magazyn energii
WF	wiatr na lądzie i morzu, PV + gaz i magazyn energii
WFO	wiatr na lądzie i morzu, PV + magazyn energii
J	energia jądrowa + gaz
JO	wyłącznie energetyka jądrowa

Forum Innowacyjności

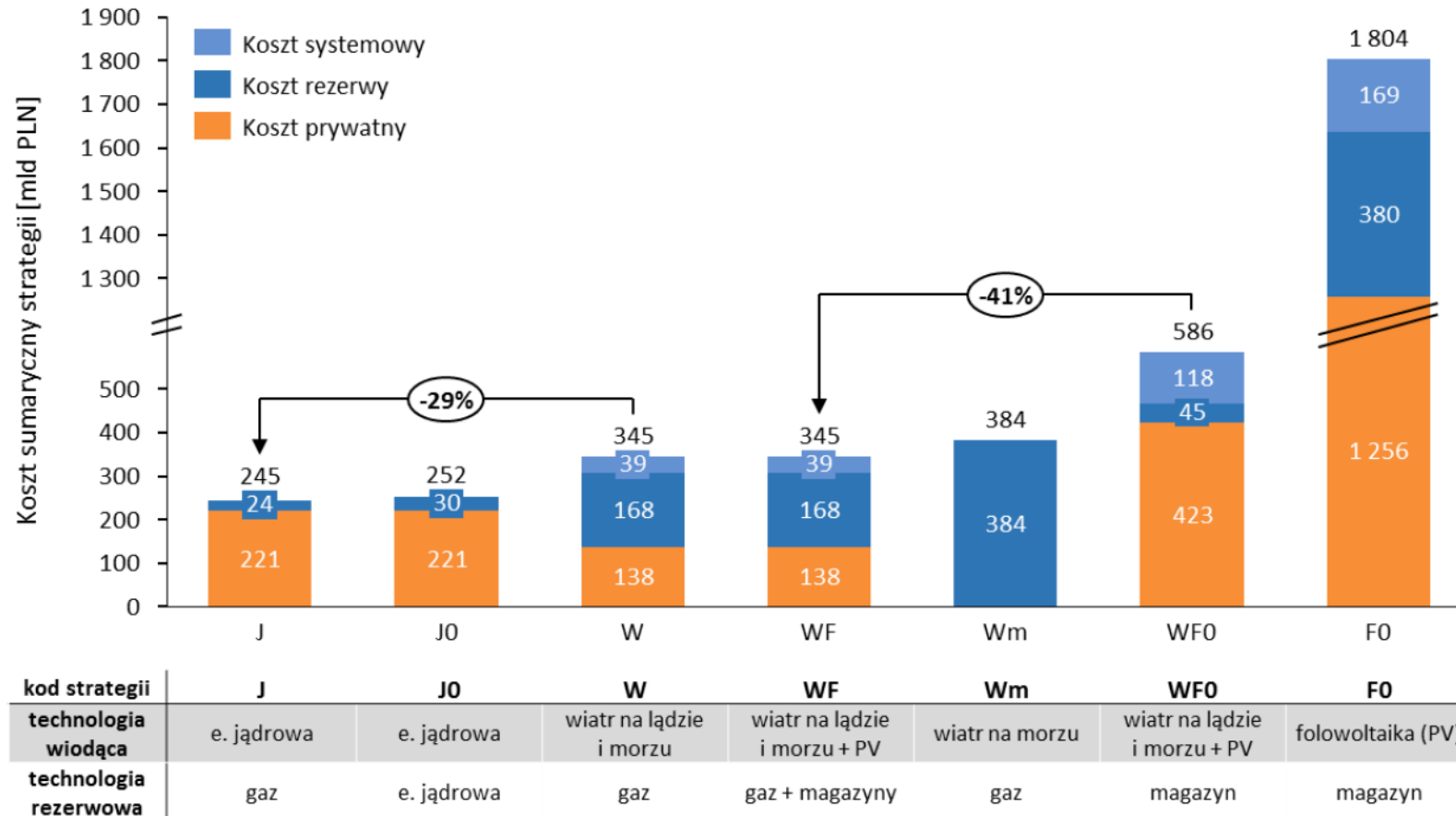


Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Skutki wyboru strategii EJ lub OZE (60 lat)



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



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej



Forum
Innowacyjności

DZIĘKUJĘ

Dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. NCBJ, tel. 66 53 53 553

Narodowe Centrum Badań Jądrowych



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej