12. KONWENCJA RYNKU ELEKTROTECHNICZNEGO

25 maja 2022, Warszawa

Związek Pracodawców
Dystrybucji Elektrotechniki

12. KONWENCJA RYNKU ELEKTROTECHNICZNEGO

Związek Pracodawców Dystrybucji Elektrotechniki

SHE

Energetyka jądrowa w Polsce

Paweł Zaręba
dr ekspert ds. energetyki jądrowej

PRELEGENT – dr inż. Paweł Zaręba

KONTAKT – e-mail: pawel.zareba@onet.eu

25 maja 2022 roku

ENERGETYKA JĄDROWA – STABILNE I STEROWALNE PRAKTYCZNIE ZEROEMISYJNE ŹRÓDŁA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

PODSTAWOWE DOKUMENTY ŹRÓDŁOWE

- **Polityka energetyczna Polski do roku 2040 (PEP2040)**
- **Program polskiej energetyki jądrowej**
- **Zestawienie danych ilościowych dotyczących funkcjonowania KSE w 2021roku**
- **Opracowania MAEA**
- **Materiały własne**

ZASTRZEŻENIE

Treści przedstawione w niniejszej prezentacji są wyłącznie prywatnymi sądami jej autora, wynikającymi z analizy wymienionych powyżej dokumentów, jak również doświadczenia zarówno jego, jak i ludzi zaangażowanych w przeszłości w prace związane z polskim programem atomowym, w szczególności mgr. inż. Władysława Kiełbasy, któremu to autor składa serdeczne podziękowania za udostępnienie materiałów i wyrażenie zgody na ich zaprezentowanie.

Informacje dotyczące bieżącego statusu prac nad wyborem lokalizacji, technologii oraz zaawansowaniem realizacji Programu polskiej energetyki jądrowej można znaleźć na oficjalnej stronie internetowej spółki Polskie Elektrownie Jądrowe Sp. z o.o. https://ppej.pl, jak również na stronie Ministerstwa Klimatu i Środowiska https://www.gov.pl/klimat/. Autor niniejszego opracowania nie udziela żadnych informacji na ww. tematy.

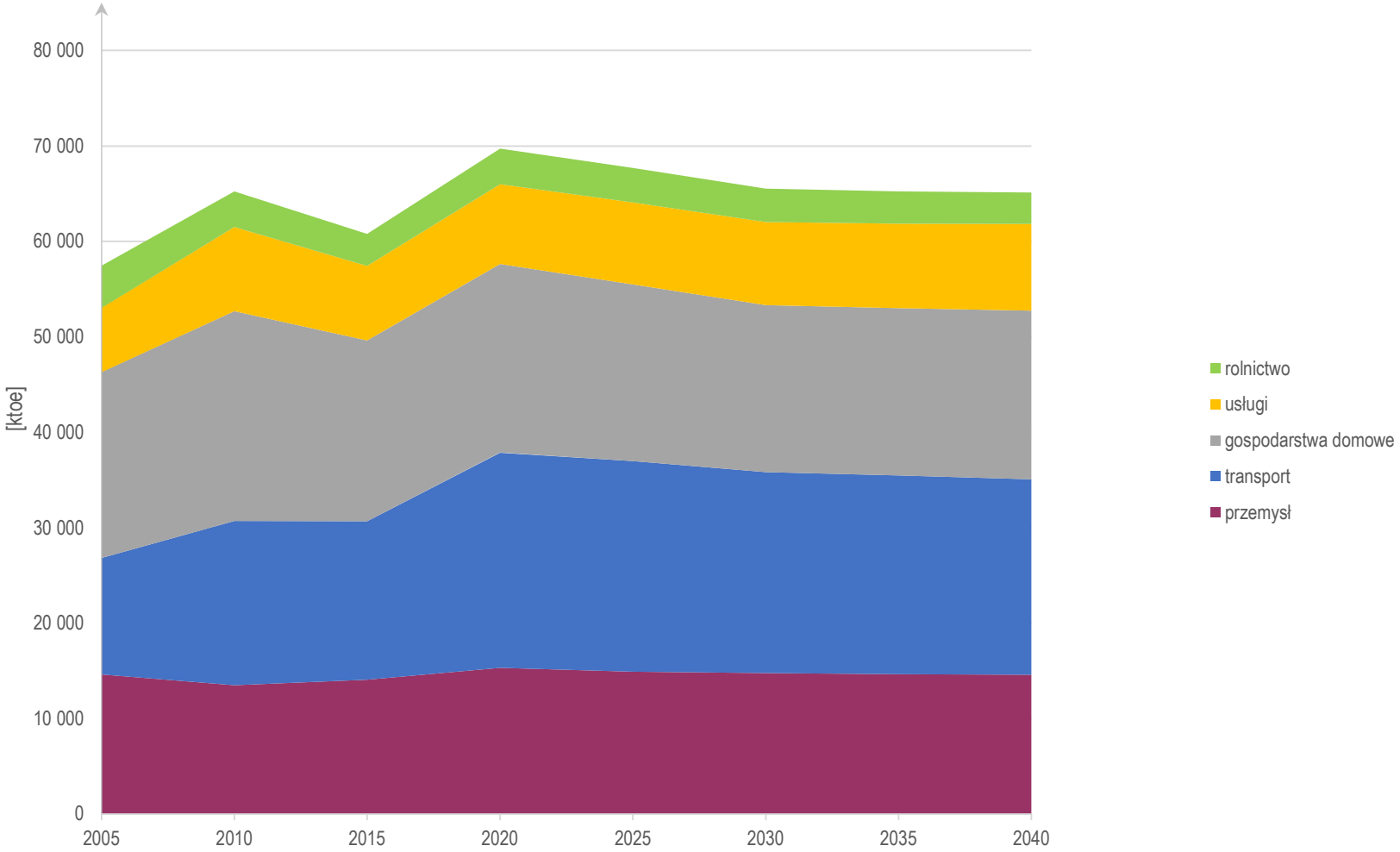
Polityka energetyczna Polski do 2040

„Polityka energetyczna Polski do 2040 r.” to 1 z 9 strategii zintegrowanych wynikających ze „Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju”. PEP2040 jest kompasem dla przedsiębiorców, samorządów i obywateli w zakresie transformacji polskiej gospodarki w kierunku niskoemisyjnym.

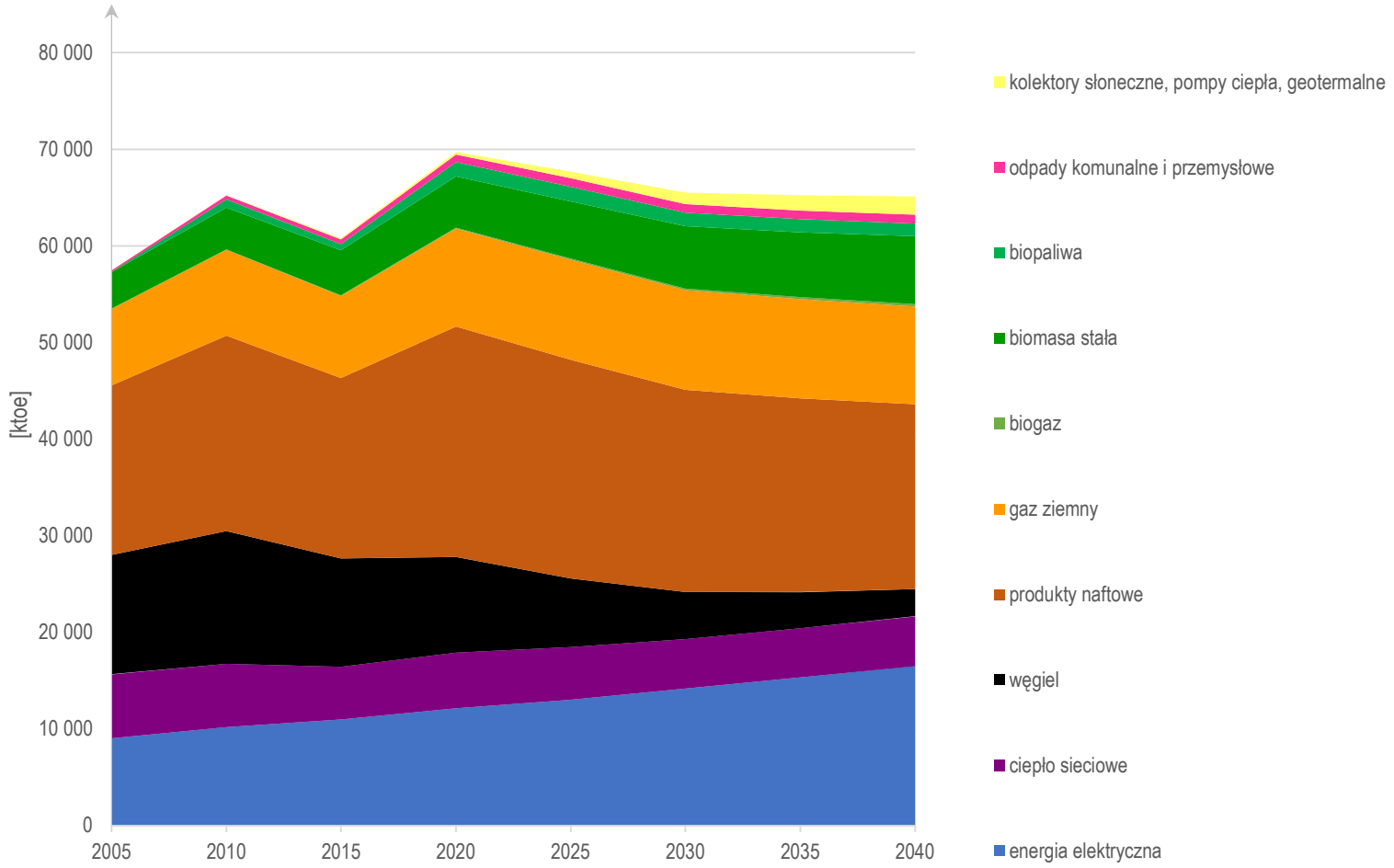
MONITOR POLSKI 2021 R. POZ. 264 – Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 2 marca 2021 r. w sprawie polityki energetycznej państwa do 2040 r.

W 2040 r. ponad połowę mocy zainstalowanych będą stanowić źródła zeroemisyjne. Szczególną rolę odegra w tym procesie wdrożenie do polskiego systemu elektroenergetycznego morskiej energetyki wiatrowej i uruchomienie elektrowni jądrowej. Będą to dwa strategiczne nowe obszary i gałęzie przemysłu, które zostaną zbudowane w Polsce. To szansa na rozwój krajowego przemysłu, rozwój wyspecjalizowanych kompetencji kadrowych, nowe miejsca pracy i generowanie wartości dodanej dla krajowej gospodarki. Równolegle do wielkoskalowej energetyki, rozwijać się będzie energetyka rozproszona i obywatelska – oparta na lokalnym kapitale.

Prognoza zużycia energii finalnej w podziale na sektory (bez zużycia nieenergetycznego)

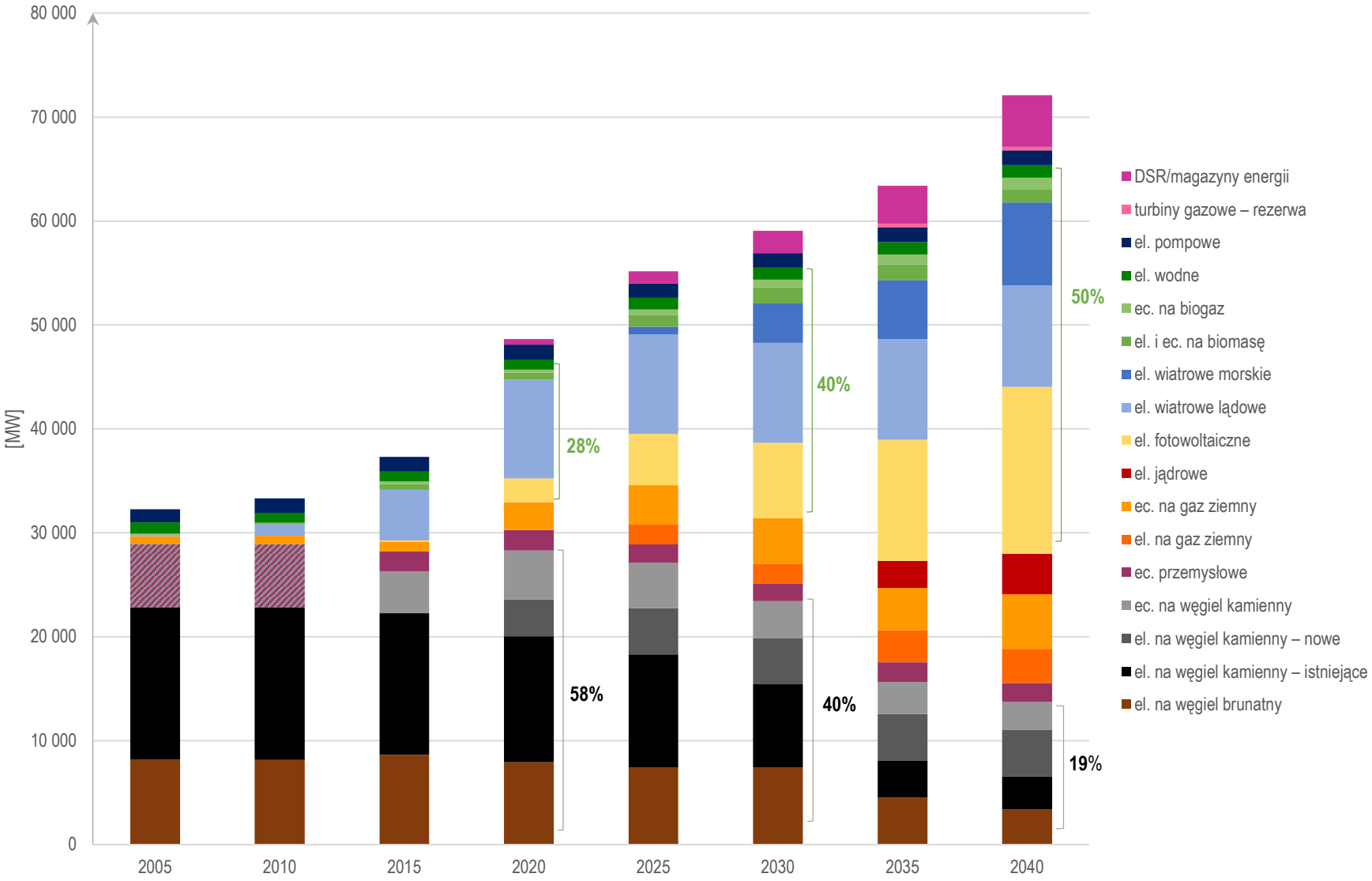


Prognoza zużycia energii finalnej w podziale na paliwa i nośniki energii [ktoe]

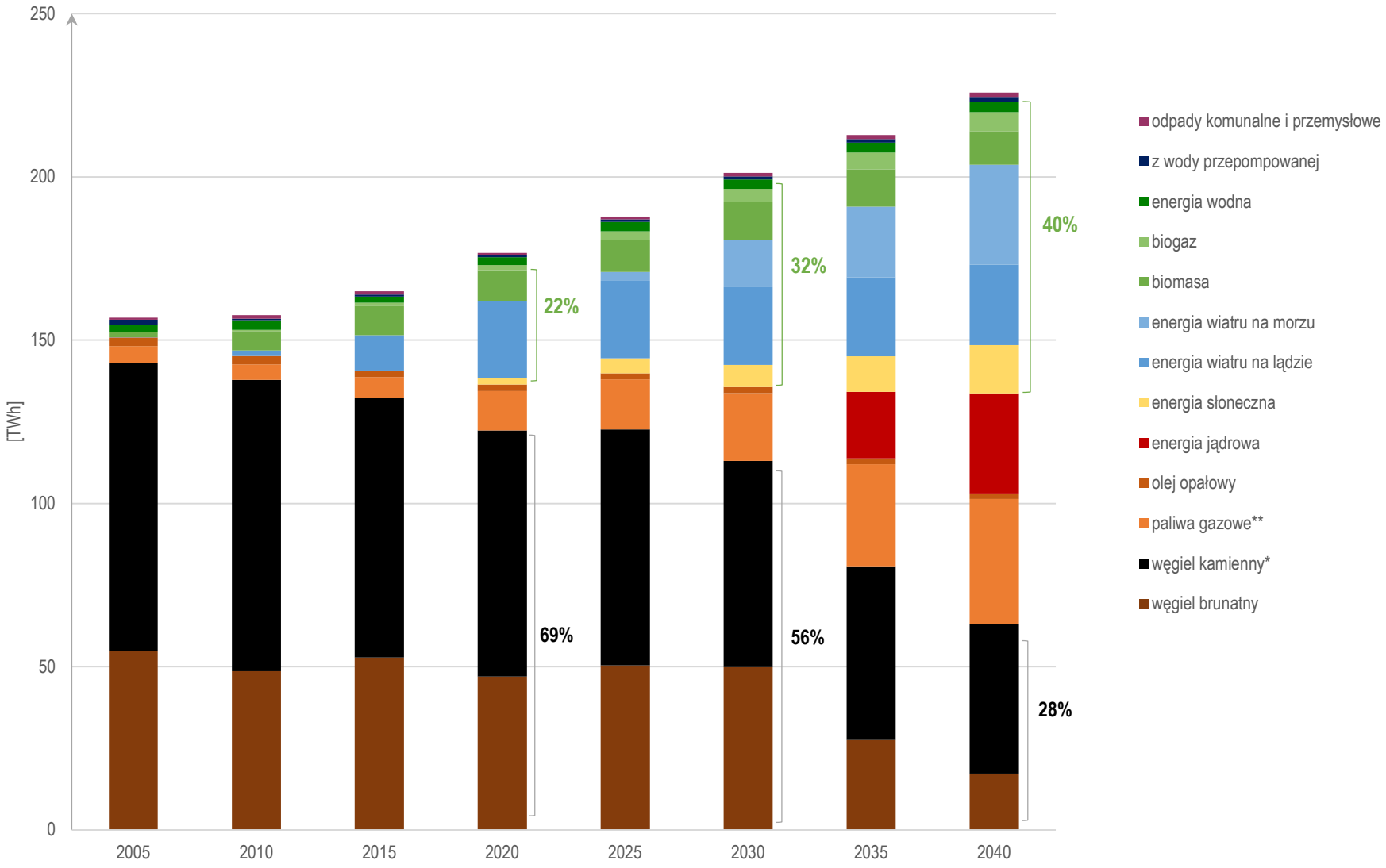


1ktoe = 41,868TJ = 11,63GWh
70 000ktoe = 814,1TWh
10 000ktoe = 116,3TWh

Prognoza mocy osiągalnej netto źródeł wytwarzania energii elektrycznej wg technologii [MW]


80 000
70 000
60 000
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
[MW]
2005
2010
2015
2020
2025
2030
2035
2040
28%
58%
40%
40%
50%
19%
DSR/magazyny energii
turbiny gazowe – rezerwa
el. pompowe
el. wodne
ec. na biogaz
el. i ec. na biomasę
el. wiatrowe morskie
el. wiatrowe lądowe
el. fotowoltaiczne
el. jądrowe
ec. na gaz ziemny
el. na gaz ziemny
ec. przemysłowe
ec. na węgiel kamienny
el. na węgiel kamienny – nowe
el. na węgiel kamienny – istniejące
el. na węgiel brunatny

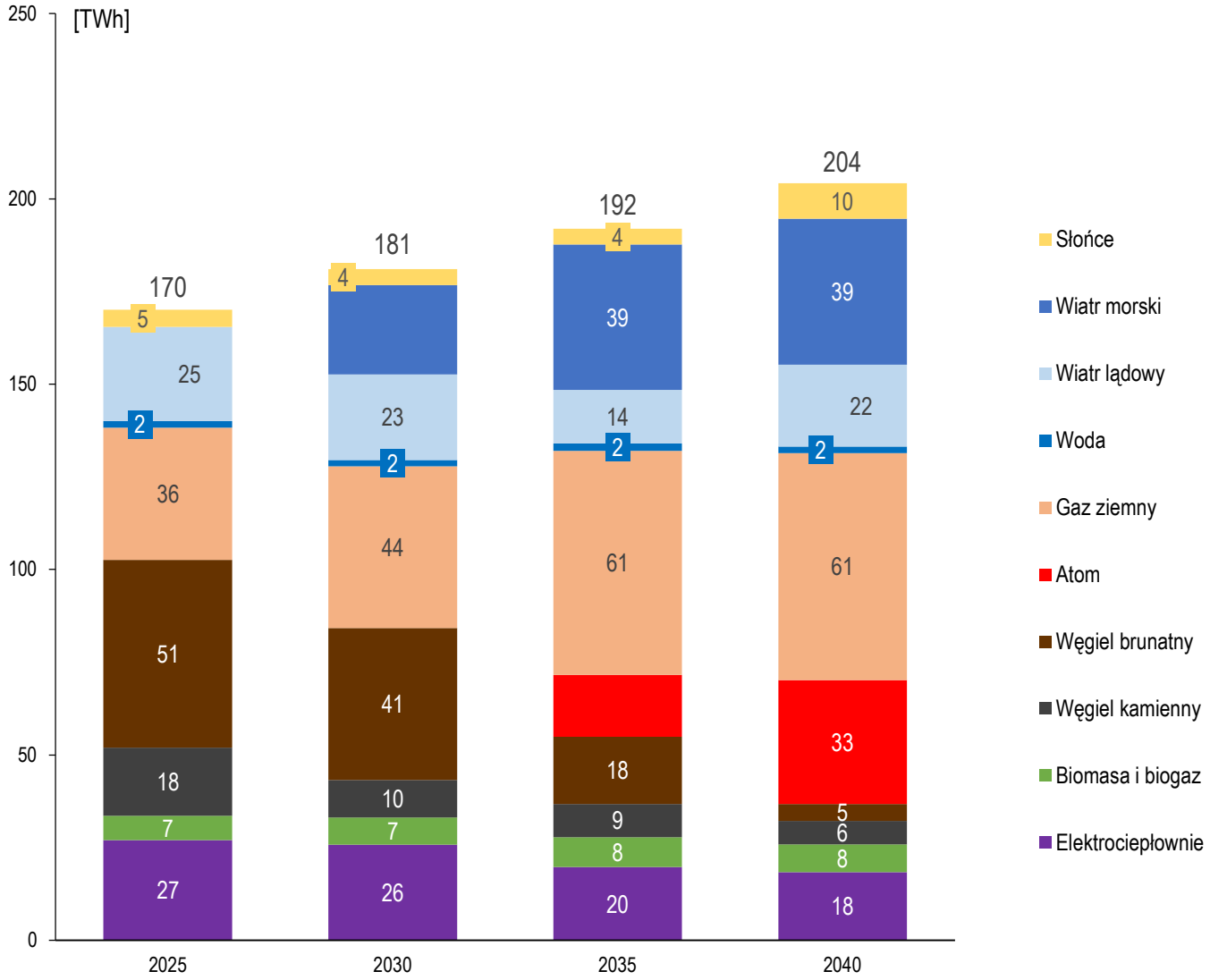
Prognoza produkcji energii elektrycznej brutto wg paliw [TWh]



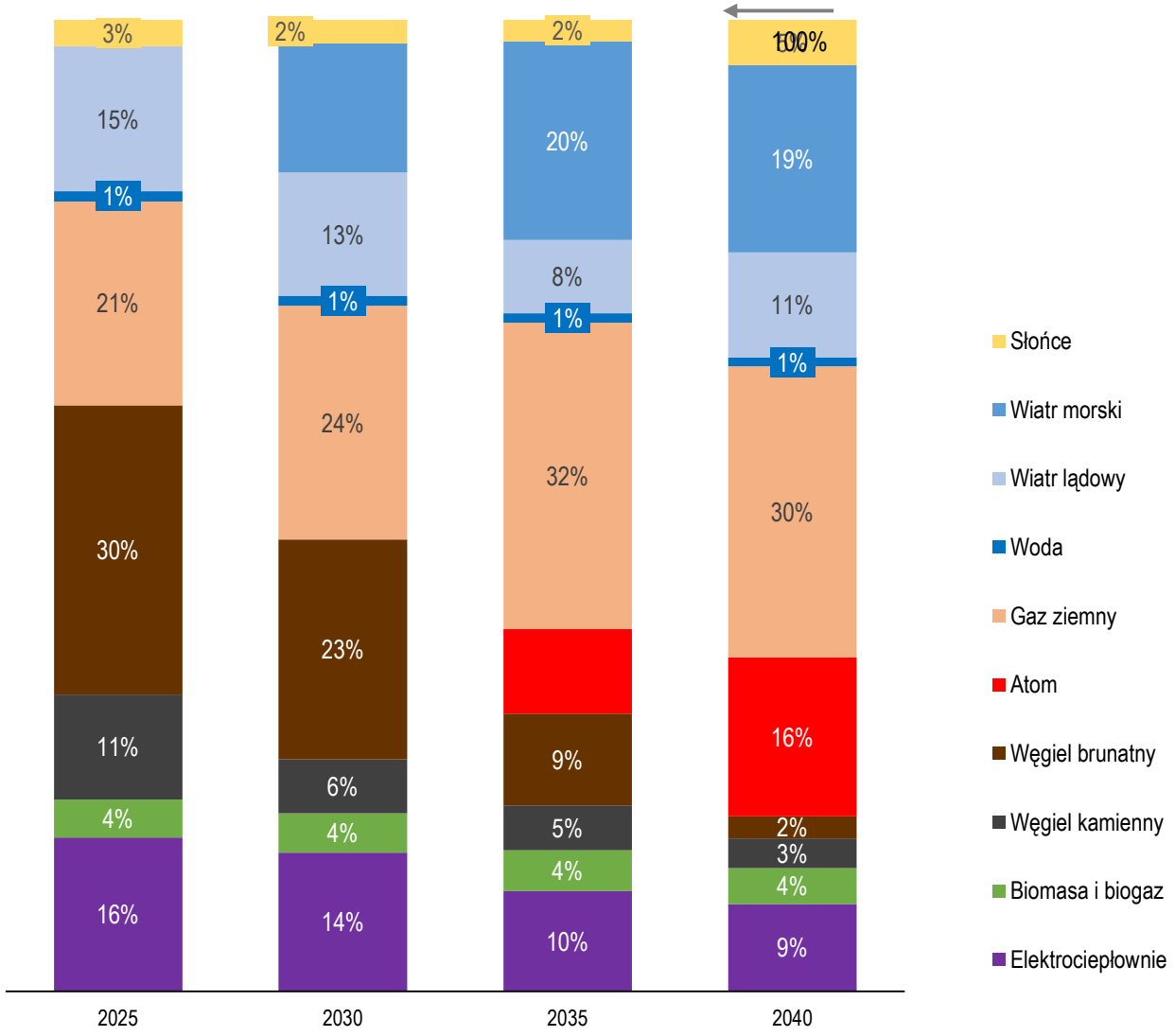
Zestawienie prognozy produkcji energii elektrycznej z prognozą mocy zainstalowanej dla kilku technologii

	Moc zainstalowana [MW]				Roczna produkcja [TWh]				Procent wykorzystania
	2025	2030	2035	2040	2025	2030	2035	2040	
Fotowoltaika	4 935	7 270	11 670	16 062	4,5	6,8	10,8	14,8	10,54
Energia jądrowa	0	0	2 600	3 900	0	0	20,4	30,6	89,57
Wiatr na lądzie	9 574	9 601	9 679	9 761	23,7	23,8	24,2	24,6	28,47
Wiatr na morzu	725	3 815	5 650	7 985	2,7	14,5	21,7	30,6	43,37

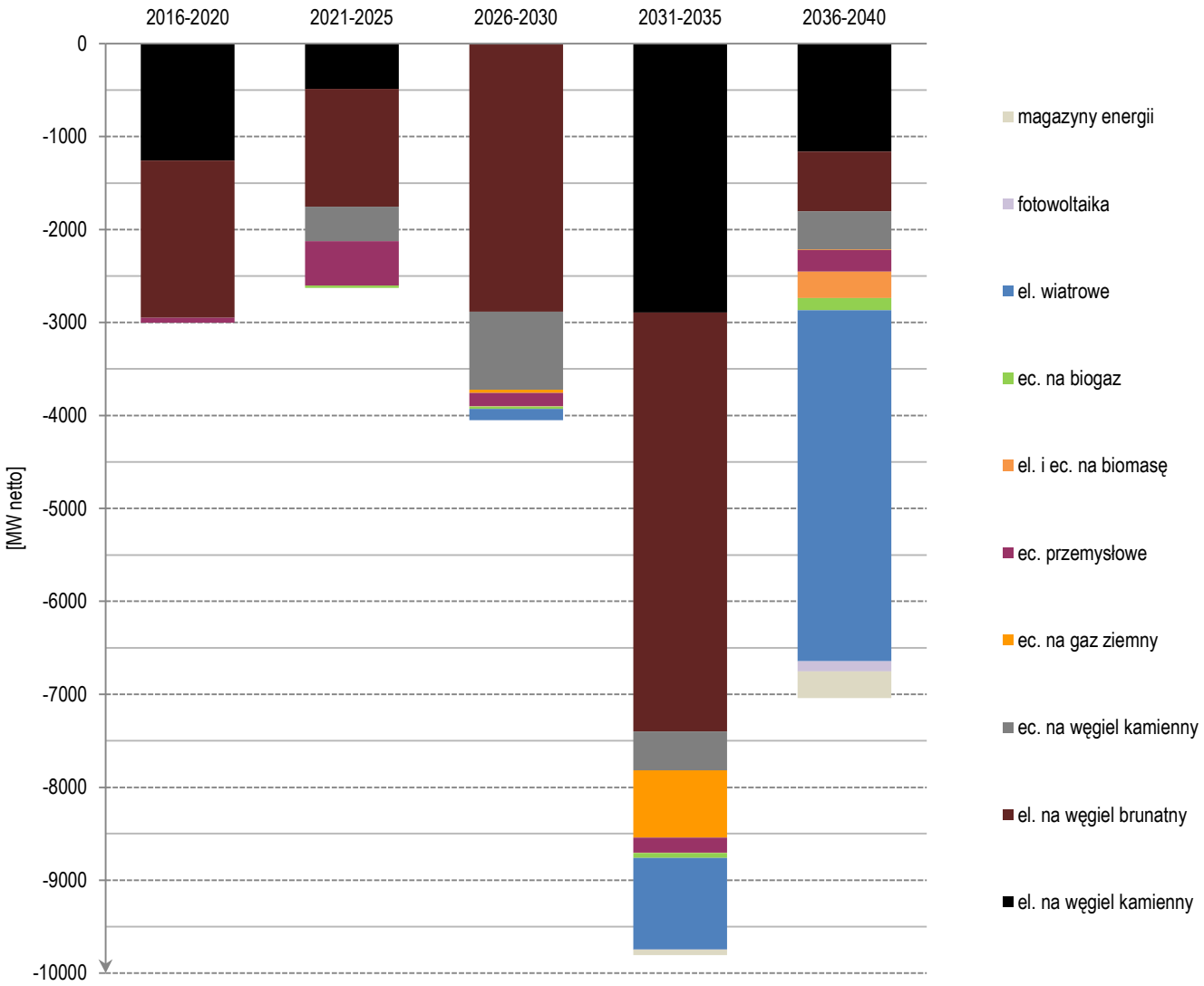
Udział źródeł w strukturze wytwarzania energii elektrycznej [TWh]



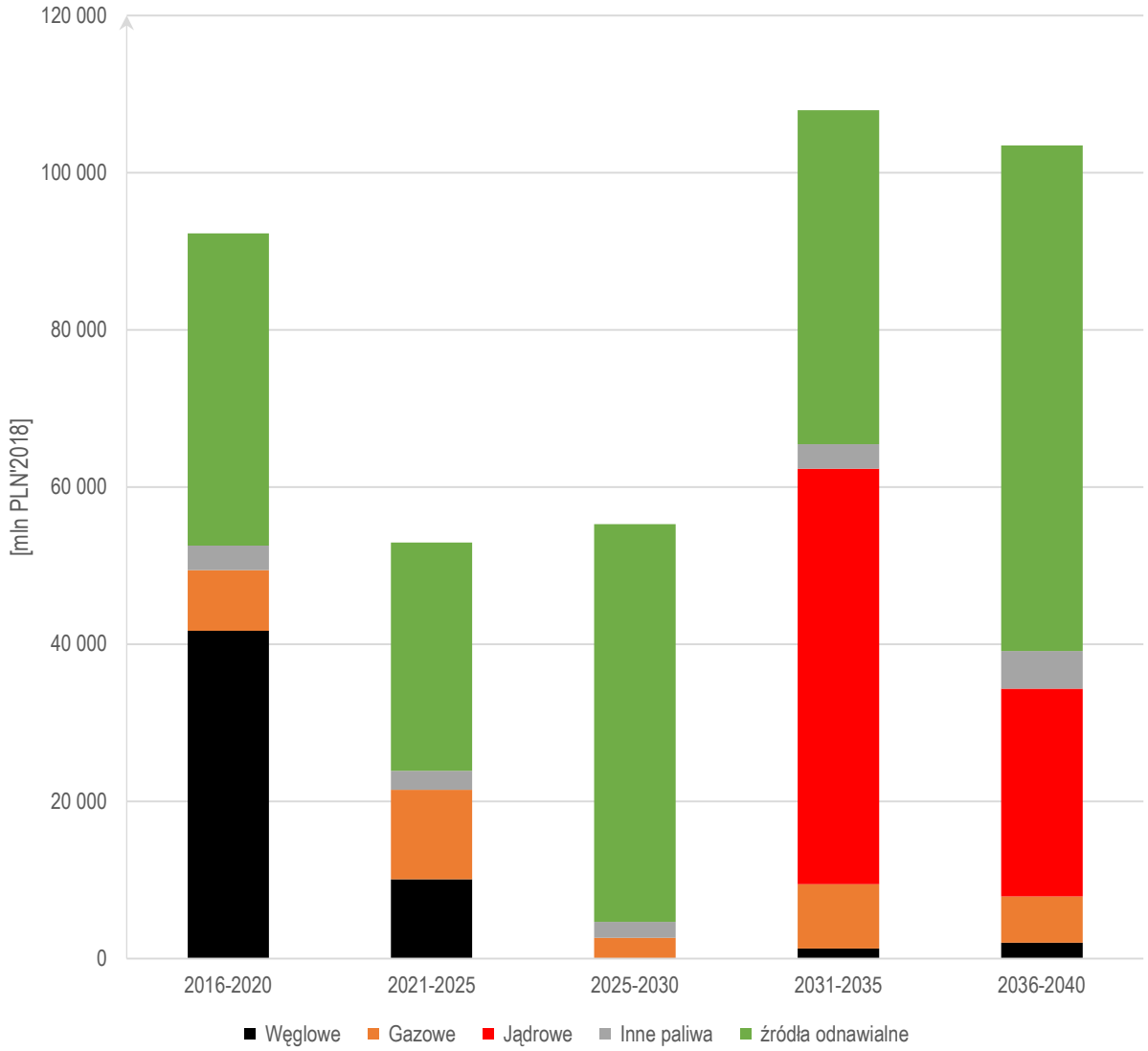
Udział źródeł w strukturze wytwarzania energii elektrycznej [%]



Prognoza trwałych odstawień jednostek wytwórczych w latach 2016–2040



Prognozowane nakłady inwestycyjne w sektorze wytwórczym w latach 2016–2040



Źródło: Wszystkie powyższe informacje od strony 4 za PEP.

Program polskiej energetyki jądrowej to strategiczny dokument rządowy stanowiący „mapę drogową" dla budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Dokument ten określa podstawowe zadania, które musi zrealizować krajowa administracja, inwestor, dozór jądrowy oraz inne podmioty biorące udział w inwestycji. Dokument został przyjęty przez RM 28.01.2014, a jego aktualizacja – 02.10.2020.

Rząd decydując się na program jądrowy uwzględnił cztery korzyści:

- podniesienie poziomu bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez zmniejszenie wpływ u wahań na rynku surowców na ceny prądu dla odbiorcy. Dodatkowo paliwo jądrowe można kupić od wielu państw na świecie i zgromadzić zapasy.
- zapewnienie stabilnych cen prądu dla polskich odbiorców. Elektrownia jądrowa może pracować 60, a nawet 80 lat, koszt inwestycji rozkłada się na lata pracy obiektu.
- korzyści dla środowiska. Elektrownia jądrowa nie emituje szkodliwych dla środowiska i zdrowia gazów, w szczególności dwutlenku węgla (CO_2), związków azotu i siarki (SO_x i NO_x) czy pyłów. Powstające w elektrowni niewielkie ilości odpadów można bezpiecznie składować.
- budowa nowej innowacyjnej branży nauki, rozwoju i przedsiębiorczości. Realizacja programu polskiej energetyki jądrowej wzmocni polskie instytuty naukowe i przedsiębiorstwa już teraz prowadzące działalność związaną z tą dziedziną.

Lubiatowo-Kopalino
Choczewo
Żarnowiec
Kopań
Gdańsk
Tczew
Stepnica-1
Stepnica-2
Krzywiec
Wiechowo
Lisowo
Pniewo
Dębogóra
Krzymów
Pniewo-Krajnik
Chełmno
Bydgoszcz
Toruń
Warta-Klempicz
Nieszawa
Karolewo
Nowe Miasto
Malkinia
Wyszków
Patnów
WARSZAWA
Kozienice
Bełchatów
Chotcza
Gościeradów
Polaniec
Kalinigrad
Kowno
Olsztyn
Grodno
Białystok
Brześć
Lublin
Kielce
Łódź
Poznań
Gorzów Wielkopolski
Zielona Góra
Wrocław
Opole
Katowice
Kraków
Rzeszów
Lwów
Ostrawa
Brno
Żylina
Koszyce
BERLIN
PRAGA
Legenda
lokalizacje zalecane
pozostałe proporcyjne lokalizacji
0
50
100 km

Harmonogram budowy EJ	
2021 r.	– wybór technologii dla EJ1 i EJ2
2022 r.	– uzyskanie decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej dla EJ1 (zatwierdzenie wyboru lokalizacji EJ1) – podpisanie umowy z dostawcą technologii i głównym wykonawcą EPC
2023 r.	– rozpoczęcie prac wstępnych i przygotowawczych w lokalizacji EJ1 – podpisanie umowy przyłączeniowej z OSP dla EJ1 – rozpoczęcie prac nad wyborem lokalizacji dla EJ2
2025 r.	– wydanie zezwolenia na budowę EJ1 przez Prezesa PAA
2026 r.	– uzyskanie pozwolenia na budowę i rozpoczęcie budowy EJ1
2028 r.	– uzyskanie decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej dla EJ2 (zatwierdzenie wyboru lokalizacji EJ2)
2029 r.	– rozpoczęcie prac wstępnych i przygotowawczych w lokalizacji EJ2 – podpisanie umowy przyłączeniowej z OSP dla EJ2
2031 r.	– wydanie zezwolenia na budowę EJ2 przez Prezesa PAA
2032 r.	– wydanie zezwolenia na rozruch przez Prezesa PAA, rozruch jądrowy i synchronizacja pierwszego bloku EJ1 – uzyskanie pozwolenia na budowę i rozpoczęcie budowy EJ2
2033 r.	– wydanie zezwolenia na eksploatację przez Prezesa PAA i oddanie do eksploatacji pierwszego bloku EJ1
2034 r.	– wydanie zezwolenia na rozruch przez Prezesa PAA, rozruch jądrowy i synchronizacja drugiego bloku EJ1

W ramach PPEJ opracowano 4 scenariusze, umożliwiające ocenę wpływu rozwoju sektora jądrowego na efektywność ekonomiczną krajowego systemu elektroenergetycznego:

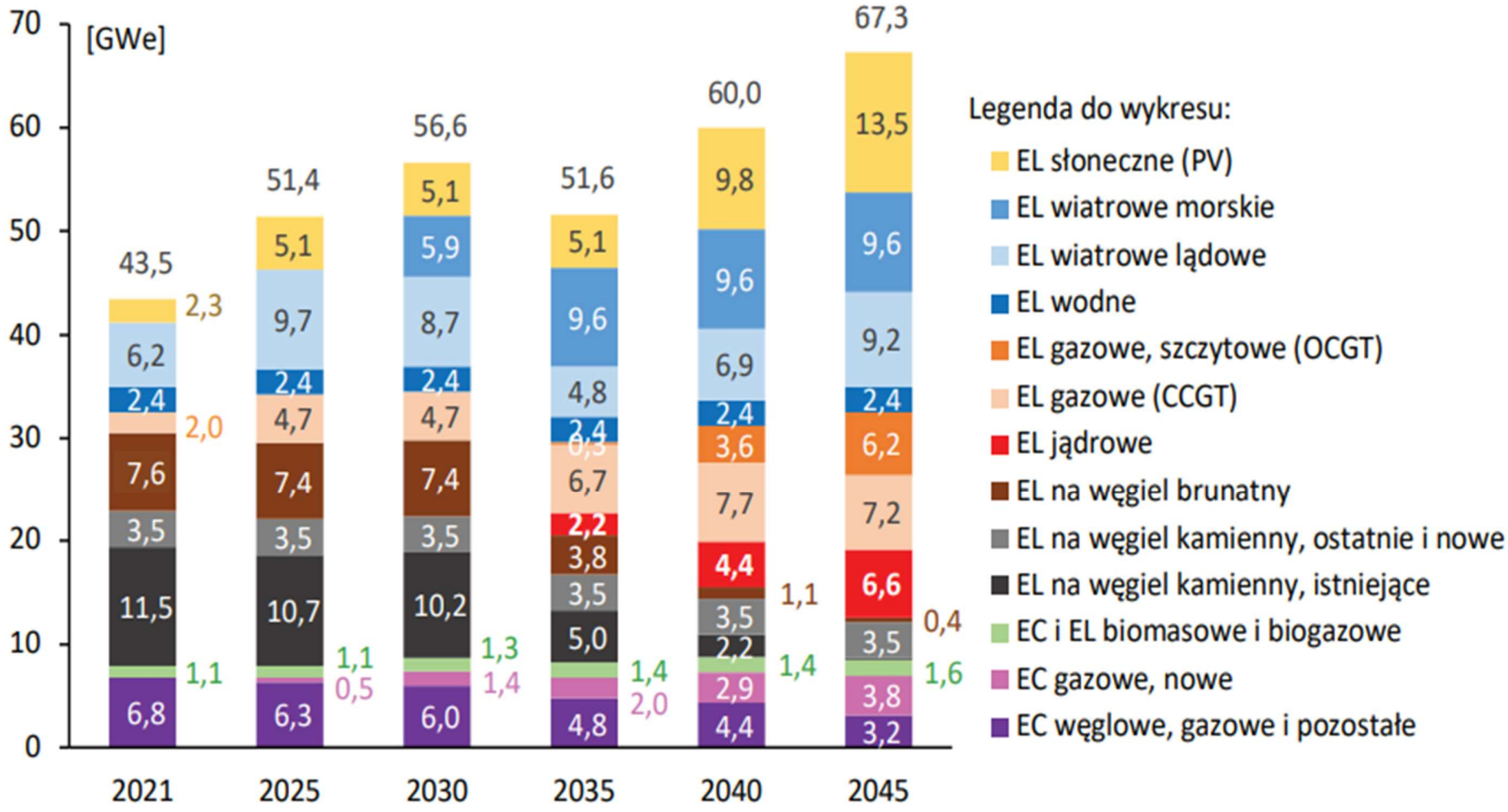
Scenariusz I – Wolna optymalizacja – struktura mocy wytwórczych zdefiniowana drogą optymalizacji ekonomicznej KSE, z uwzględnieniem kosztów systemowych i środowiskowych;

Scenariusz II – Wariant strategiczny – założono rozwój energetyki jądrowej zgodnie z zakładanym harmonogramem oraz cykl życia jednostek 60 lat; założono rozwój morskiej energetyki wiatrowej zgodnie z założeniami ustawy o promowaniu energii z morskich farm wiatrowych; utrzymano w mocy ustawę odległościową dla lądowej energetyki wiatrowej (wrzesień 2020); plan odstawień jednostek wytwórczych zgodny z projektem PEP2040 (wrzesień 2020); struktura mocy wytwórczych zdefiniowana drogą optymalizacji ekonomicznej KSE, z uwzględnieniem kosztów systemowych i środowiskowych;

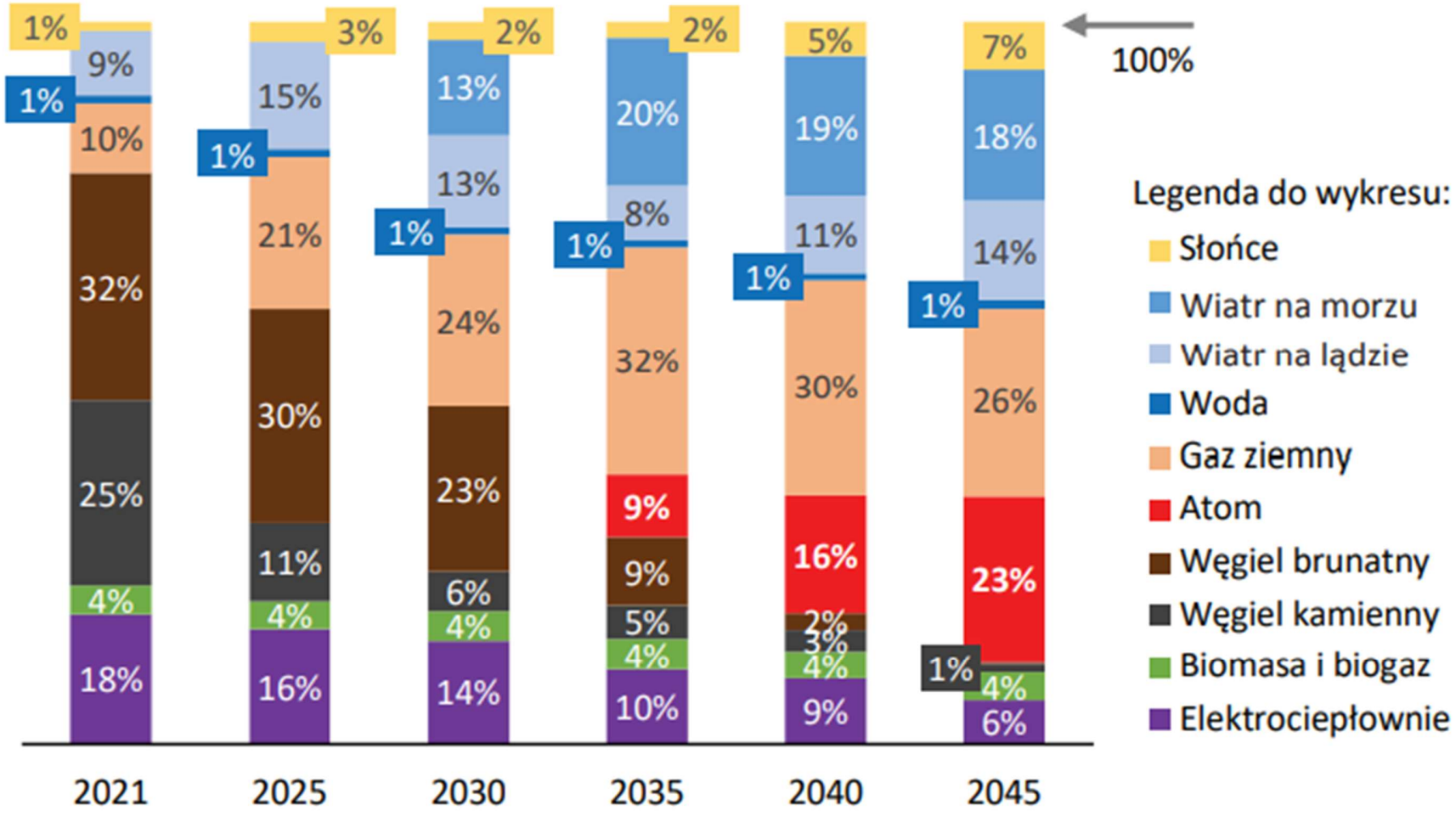
Scenariusz III – Brak energetyki jądrowej (MKC) –brak rozwoju energetyki jądrowej; struktura mocy wytwórczych zdefiniowana drogą optymalizacji ekonomicznej KSE, z uwzględnieniem kosztów systemowych i środowiskowych;

Scenariusz IV – Brak energetyki jądrowej (MI) – brak rozwoju energetyki jądrowej, struktura mocy wytwórczych zdefiniowana drogą optymalizacji ekonomicznej KSE, bez uwzględnienia kosztów systemowych i środowiskowych;

Modelowa struktura mocy zainstalowanej w KSE na lata 20212045 [GW]; Scenariusz II – Wariant strategiczny



Modelowa struktura mocy zainstalowanej w KSE na lata 20212045 [%]; Scenariusz II – Wariant strategiczny



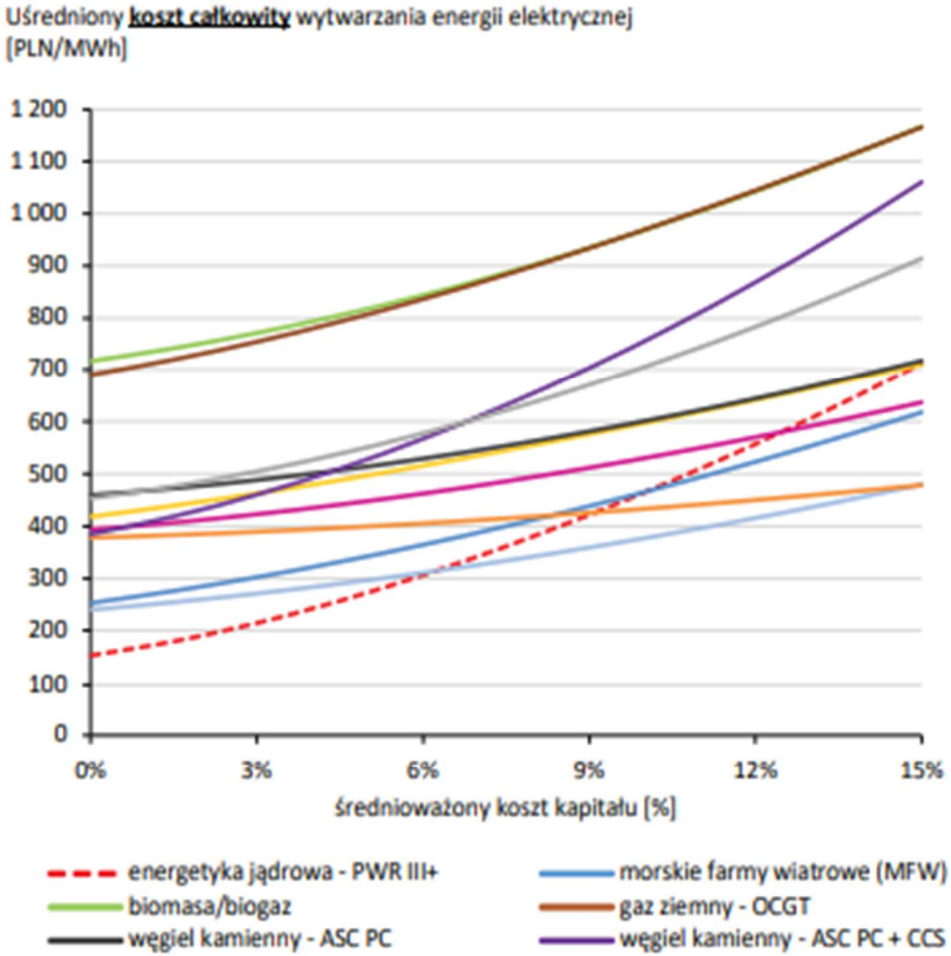
Na kolejnych slajdach przedstawiono przykładowe wyniki wykonanej na potrzeby PPEJ analizy wrażliwości kosztu całkowitego wytwarzania energii da różnych technologii.

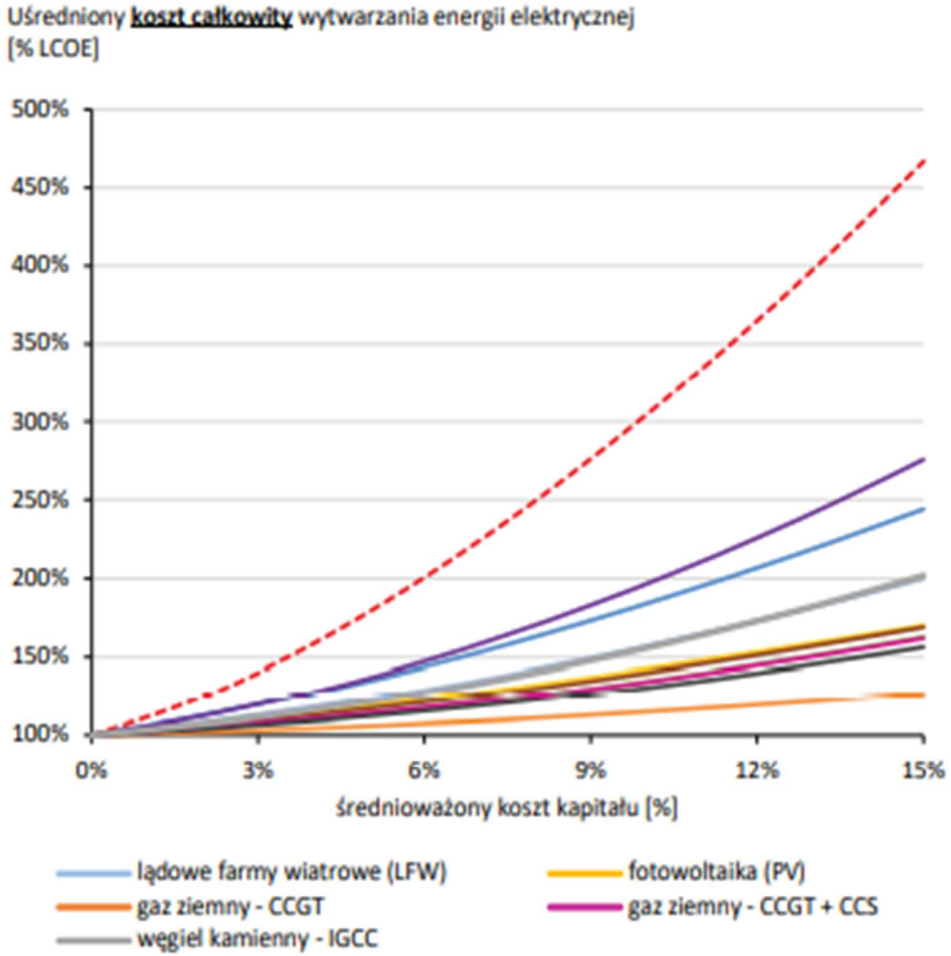
Energetykę jądrową charakteryzuje najniższy uśredniony koszt całkowity ze wszystkich analizowanych źródeł dla średnioważonego kosztu kapitału (WACC) niższego od 6%. Jednocześnie wraz ze wzrostem kosztu finansowania, uśredniony, zdyskontowany koszt całkowity produkcji energii elektrycznej dla technologii jądrowych rośnie najszybciej.

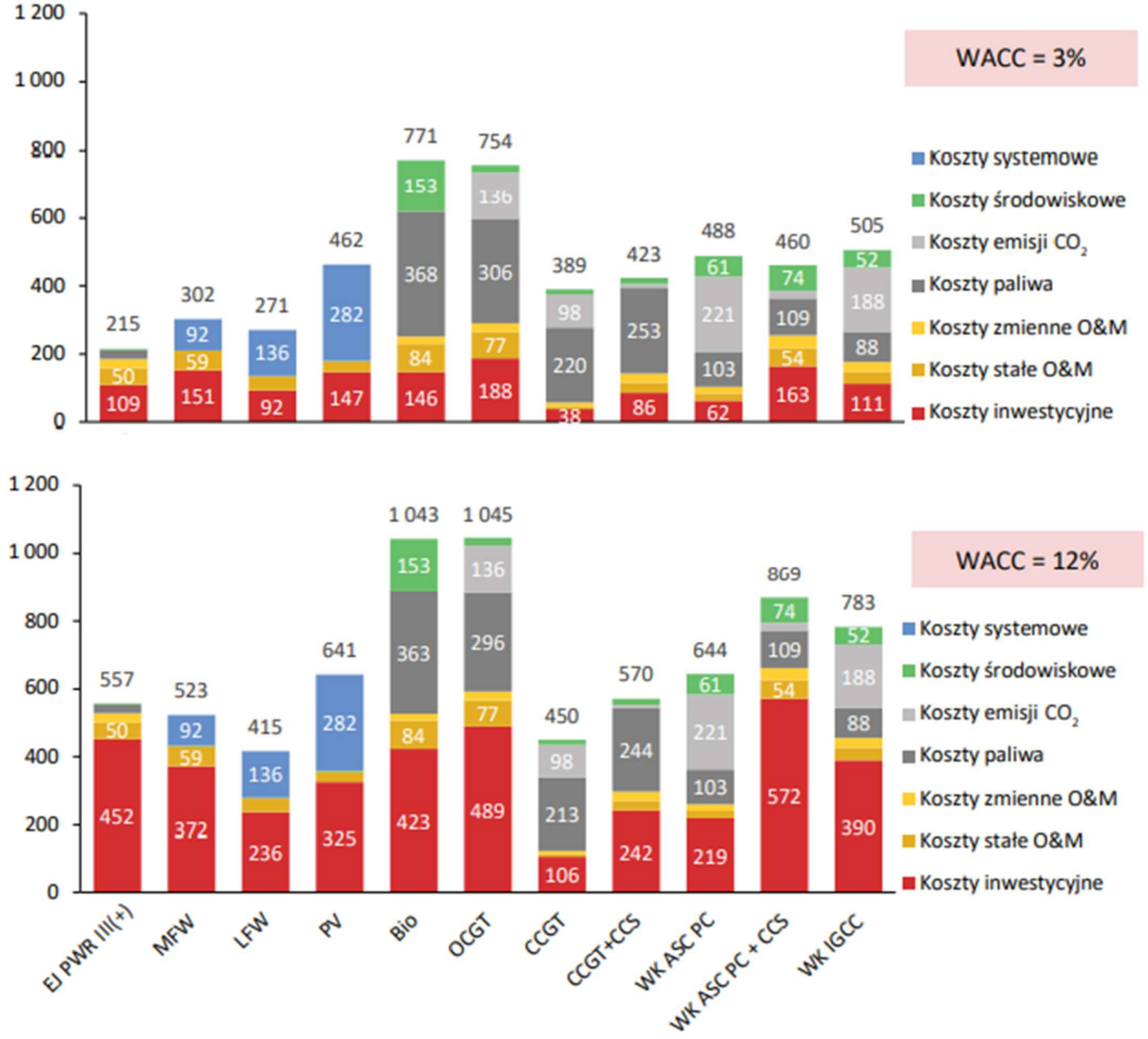
Przykładowo, koszt całkowity produkcji energii elektrycznej dla energetyki jądrowej wzrósłby o ponad 350% w przypadku podniesienia kosztu kapitału z 0% do 15%, gdzie dla porównaniu taki sam wzrost kosztu kapitału dla energetyki gazowej powoduje tylko 25% wzrost kosztu całkowitego.

Podobną zależność, choć w mniejszym stopniu, można zaobserwować analizując wrażliwość kosztu całkowitego na wydłużenie czasu budowy inwestycji. Na przykład, koszt całkowity produkcji energii elektrycznej z technologii jądrowej rośnie o ponad 20% przy wydłużeniu czasu budowy elektrowni jądrowej o 5 lat. Dla porównania, ten sam okres wydłużenia czasu budowy dla technologii gazowej CCGT, powoduje, że całkowity koszt produkcji energii elektrycznej rośnie jedynie o 5%.

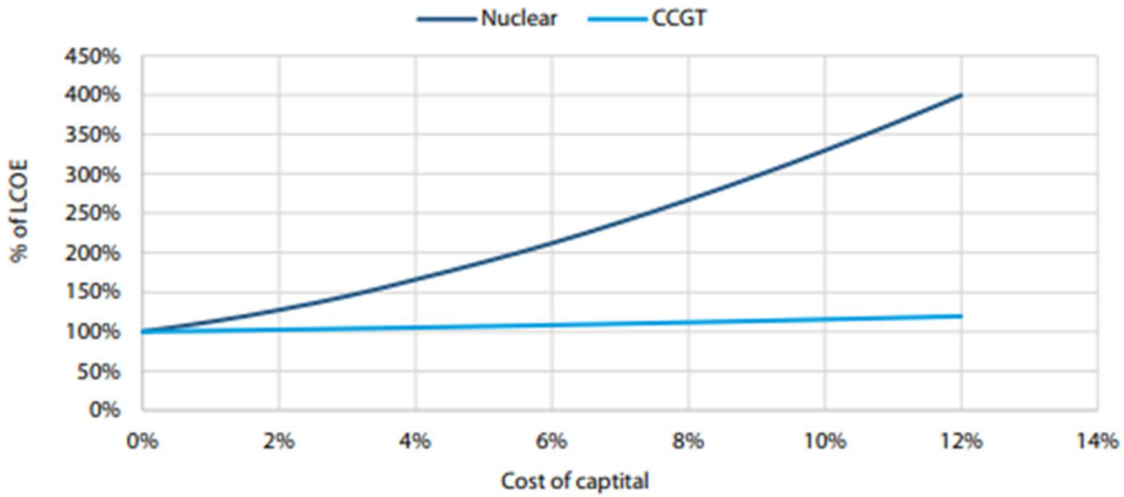
Analiza wrażliwości kosztów całkowitych wytwarzania energii elektrycznej w 2035 r.
Parametr zmienny: średnioważony koszt kapitału (WACC);
Parametry stałe: 30% penetracji danej technologii niesterowalnej w systemie

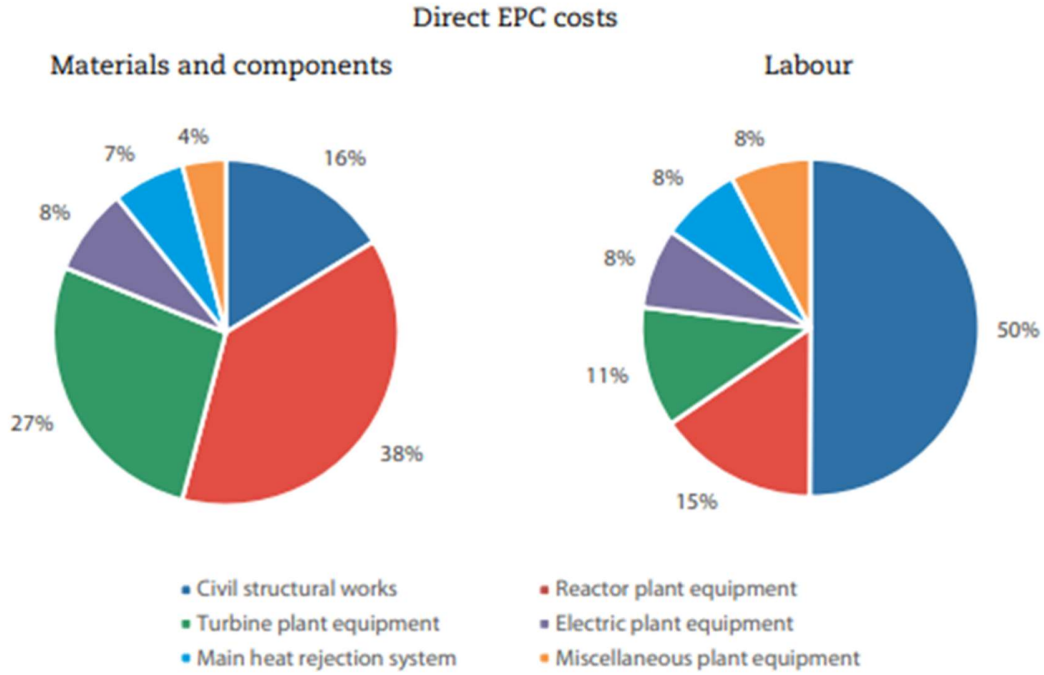






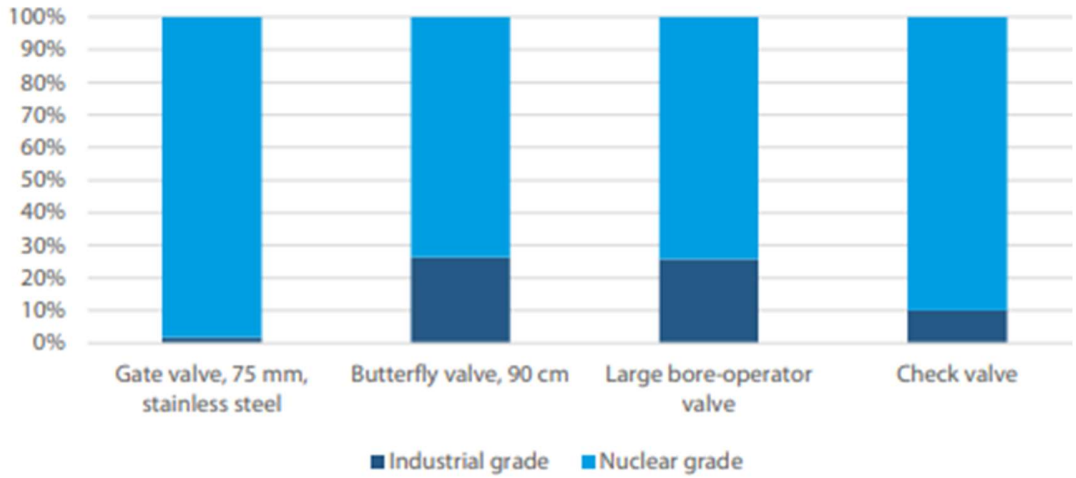
Źródło: Wszystkie powyższe informacje od strony 14 za PPEJ.



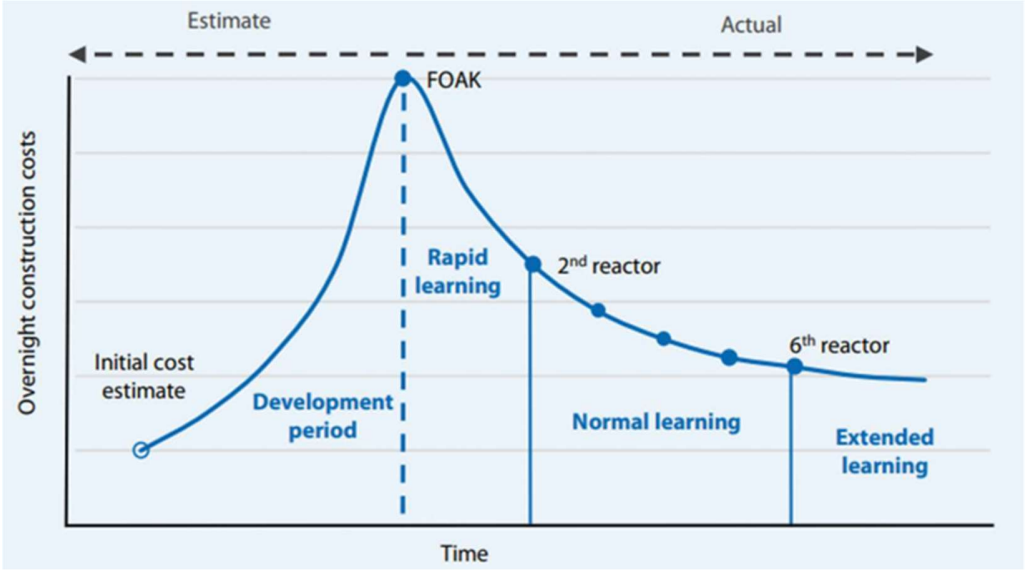


Źródło: Unlocking reductions in the construction costs of nuclear: a practical guide for stakeholders, NEA No. 7530, © OECD 2020

Dlaczego tak drogo?

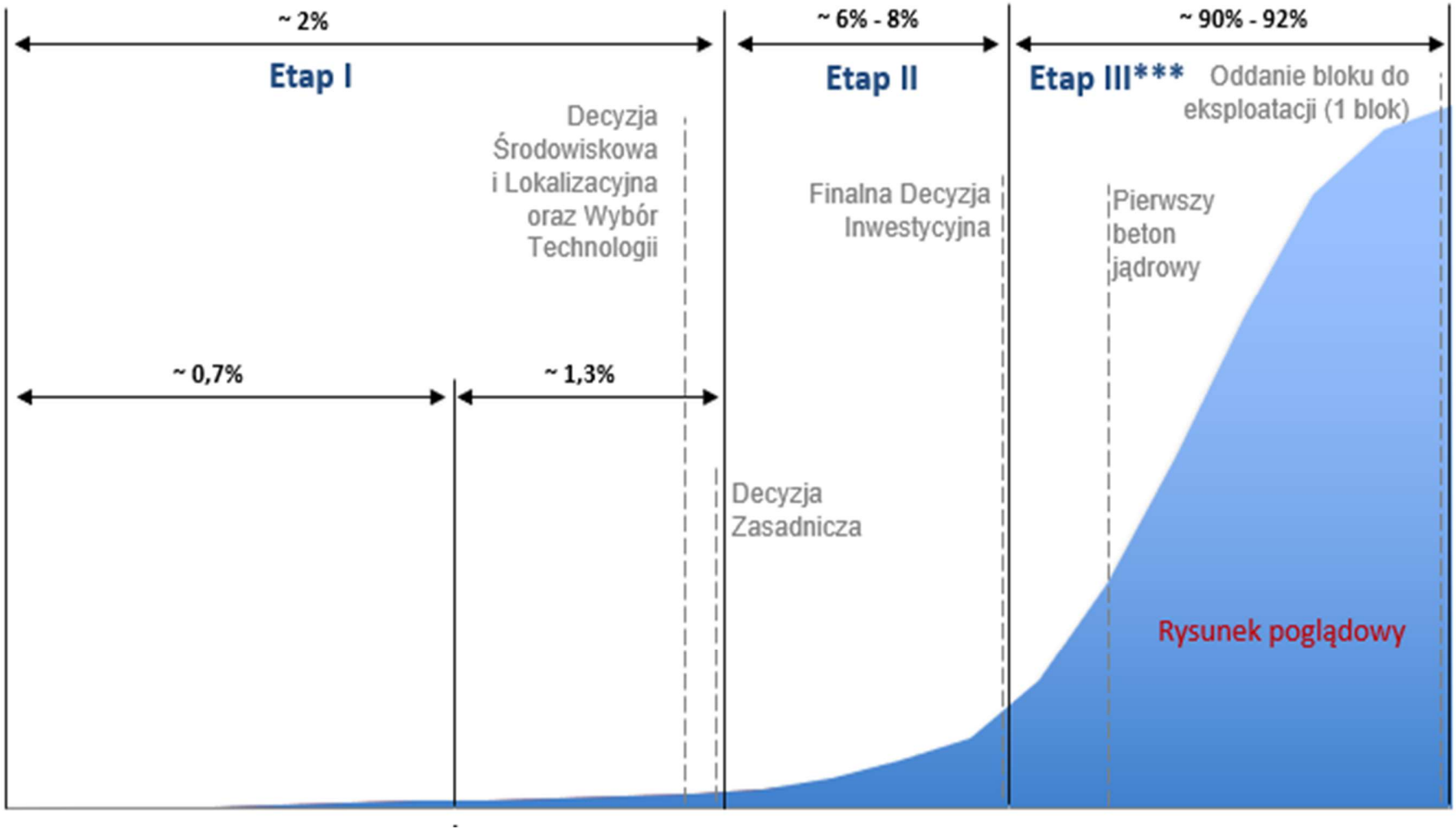


Źródło: EPRI (2012), Risk-Informed Strategies for the New Build Fleet: Risk-Informed Procurement and US NRC Rule 10CFR50.69.



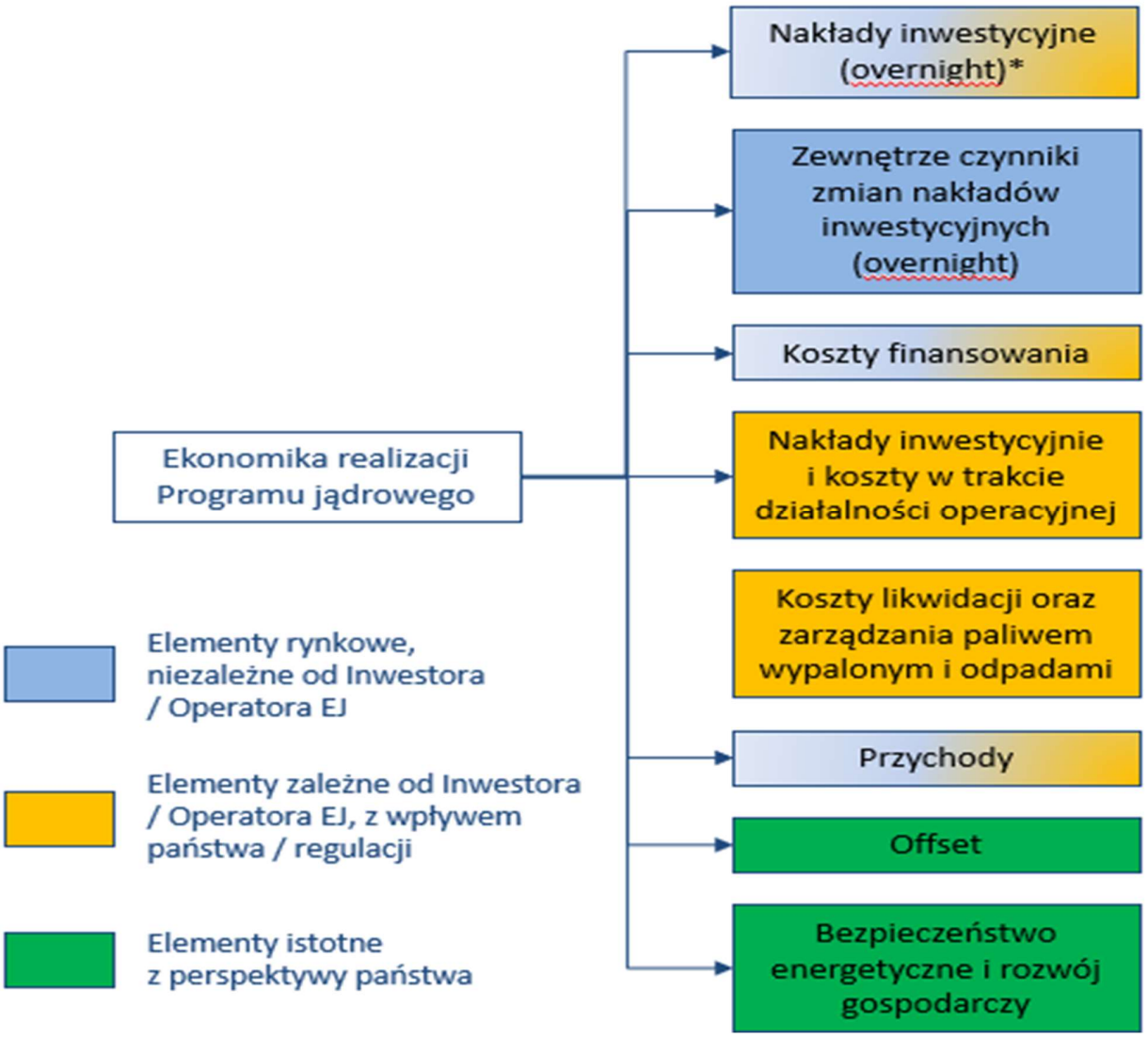
Źródło: Adapted from Yemm et al. (2012), "Pelamis: Experience from concept to connection."

Przybliżony rozkład nakładów inwestycyjnych w czasie w podziale na poszczególne etapy prac

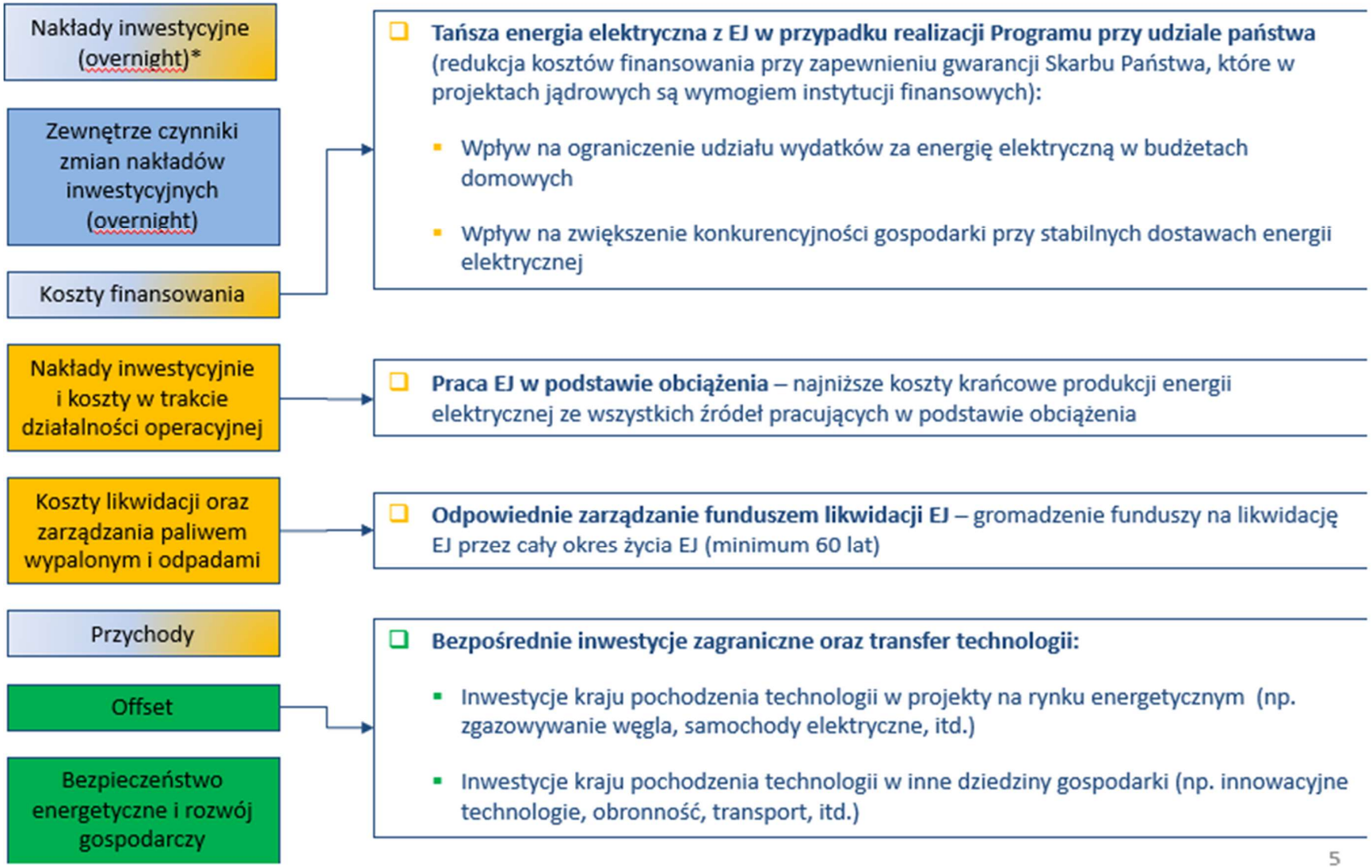


Źródło: Opracowanie własne

Podstawy ekonomiki Programu energetyki jądrowej – perspektywa inwestora i państwa



Korzyści z realizacji Programu energetyki jądrowej (1/2)



Korzyści z realizacji Programu energetyki jądrowej (2/2)

- Nakłady inwestycyjne (overnight)*
- Zewnętrze czynniki zmian nakładów inwestycyjnych (overnight)
- Koszty finansowania
- Nakłady inwestycyjnie i koszty w trakcie działalności operacyjnej
- Koszty likwidacji oraz zarządzania paliwem wypalonym i odpadami
- Przychody
- Offset
- Bezpieczeństwo energetyczne i rozwój gospodarczy

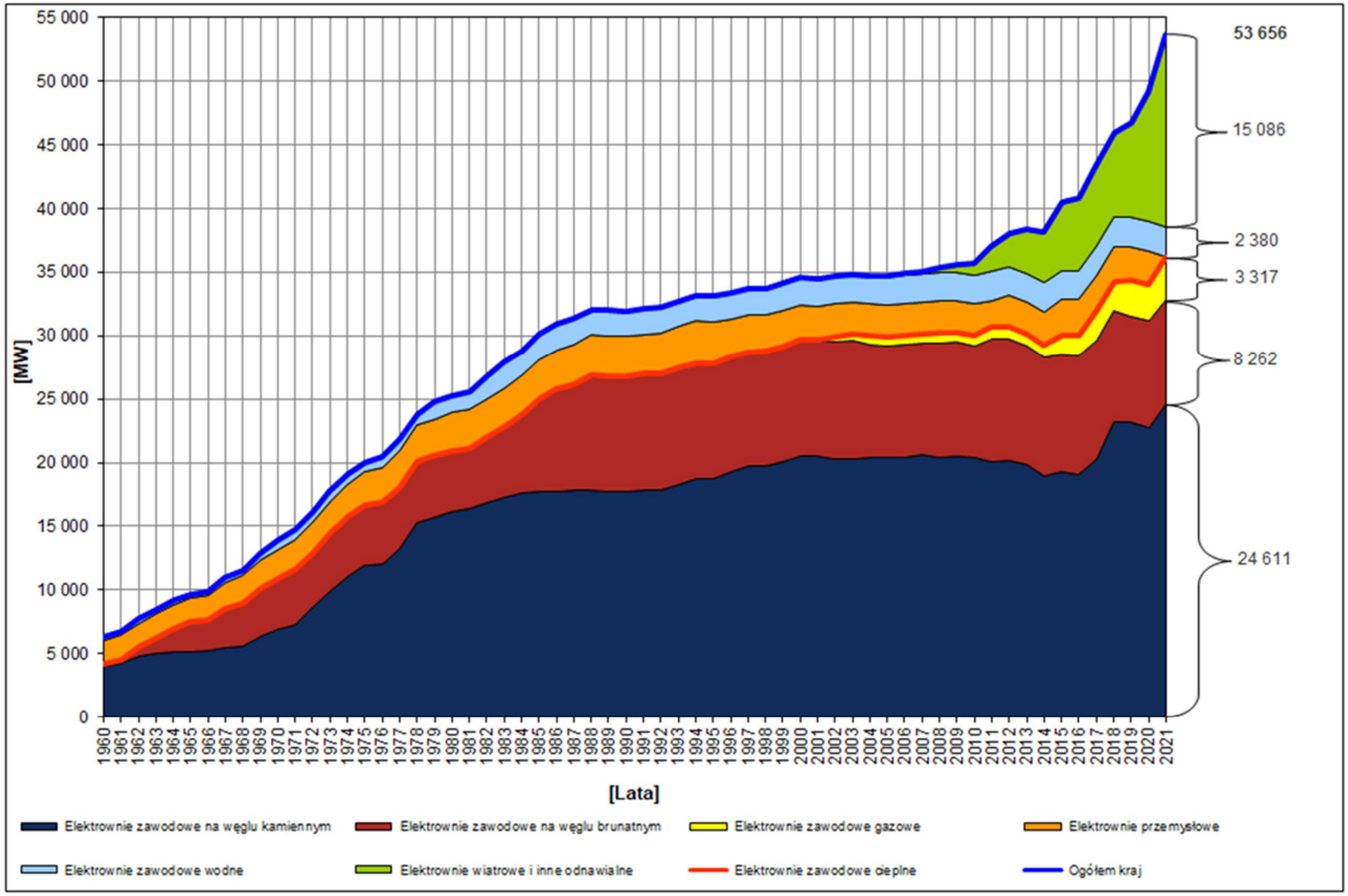
❑ **Zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i szeroko rozumiany rozwój gospodarczy kraju:**

- Zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego
  - Zwiększenie stabilności zaspokojenia rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną w długiej perspektywie czasowej
  - Stabilizacja systemu elektroenergetycznego w odróżnieniu od innych źródeł niskoemisyjnych (np. farmy wiatrowe)
  - Zbudowany potencjał kadrowy i techniczny do dalszego rozwoju EJ w kraju
  - Komplementarność energetyki jądrowej i konwencjonalnej:
    - ✓ Transport paliwa od miejsca wydobycia do miejsca wytwarzania energii
    - ✓ Otwarta opcja strategiczna EJ w przypadku konieczności stopniowego wycofywania jednostek węglowych w perspektywie 30-40 lat ze względu na wyczerpywanie się złóż
  - Zwiększenie niezależności energetycznej (zróżnicowanie krajów pochodzenia uranu oraz możliwość zgromadzenia zapasów paliwa w elektrowni na ponad rok)
- Odpowiedź na dalsze zaostrzenie wymagań UE dotyczące redukcji emisji CO_2
- Zwiększenie potencjału firm krajowych i eksportu
  - Stworzenie niemal od podstaw nowego sektora gospodarki narodowej opartego na najbardziej zaawansowanych cywilizacyjnie technologiach oraz standardach wytwarzania, jakości i bezpieczeństwa
  - Budowa zdolności realizacji wielkich i złożonych przedsięwzięć inwestycyjnych
- Zwiększenie tempa rozwoju naukowo-technicznego – inwestycja w nowoczesne technologie rozwijane w kraju
- Zwiększenie PKB oraz rozwój na Pomorzu – (1) kilka tysięcy nowych miejsc pracy na Pomorzu w okresie budowy, (2) zapewnienie stabilności rozwoju gospodarczego lokalnych społeczności przez okres około 100 lat (przygotowanie i budowa, eksploatacja, likwidacja EJ)

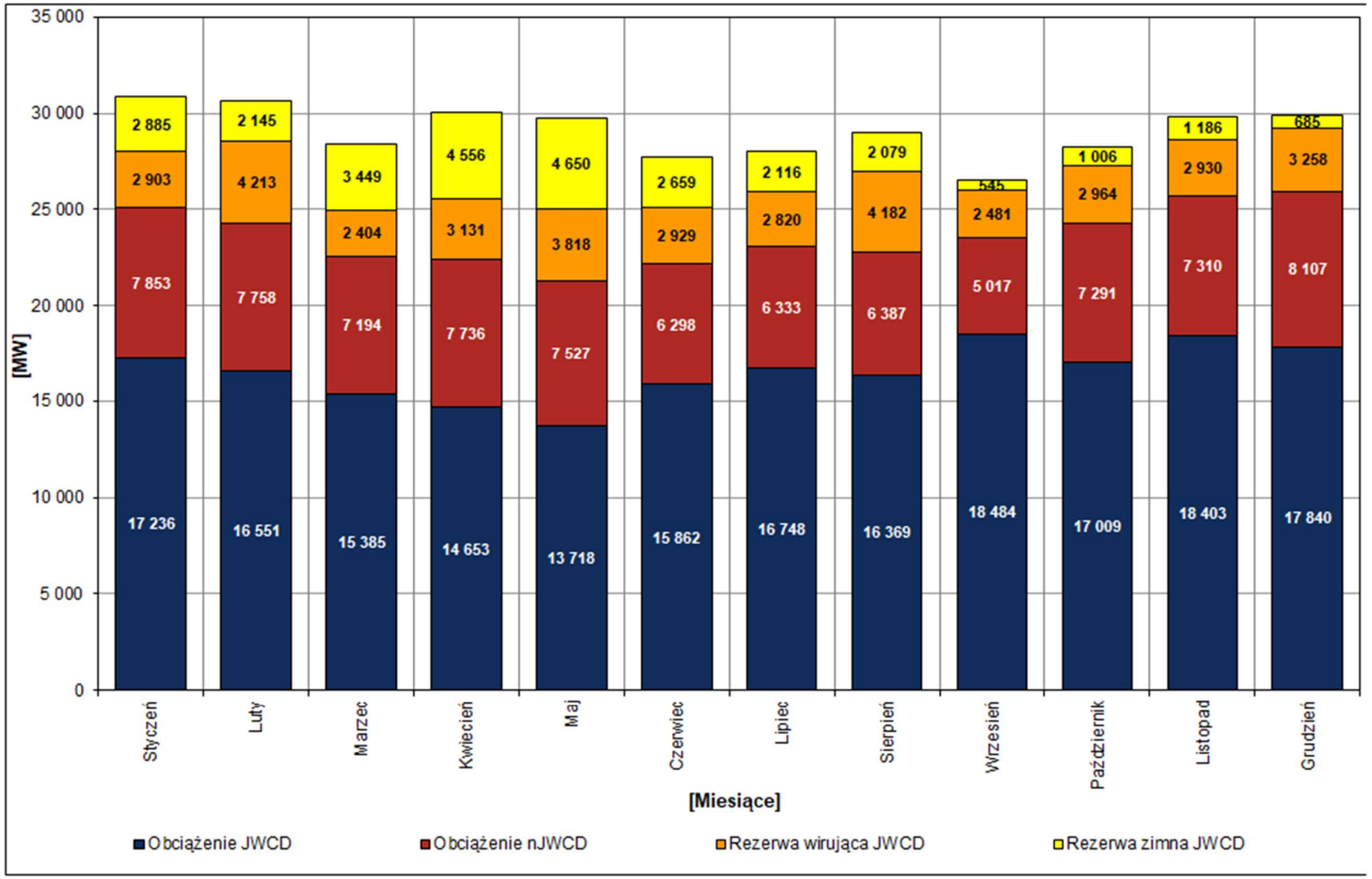
6

GDZIE JESTEŚMY

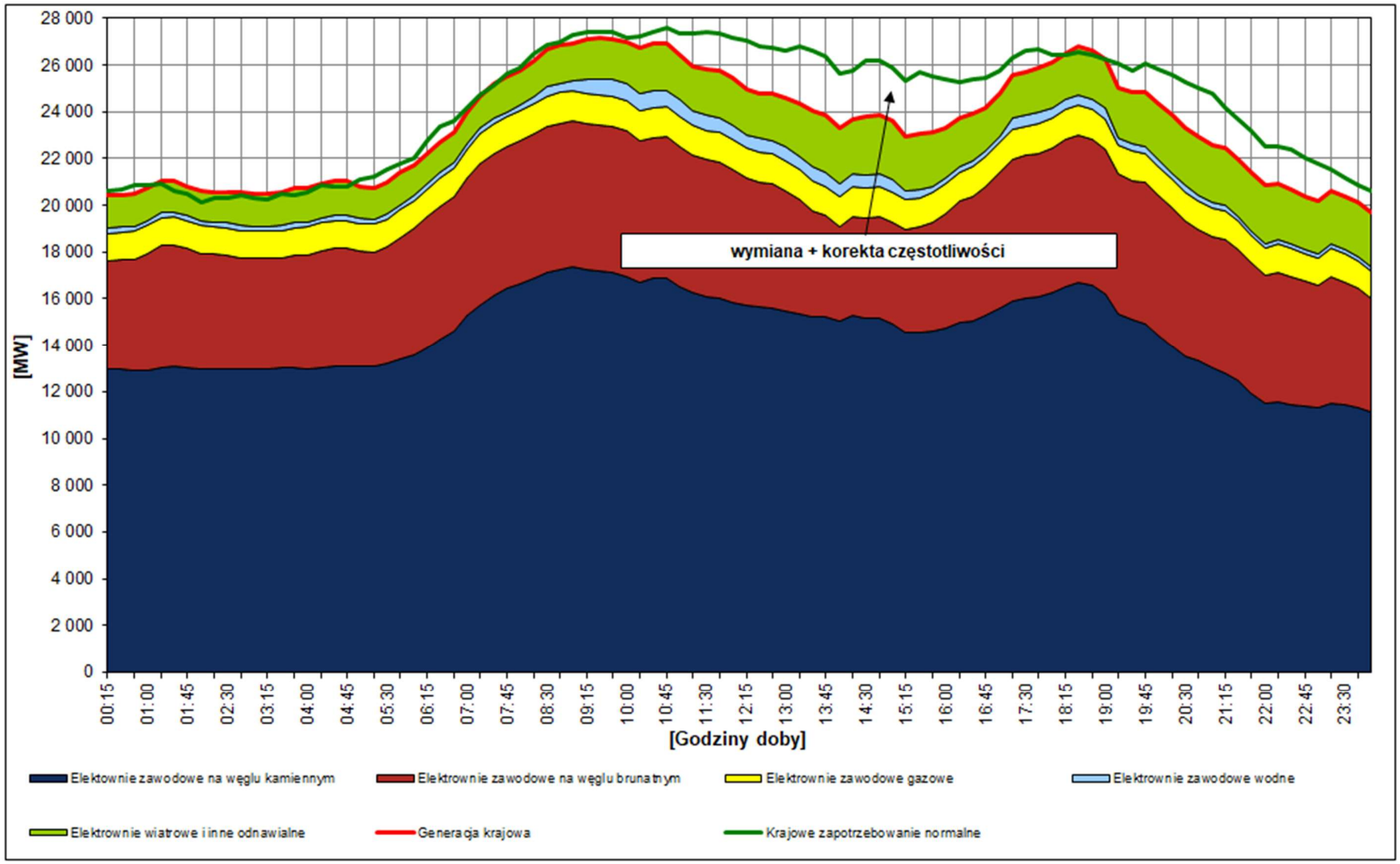
Dynamika wzrostu mocy zainstalowanej w KSE w latach 1960÷2021



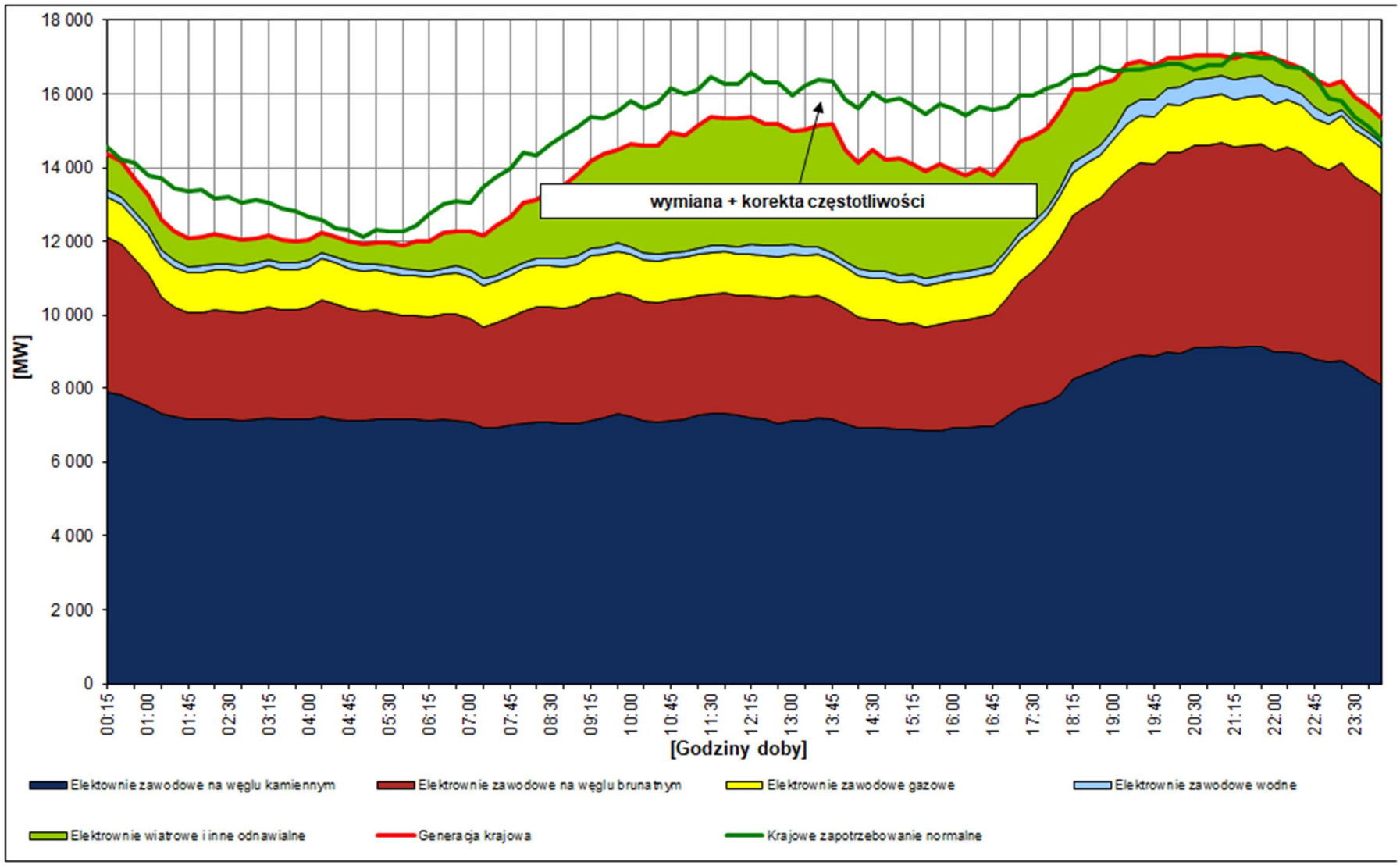
Moce dyspozycyjne i rezerwy mocy w elektrowniach krajowych dostępne dla OSP w 2021 roku – wartości średnie miesięczne z dobowych szczytów obciążenia dni roboczych



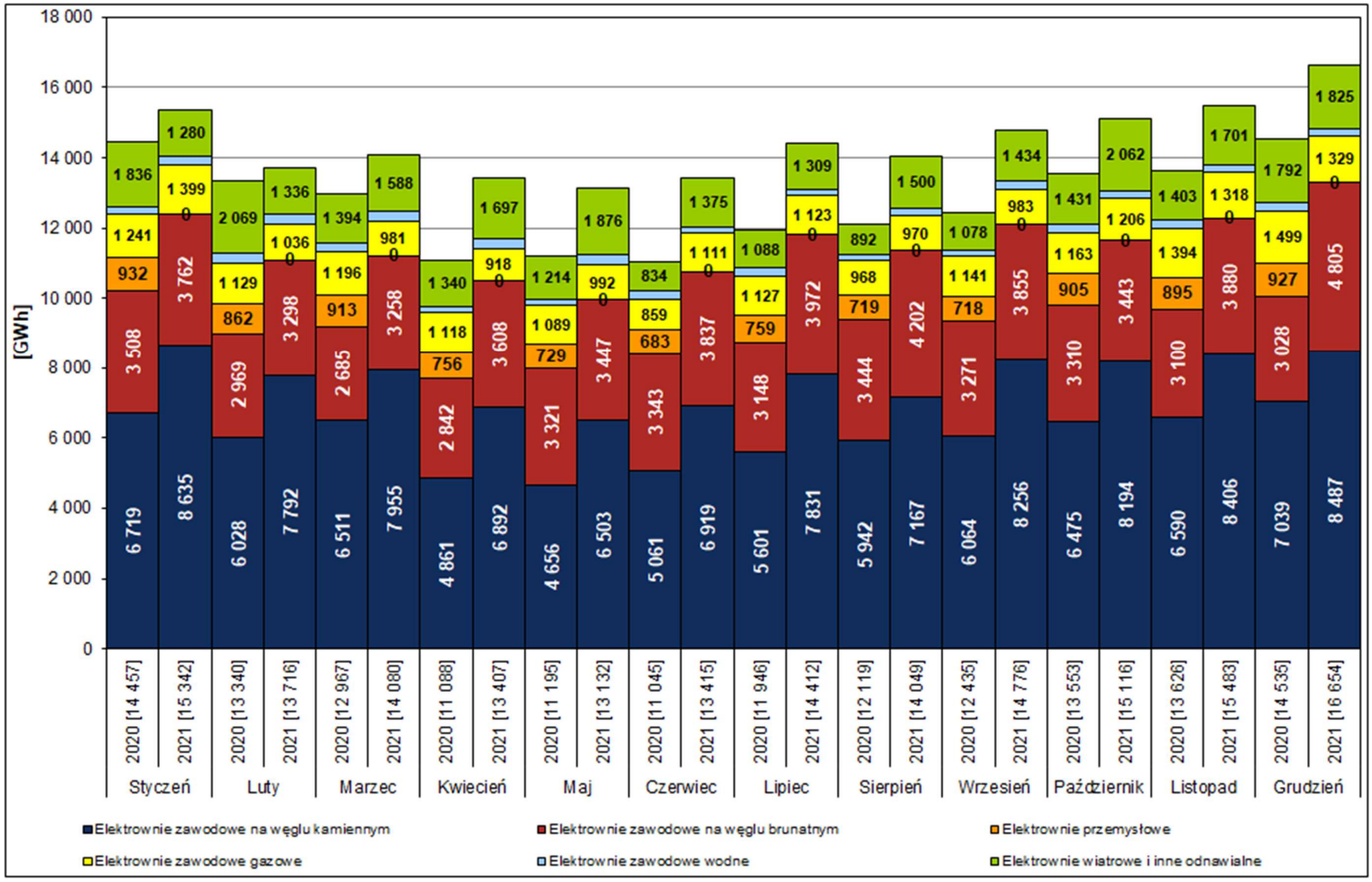
Przebieg zapotrzebowania na moc w KSE w dniu, w którym wystąpiło maksymalne krajowe zapotrzebowanie na moc w 2021 roku i sposób jego pokrycia



Przebieg zapotrzebowania na moc w KSE w dniu, w którym wystąpiło minimalne krajowe zapotrzebowanie na moc w 2021 roku i sposób jego pokrycia



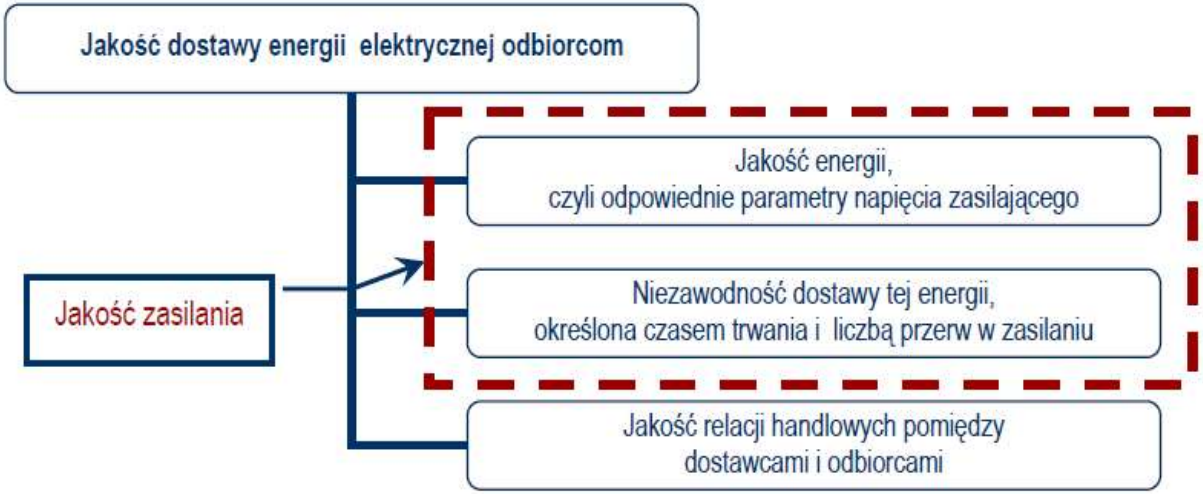
Produkcja energii elektrycznej w elektrowniach krajowych w poszczególnych miesiącach 2020 i 2021 roku



Źródło: Wszystkie powyższe informacje od strony 28 za Raport 2021 KSE

KRAJOWY SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY

ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE JAKOŚCI DOSTAWY ENERGII ELEKTRYCZNEJ



Jakość energii elektrycznej

Wraz z rozwojem nowych technologii, układów i urządzeń wzrasta wykorzystanie odbiorników szczególnie wrażliwych na niedotrzymanie standardów jakościowych. Coraz częściej obserwowane są w praktyce negatywne zjawiska powodujące zakłócenia w pracy układów regulacji, sterowania czy systemów pomiarowych urządzeń, wynikające z pogorszenia jakości energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych. Zakłócenia te mogą powodować znaczne straty techniczne i ekonomiczne u odbiorców, co z kolei skutkuje żądaniem odpowiednich rekompensat finansowych od dostawców energii. Jednocześnie należy zauważyć, że liczba przypadków pogorszenia jakości zasilania systematycznie wzrasta, a to za sprawą zwiększającego się wykorzystania odbiorników będących źródłami zaburzeń, charakteryzujących się szybkozmiennym poborem mocy, nieliniową charakterystyką napięciowo-prądową lub asymetrią obciążenia.

Szczególnie złożone jest zagadnienie utrzymania odpowiedniej jakości zasilania w sieciach odbiorczych, do których przyłączone są rozproszone źródła energii. Źródła takie z jednej strony zachowują się jak odbiorniki zaburzające, a więc pogarszają jakość energii elektrycznej, z drugiej zaś mogą być wykorzystane do poprawy tej jakości.

Jakość energii elektrycznej odnosi się do pewnych znormalizowanych cech (parametrów) napięcia zasilającego, które charakteryzują poziom określonego zaburzenia elektromagnetycznego, powodującego zmiany w idealnym przebiegu napięcia.

Zaburzenia zwykle dzieli się na kategorie według kryterium czasu ich trwania. Najkrócej, w zakresie milisekund i sekund, trwają stany przejściowe oraz zmiany amplitudy napięcia spowodowane zaburzeniami i łączeniami występującymi w sieciach elektroenergetycznych.

Odrębną kategorię stanowią zmiany napięcia wynikające ze zmian obciążenia sieci. Obejmują one zarówno obniżenia jak i wzrosty napięcia i dotyczą czasów rzędu minut. Stanów ustalonych zaś dotyczą zaburzenia wprowadzane do sieci przez odbiory nieliniowe i odbiory tzw. niespokojne, charakteryzujące się szybkozmiennym poborem mocy.

Podstawowe, konieczne do utrzymania bezpiecznej pracy SSE parametry jakościowe to:

- **Odchylenie częstotliwości;**
- **Odchylenie napięcia;**
- **Wskaźnik długookresowego migotania światła;**
- **Harmoniczne napięcia;**
- **Całkowity współczynnik odkształcenia harmonicznymi;**
- **Współczynnik asymetrii napięcia;**

Zestawienie wartości dopuszczalnych parametrów energii elektrycznej, na podstawie wybranych dokumentów normalizacyjnych podano w poniższej tabeli.

Wartości dopuszczalne parametrów jakości energii elektrycznej w sieci

Parametr	PN-EN 50160		Prawo energetyczne			
	Sieć SN	Sieć nn	Sieć 400kV	Sieć 110kV i 220kV	Sieć SN	Sieć nn
Odchylenie napięcia	$\pm 10\% U_n$		- 10% Un ÷ + 5% Un	$\pm 10\% U_n$		
Szybkie zmiany napięcia	4%	5%	-			
Współczynnik asymetrii	2%		1,0%		2,0%	
Wartości harmonicznych rzędu n	n = 3 – 5,0% 5 – 6,0% 7 – 5,0% 11 – 3,5% 13 – 3,0%		n = 3 – 2,0% 5 – 2,0% 7 – 2,0% 11 – 1,5% 13 – 1,5%		n = 3 – 5,0% 5 – 6,0% 7 – 5,0% 11 – 3,5% 13 – 3,0%	
Współczynnik THD	8,0%		3,0%		8,0%	
Współczynnik długookresowego migotania światła P_{lt}	1,0		0,8		1,0	

Niedotrzymanie parametrów jakościowych wiąże się z co najmniej z powstaniem uzasadnionej możliwości żądania przez odbiorcę energii od dostawcy energii oraz operatora sieci dystrybucyjnej i przesyłowej odpowiednich rekompensat, lecz tak naprawdę podstawowym problemem jest to, że w przypadku przekroczenia krytycznych wartości podstawowych parametrów technicznych pracy systemu (częstotliwość, napięcie) ze względu na bezpieczeństwo urządzeń generujących prąd automatycznie odłączają się od sieci poszczególne bloki, co prowadzi do utraty napięcia na całym obszarze objętym zakłóceniem.

Należy spostrzec, że zakłócenie takie podlega sprzężeniu zwrotnemu dodatniemu, gdyż odstawienie jednego bloku powoduje pogłębianie się zakłócenia, a więc wzrost prawdopodobieństwa odstawienia kolejnych bloków. Dodatkowo zabezpieczenia zasilania urządzeń przemysłowych w przypadku zmiany określonych parametrów poniżej lub powyżej pewnego progu odcinają zasilanie i odstawiają owe urządzenia, co może powodować dalszy wzrost zakłóceń w sieci, dalszą zmianę parametrów, odstawianie kolejnych odbiorców, konieczność wyłączania kolejnych bloków i w rezultacie tzw. blackout.

Niezawodność dostawy energii do odbiorców

Najmniejszą niezawodnością zasilania charakteryzują się sieci wiejskie. Ze względu na występujące w nich duże odległości pomiędzy odbiorcami oraz stosunkowo małe moce odbierane, sieci te są bardzo kosztowne. Dlatego też stosuje się tutaj rozwiązania najtańsze tj. sieci otwarte, najczęściej bez żadnych możliwości rezerwowania.

Większej pewności zasilania wymagają odbiorcy bytowo-komunalni w miastach. Wynika to z faktu, iż jedną linią zasila się gospodarstwa domowe, ale także odbiorców ważniejszych jak: kina, teatry, szpitale, urzędy państwowe, duże sklepy, wodociągi, tramwaje itp. Dlatego też sieci miejskie, pomimo że pracują jako promieniowe, mają najczęściej możliwość rezerwowego zasilania drugą linią.

Wyróżnia się trzy kategorie zasilania zakładów przemysłowych:

- **kategoria I - zakłady posiadające odbiorniki, przy których przerwa w zasilaniu może spowodować niebezpieczeństwo dla życia ludzkiego (np. wybuch), duże straty materialne wynikające z uszkodzenia urządzeń lub zniszczenia surowców lub długotrwałe przestoje; wymagają one 100% rezerwy zasilania,**
- **kategoria II - zakłady, w przypadku których przerwa w zasilaniu powoduje straty materialne wynikające z niewykonanej lub zmniejszonej produkcji; o wielkości rezerwy decyduje rachunek ekonomiczny,**
- **kategoria III - pozostałe zakłady; z reguły nie wymagają one rezerwy.**

Konsumpcja energii elektrycznej

Głównymi odbiornikami energii elektrycznej są maszyny i urządzenia zasilane elektrycznością, oświetlenie oraz ogrzewanie elektryczne. Odbiorcy mają swobodę korzystania z elektryczności – mogą uruchamiać lub wyłączać swoje urządzenia w dowolnej chwili, nie biorąc pod uwagę sytuacji w KSE.

Generalnie, to odbiorcy mają swobodę korzystania z elektryczności, natomiast elektrownie dostosowują wytwarzanie do aktualnego zapotrzebowania.

Inaczej mówiąc – podaż energii (wytwarzanie) dostosowuje się do aktualnego popytu (konsumpcji). Jest to możliwe dzięki temu, że elektrownie mają możliwość zwiększania lub zmniejszania swojej produkcji na polecenie operatora: Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE). Są to źródła sterowalne.

Produkcja energii elektrycznej przez główne źródła OZE, czyli elektrownie fotowoltaiczne i wiatrowe, jest zależna od warunków pogodowych, a także od cyklu dobowego i rocznego (fotowoltaika). W tym sensie można powiedzieć, że są to źródła niesterowalne.

Należy spostrzec, że biogazownie oraz elektrownie wodne pomimo tego, że są źródłami OZE, są zasadniczo źródłami sterowalnymi. Jedynym ograniczeniem jest pojemność zbiornika elektrowni wodnej i aktualna wielkość strumienia wody zasilającego ów zbiornik (w przypadku elektrowni wodnej), jak analogicznie pojemność magazynu biogazu i aktualna wielkość jego produkcji.

Źródła OZE a zapewnienie stabilności sieci

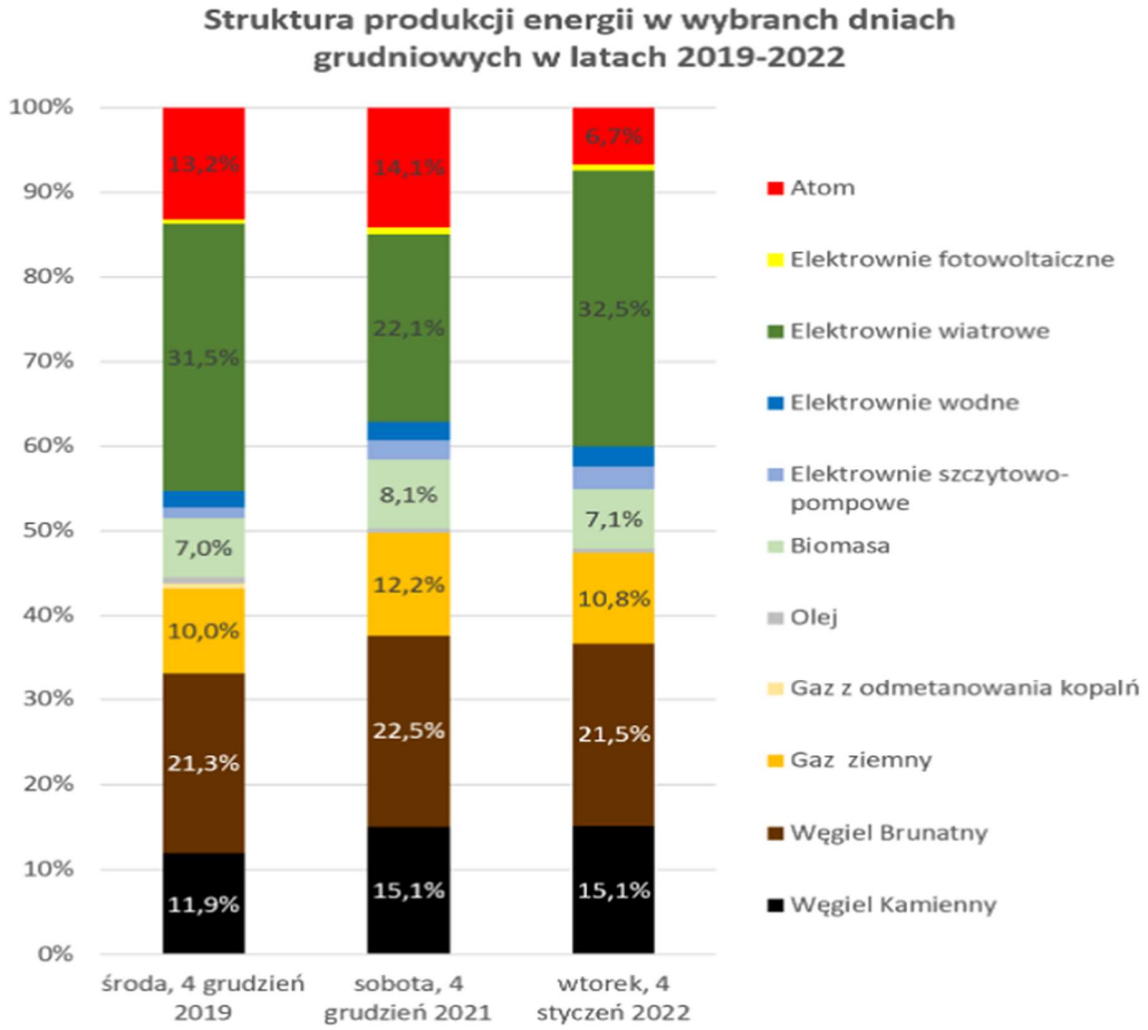
Generalnie podstawowym problemem jest znalezienie rozwiązania dla problemu, czy w ogóle można oprzeć system energetyczny na źródłach niesterowalnych, generujących energię nie wtedy, gdy potrzeba, lecz wtedy, gdy można? Jak zapewnić odbiorcom prąd w sytuacji, gdy generacja ze słońca i wiatru nie wystarcza na pokrycie zapotrzebowania? Sytuację taką określmy mianem ciemnej ciszy.

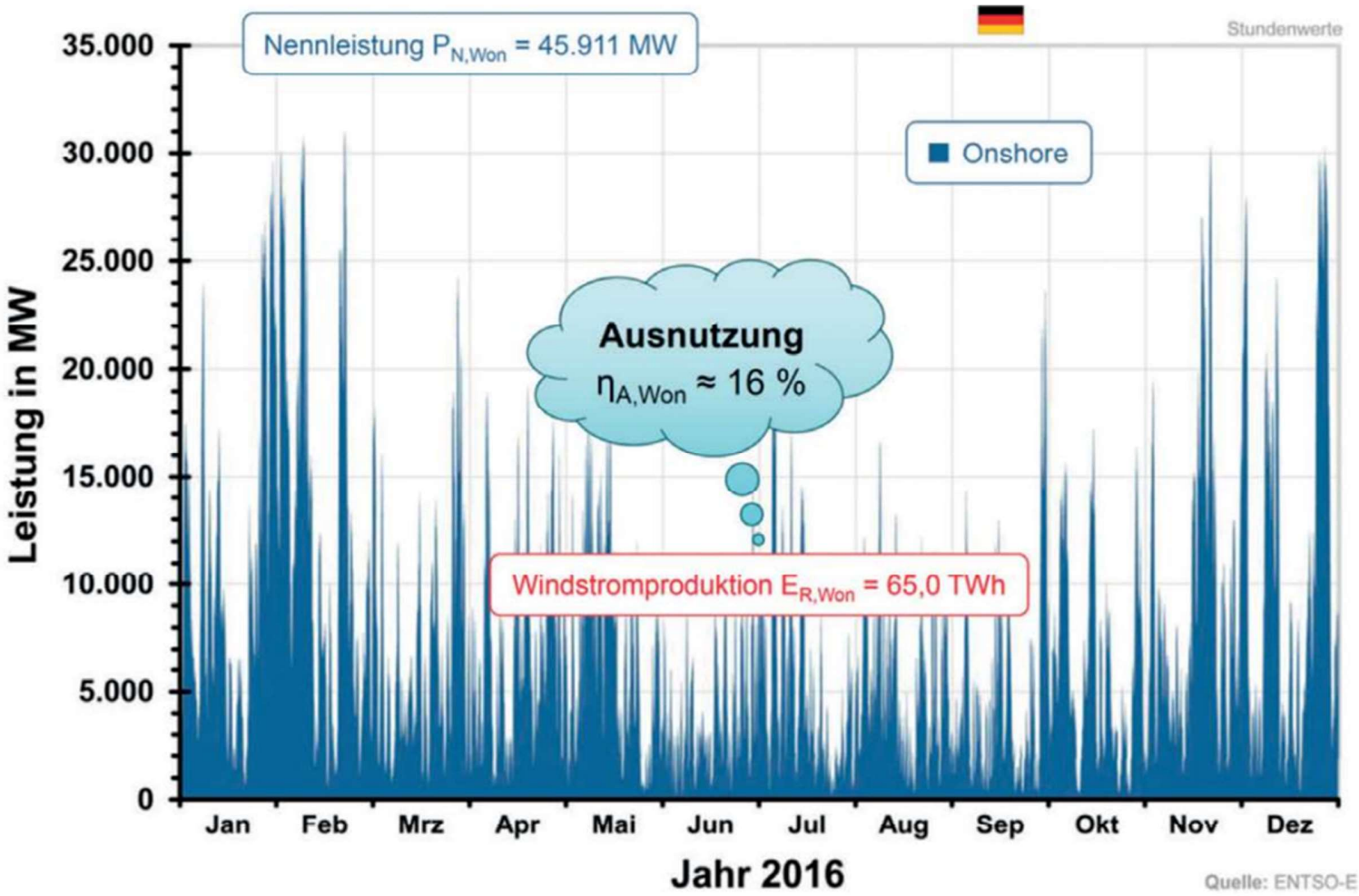
Aby energetyka mogła działać tak jak do tej pory, czyli dostarczać energię elektryczną, dostosowując podaż do zmiennego w czasie popytu, rozważane są trzy możliwości:

- **rezerwa konwencjonalna,**
- **magazyny energii,**
- **import.**

RZUT OKA NA SYTUACJĘ W NIEMCZECH

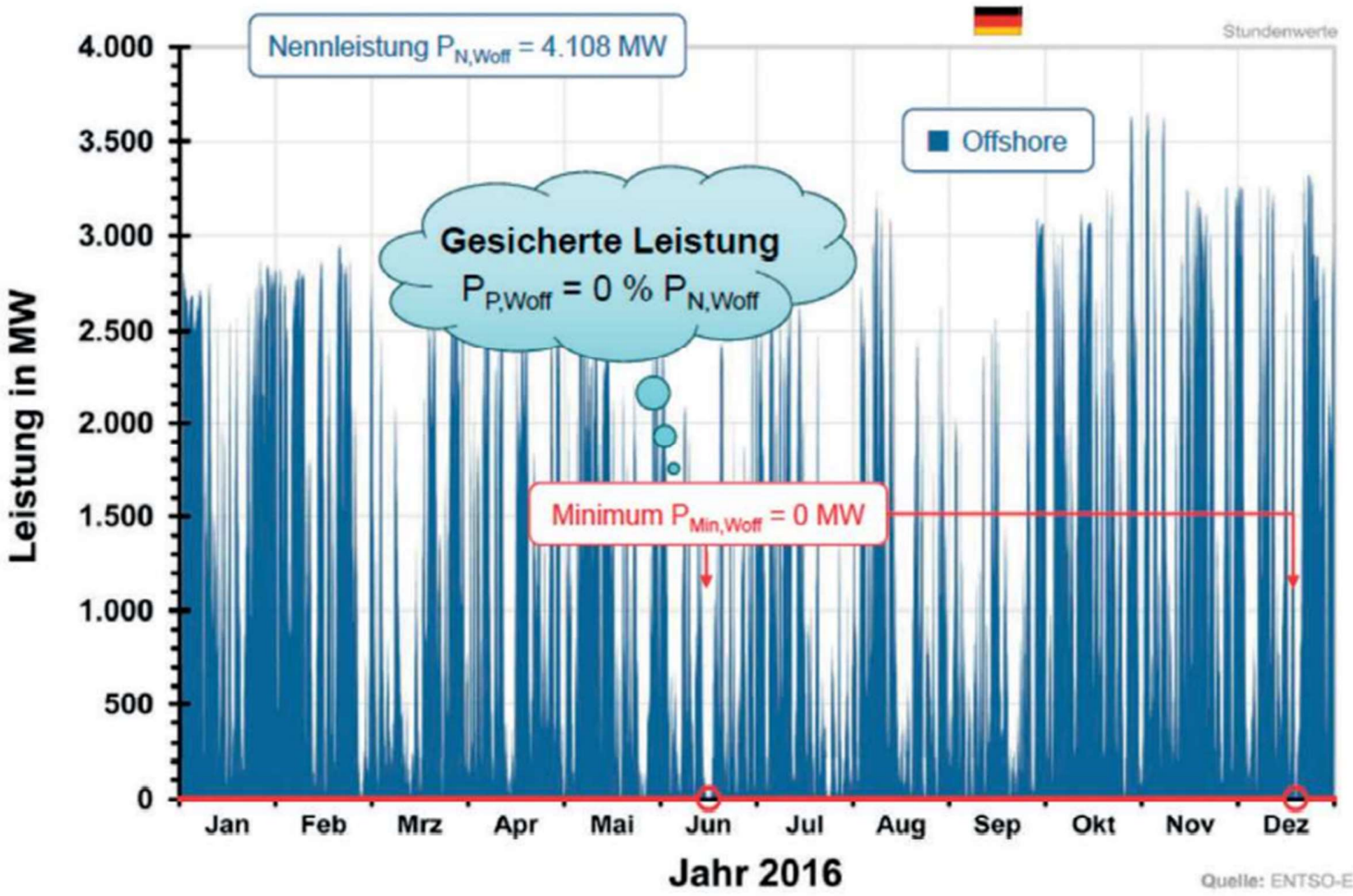
Struktura produkcji energii w Niemczech w wybranych dniach grudniowych w latach 2019-2022





Źródło: Thomas Linnemann, Guido S. Vallana: Windenergie in Detschland und Europa Status quo,….Teil1:…

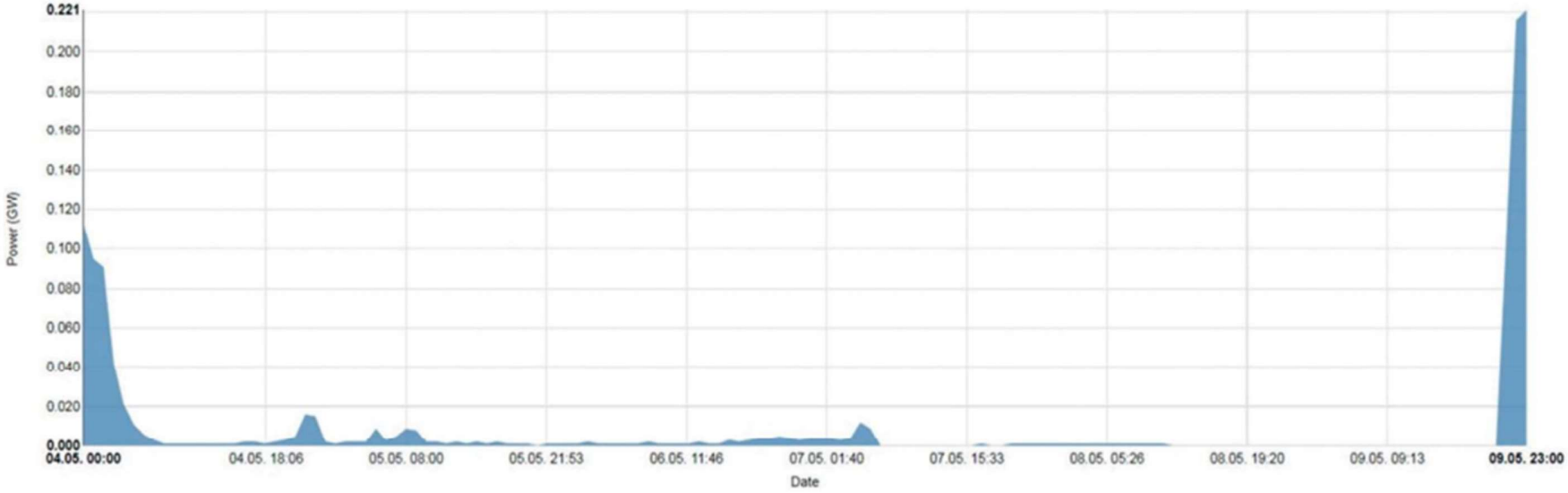
W 2016 roku w Niemczech przy produkcji energii elektrycznej z wiatraków zlokalizowanych na lądzie równej 65 TWh i mocy nominalnej 45 911 MW średni wskaźnik wykorzystania mocy wynosił 16%. Minimalna moc wynosiła 135 MW, a więc w tym dniu stosunek mocy minimalnej do nominalnej był mniejszy niż 0,3%.



Źródło: Thomas Linnemann, Guido S. Vallana: Windenergie in Detschland und Europa Status quo,….Teil1:…

Moc rzeczywista morskich farm wiatrowych na Bałtyku w 2016 roku spadała poniżej 1% mocy nominalnej przez 256 godzin rocznie, czyli blisko 11 dób, przy czym przez kilka dni w czerwcu i grudniu minimalna moc generowana wynosiła 0 MW.

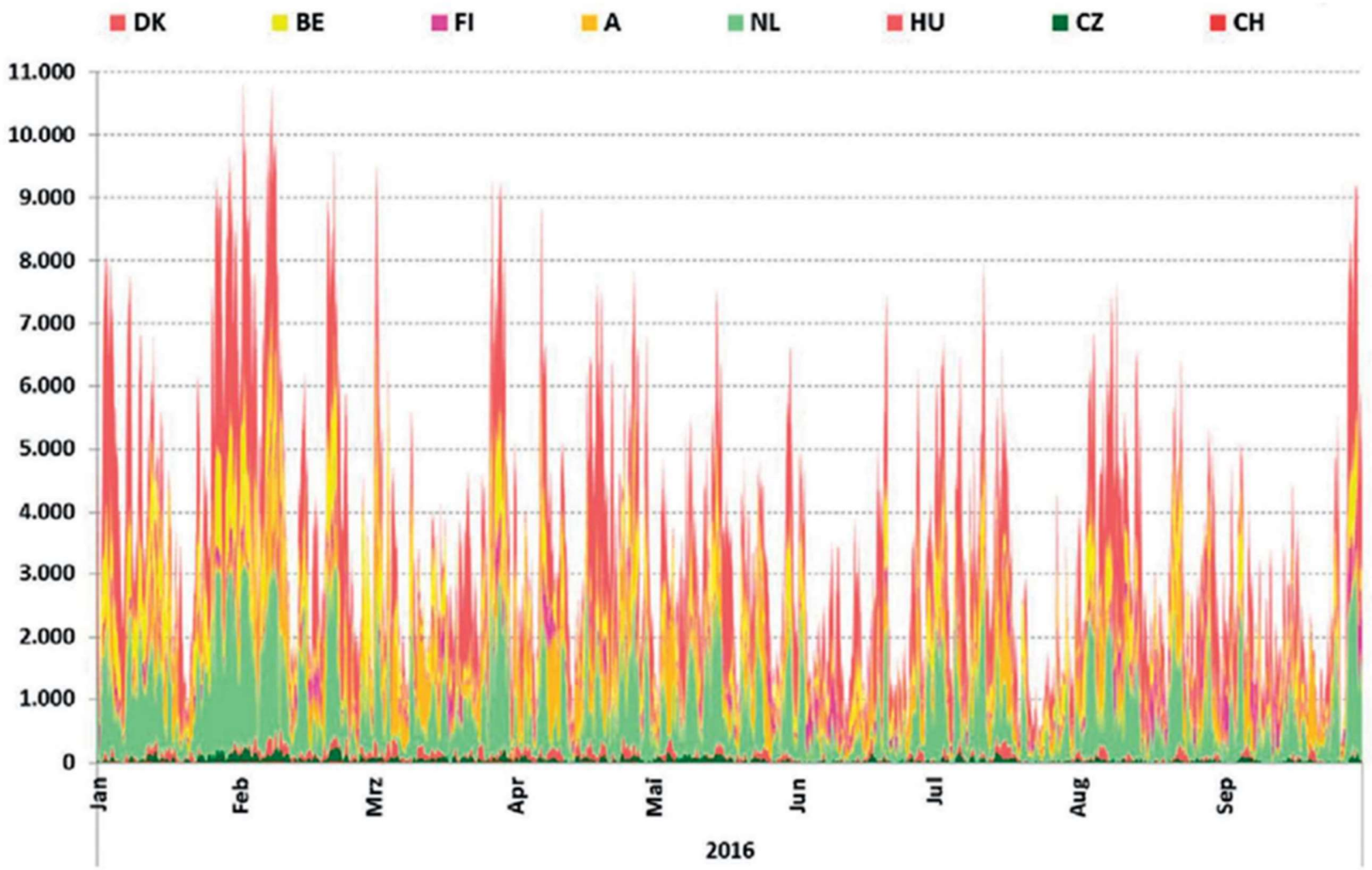
Dane dla morskich farm wiatrowych na Bałtyku są zbierane co 15 minut od wielu lat (patrz adres: https://www.50hertz.com/de/Transparenz/Kennzahlen/Windenergie) Przykładowa przerwa w pracy morskich farm wiatrowych Baltic 1 i Baltic 2 pokazana jest na poniższym rysunku. W 2018 roku w ciągu ciszy morskiej trwającej 4,5 dób, średnia moc tych farm wiatrowych wynosiła niej niż 0,6% mocy nominalnej.



Moc generowana przez morskie farmy wiatrowe Baltic 1 i Baltic 2 w okresie od 4 do 9 maja 2018 roku.

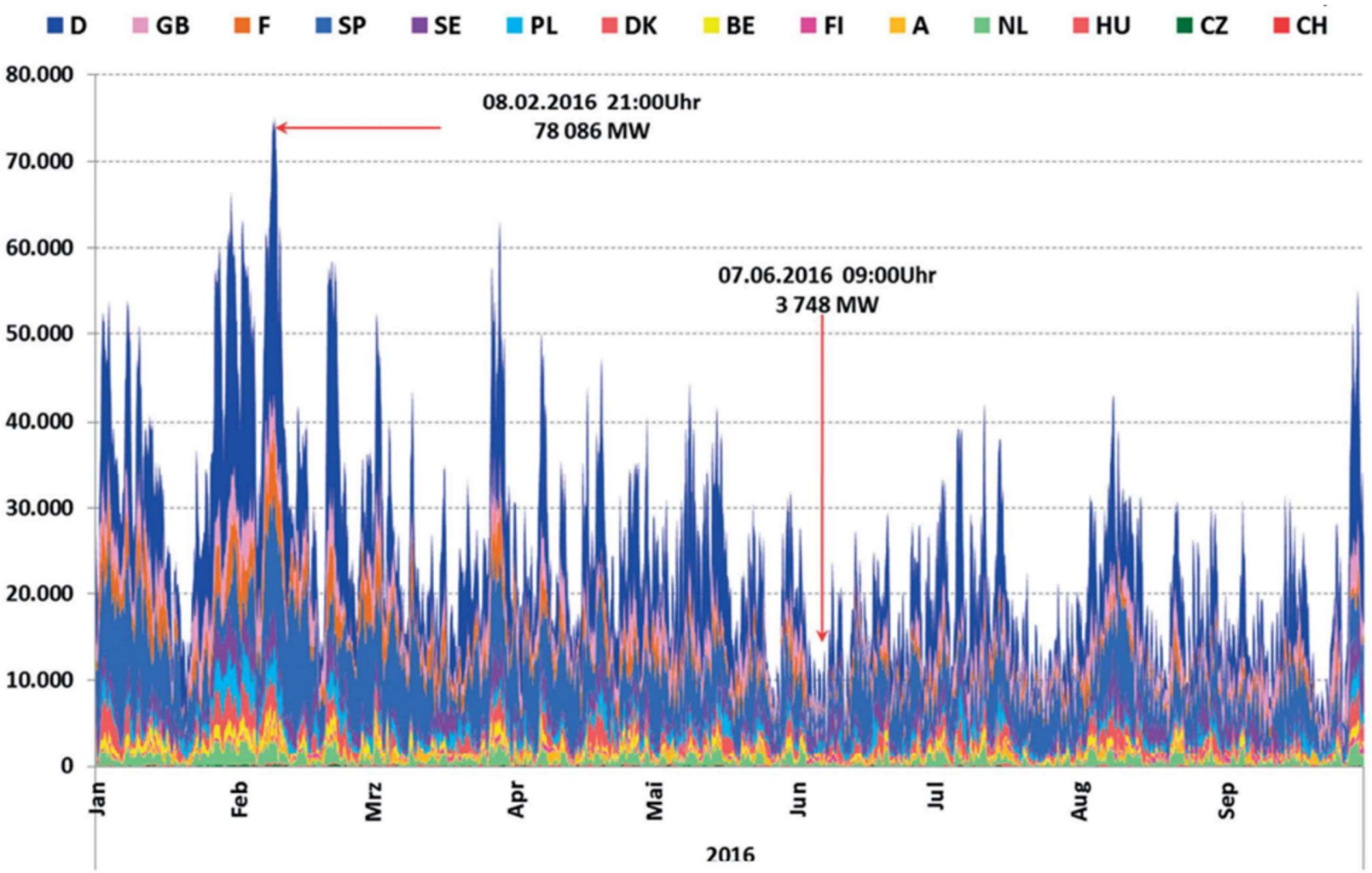
Nawet uwzględnienie wszystkich krajów europejskich nie zapewni wyrównania wykresu produkcji mocy z farm wiatrowych. W 2016 roku moc maksymalna wszystkich wiatraków w 14 krajach europejskich osiągnęła ponad 78 GW, a moc minimalna była równa 3,7 GW. Szczyty i minima mocy występowały na całym kontynencie od Finlandii po Hiszpanię.

Zmiany mocy generowanej w farmach wiatrowych w 8 krajach europejskich w roku 2016



Źródło: ENTSO-E, opracowanie graficzne Rolf Schuster

Zmiany mocy generowanej w farmach wiatrowych w 14 krajach europejskich w roku 2016

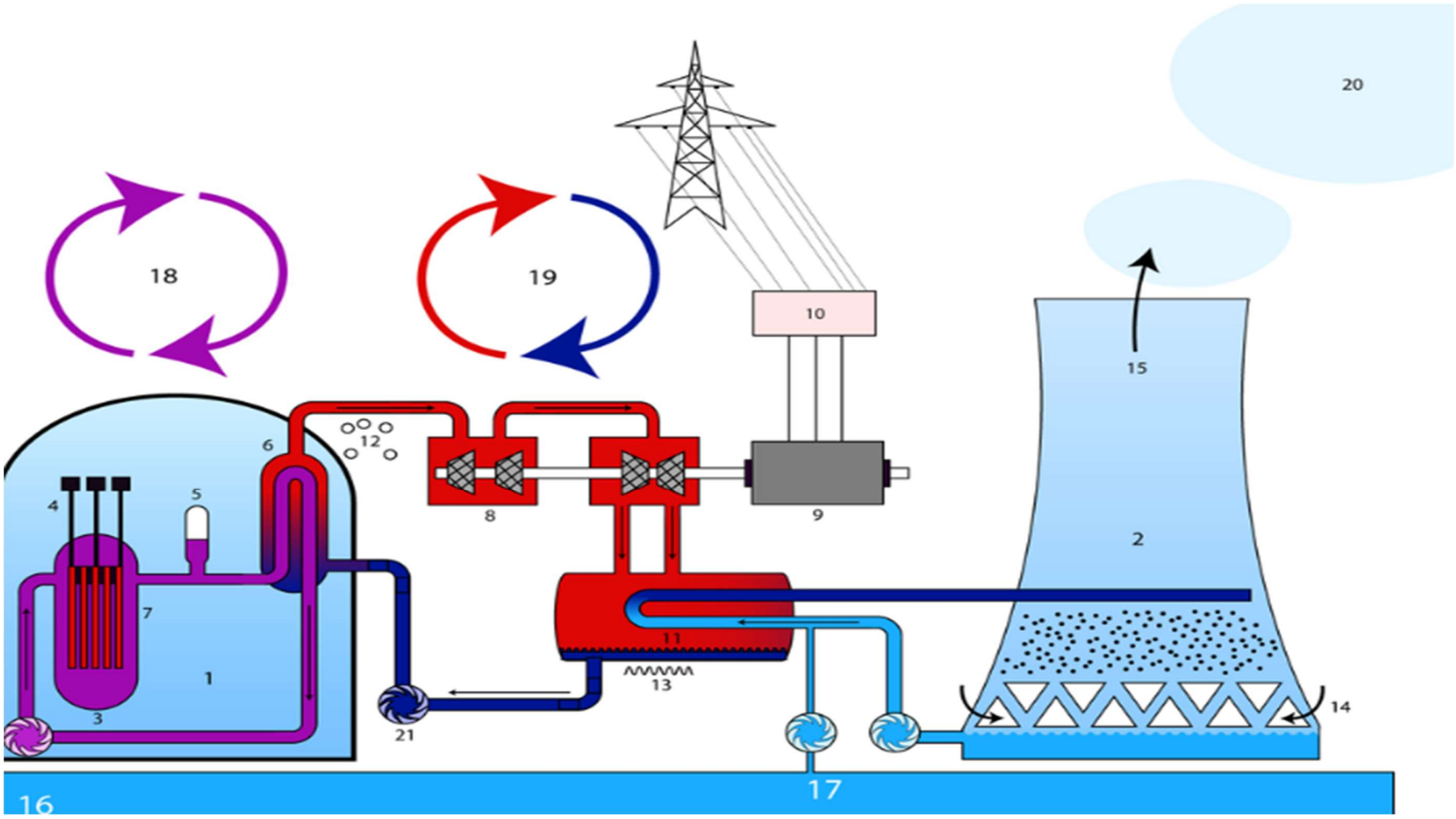


Źródło: ENTSO-E, opracowanie graficzne Rolf Schuster

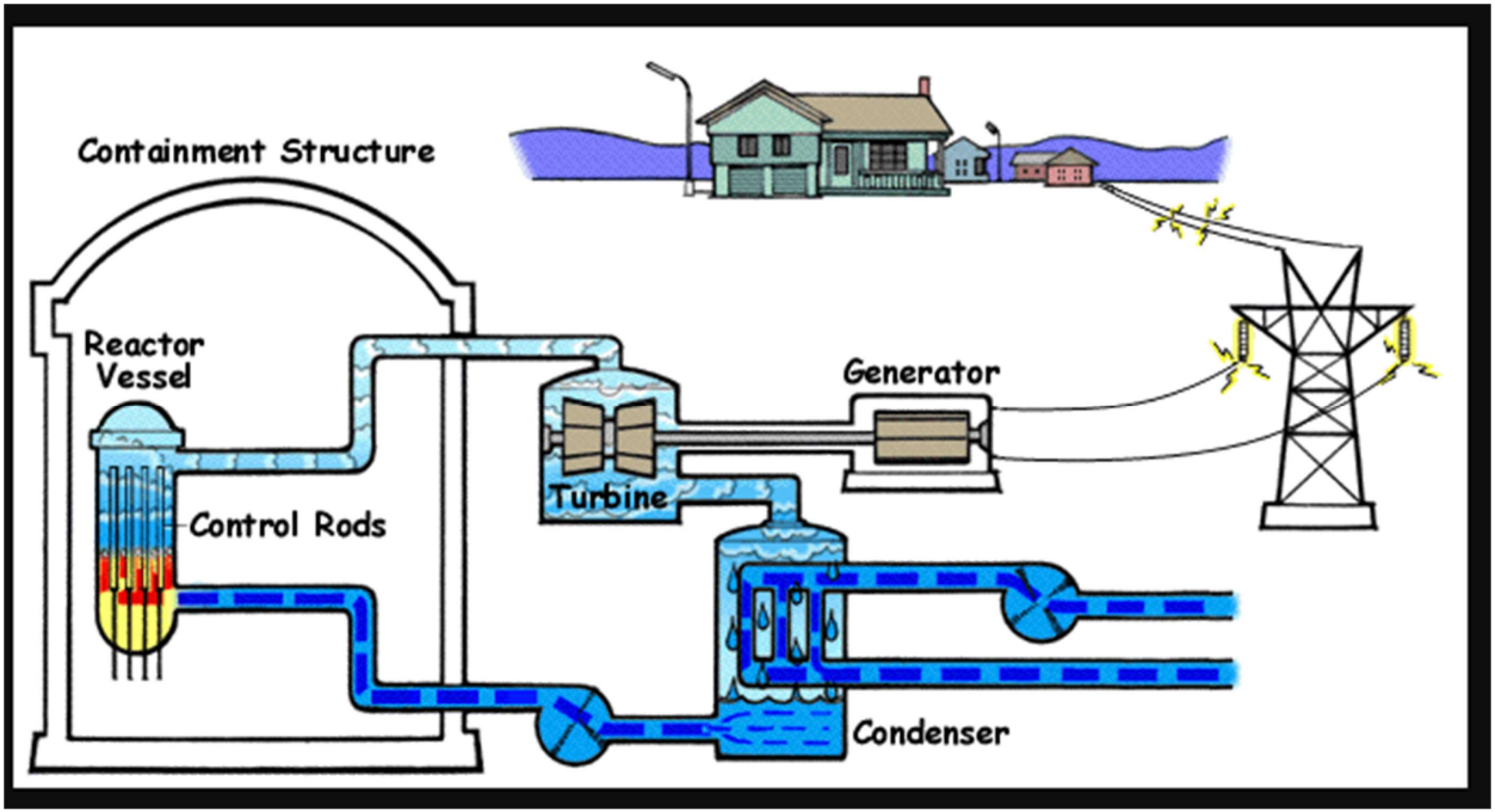
Elektrownie jądrowe – to czyste środowisko, tania energia elektryczna i zachowanie węgla dla przyszłych pokoleń

EJ Loviisa w Finlandii
Zdjęcie pokazane za zezwoleniem FORTUM

Elektrownia jądrowa z wodnym reaktorem ciśnieniowym (PWR)

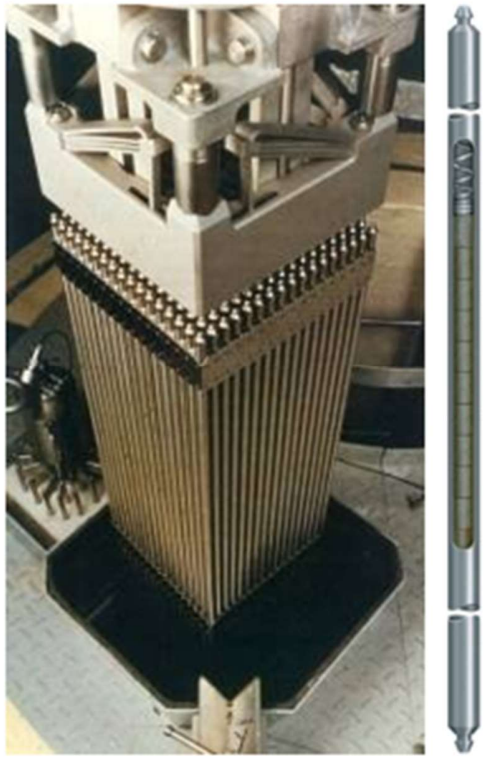


Elektrownia jądrowa z wodnym reaktorem wrzącym (BWR)



.

Główne źródło zagrożenia w EJ – produkty rozszczepienia w paliwie jądrowym

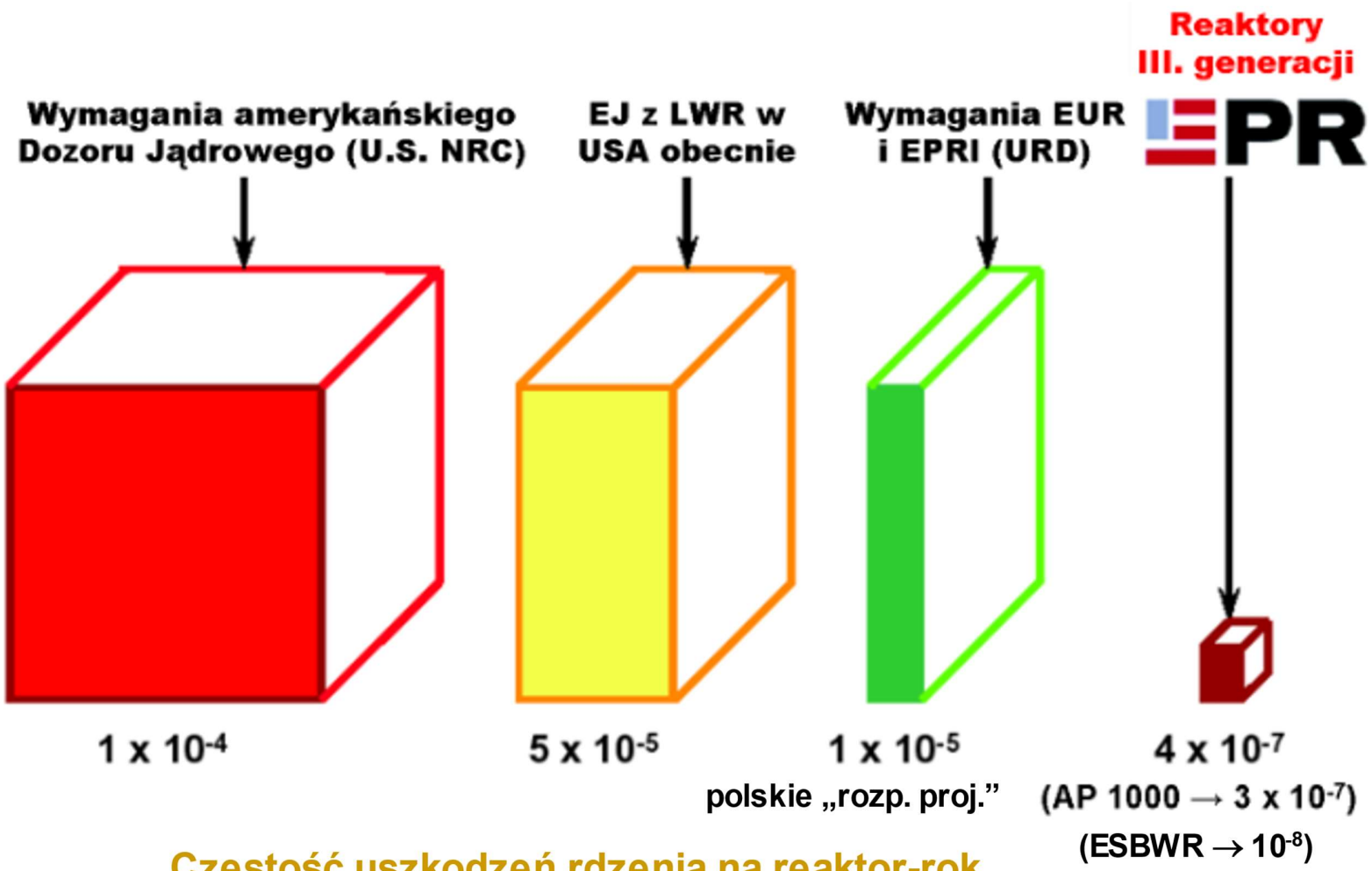


- **Energia jądrowa daje energię – ale i promieniotwórcze produkty rozszczepienia**
- Paliwo – to pastylki UO_2, o średnicy do 10 mm, tworzące pręty cylindryczne o wysokości 3-5 m, zamknięte w koszulki ze stopu cyrkonu, odporne na temperatury do 1200 ºC.
- Ciepło odbiera woda o temperaturze 300 – 340 ºC
- W temperaturach 300-400 ºC produkty rozszczepienia pozostają w całości w paliwie
- Jak długo paliwo jest chłodzone skutecznie wodą – nie ma istotnego zagrożenia radiologicznego poza EJ

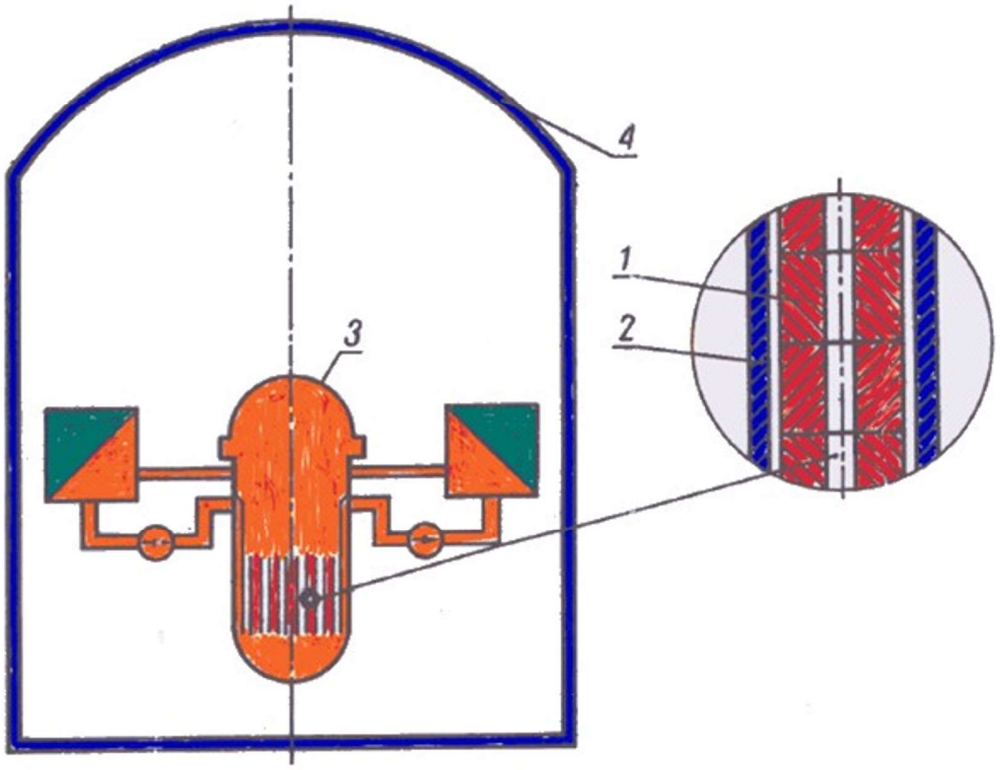
Najważniejsze polskie wymagania bezpieczeństwa EJ

- Strategia „obrony w głąb”
  - Zastosowanie 5 niezależnych od siebie poziomów bezpieczeństwa
  - Nie polegamy na jakimkolwiek pojedynczym zabezpieczeniu (systemie, urządzeniu)
- „Praktyczne wykluczenie” wczesnych i/lub dużych uwolnień substancji promieniotwórczych do otoczenia
- Prawdopodobieństwo uszkodzenia rdzenia reaktora ok. 100-krotnie niższe jak reaktorów II.generacji
- Ograniczone w przestrzeni skutki radiologiczne awarii (włączając ciężkie awarie – ze stopieniem rdzenia reaktora)

Reaktory generacji III+ z dużym zapasem spełniają probabilistyczne kryteria bezpieczeństwa



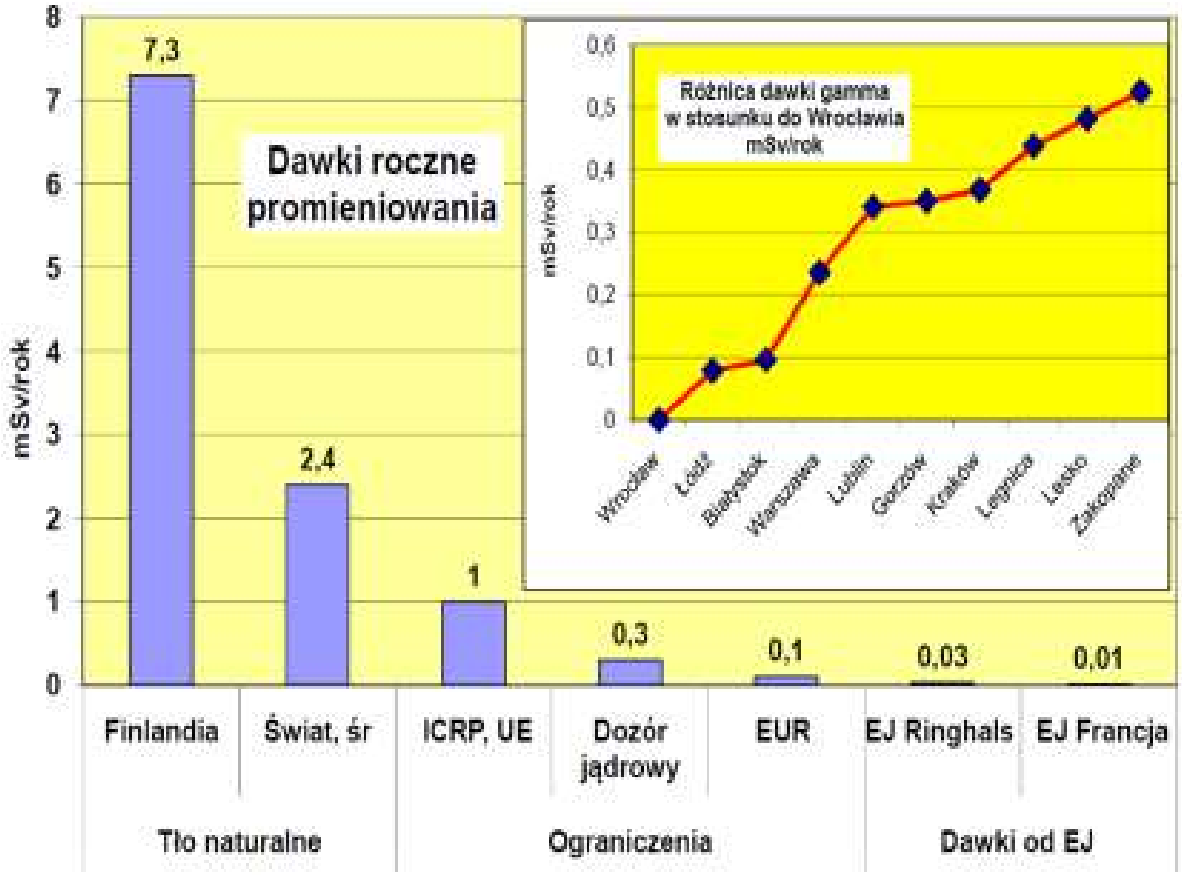
Układ 4-ch barier ochronnych → bezpieczeństwo zachowane w razie utraty dwóch, a nawet trzech z nich



1. Pastylki paliwowe (zatrzymują ~99% produktów rozszczepienia)
2. Koszulka elementu paliwowego
3. Obieg chłodzenia reaktora
4. Obudowa bezpieczeństwa

Dawki od elektrowni jądrowych

- dziesiątki razy mniejsze niż różnice naturalnego tła promieniowania



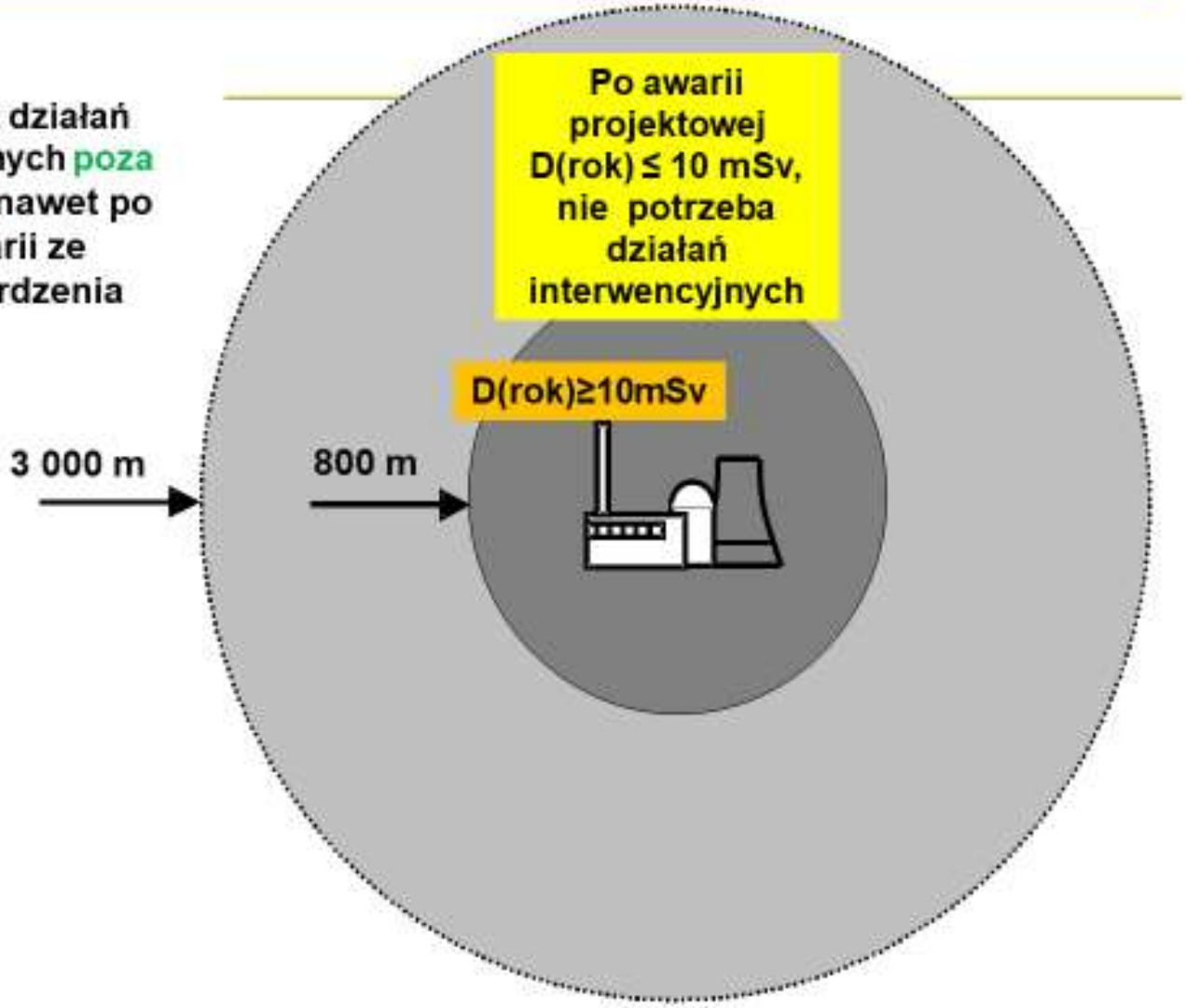
- Dawka od EJ
  → 0,01 mSv/rok
- Różnica tła promieniowania między Krakowem a Zakopanem
  → 0,51 mSv/rok

Wspólna cecha EJ III generacji – odporność na ciężkie awarie

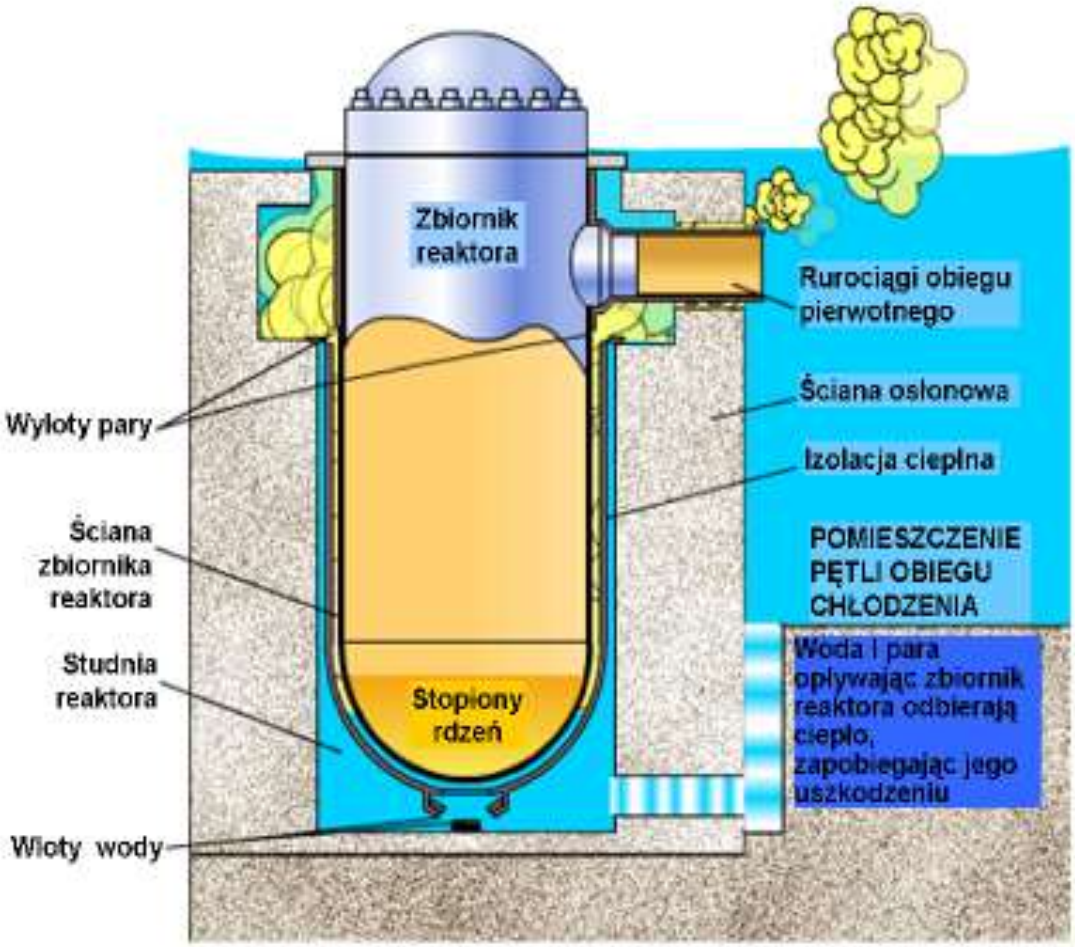
- Po awariach w TMI-2 i w Czarnobylu zaprojektowano reaktory III generacji
- Przy EJ II generacji przyjmowano, że awarie zdarzające się niesłychanie rzadko – np. raz na 100 000 lat – można pominąć, bo powodują one małe ryzyko w porównaniu z wojnami czy kataklizmami naturalnymi
- Natomiast przy projektowaniu 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
- Promień strefy ograniczonego użytkowania wokoło reaktora EPR to 800 metrów – nie kilometrów, ale metrów. Okoliczni mieszkańcy są bezpieczni!

Dla EJ z reaktorem generacji III lub III+

Nie potrzeba działań interwencyjnych poza strefą 3 km nawet po ciężkiej awarii ze stopieniem rdzenia

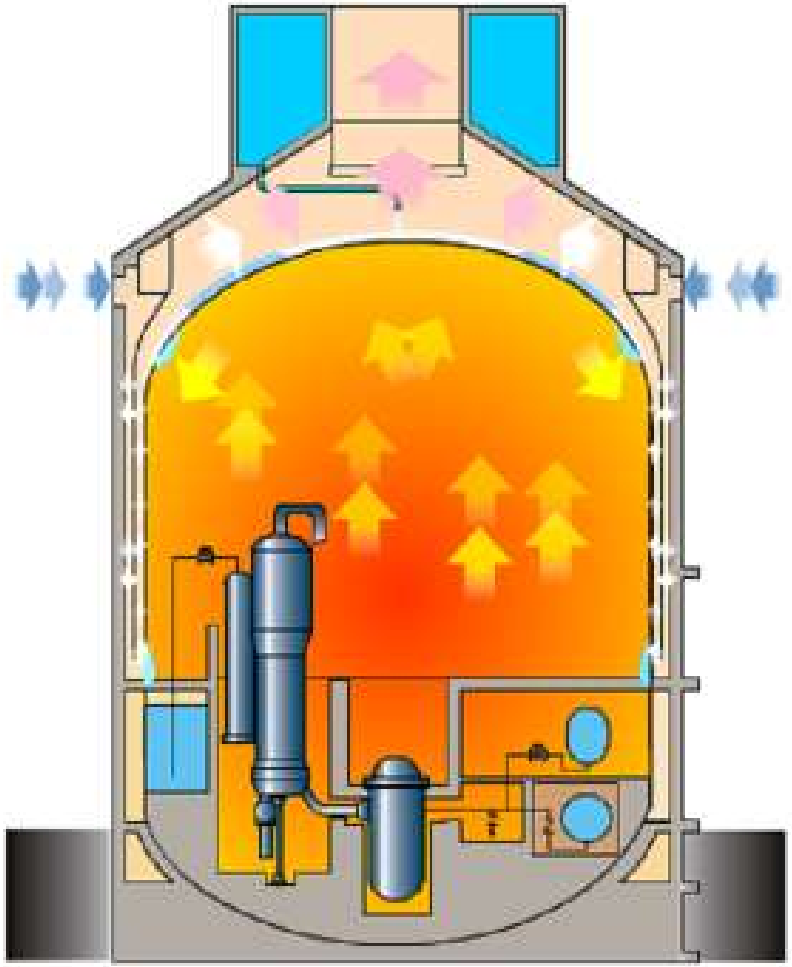


W razie stopienia rdzenia – pasywne chłodzenie z zewnątrz w AP1000



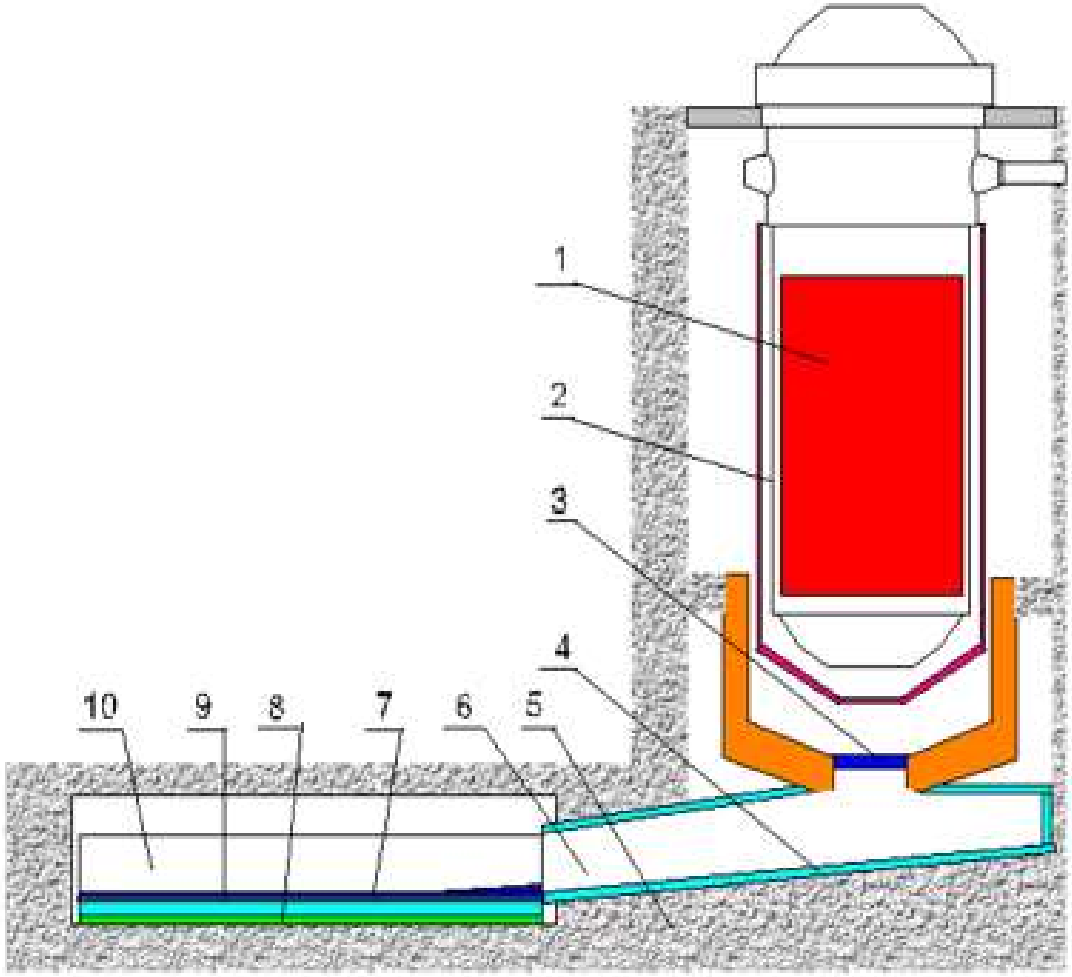
- Woda z sąsiedniego basenu zalewa szyb reaktora
- Odbiera ciepło stopionego rdzenia poprzez zbiornik
- Produkty rozszczepienia pozostają w zbiorniku
- Nie ma zagrożenia radiologicznego

AP1000 przez 3 doby nie potrzebuje energii elektrycznej do odbioru ciepła



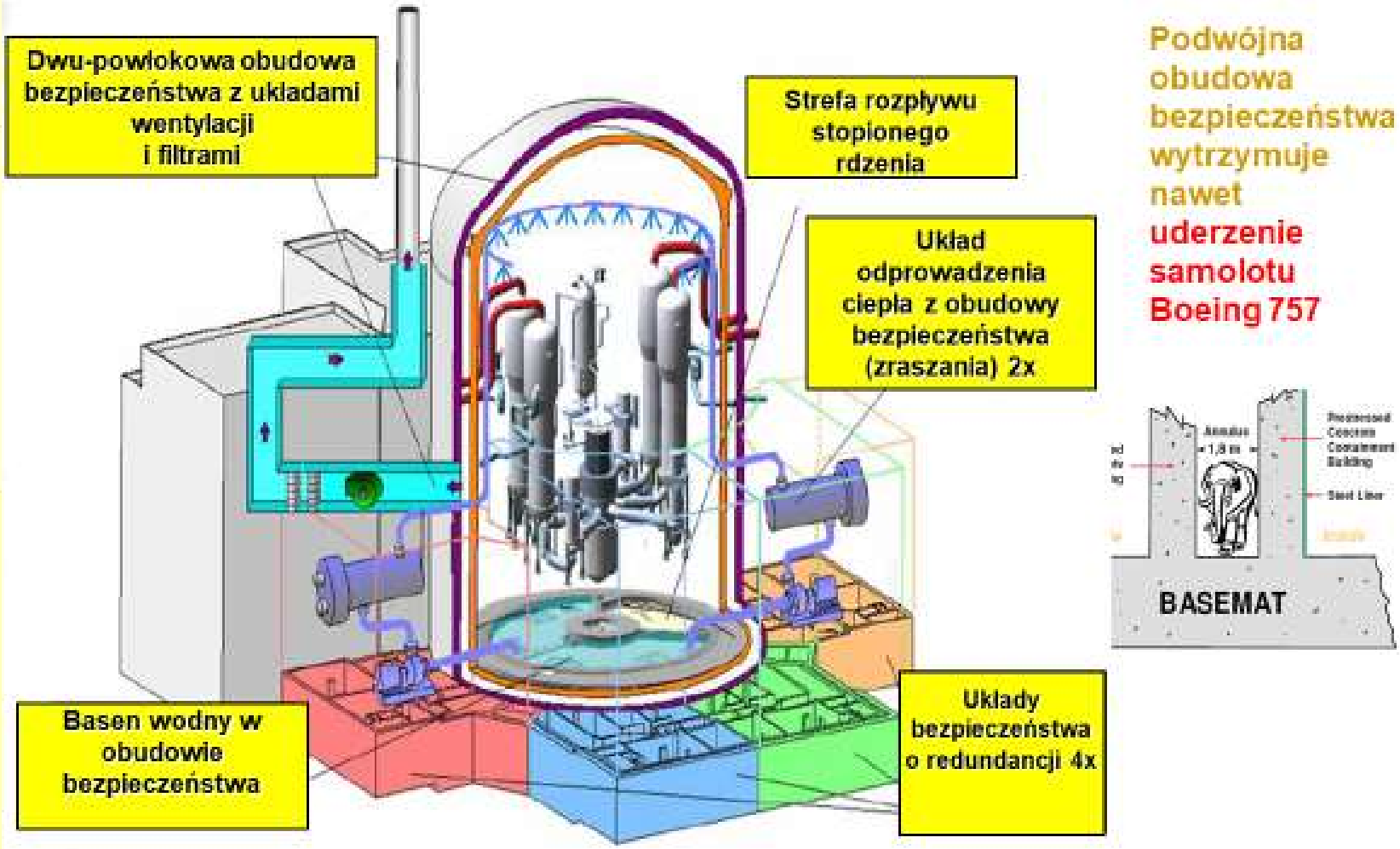
- Woda chłodząca zbiornik odparowuje i skrapla się na wewnętrznej powierzchni stalowej obudowy bezpieczeństwa
- Najpierw ciepło odbiera woda spływająca w dół na zewnątrz stalowej obudowy
- Potem ciepło odbiera powietrze w układzie konwekcji naturalnej
- Nie potrzeba energii elektrycznej przez 72 godziny

Układ chwytacza stopionego rdzenia reaktora EPR



1. rdzeń reaktora
2. zbiornik ciśnieniowy reaktora
3. pokrywa przetapiana przez rdzeń,
4. dno tunelu przelewowego
5. beton fundamentów obudowy bezpieczeństwa
6. tunel przelewowy
7. materiał ogniotrwały
8. chłodzenie wodne chwytacza
9. warstwa powierzchniowa przeznaczona na wytopienie
10. chwytacz rdzenia - basen dla stopionego rdzenia

Reaktor EPR odporny na awarie jądrowe i ataki z zewnątrz



Największe poparcie dla EJ jest zwykle w jej sąsiedztwie

Sąsiedztwo EJ to:

- możliwość uzyskania ciekawej, dobrze płatnej i czystej pracy (zatrudnienie przy budowie EJ ok. 6000 osób)
- szansa życiowa dla młodych ludzi – zahamowanie odpływu zagranicę zdolnych i wykształconych fachowców
- podniesienie na wyższy poziom całej infrastruktury w sąsiedztwie elektrowni:
  - drogi i infrastruktura sieciowa
  - szkolnictwo
  - służba zdrowia,
  - rekreacja i sport
  - przedsiębiorstwa wspierające pracę i remonty EJ
- duże wpływy z podatków od elektrowni i od jej pracowników (wg. ustawy sama EJ zapłaci do 10 mln zł rocznie)

Doświadczenia polskich firm w realizacji EJ za granicą

- **Energomontaż-Północ (Polimex-Mostostal)** → wykładzina stalowa obudowy bezpieczeństwa reaktora EPR 3 bloku EJ Olkiluoto (OL3), Finlandia
- **Elektrobudowa Katowice** → montaż układów elektrycznych i AKPiA
  - Paks (Węgry), 1982-1987
  - Kozłoduj (Bułgaria), 1985-1988
  - Chmielnicki (Ukraina), 1987-1989
  - OL3 (Finlandia), od 2008 (także udział w rozruchu części reaktorowej)
- **Polbau (Opole)** → roboty budowlane (zbrojarskie i betoniarskie)
  - OL3 (Finlandia), od 2005: pompownia wody chłodzącej, maszynownia, budynki pomocnicze reaktora
- **Erbud International – roboty budowlane** → podwykonawca budowy zakładu wzbogacania uranu w Pierrelatte - Francja, 2006-2007
- **KMW Engineering (Solec Kujawski, Inowrocław)** → wentylacja i klimatyzacja
  - Philpsburg (Niemcy) i Oskarshamn (Szwecja) – lata 90-te XXw.
  - Ignalina II (Litwa), 2002-2005
  - OL3 (Finlandia), 2007-2013
  - Georges Besse II – zakład wzbogacania uranu (Francja), 2009-2011

EJ to nowy wyższy poziom wymagań technicznych

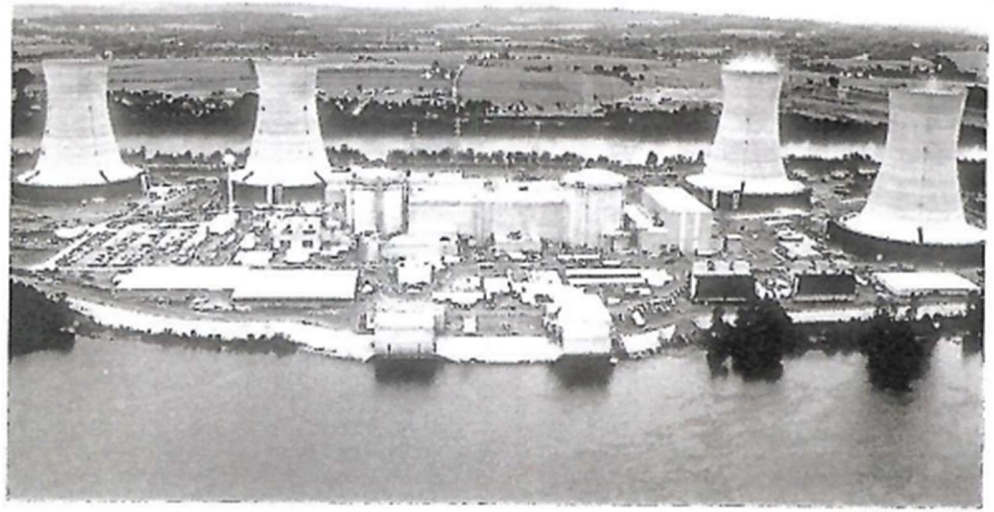
Montaż kopuły wykładziny stalowej obudowy bezpieczeństwa reaktora 3 bloku EJ Olkiluoto, wykonanej przez Energomotaż-Północ

EJ to nowy wyższy poziom wymagań technicznych

Roboty budowlane przy budynku maszynowni 3 bloku EJ Olkiluoto, prowadzone przez Polbau Opole

#1 – Three Mile Island (USA 1979)

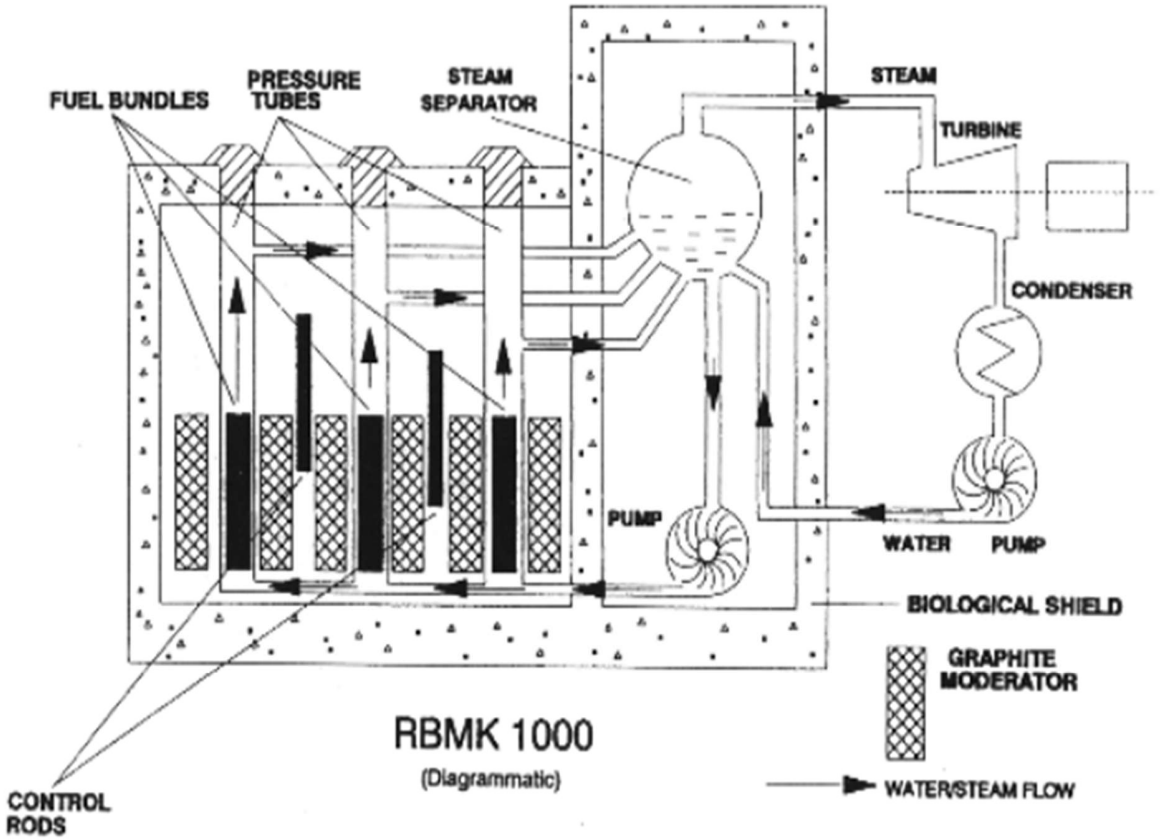
- Czynnik technologiczny i ludzki
  - Awaria pompy do wytwornicy pary
  - Niestety pompy rezerwowe nie pomogły, gdyż po remoncie zawory pozostały zamknięte
  - Wzrost ciśnienia i temperatury w reaktorze
  - Systemy bezpieczeństwa zadziałały prawidłowo otwierając zawór bezpieczeństwa
  - Niestety zawór ten nie został zamknięty (czego nie zarejestrowały urządzenia)
  - Znaczny ubytek wody doprowadził do częściowego stopienia rdzenia reaktora nr 2
  - Samozapłon wydzielającego się wodoru, zbiornik reaktora pozostał nienaruszony
  - Jedna osoba zmarła na zawał serca, nikt nie otrzymał dużej dawki promieniowania



#2 – Czarnobyl (Ukraina 1986)

- Czynnik ludzki
  - Przeprowadzano eksperyment polegający na sprawdzeniu możliwości przeciwdziałania skutkom nagłych przerw w dostawach prądu (także do pomp chłodzących reaktor)
  - W skutek różnych przyczyn (ludzkich) wystąpiły trudności w ustabilizowaniu mocy reaktora
  - Przy awaryjnym wyłączaniu reaktora, z powodu błędu konstrukcyjnego prętów bezpieczeństwa, doszło do niekontrolowanego wzrostu mocy reaktora i temperatury
  - Rozpad wody na wodór i tlen (mieszanka wybuchowa)
  - Seria wybuchów wodoru, a obecny w rdzeniu grafit zaczął się topić
  - Stopienie i całkowite odsłonięcie rdzenia reaktora

W Czarnobylskiej Elektrowni Atomowej pracowały 4 bloki (3 po 1000 MW_e i jeden 800 MW_e) z kanałowymi reaktorami wrzącymi, wodno-grafitowymi.



$T_0 = 284$ °C;

$p_0 = 70$ bar;

$G_0 = 5400$ t/h

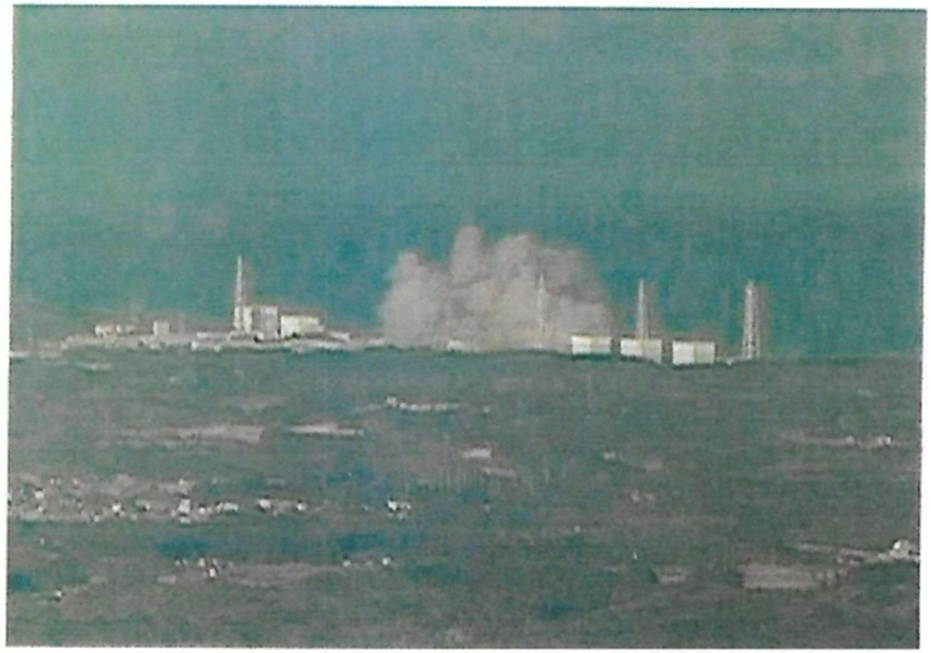
Reaktory typu RBMK charakteryzują się dużym dodatnim temperaturowym współczynnikiem reaktywności. Takich reaktorów w ogóle nie powinno się budować (a budowano je wyłącznie w dawnym ZSRR)! Pracuje ich obecnie 15, w Rosji, wyłączono 9 (4 czarnobylskie, 3 w Rosji i 2 na Litwie), zaniechano budowę 8 (2 czarnobylskie, 2 na Litwie i 4 w Rosji), Rosja postanowiła dokończyć budowę 1 w elektrowni pod Kurskiem...

W RBMK układ wyłączania awaryjnego działa stosunkowo powoli. Prędkość prętów wyłączeniowych wynosi 0,4 m/s, co oznacza, że ich zanurzenie do 2/3 rdzenia trwa ok. 12 s.

Bardzo duże wymiary rdzenia powodują dużą nierównomierność rozkładu mocy (i temperatury) oraz komplikują proces sterowania (centralny układ uzupełniony lokalnymi układami, duża liczba czujników itd.).

#3 – Fukuszima (Japonia 2011)

- Czynnik naturalny i ludzki
  - Trzęsienie ziemi i gigantyczne tsunami - prawidłowe wyłączenie reaktora
  - Godzinę później fala zmyła generatory diesla i paliwo
  - Bez zasilania nie działały pompy odprowadzające ciepło powyłączeniowe, czego efektem było przegrzanie się rdzenia i jego częściowe stopienie
  - W wysokiej temperaturze zaczął wydzielać się wodór, który (wraz z parą wodną) został wypuszczony ze zbiornika reaktora przez zawór bezpieczeństwa
  - Eksplozja wodoru w górnych pomieszczeniach hali – zbiornik reaktora nienaruszony
  - Była to elektrownia II generacji, bez pasywnych systemów bezpieczeństwa



Tłumy na plaży obok EJ Vandellos w Hiszpanii

12. KONWENCJA RYNKU ELEKTROTECHNICZNEGO

Związek Pracodawców Dystrybucji Elektrotechniki SHE

SPONSOR GŁÓWNY

LEDVANCE

Allianz

Allianz Trade

ETI

ETIM Polska

GEWISS

KONTAKT simon

TFKable & IPR

Schneider Electric

Weidmüller