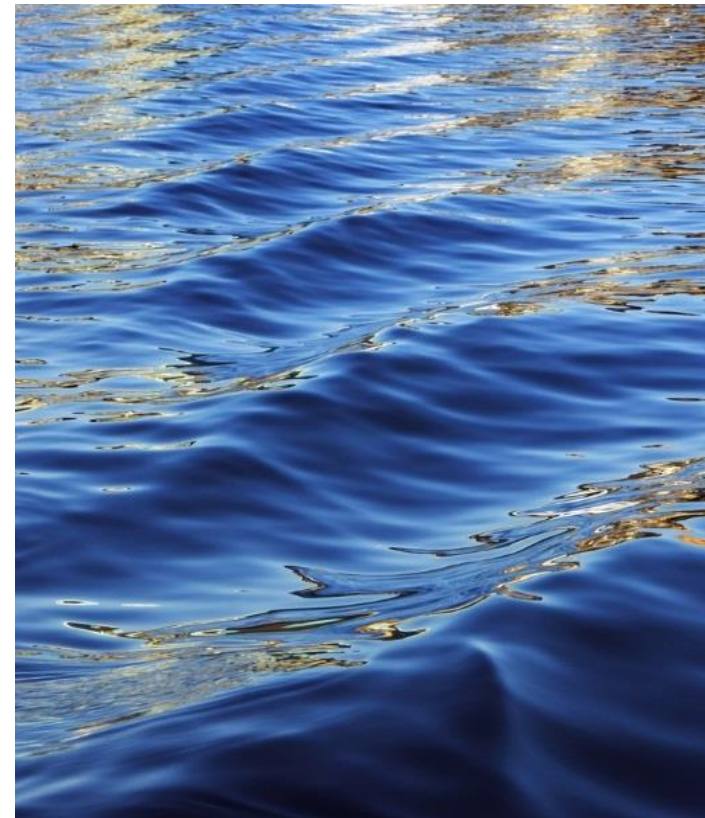



Miejsce elektrowni jądrowej w polskim miksie energetycznym.

Ziemowit Iwanski, IPS, PTN, 14.02.2019



Energetyka w Polsce, wyzwania i kierunki jej rozwoju.

- Przegląd technologii
- Mix energetyczny przyszłości
- Energetyka zeroemisyjna
- Aspekty ekonomiczne długofalowej polityki energetycznej

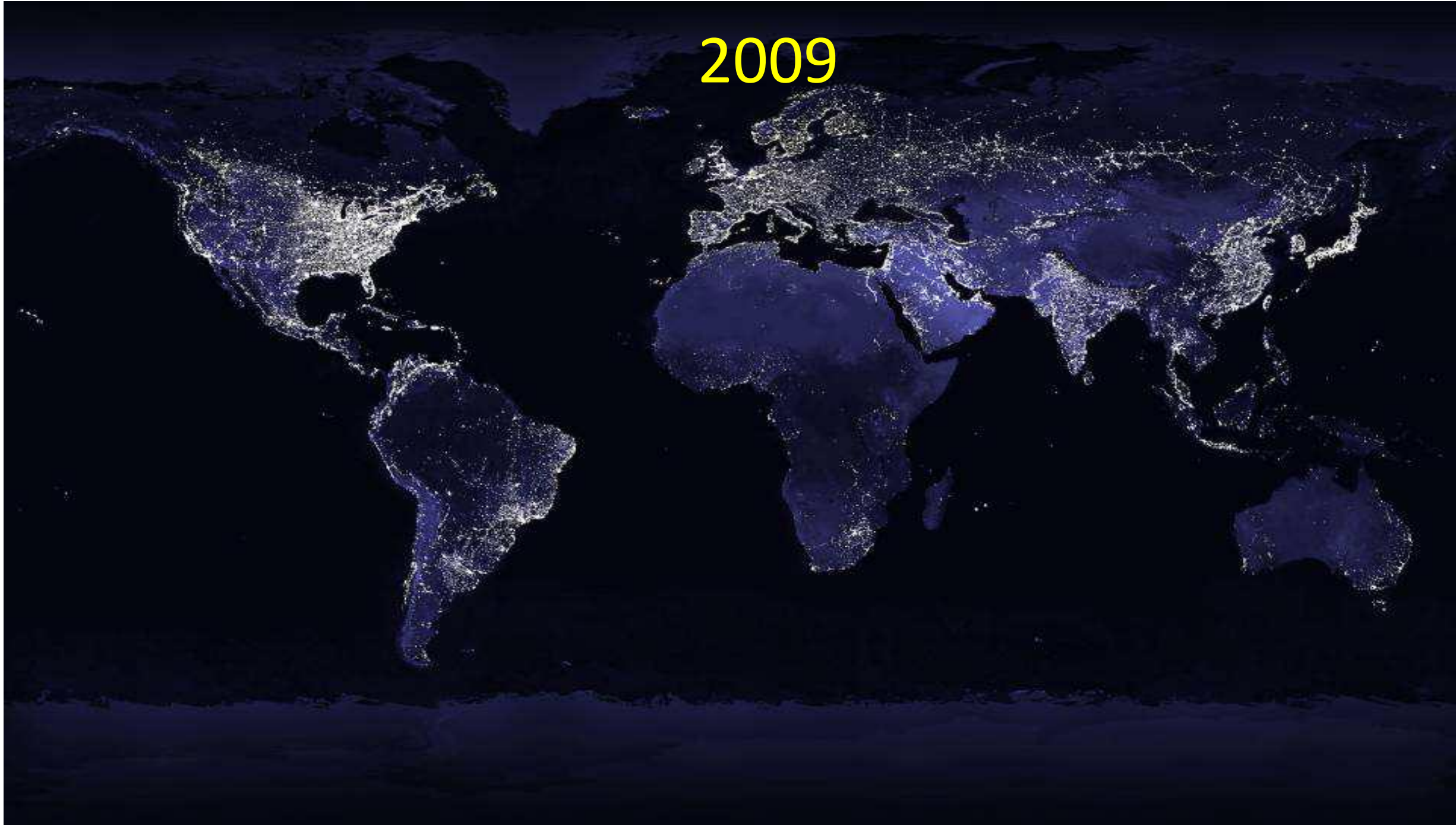


Dokąd zmierza energetyka przyszłości?

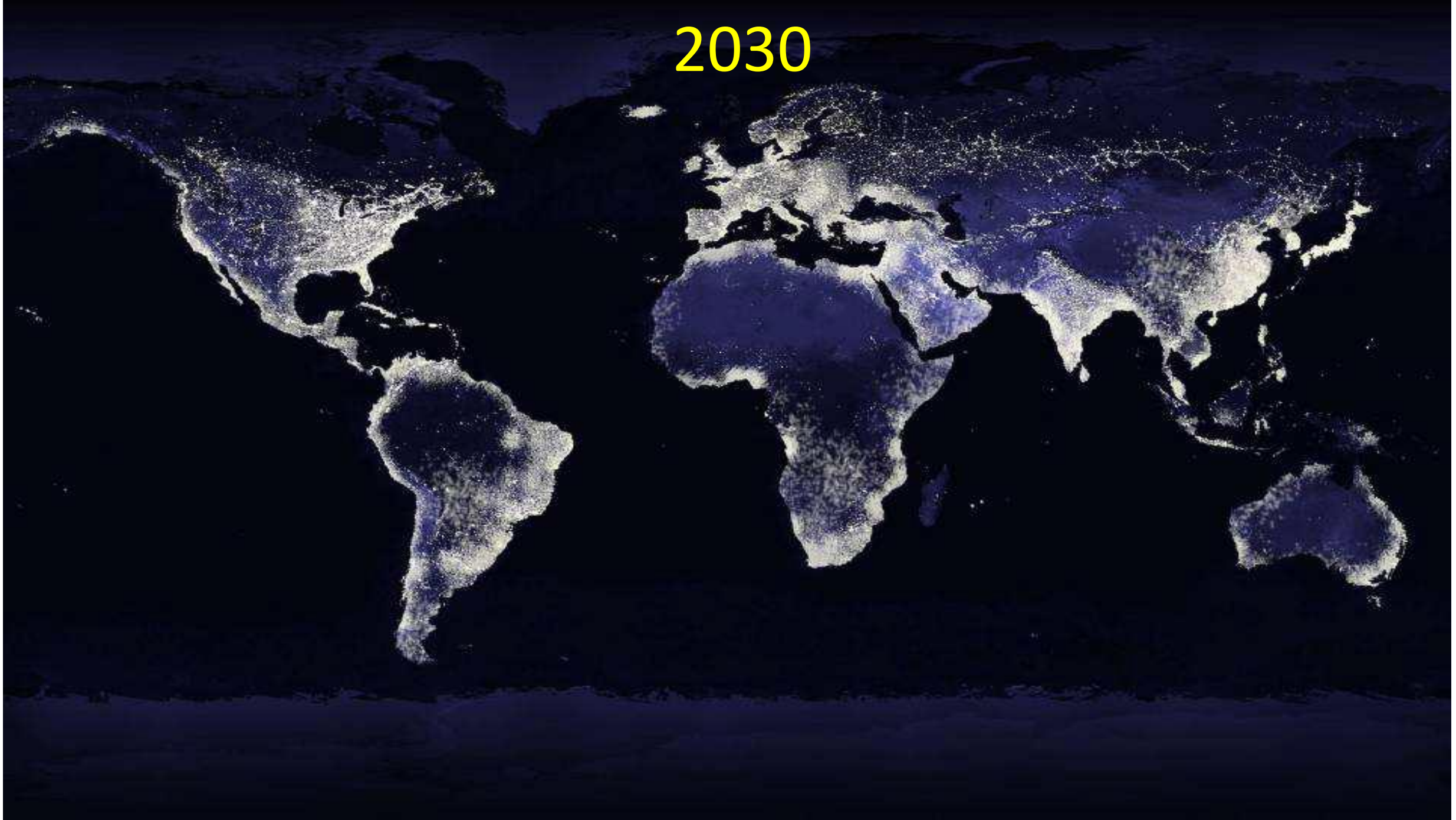
Prognozy i przewidywania



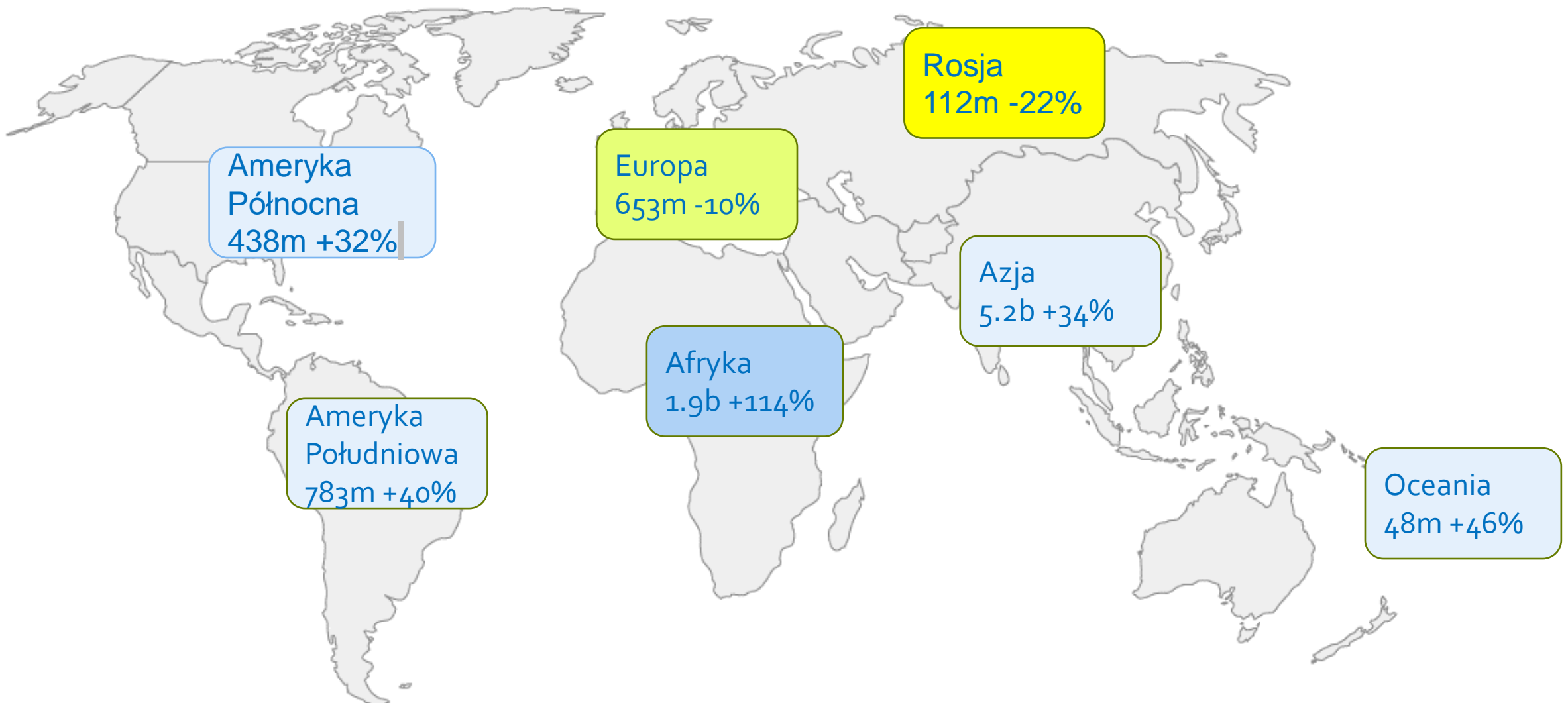
2009



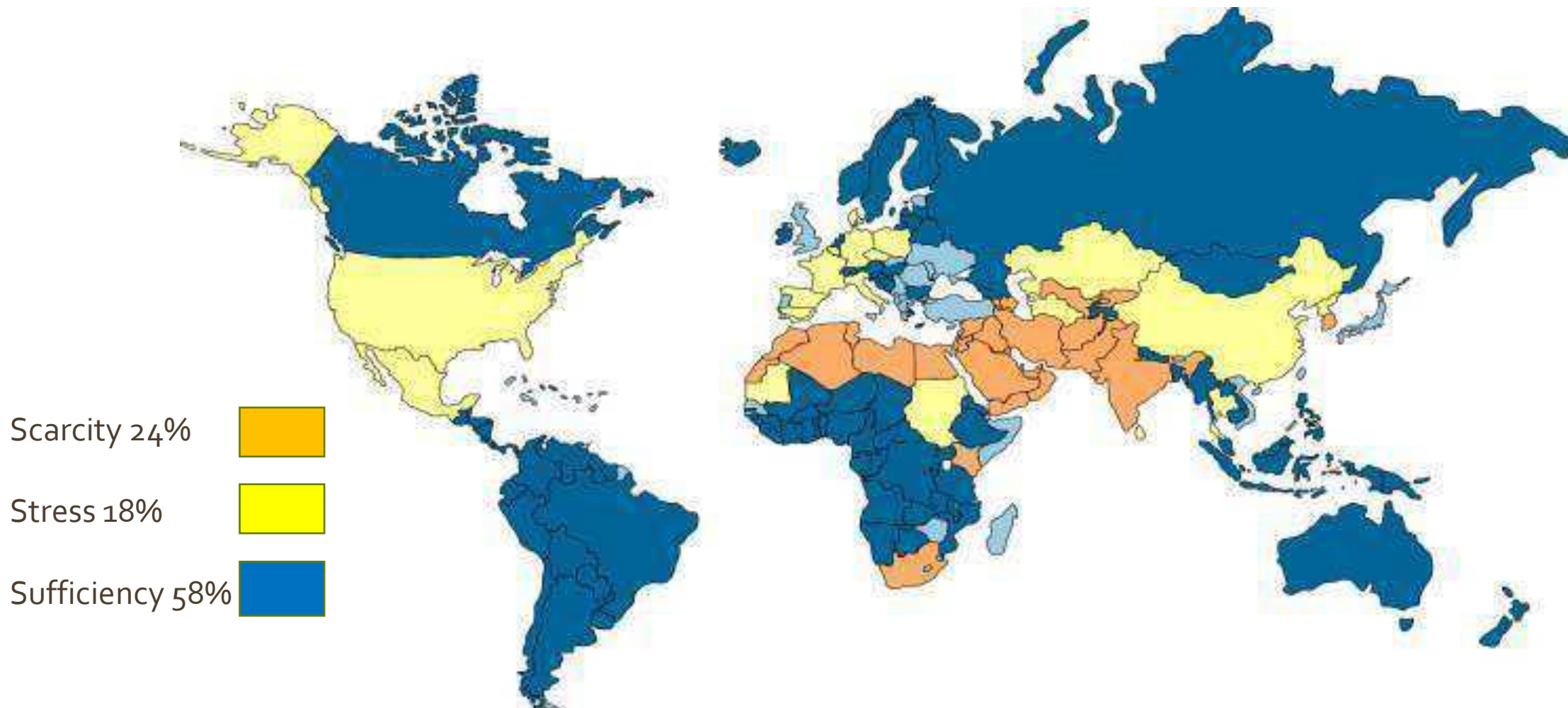
2030



Rosnące zaludnienie: z 6.5 Mld do 9.1 Mld do 2050*



W roku 2030, ponad 2.1 mld ludzi będzie żyć na terenie z dużym niedoborem wody



Zróżnicowanie technologii jest niezbędne...



GAZ



BIOGAZ



WIATR



SŁOŃCE



CZYSTY WĘGIEL

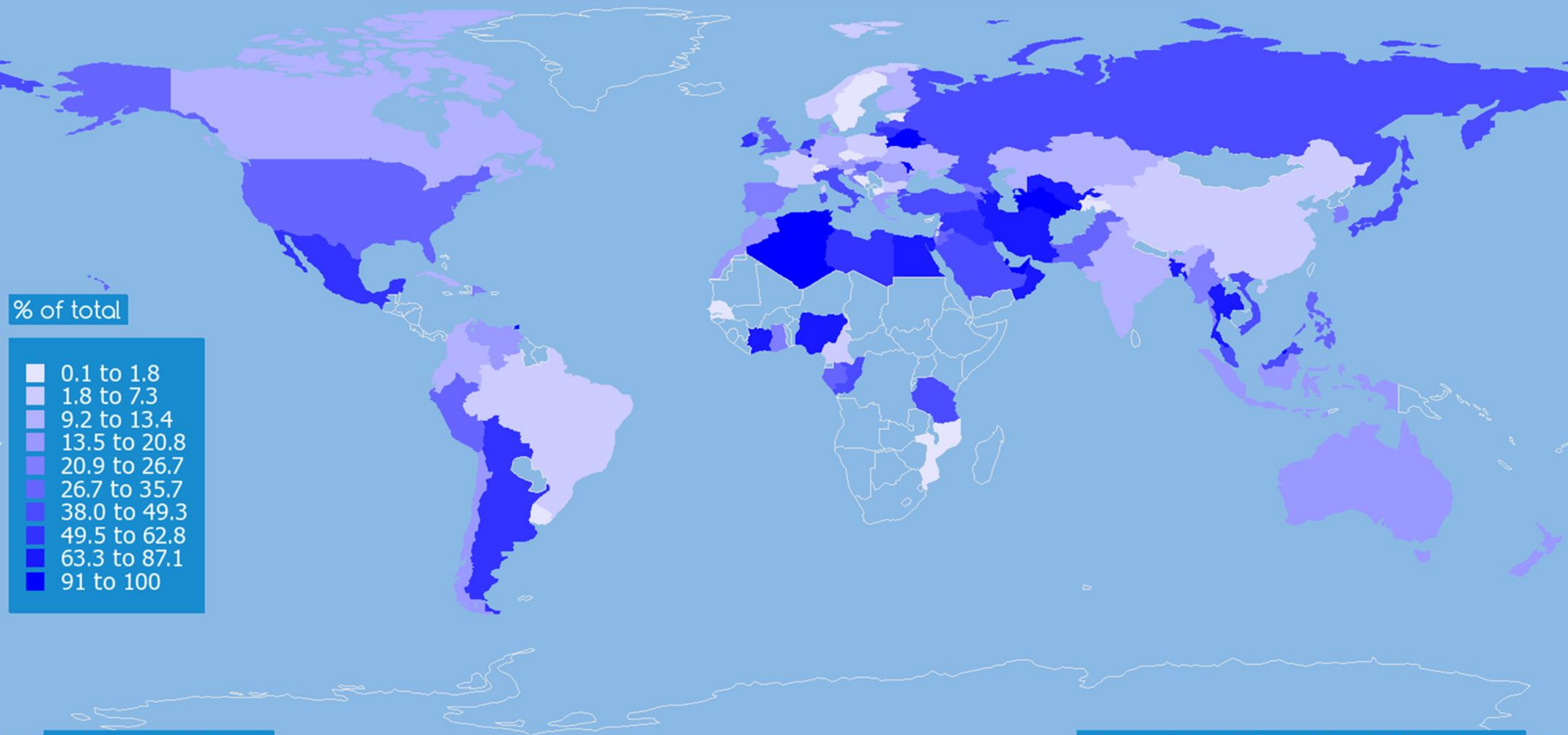


ENERGIA JĄDROWA



WODA

Electricity production from natural gas sources



% of total

- 0.1 to 1.8
- 1.8 to 7.3
- 9.2 to 13.4
- 13.5 to 20.8
- 20.9 to 26.7
- 26.7 to 35.7
- 38.0 to 49.3
- 49.5 to 62.8
- 63.3 to 87.1
- 91 to 100

created by: mecometer.com

Data Source: Workbank - World Development Indicators

Zróżnicowanie technologii jest niezbędne...



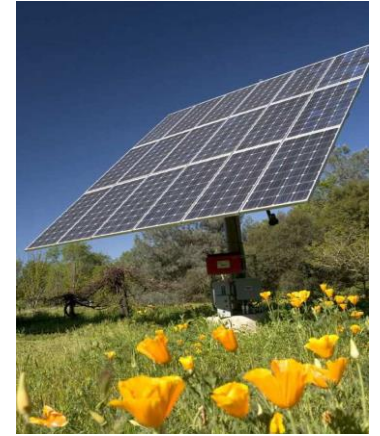
GAZ

Technologia turbin gazowych:

- Sprawność
- Emisyjność
- Elastyczność ruchowa
- Niezawodność i dostępność ruchowa



WIATR



SŁOŃCE



CZYSTY WĘGIEL



ENERGIA JĄDROWA



WODA

FlexEfficiency*50 Elastyczne Bloki Gazowo - Parowe

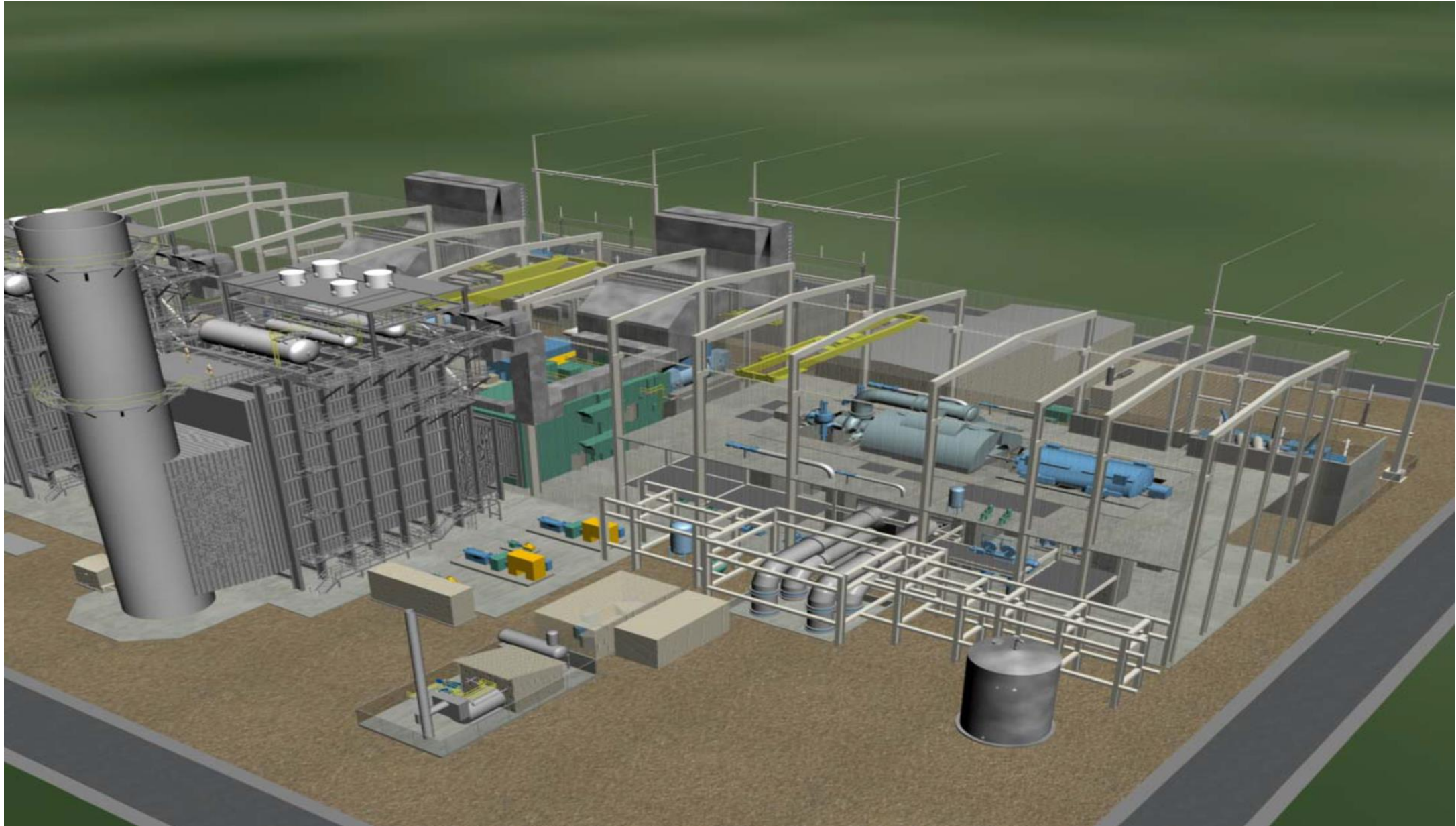
510 MW, 50 Hz...61% sprawności netto w podstawie.

Rozruch do pełnej mocy < 30min
Zmiany mocy > 50 MW/min
Zrzut mocy do 40% mocy znamionowej.

Nowy standard w sprawności i elastyczności ruchowej, umożliwia integrację dużych mocy energetyki odnawialnej.



Układ
Wielowadłowy
Bloku
Gazowo-
Parowego



**FlexEfficiency*50 Układ
Jednowałowy Bloku
Gazowo - Parowego**



Output (MW)	510
Efficiency (% LHV)	60.3 (GTW launch) > 61% mature
Turndown (% B/L)	< 40
Ramping rate	6 min. from turndown to base load (51MW/min)
CC part load efficiency	Better lapse rate than current F-technology
Time to 95% load (minutes)	28 hot/65 warm/110 cold (< 8 hours)/(8-72 hours)/(> 72 hours)
NOx (mg/m ₃ @ 15% O ₂)	50 (30 optional)
CO (mg/m ₃)	30
Modified Wobbe Index (%)	+/-10
Min. methane content (%)	75

FlexEfficiency*50
 Układ Wielowałowy
 Bloku Gazowo -
 Parowego

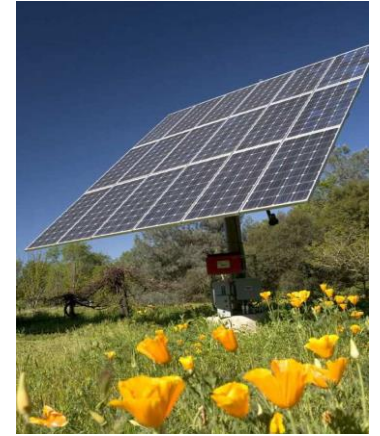
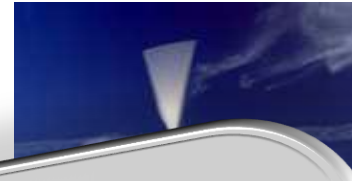


Output (MW)	1020
Efficiency (% LHV)	60.5 (GTW basis)
Turndown (% B/L)	< 20% (1x GT switched off)
Ramping rate	6 min. from turndown to baseload (100 MW/min)
Time to 95% load (minutes)	33 hot/70 warm/115 cold
NO _x (mg/m ₃ @ 15% O ₂)	50
CO (mg/m ₃)	30
Modified Wobbe Index (%)	+/-10
Min. methane content (%)	75
Dual fuel with switch-on-fly	

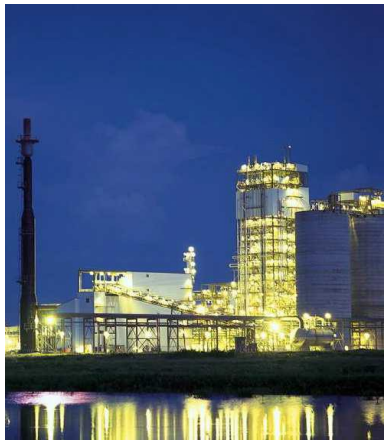
Zróżnicowanie technologii jest niezbędne...



GAZ



SŁOŃCE

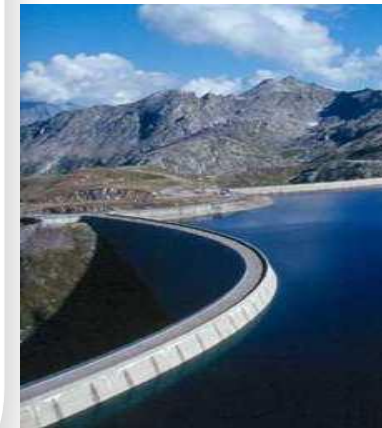


CZYSTY WĘGIEL

Technologie węglowe :

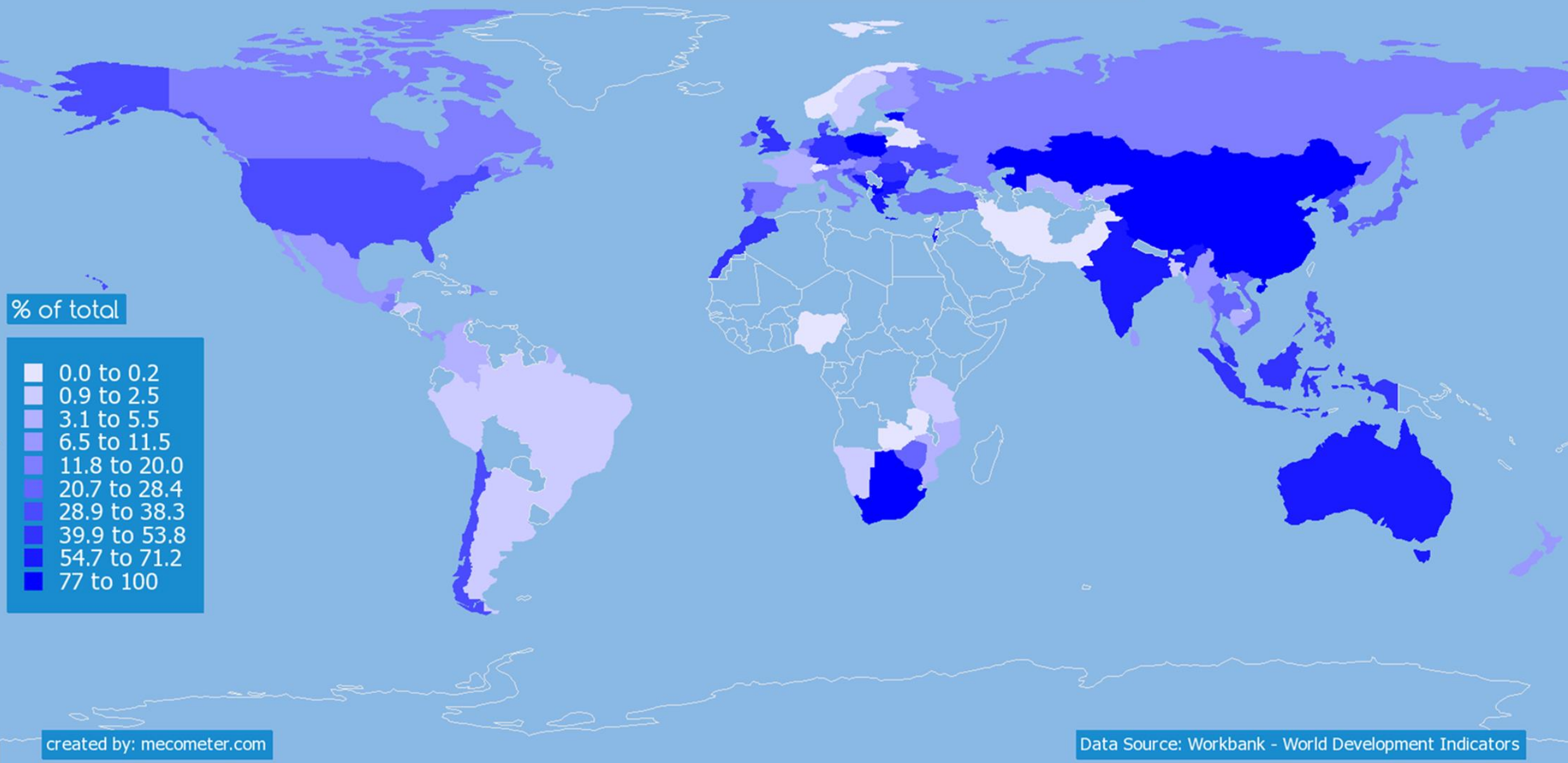
- Koszty budowy
- Czas eksploatacji
- Emisyjność
- Konkurencyjność technologii ultra super krytycznych i zgazowania węgla

ENERGIA JĄDROWA



WODA

Electricity production from coal sources



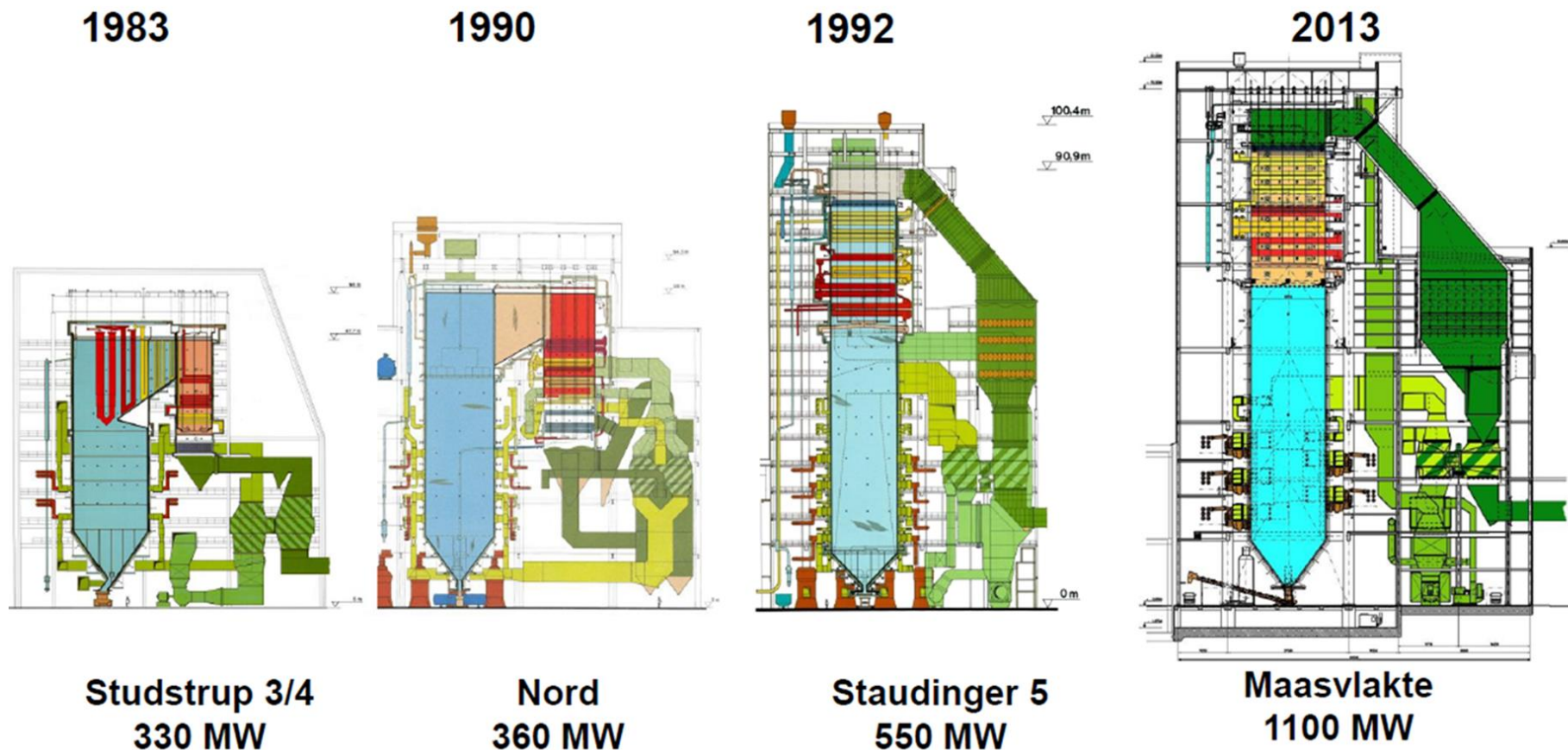
1990 r.

Dzisiejsze nowoczesne bloki elektrowni węglowych mają:

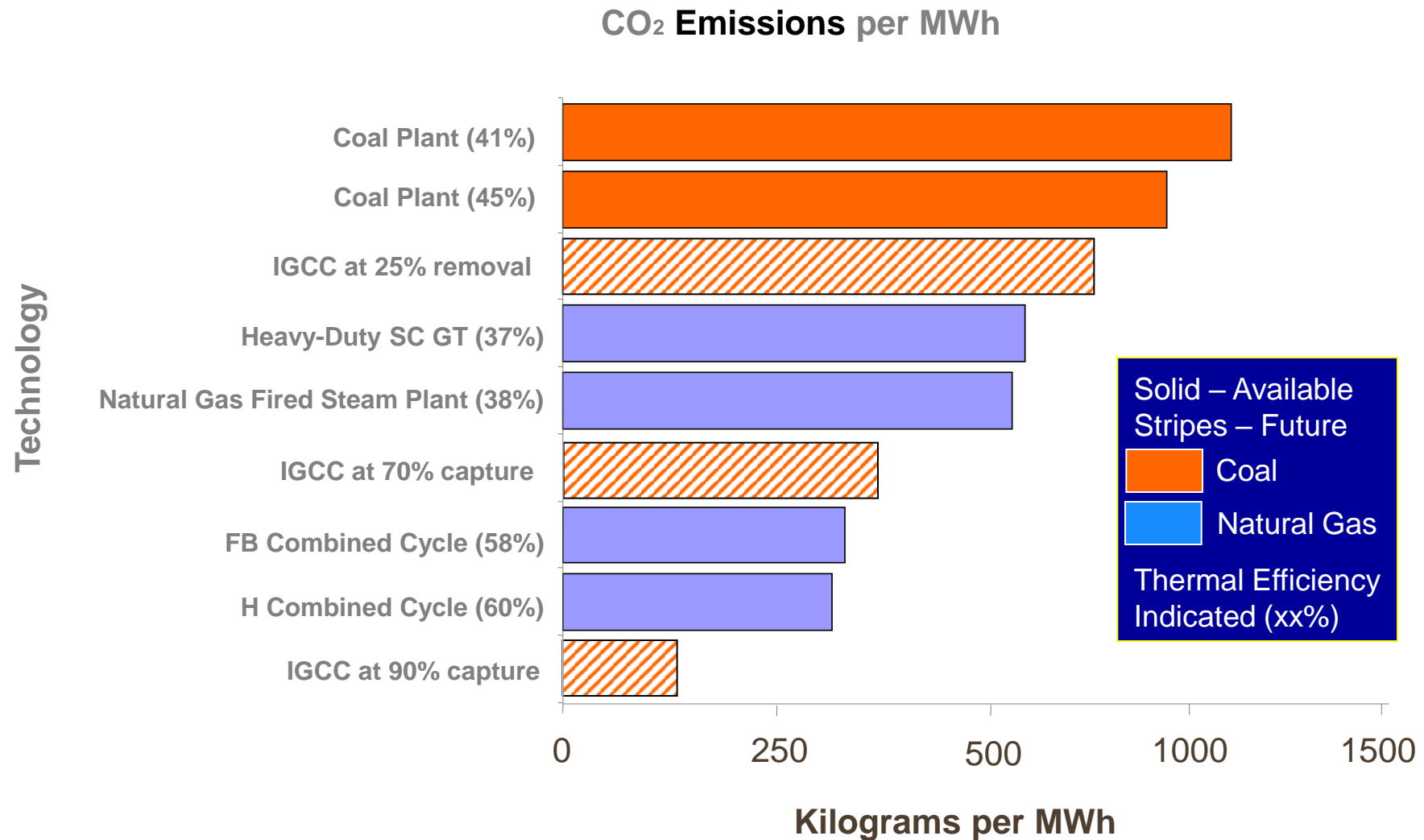
1100 MW mocy elektrycznej netto
45% sprawności netto
Parametry pary pierwotnej: 603 °C/257 bar;
Parametry pary wtórnej: 621 °C/ 56 bar;
Masowy wydatek pary: 2962 ton/h;
Moc cieplna: 2216 MW termicznych

Emisje:
 $PM \leq 10 \text{ mg/Nm}^3$
 $NO_x \leq 100 \text{ mg/Nm}^3$
 $SO_2 \leq 100 \text{ mg/Nm}^3$
 $CO_2 \leq 730 \text{ mg/Nm}^3$

Koszt inwestycyjny budowy takiego bloku
- Przekracza 3 300 000 Euro/MW mocy zainstalowanej

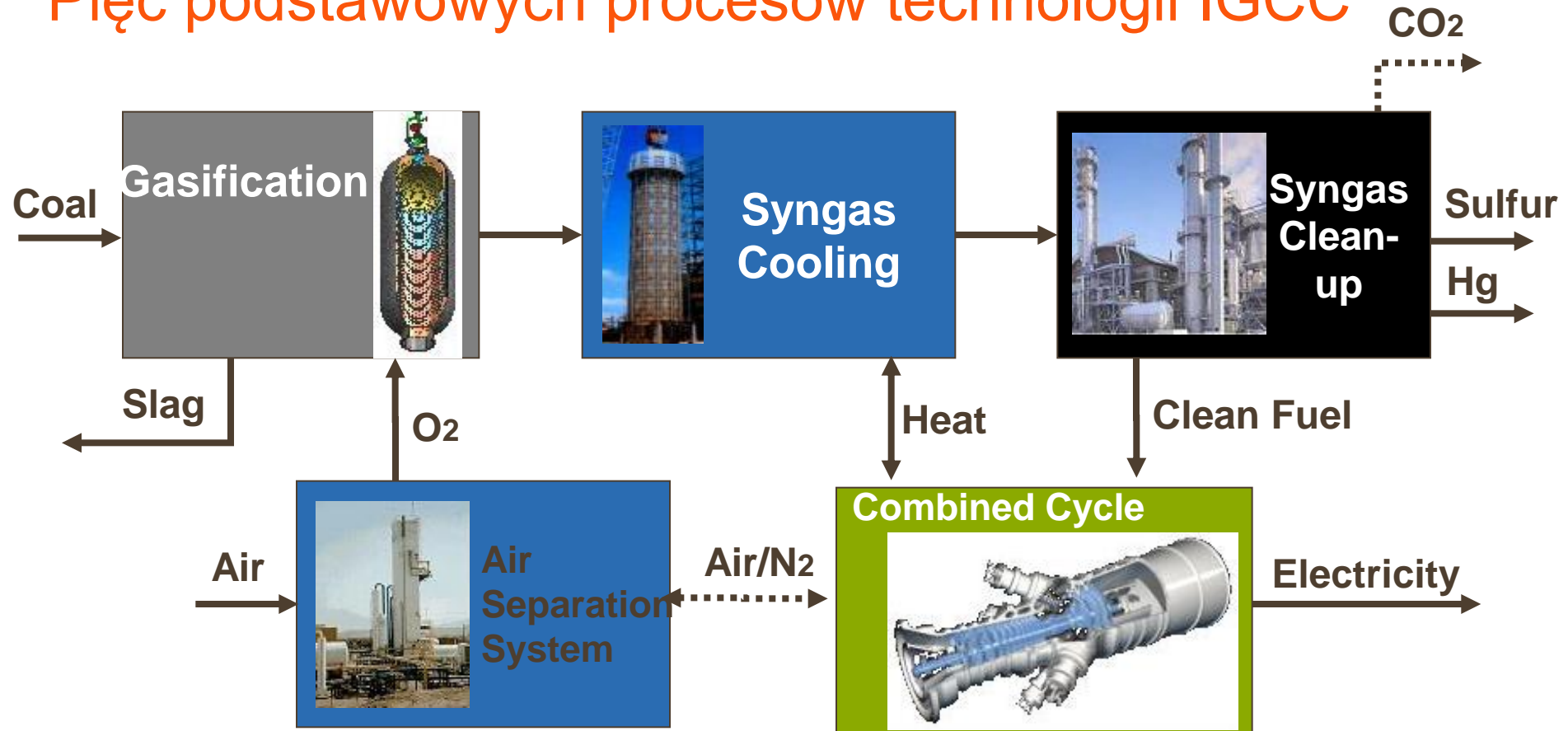


Emisja CO₂ z paliw kopalnych



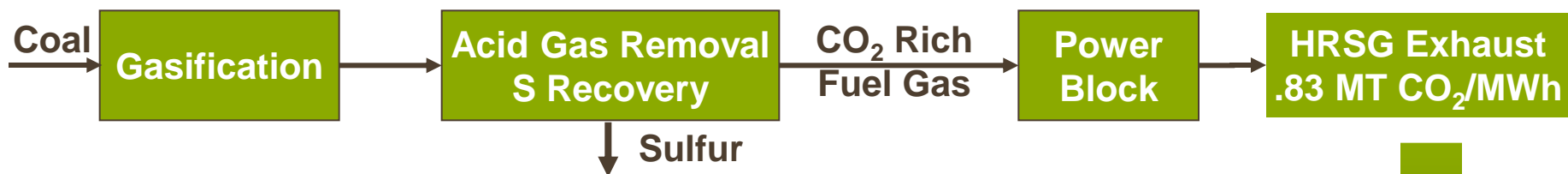
Technologia zintegrowanego zgazowania węgla

Pięć podstawowych procesów technologii IGCC

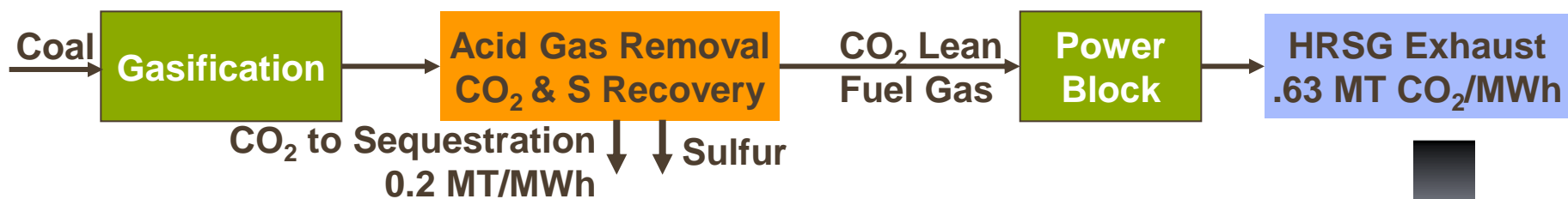


Warianty wychwytu CO₂ z układu IGCC

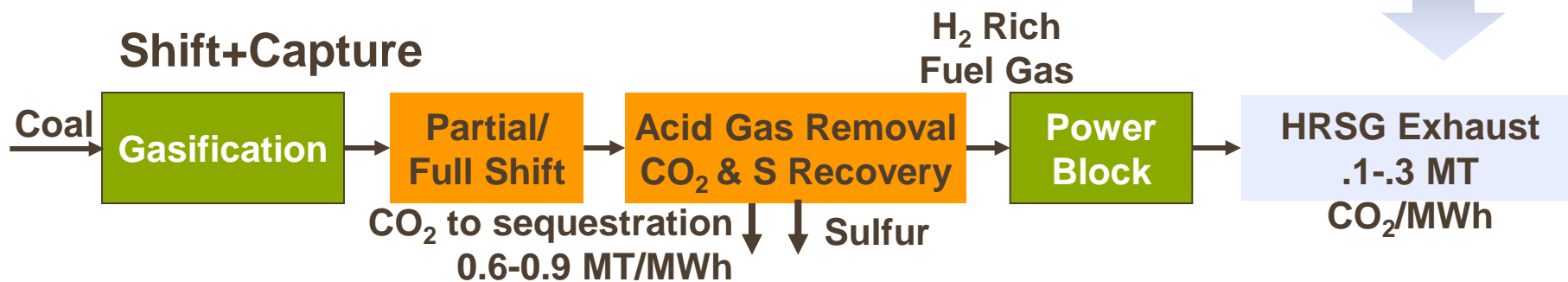
No Capture



Initial Capture

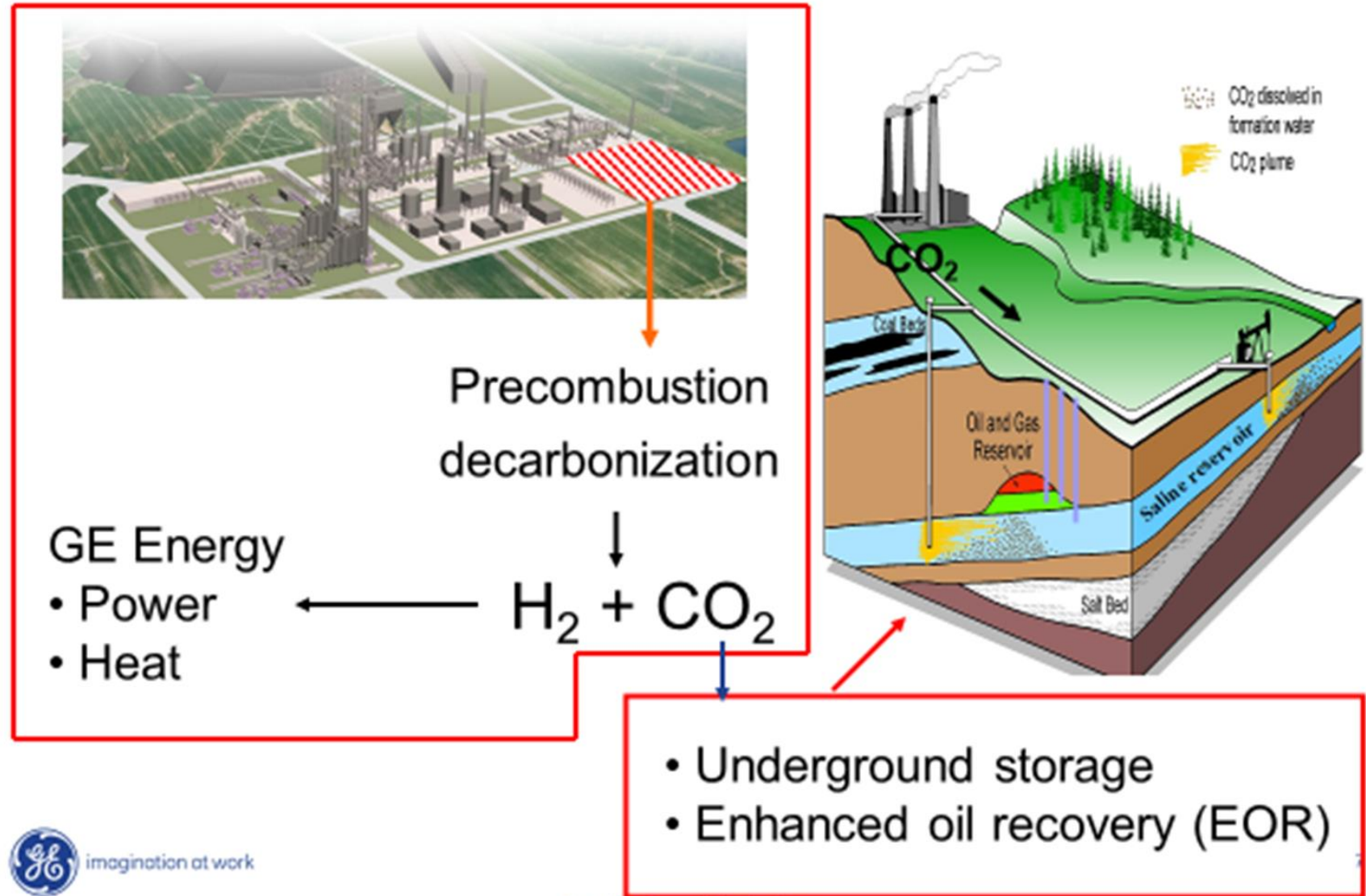


Shift+Capture



The Technology of CCS

Technologia separacji i składowania CO₂ w strukturach geologicznych.



Copyright General Electric Company

Zróżnicowanie technologii jest niezbędne...



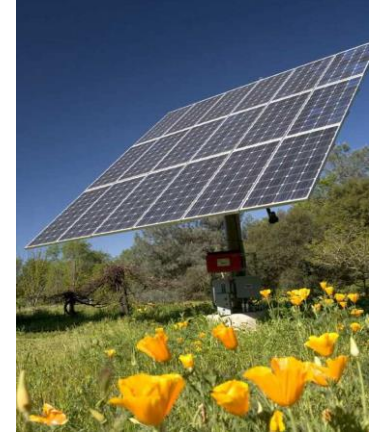
GAZ



BIOGAZ



WIATR



SŁOŃCE



CZYSTY WĘGIEL

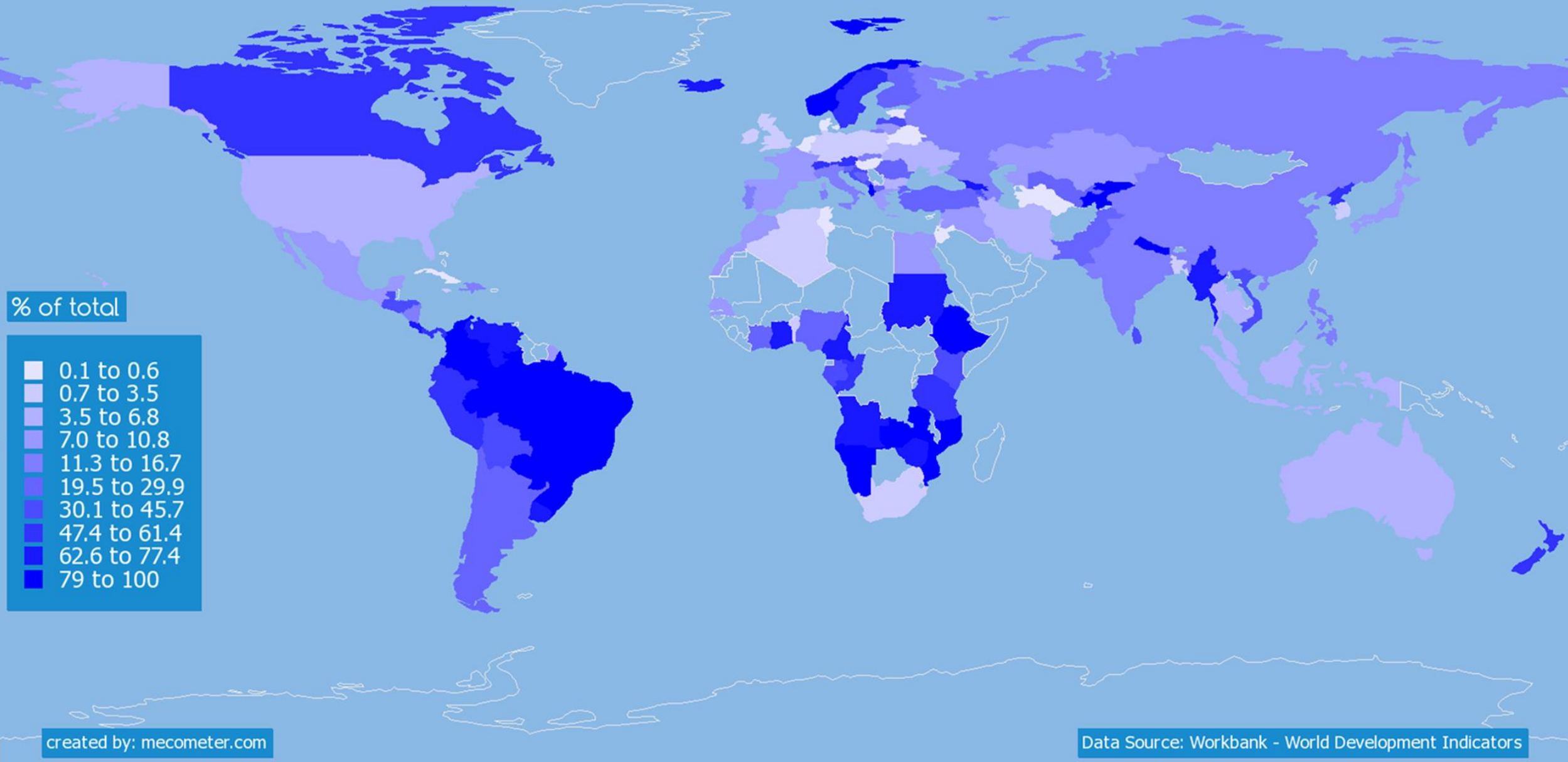
Energetyka Odnawialna:

- Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej
- Niezawodność
- Współczynnik skali
- Logistyka

ENERGIA JĄDROWA

WODA

Electricity production from hydroelectric sources

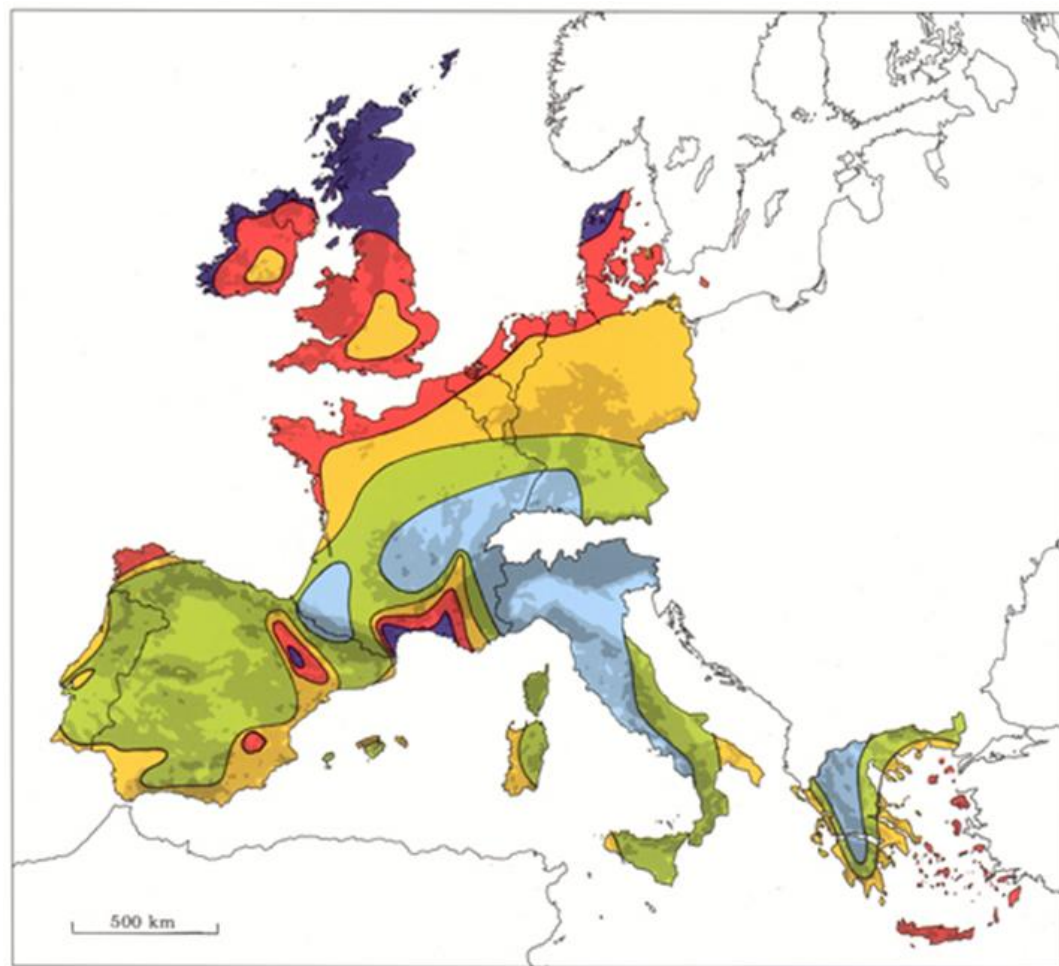


NAJWIĘKSZA HYDROELEKTROWNIANA ŚWIECIE – ZAPORA TRZECH PRZEŁOMÓW, CHINY

Hydroelektrownia zbudowana na rzece Jangcy w centralnej prowincji Chin – Hubei.

- Budowa rozpoczęła się w roku **1993**.
- Napełnianie zbiornika zakończono **26 października 2010 r.** uzyskując poziom wody wynoszący 175 m
- Moc elektrowni wynosi **22,5 GW**.
- **32 hydrogeneratory**, każdy o mocy 700 MW.
- Bezpośredni koszt budowy: **37 mld USD**.
- Koszty niebezpośrednie:
 - przymusowe przesiedlenie ponad **1,26 mln osób**; zatopieniu uległ obszar **17** dużych miast, **140** miasteczek i ponad **3000** wsi.
 - w zbiorniku elektrowni zalano liczne zabytki historii Chin;
 - straty ekologiczne: zagrożenie egzystencji niektórych gatunków ryb i ssaków wodnych;
 - skala sztucznego zbiornika jest tak wielka, że ciężar nagromadzonej wody może wpłynąć na tektonikę.
- Zapora Trzech Przełomów przyczynia się jednak do ograniczenia zużycia węgla o (dane z 2007 r.) **31 milionów ton rocznie**.

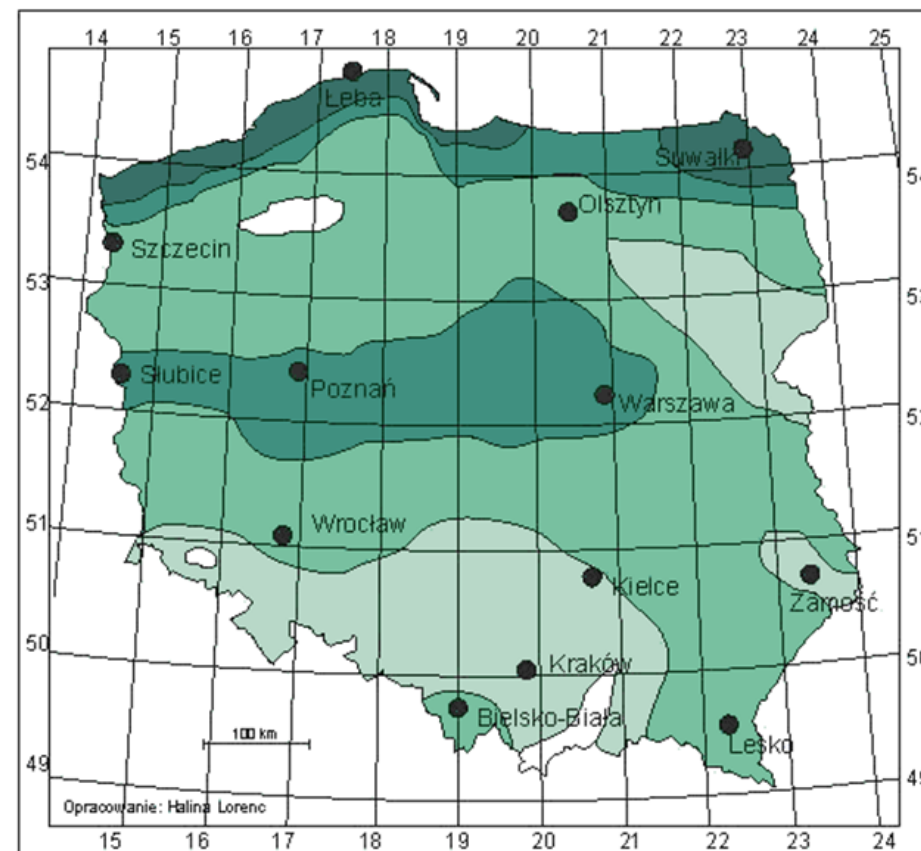




Wind resources¹ at 50 metres above ground level for five different topographic conditions

	Sheltered terrain ²		Open plain ³		At a sea coast ⁴		Open sea ⁵		Hills and ridges ⁶	
	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}	$m s^{-1}$	Wm^{-2}
	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
	4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0- 8.5	400- 700
	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Strefy energetyczne wiatru w Polsce Mezoskala



- Strefy:
- I - Wybitnie korzystna
 - II - Bardzo korzystna
 - III - Korzystna
 - IV - Mało korzystna
 - V - Niekorzystna

Ośrodek
Meteorologii



Aktualizacja mapy na podstawie okresu obserwacyjnego 1971-2000

3MW Onshore Wind Turbine Platform

GE Renewable Energy

Pitch System

Aerodynamic brake: Full feathering of blade pitch. Speed regulation; Electric drive pitch control with battery backup.

Rotor

Rotor diameter ranging from 130 to 137 meters.

Tower

Hub height ranging from 85 to 164.5 meters. Tower made of tubular steel, or hybrid pre-cast concrete & tubular steel with logistic friendly tower options.

App Suite & Predix* Platform

GE's software applications generate smooth, predictable power, thanks to big data and the Industrial Internet. Our apps enhance annual energy production and improve wind farm predictability.

Generator

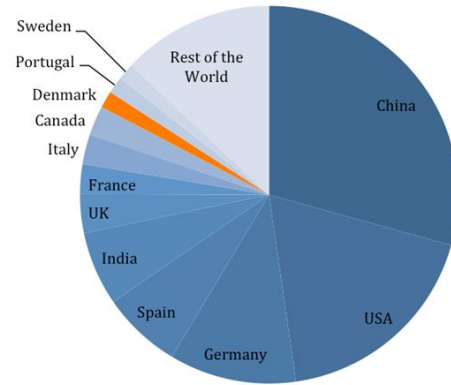
Nameplate ranging from 3.2 to 3.8 MW at 50 or 60 Hz.

Powerful and efficient

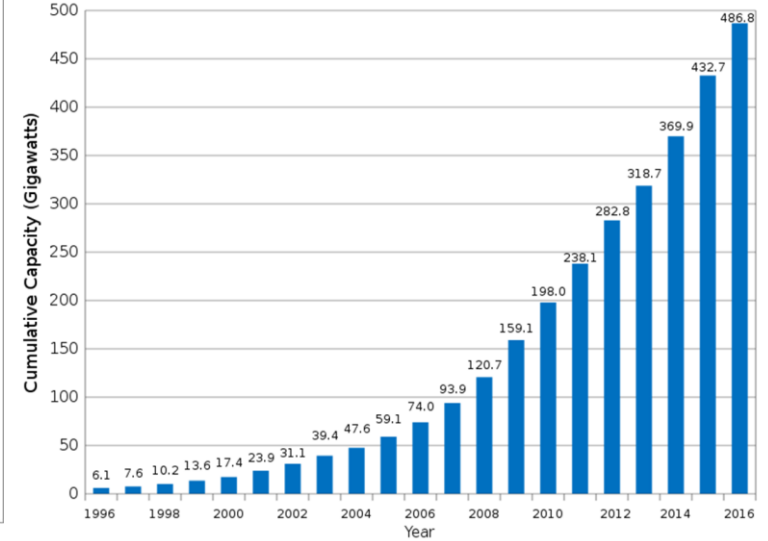
- GE's 3MW platform can be customized based on nameplate, rotor diameter and hub height
- The 3.6-137 is our highest performing turbine for Class III winds

*Trademark of General Electric Company

Installed Capacity of Wind Power



Global Wind Power Cumulative Capacity (Data: GWEC)



Haliade* 150-6MW Offshore Wind Turbine

GE Renewable Energy

Generator

In charge of generating the electricity, the direct-drive permanent magnet generator has fewer rotating parts, which increases reliability, maximizes availability and reduces maintenance costs.

Hub

Supports the rotor blades and houses their pitch assembly. It is designed to provide easy access.

Rotor Bearings

Directly transfer the unwanted load on the rotor towards main structure, bypassing the drive train.

Pitch

Controls the blade angle optimizing the area exposed to the wind, the rotation speed to ultimately increase the yield.

Helipad

A helicopter winching area allows for quick access in case of emergency at sea.

Elastic Coupling

Key element of the Pure Torque* system, includes a patented coupling system that avoid undesired load towards the generator.

Main Frame & Tower

Made of cast steel, the frame supports the rotor and transfers the loads to the tower.

Innovative, reliable, efficient

- The new generation 6 MW direct drive offshore wind turbine
- Suitable for all offshore conditions, delivering renewable energy at competitive cost to 5,000 households

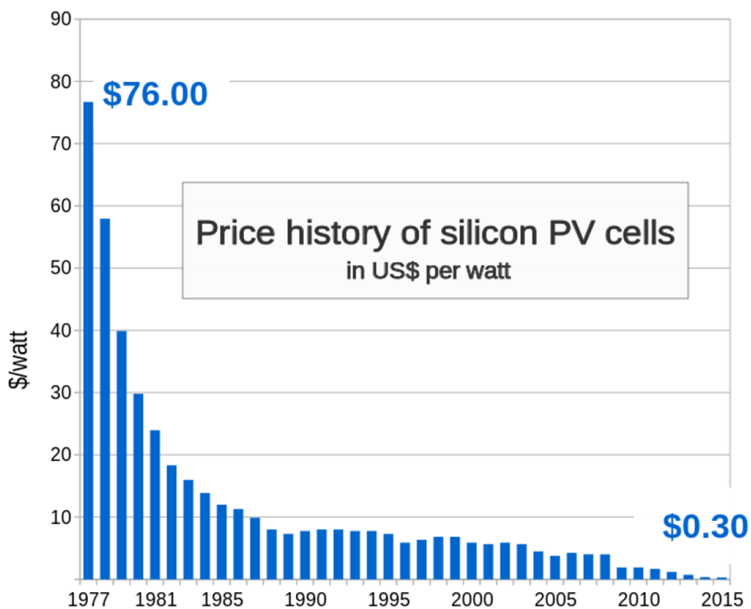
*Trademark of General Electric Company

- 12 MW capacity
- 220-meter rotor
- 107-meter long blades
- 260 meters high
- 67 GWh gross AEP
- 63% capacity factor
- 38,000 m² swept area
- Wind Class IEC: IB
- Generates **double the energy as previous GE Haliade model**
- Generates almost **45% more energy** than most powerful wind turbine available on the market today
- Will generate enough clean power for up to **16,000** European households per turbine, and up to **1 million** European households in a 750 MW configuration windfarm

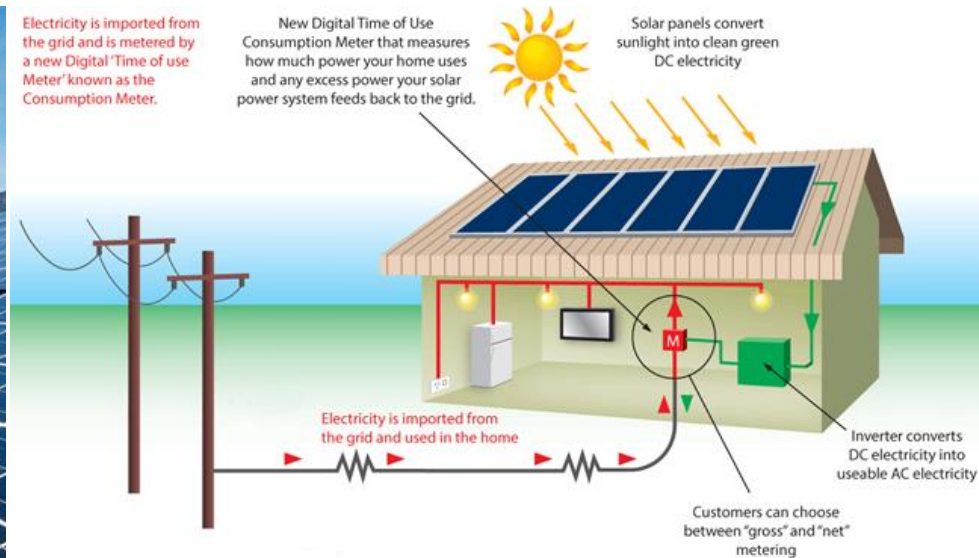
HALIADÉ-X 12 MW

GE Renewable Energy is developing **Haliade-X 12 MW**, the biggest offshore wind turbine in the world, with **220-meter rotor**, **107-meter blade**, leading capacity factor (**63%**), and **digital capabilities**, that will help our customers find success in an increasingly competitive environment.

1063 ft / 324 m (Eiffel Tower)
 1046 ft / 319 m (Chrysler Building)
 853 ft / 260 m (Haliade-X 12 MW)

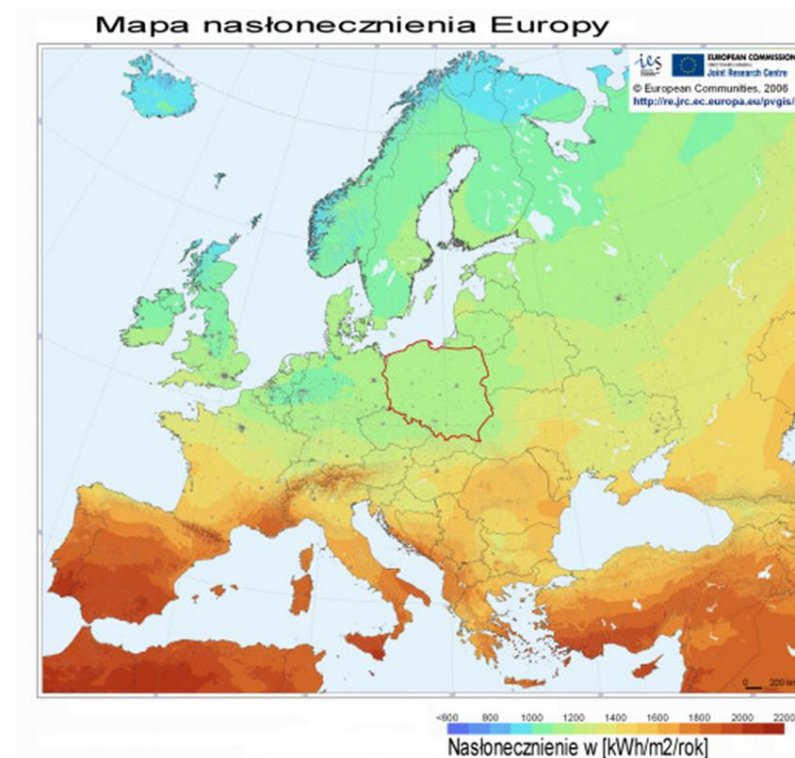


Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com



Do powierzchni Ziemi dociera promieniowanie słoneczne o mocy 180 W na metr kwadratowy. Daje to sumę energii w przedziale od **600 kWh/m²** w ciągu jednego roku w Skandynawii i do **2500 kWh/m²** w ciągu roku w centralnej Afryce.

Energia słoneczna jaka dociera do powierzchni Ziemi w ciągu sześciu miesięcy odpowiada energii zawartej we wszystkich zasobach węgla, ropy, gazu i uranu na naszej planecie.



Zróżnicowanie technologii jest niezbędne...



GAZ



BIOGAZ



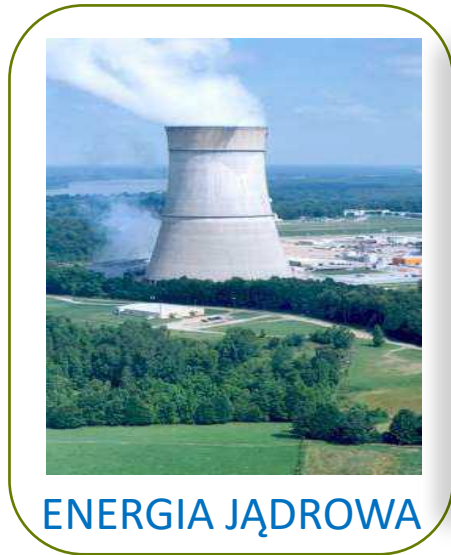
WIATR



SŁOŃCE



CZYSTY WĘGIEL



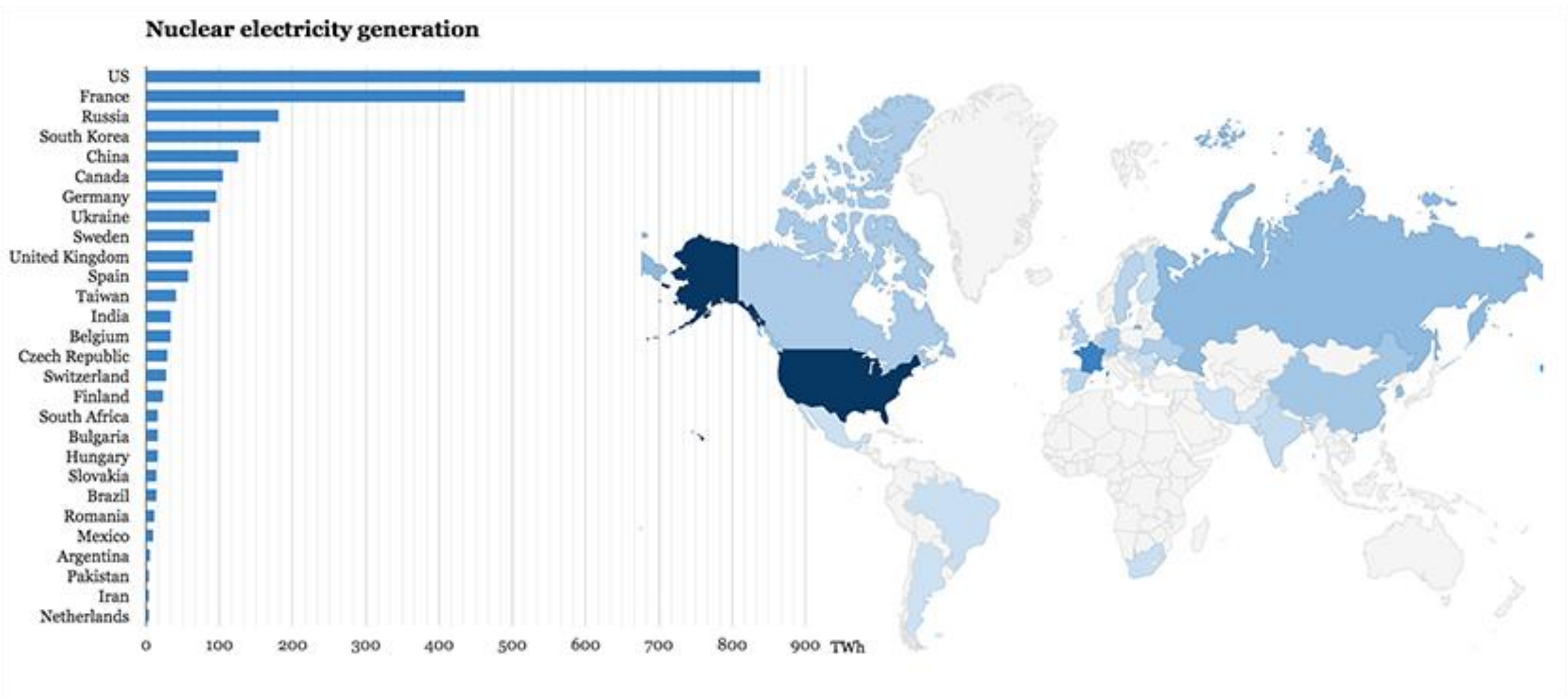
ENERGIA JĄDROWA

Energetyka jądrowa:

- Bezpieczeństwo
- Niezawodność
- Koszty inwestycyjne



Produkcja Energii Elektrycznej z Elektrowni Jądrowych na Świecie.

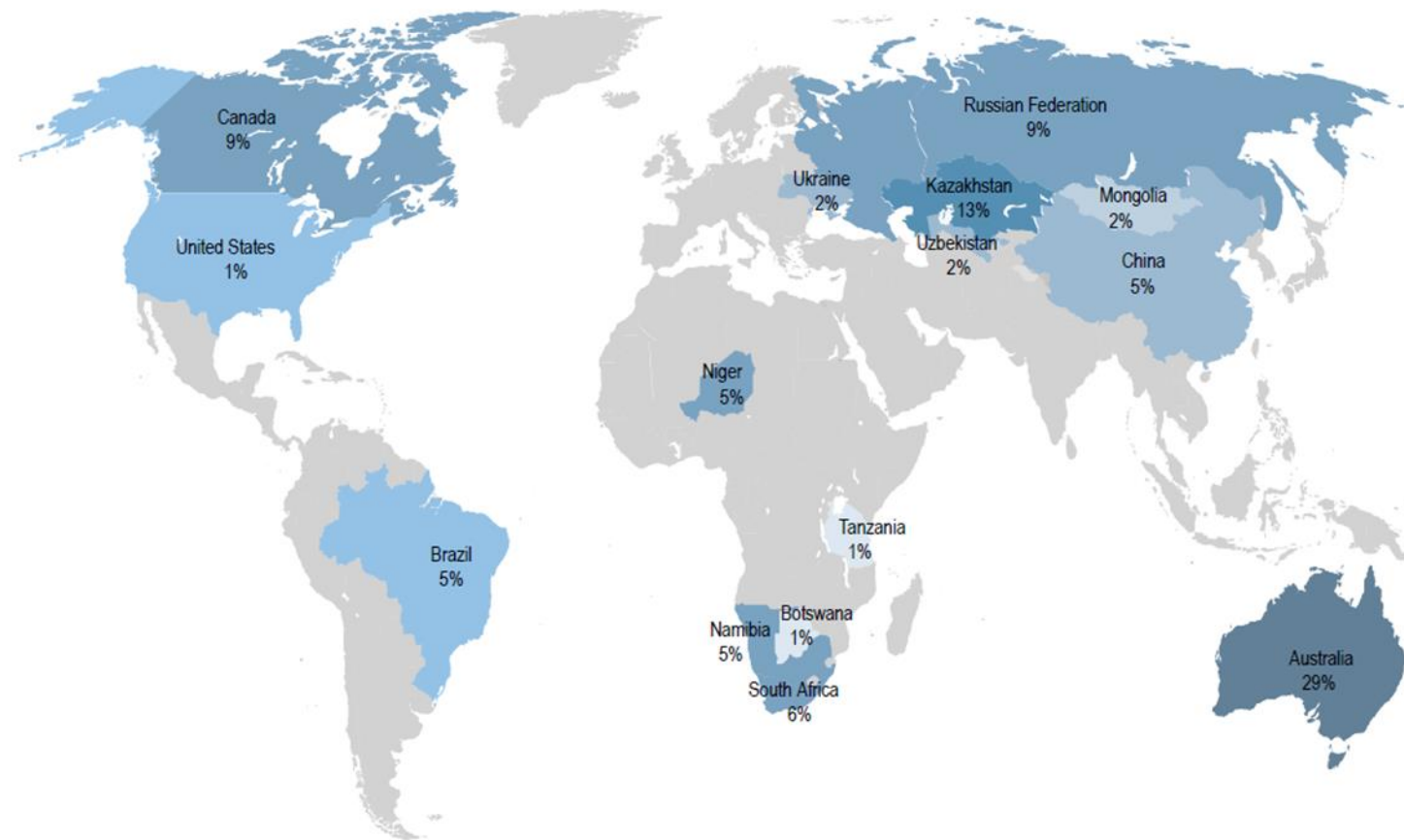


Złóża światowe Uranu

Złóża zidentyfikowane dostępne po cenie <130 USD/kg

✓ 5 718 400 ton

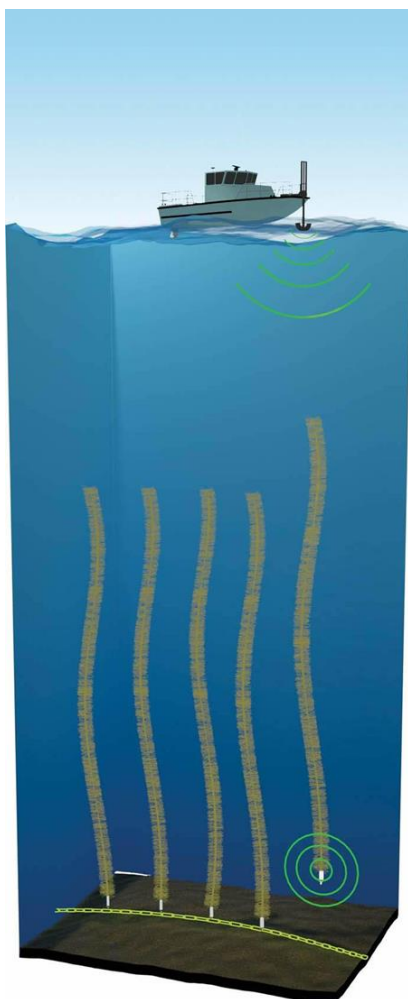
Figure 1.1. Global distribution of identified resources
(<USD 130/kgU as of 1 January 2015)



Koncentracja w wodzie morskiej to ok. 3.34 ppb (part per billion).

To daje ok. 4-5 mld ton uranu w wodach oceanu światowego

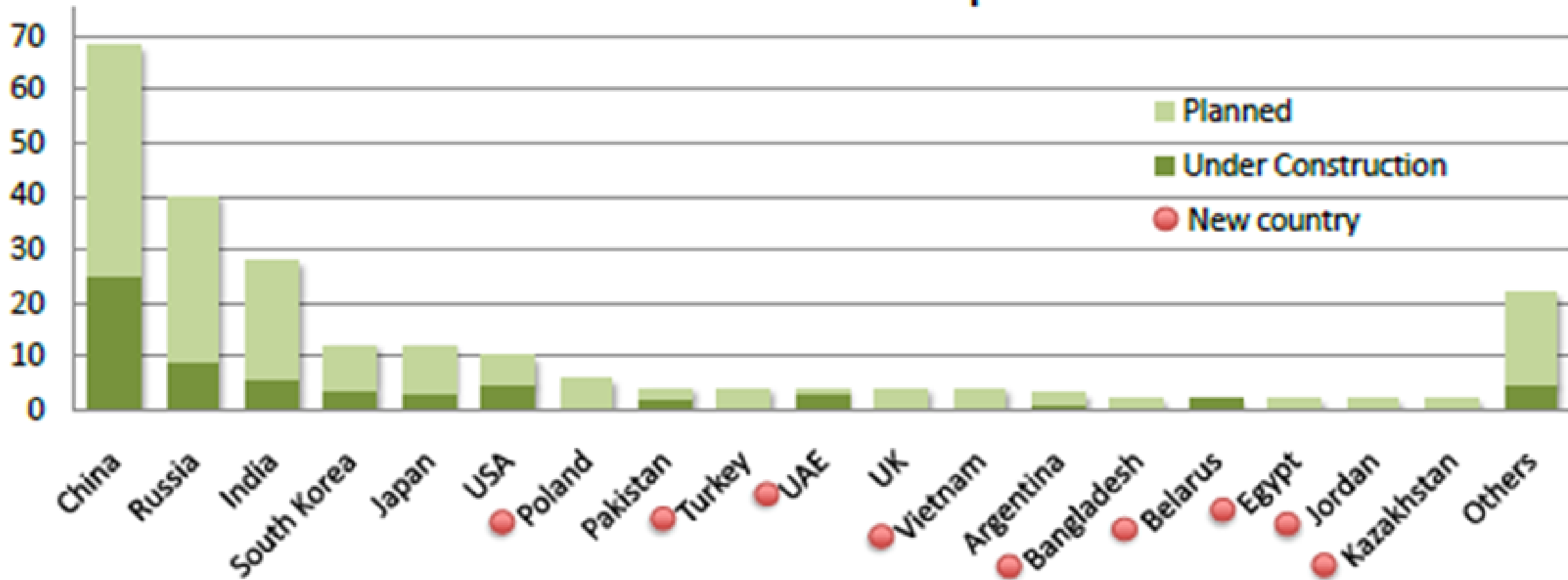
Ok. 1000-razy więcej niż w złożach na lądzie.



The global distribution of identified resources among 15 countries that are either major uranium producers or have significant plans for growth of nuclear generating capacity illustrates the widespread distribution of these resources. Together, these 15 countries are endowed with 95% of the identified global resource base in this cost category (the remaining 5% are distributed among another 22 countries). The widespread distribution of uranium resources is an important geographic aspect of nuclear energy in light of security of energy supply.

Rozwój i budowa nowych elektrowni jądrowych na świecie

Units under construction and planned



Ewolucja technologii jest czymś naturalnym



Dresden 1



Oyster Creek



Dresden 2

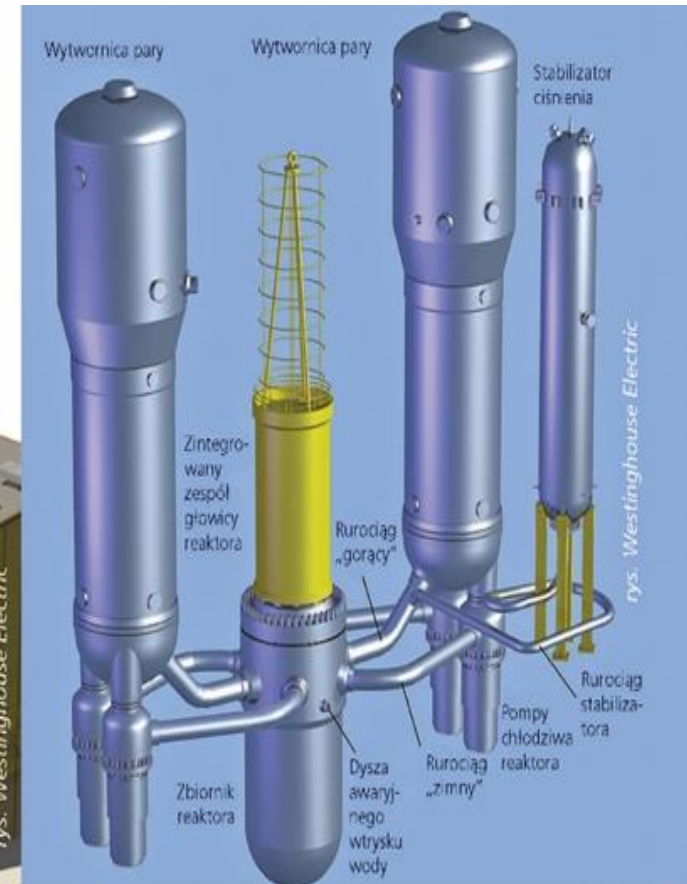
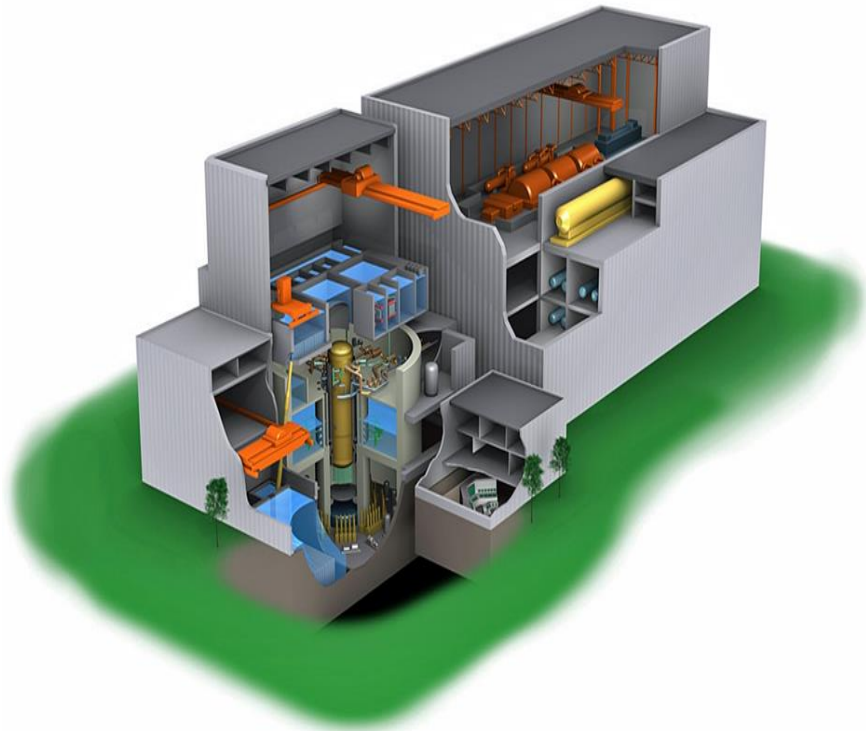


ABWR

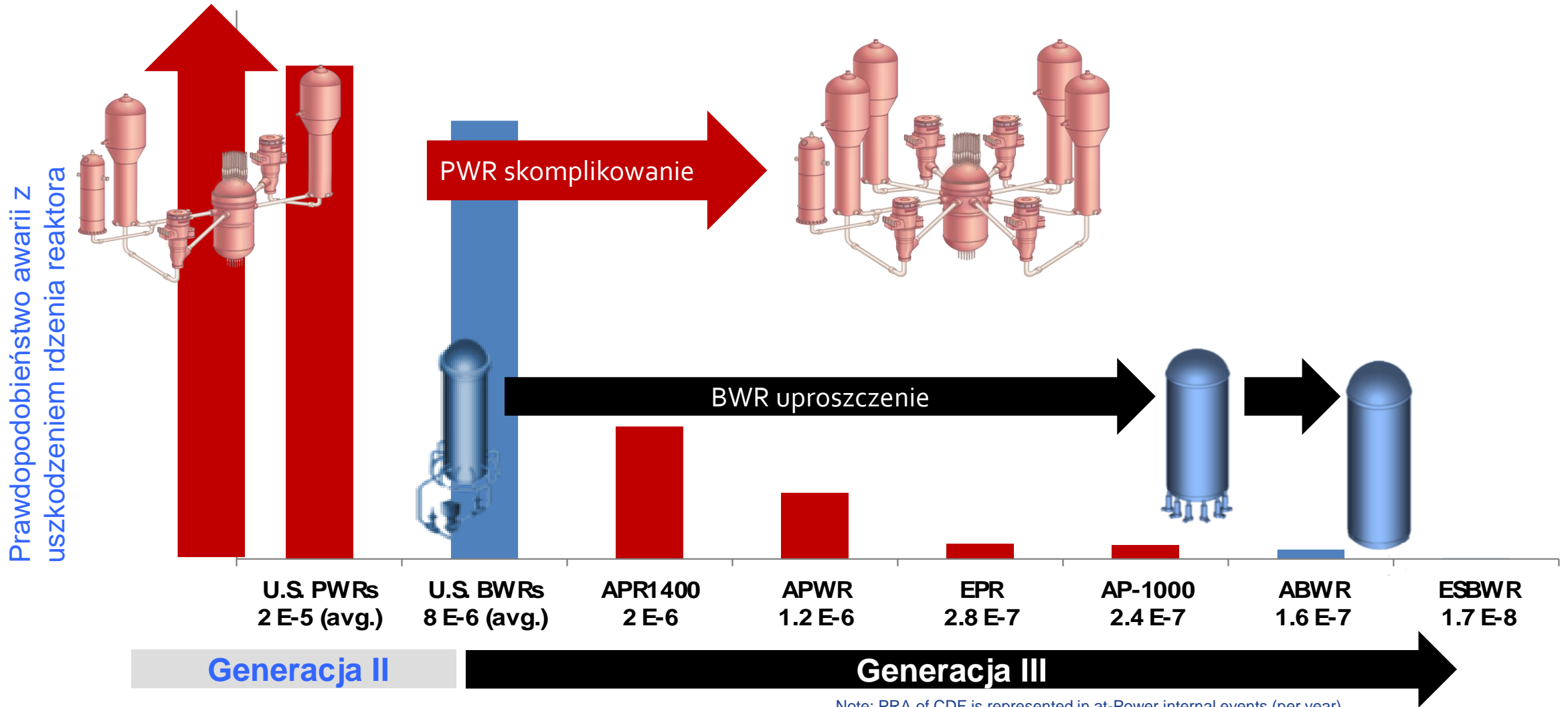


ESBWR

W praktyce światowej znalazły zastosowanie dwa typy reaktorów energetycznych – jednoobiegowe z wrzącą wodą oraz dwuobiegowe z wodą pod ciśnieniem.



Bezpieczeństwo i prostota

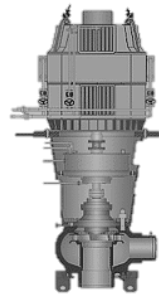


Note: PRA of CDF is represented in at-Power internal events (per year)
 Note: NSSS diagrams are for visualization purposes only

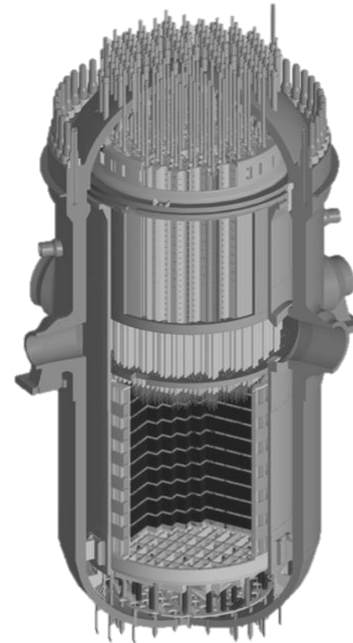
Porównanie reaktorów PWR z ABWR



Główne pompy cyrkulacyjne



Reaktor



Wytwornice pary



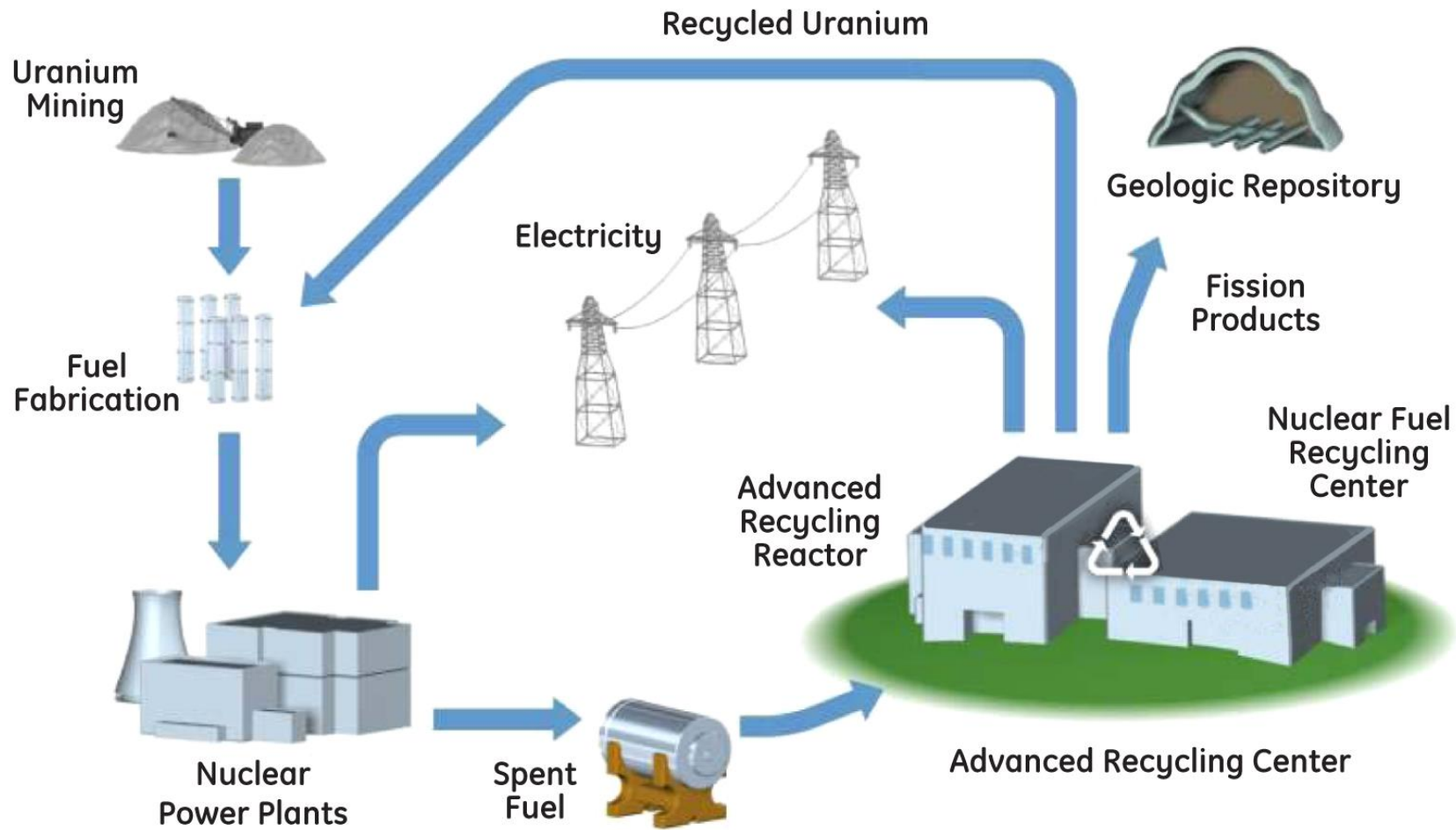
Kompensator ciśnienia



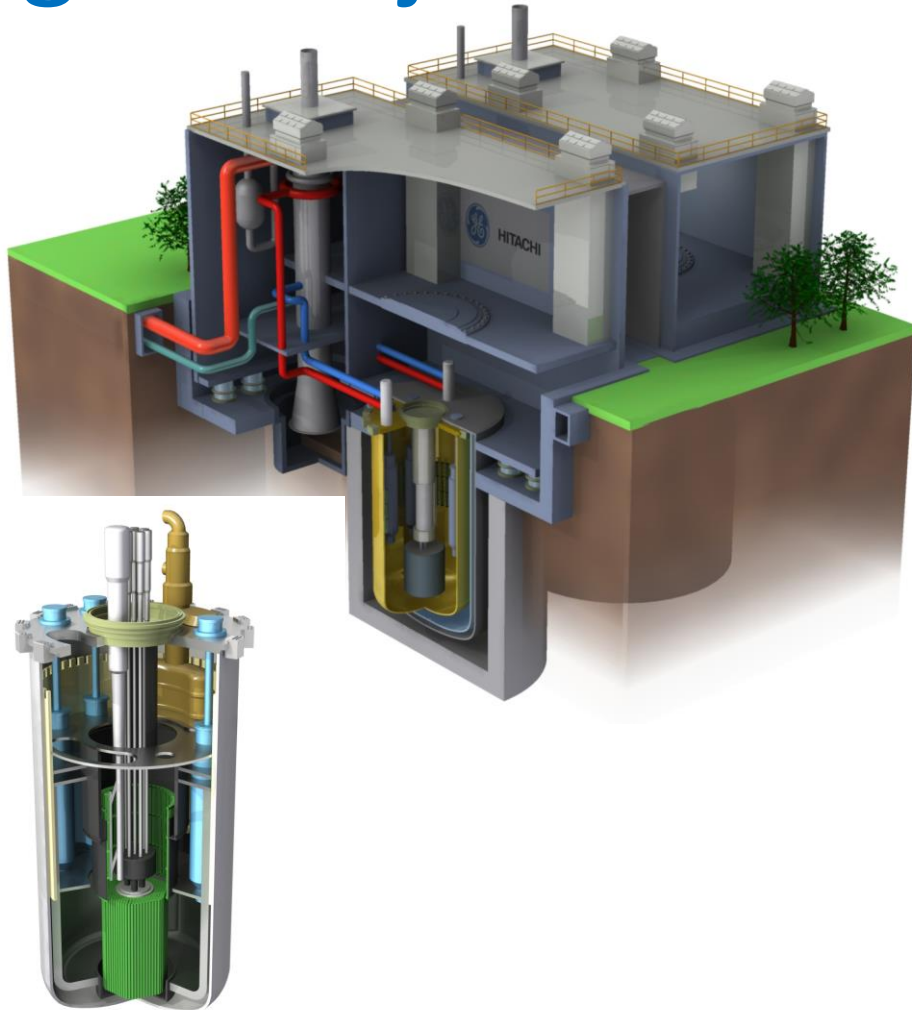
Rurociągi



PRISM & Recykling Paliwa - “Odpady” na kilowaty



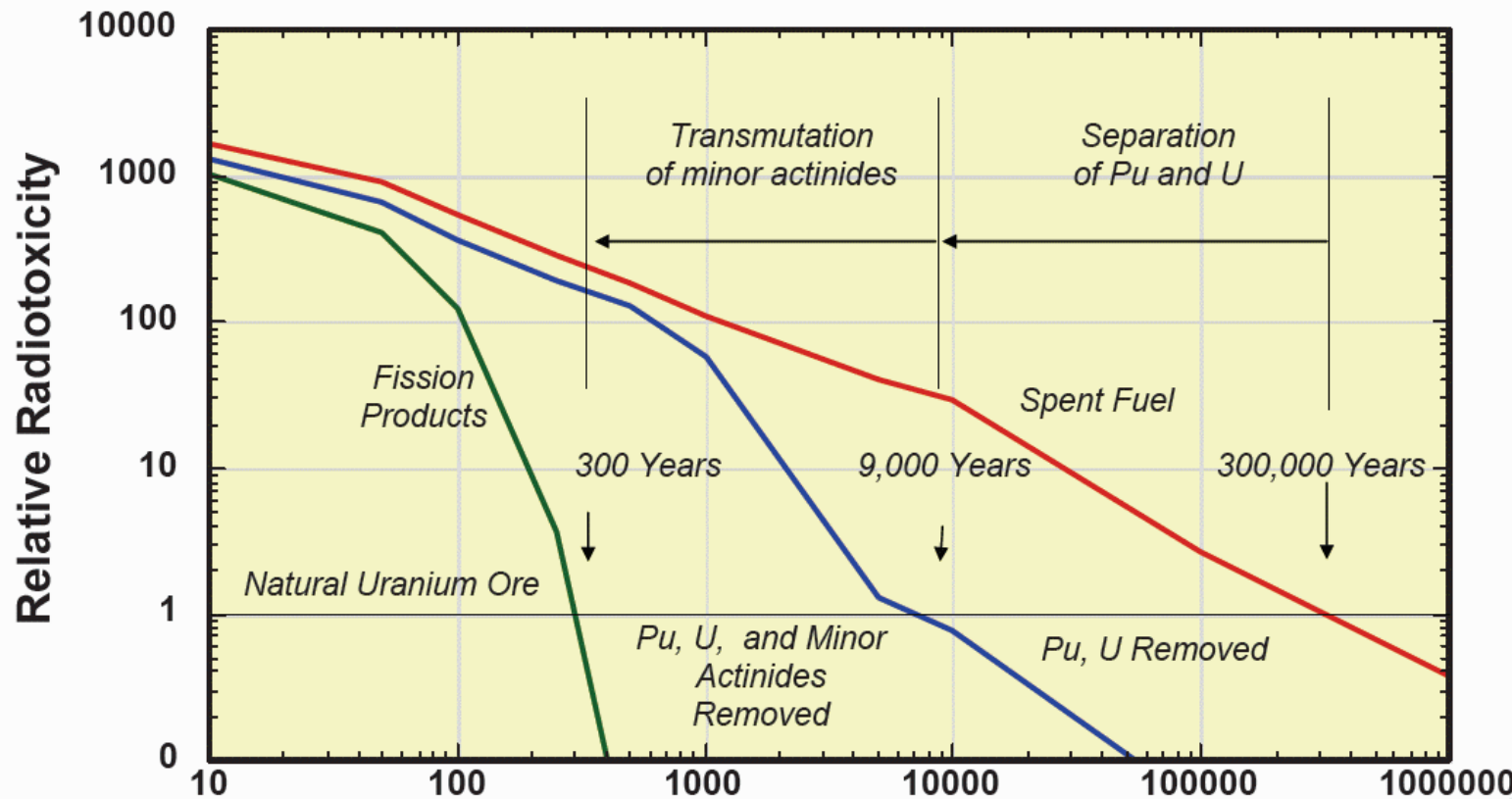
Power Reactor Innovative Small Module (PRISM), IV generacja



- Reaktor modułarny wykorzystujący wypalone paliwo jądrowe (odpad)
- 311 MWe (840 MWth) moc reaktora
 - 2 reaktory na turbinę parową
 - 6 reaktorów/EJ -1866 MWe
- Paliwo do PRISM produkowane na miejscu w centrum recyklingu
- Zastosowano zaawansowane układy cyfrowe AKPia
- Modułarna budowa umożliwia pełną prefabrykację

Problemy ze składowaniem transuranowców

1% transuranowców (TRU) zawarty w wypalonym paliwie jądrowym odpowiada za 99.9% wymaganego czasu składowania i problemy z przepisami



Usunięcie uranu, plutonu, i transuranowców skraca 300,000 letni problem składowania odpadów do 300 letniego kłopotu z lekkimi pierwiastkami – produktami podziału.

Nowoczesne technologie budowy nowych elektrowni jądrowych na świecie

W warunkach złożoności technologii, różnic wymagań lokalizacyjnych, globalizacji łańcucha dostaw, sztuką jest zbudowanie nowej elektrowni jądrowej zgodnie z harmonogramem i przyjętym budżetem.

Budowa bloków 5 i 6 w EJ Fuqing, w których zastosowano chińskie reaktory typu Hualong one. [China Nuclear E&C Group]

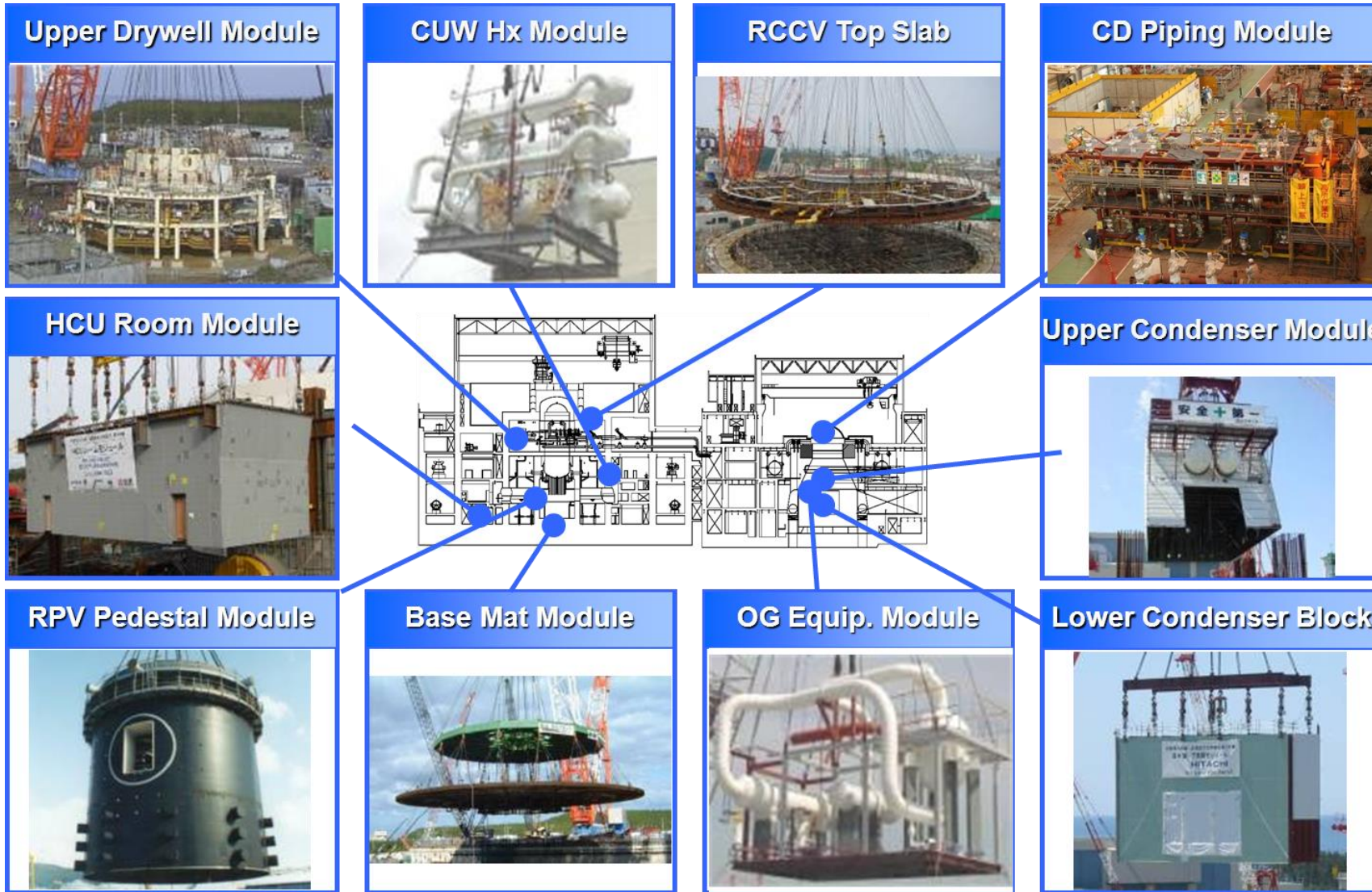


Budowa EJ Flamanville 3 w Normandii [EDFAreva NP]



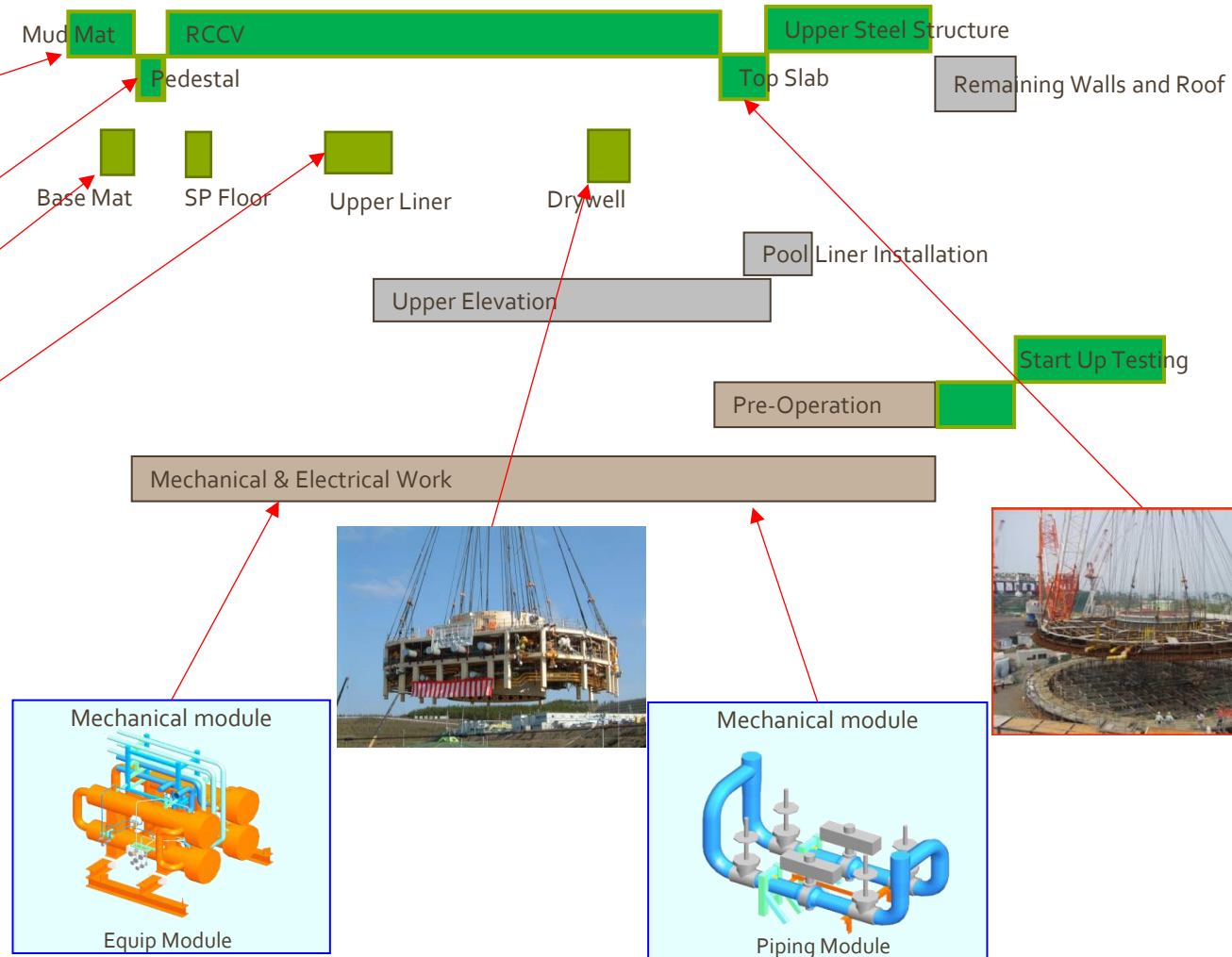
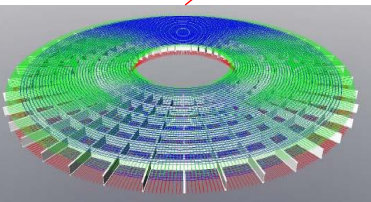
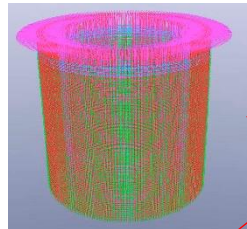
Budowa elektrowni Alvin W. Vogtle Electric Generating Plant w stanie Georgia w USA [Westinghouse Electric]

Modularyzacja to redukcja prac na placu budowy i wyższa jakość



Modularyzacja i jej udział w procesie budowy

- F/C: Zalanie pierwszego betonu
- M/C: Montaż podstawy
- RPV: Układ korpusu reaktora
- O/C: Wykonanie poziomu operacyjnego
- OTC: Instalacja suwnicy
- F/L: Załadunek paliwa jądrowego
- C/O: Początek eksploatacji komercyjnej



Modularyzacja

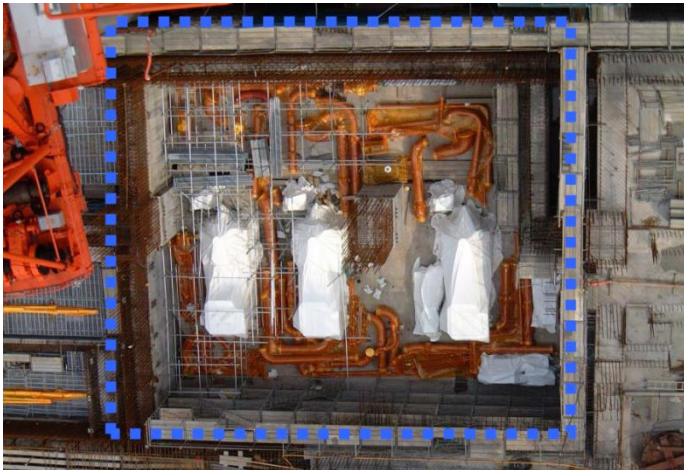
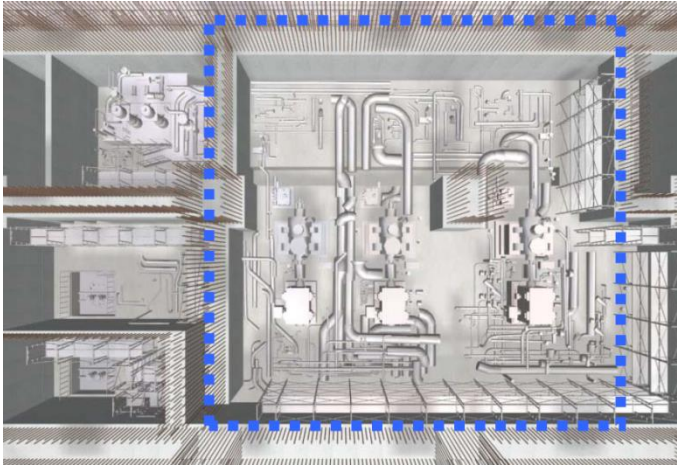
- Korzyści

- Skrócony czas budowy
- Wyższa produktywność i jakość
- Lepsza kontrola procesu
- Zwiększone bezpieczeństwo pracy (na zerowym poziomie)
- Zmniejszony zakres prac na placu budowy, kontrola materiałów
- Zmniejszona współzależność operacji

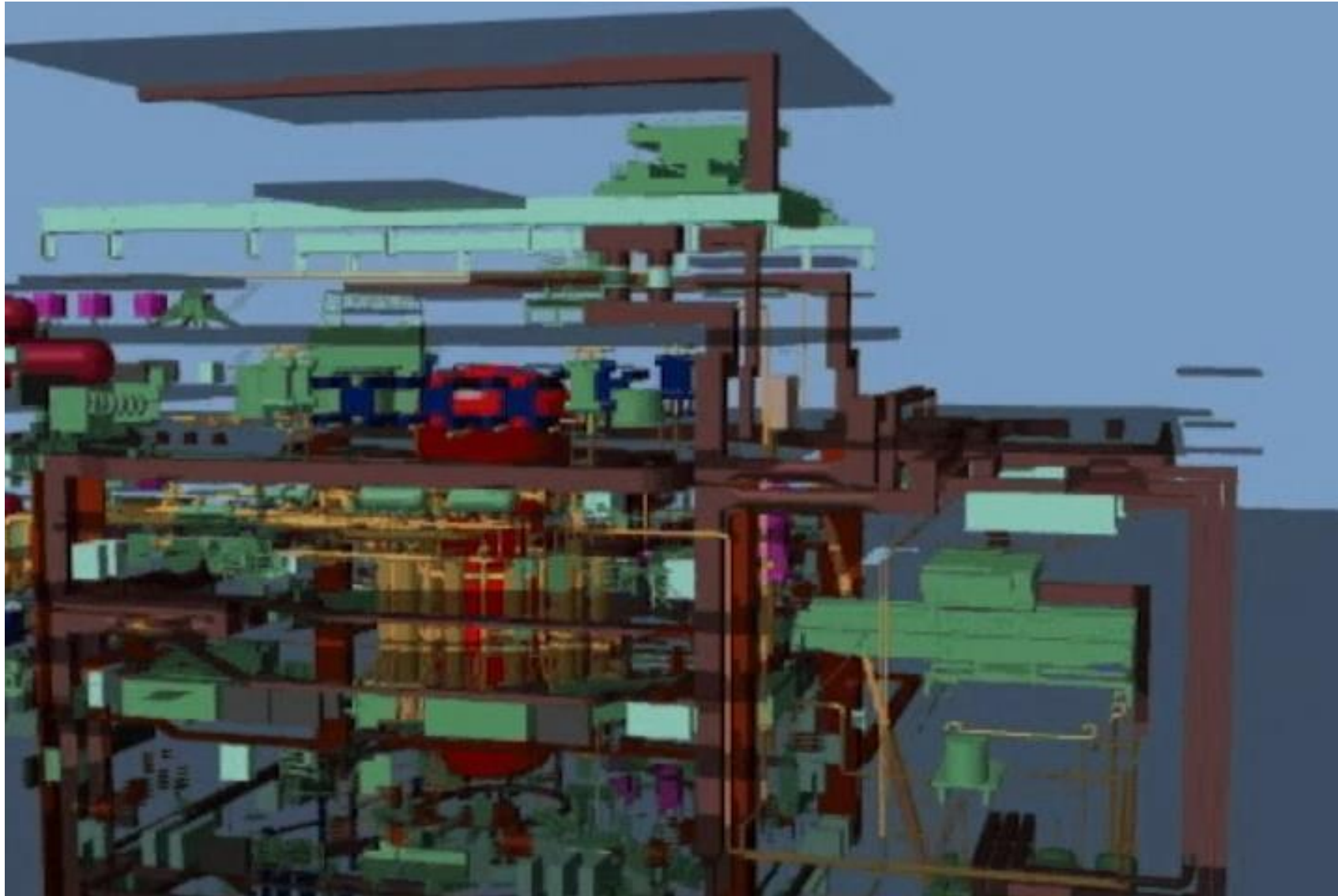
- Wady

- Zwiększony zakres planowania i administracji projektu
- Zwiększony zakres prac projektowych
- Wzajemne dopasowanie modułów
- Zwiększone zużycie materiałów
- Dodatkowy transport/ zwiększone ryzyko uszkodzenia urządzeń
- Zwiększony zakres prac dźwigowych

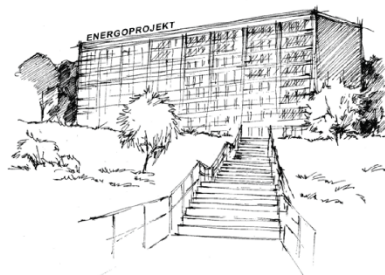
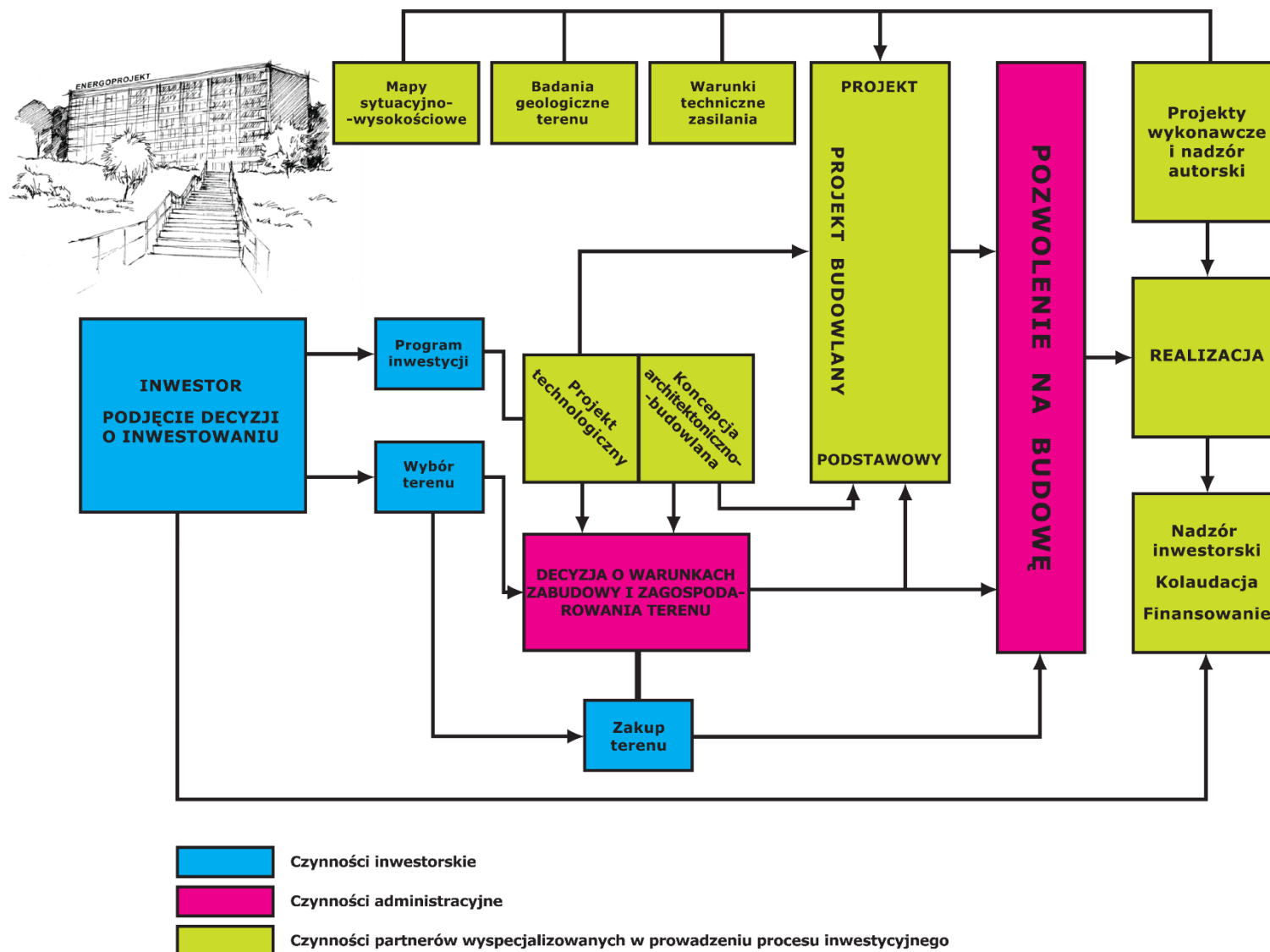
Technologia otwartej góry i równoległego montażu



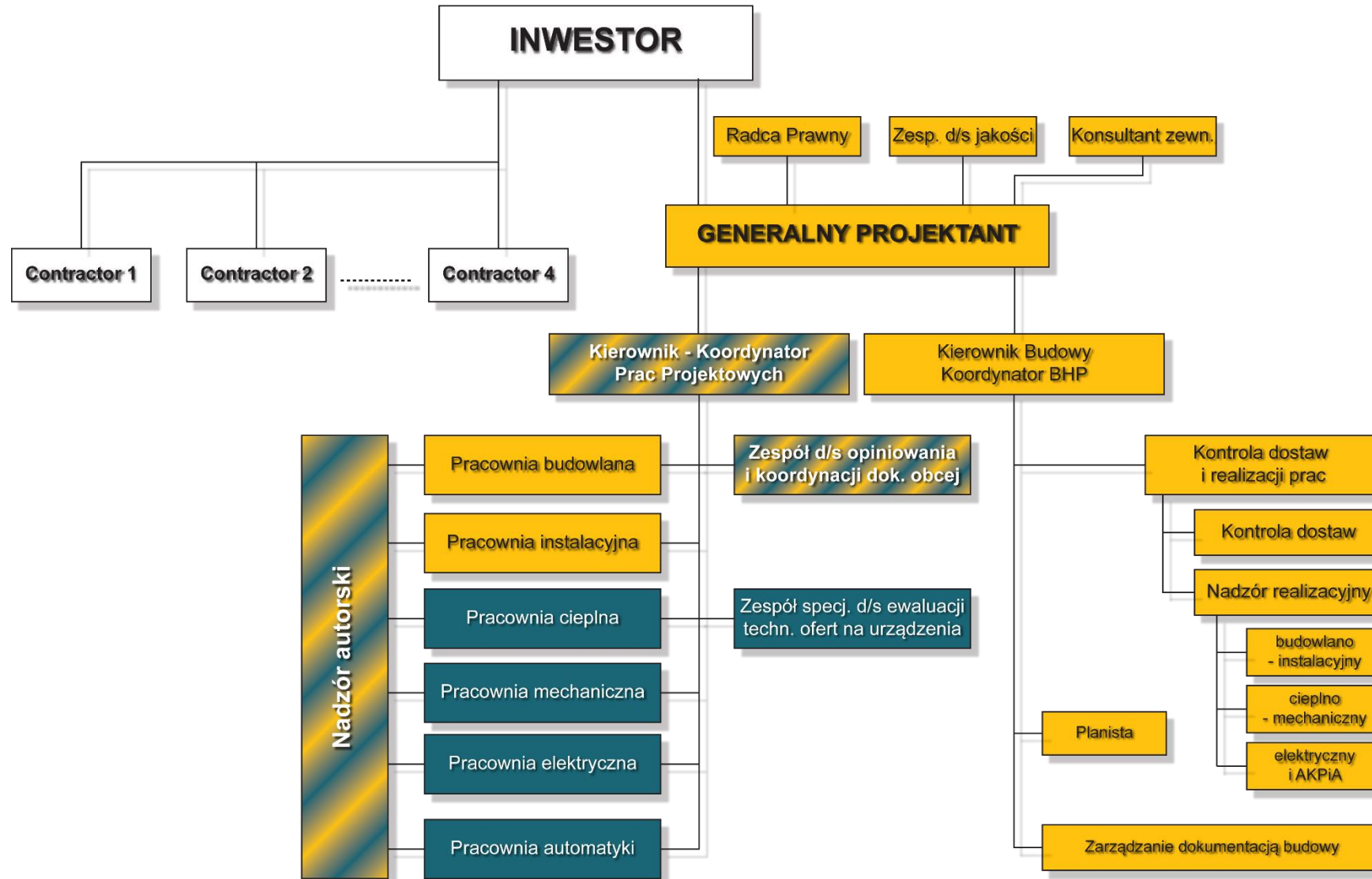
Wyprzedzający projekt wykonawczy



SCHEMAT PRZEBIEGU PROCESU INWESTYCYJNEGO



SCHEMAT ORGANIZACJI PROJEKTU



SYSTEM ZAPEWNIENIA JAKOŚCI

- Bezpieczeństwo jądrowe jest ściśle powiązane z zapewnieniem i kontrolą jakości na każdym etapie realizacji projektu jądrowego.
- Budowa zaplecza przemysłowego do realizacji projektu budowy EJ, zgodnie z wymaganiami bezpieczeństwa jądrowego i zapewnienia jakości.
- Kształcenie zaplecza inżynierskiego i technicznego w zakresie energetyki jądrowej, procedury.
- Budowa łańcucha dostaw zgodnie z wymaganiami technologii budowy EJ i zapewnienia jakości.

SYSTEM ZAPEWNIENIA JAKOŚCI U DOSTAWCÓW

Kwalifikacja

- Zdolność Spełnienia Wymagań Produktu
- Reżim Produkcji
- Kontrola Kluczowych Procesów
- Moce Produkcyjne

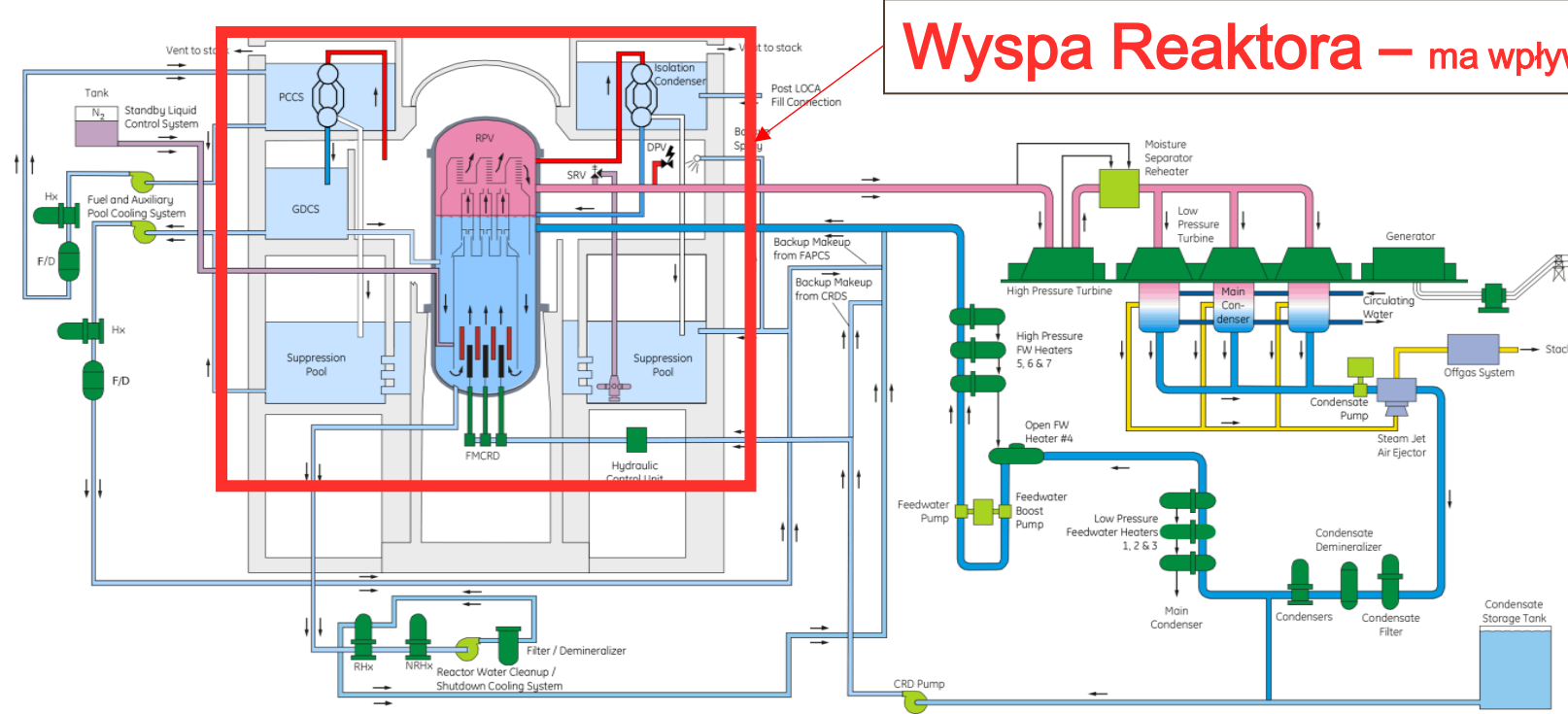
Adaptacja Przepisów i Standardów

- Audyty/Prawo wstępu ... kontrola procesowa
- Wymóg Audytów Jakości ... Certyfikaty Zgodności, Dokumentacja, Odnotowywanie wad produktów zgodnie z obowiązującymi przepisami.
- Akceptacja przez odbiorcę raportu niezgodności

Wydajność

- Zdolność monitorowania dostaw na czas i ich wad
- Ocena i porównanie produktów i procesów dostawców
- Plan poprawy jeżeli wymagany

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE



Wyspa Reaktora – ma wpływ na bezpieczeństwo jądrowe

- Elementy Bezpieczeństwa Jądrowego
(zbiornik reaktora, główne rurociągi obiegu pierwotnego) ~60%
- EI. Ważne dla Bezpieczeństwa Jądrowego
(rurociągi, stal, beton, oprzyrządowanie, zawory, pompy, wymienniki ciepła) ~10%
- EI. Nie Mające Bezpośredniego Wpływu na Bezpieczeństwo Jądrowe
(turbina, kondensator, woda chłodząca turbinę, oświetlenie) ~30%

Zakup elementów bezpieczeństwa jądrowego.



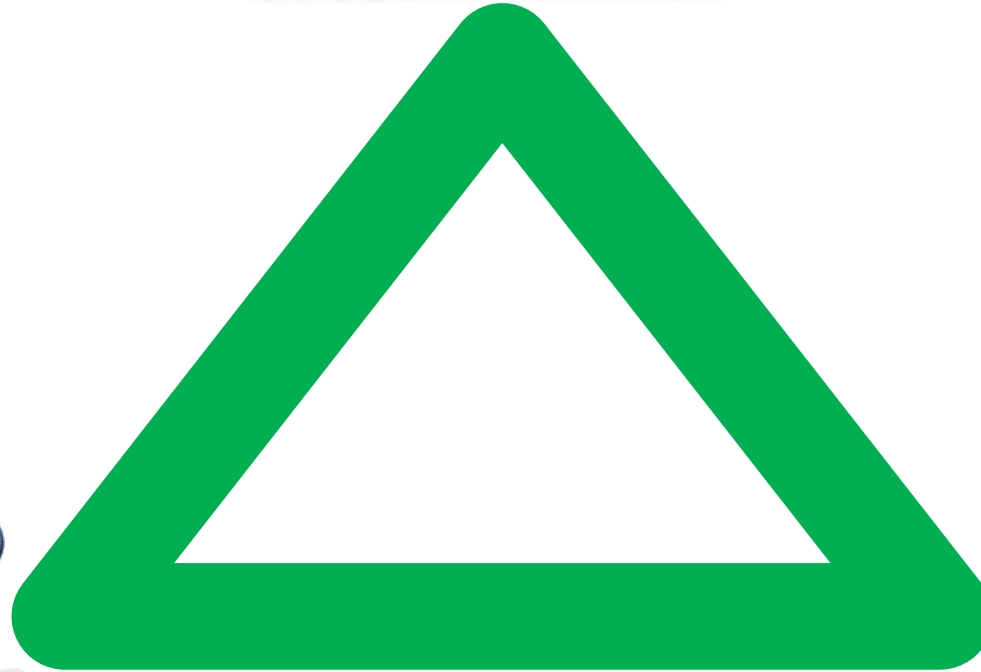
- Zakupy Elementów EJ mających wpływ na Bezpieczeństwo Jądrowe:
 - Od producentów posiadających Jądrowe Certyfikaty Kwalifikacyjne np. dostawca z ASME-NQA
 - Kwalifikowani i Odpowiadający potrzebom technologii (sprawdzeni)
- Zakupy Elementów EJ nie mających wpływu na Bezpieczeństwo Jądrowe
 - Dodatkowe wymogi jakościowe zgodne z tymi dla produktów wpływających na bezpieczeństwo jądrowe.
 - Kwalifikowany dostawca komercyjny

- ❖ Wyspa Jądrowa: Wymagany N-Stamp lub inny Certyfikat Jądrowy
- ❖ Wyspa Turbinowa: zgodne z ASME lub innym standardem dla produktu.
- ❖ Pozostałe: Standardy Przemysłowe dla budowy elektrowni.

Technologia jądrowa ... Zaufanie Inwestorów i Regulatorów



Przewidywalne czas
i koszt budowy



Uproszczony
Projekt
Najwyższe
Bezpieczeństwo
Technologii

Najwyższe
bezpieczeństwo i
jakość budowy

