
Współpraca elektrowni jądrowej z systemem elektroenergetycznym

Robert Paprocki

Pełnomocnik Zarządu PSE ds. integracji elektrowni jądrowych

XI Międzynarodowa Szkoła Energetyki Jądrowej, Warszawa, 16.05.2023 r.

www.pse.pl

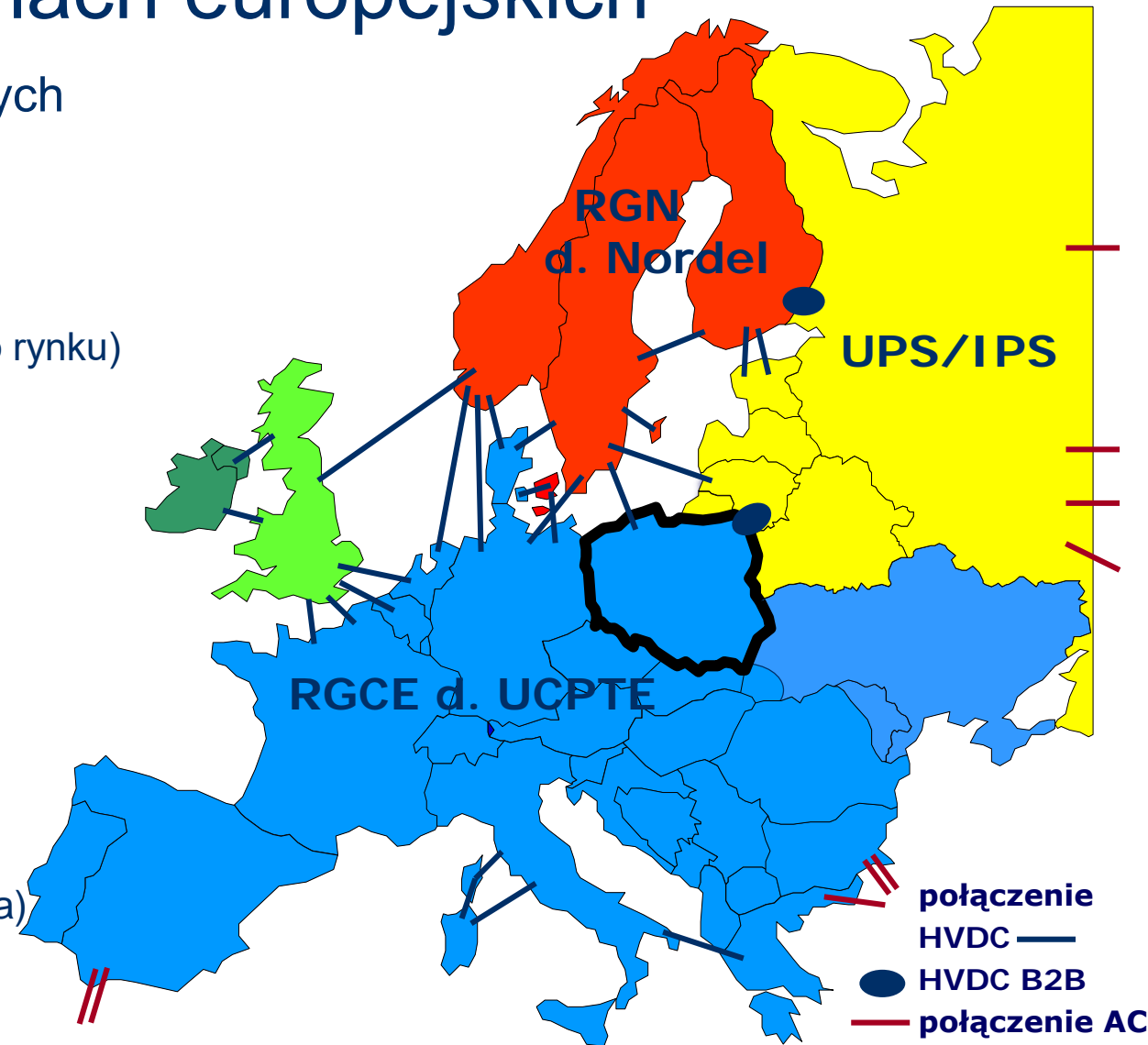
I Plan prezentacji / podsumowanie

- ⇒ Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE)
 - ⇒ Z punktu widzenia integracji elektrowni jądrowych (EJ)
- ⇒ Elektrownie jądrowe z punktu widzenia systemu funkcjonują podobnie do elektrowni konwencjonalnych:
 - ⇒ Część konwencjonalna (turbina parowa, generator, transformator blokowy) podobna
 - ⇒ Różnica: źródło pary wodnej – reaktor vs kocioł (el. węglowe) / komora spalania (el. gazowe)
- ⇒ Specyfika elektrowni jądrowych:
 - ⇒ Bezpieczeństwo jądrowe – normalna eksploatacja, stany awaryjne (ciepło powyłączeniowe)
 - ⇒ Wielkość pojedynczej jednostki wytwórczej (JW)

Prezentowane opinie/poglądy niekoniecznie odzwierciedlają stanowisko PSE

KSE w połączonych systemach europejskich

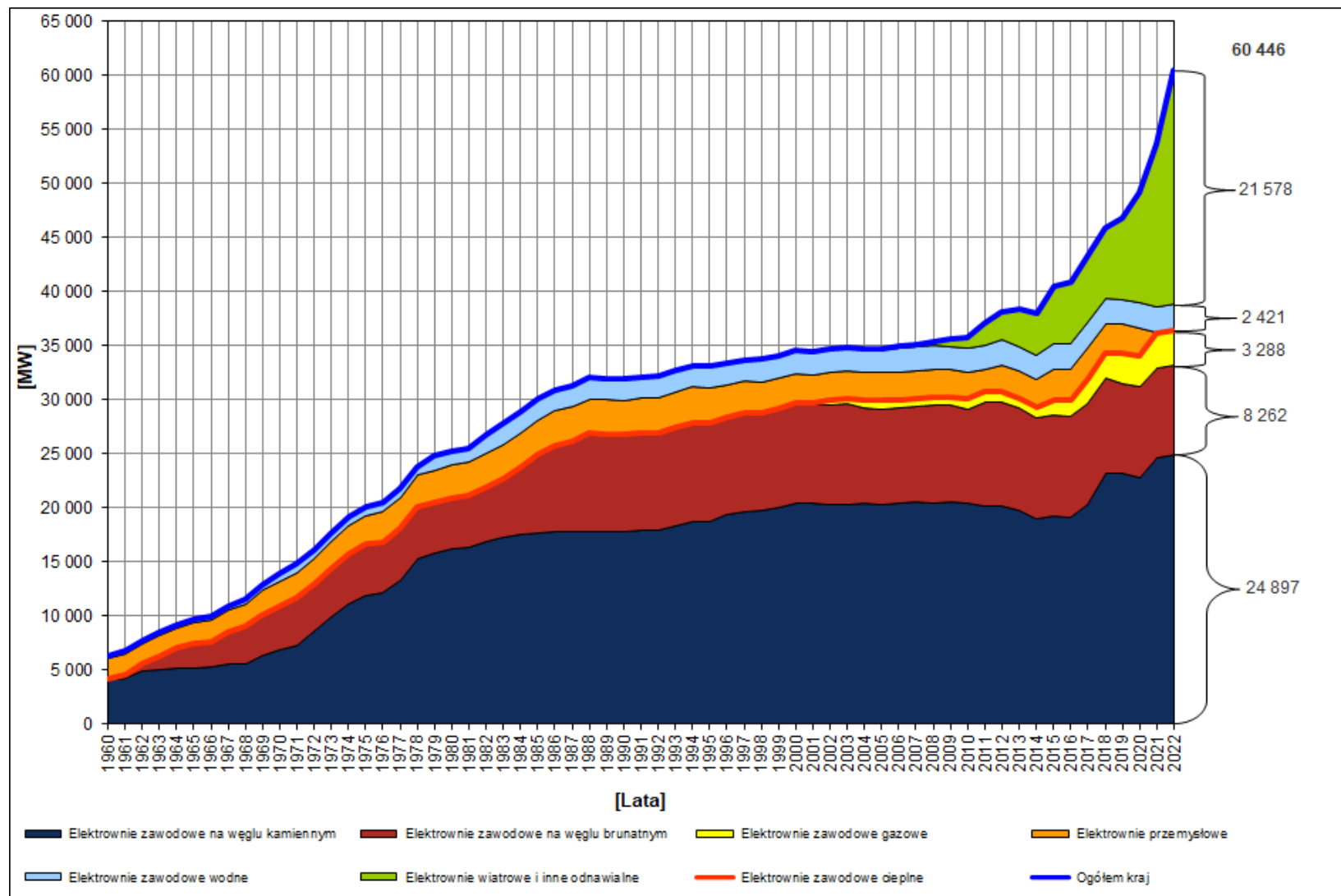
- ⇒ Krajowe systemy łączone ze sobą od lat 50tych XX wieku w tzw. obszary synchroniczne:
 - ⇒ Pierwotny cel: zwiększenie bezpieczeństwa pracy (wzajemna pomoc i wykorzystanie rezerw)
 - ⇒ Następnie także dla wymiany handlowej (zintensyfikowanej po wdrożeniu paneuropejskiego rynku)
- ⇒ Koordynacja współpracy w obszarach:
 - ⇒ Woluntarne organizacje UCPTÉ, Nordel
 - ⇒ Od 2009 w ramach ENTSOE (RGCE, RGN)
- ⇒ KSE stanowi ca 5% RGCE (od 1995 roku):
 - ⇒ Zapotrzebowanie szczytowe: 27 GW*
 - ⇒ Moc zainstalowana źródeł: 60 GW
 - ⇒ Roczne zużycie: 173 TWh
- ⇒ Największe jednostki wytwórcze:
 - ⇒ RGCE: 1500 MW (N4, FR) x2 (incydent odniesienia)
 - ⇒ RGN: 1600 MW (EPR, FI) – 300 MW SPS



* Dane statystyczne z roku 2022

Struktura wytwarzania w KSE

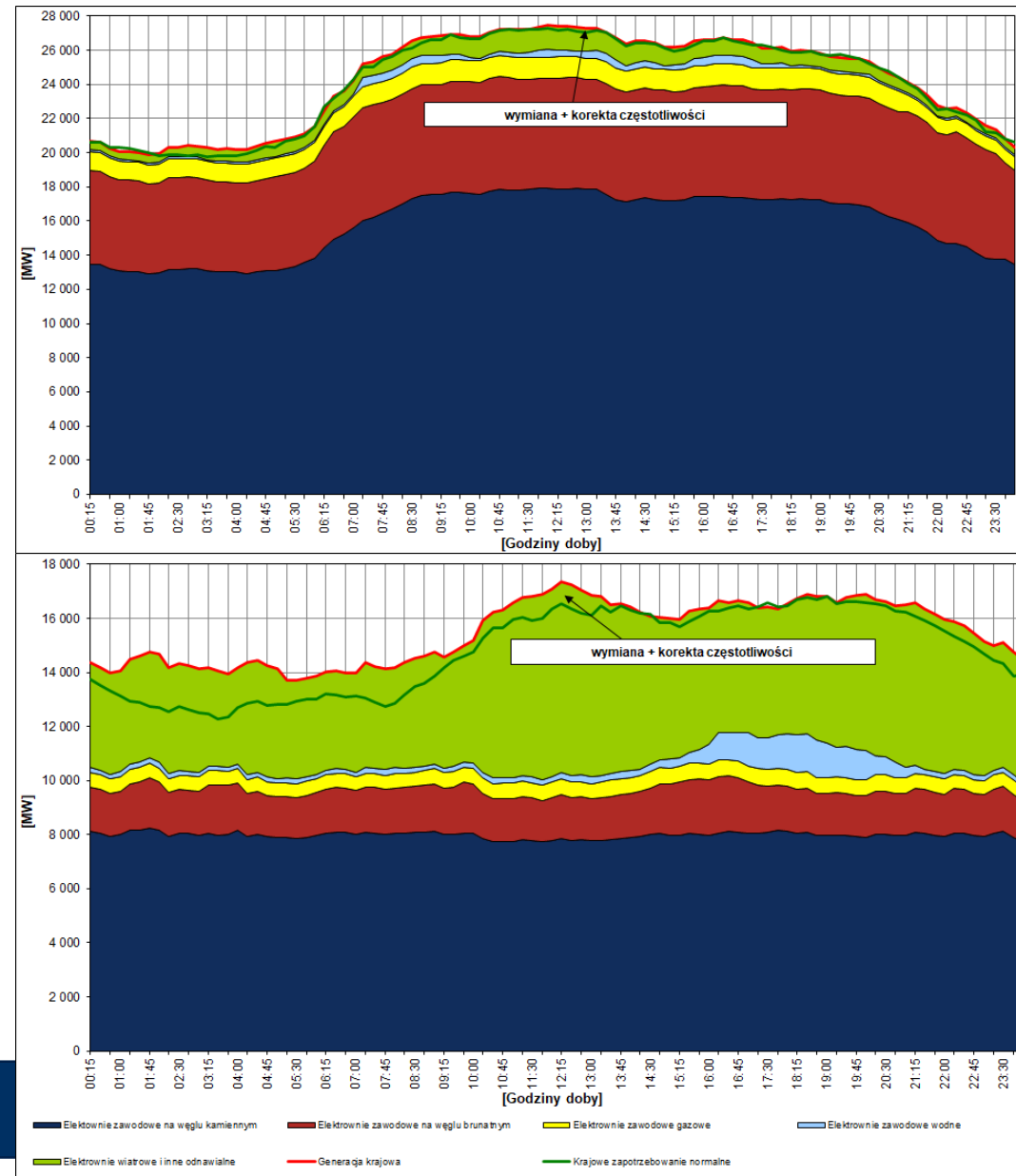
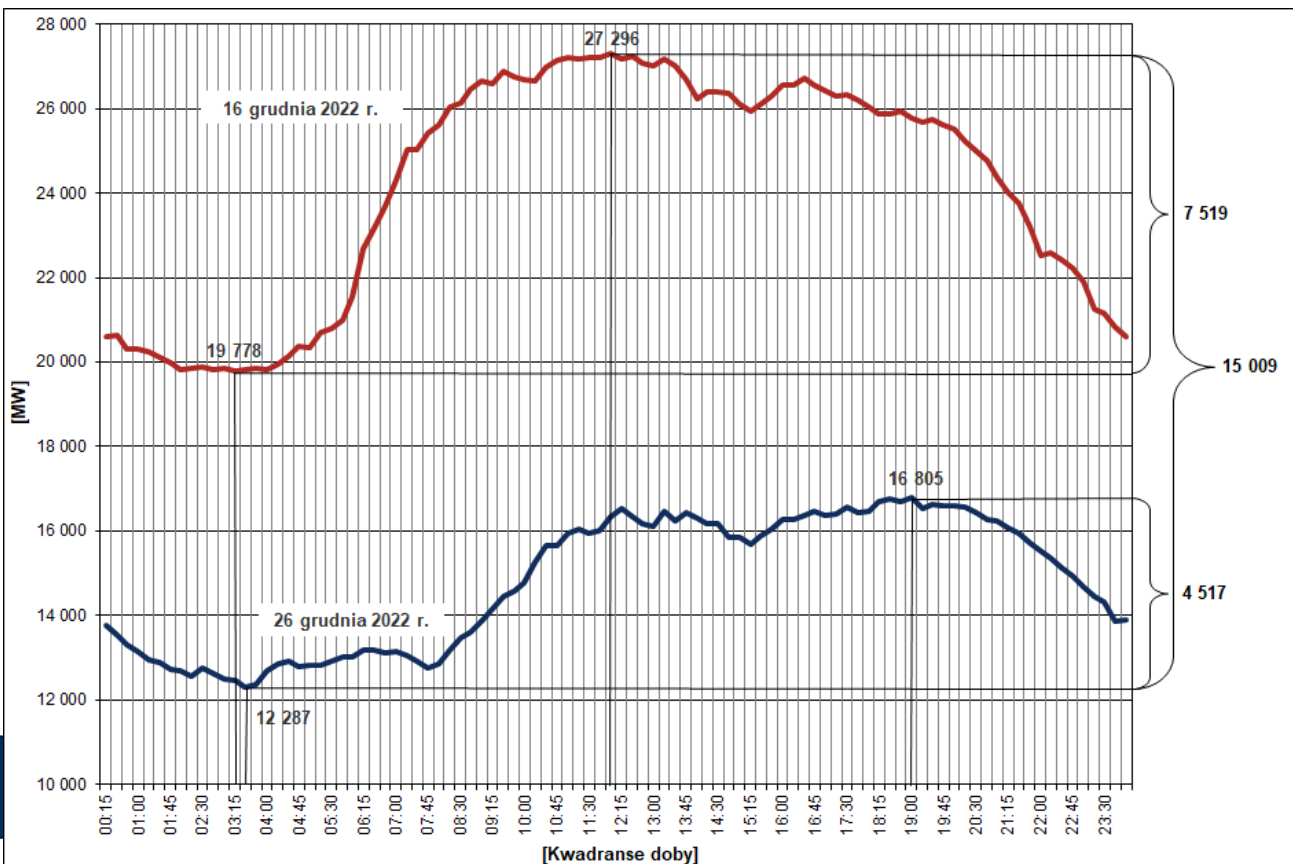
- ⊕ Historycznie monokultura węglowa
- ⊕ Od ponad dekady intensywny rozwój źródeł odnawialnych, głównie niesterowalnych (wiatr – FW, fotowoltaika – PV)
- ⊕ EJ mają zastąpić w przyszłej dekadzie wycofywane źródła węglowe pracujące w podstawie obciążenia



Przykładowe dobowe przebiegi zapotrzebowania i sposób ich pokrycia

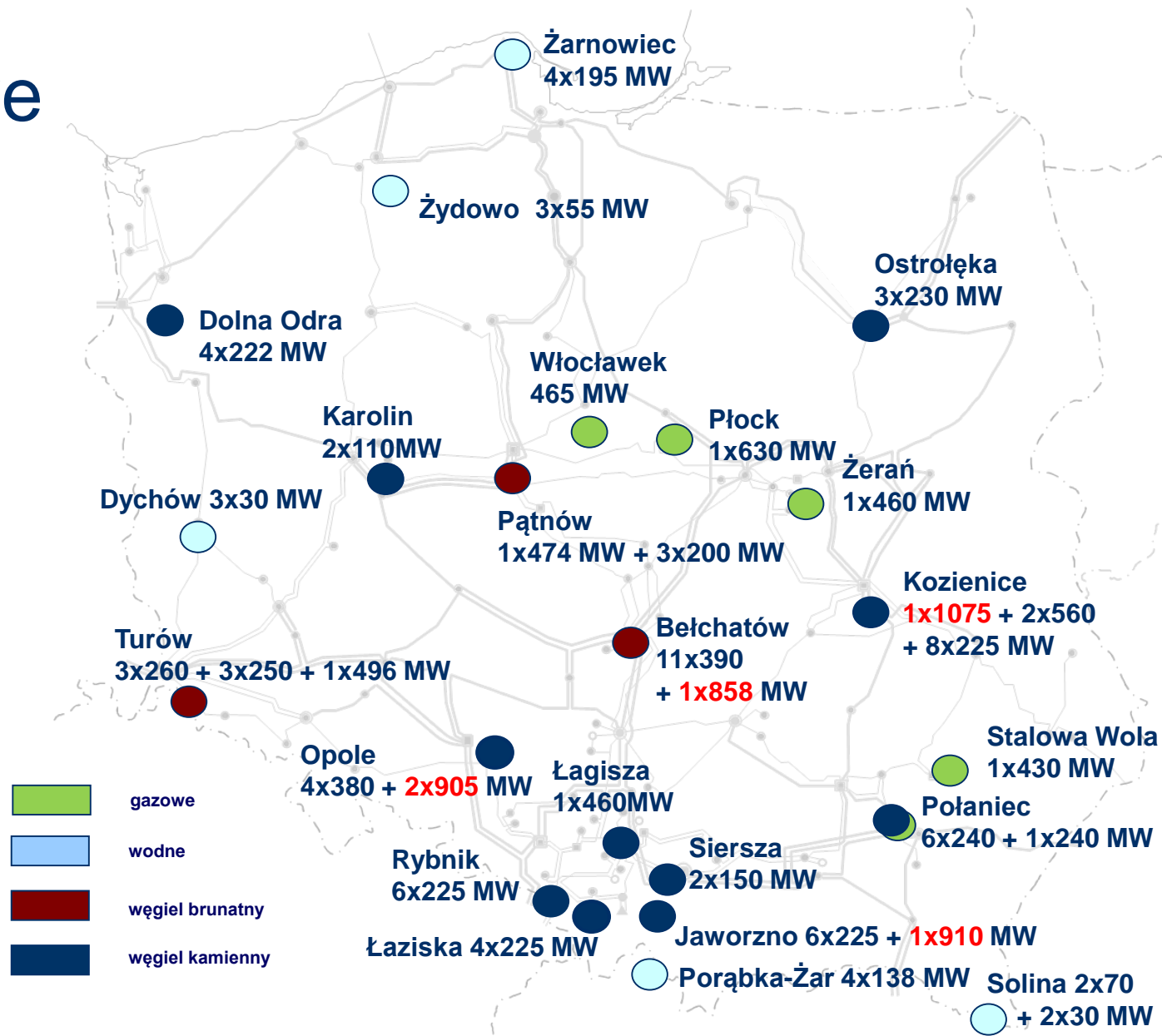
➔ Max i min z roku 2022

- ➔ 16.12: „tradycyjny” dzień zimowy, wysokie zapotrzebowanie, niska generacja FW, minimalne rezerwy dodatnie
- ➔ 26.12: niskie świąteczne zapotrzebowanie, wysoka generacja FW, brak rezerw ujemnych, awaryjny eksport (do 600 MW), ograniczanie FW (do 800 MW)



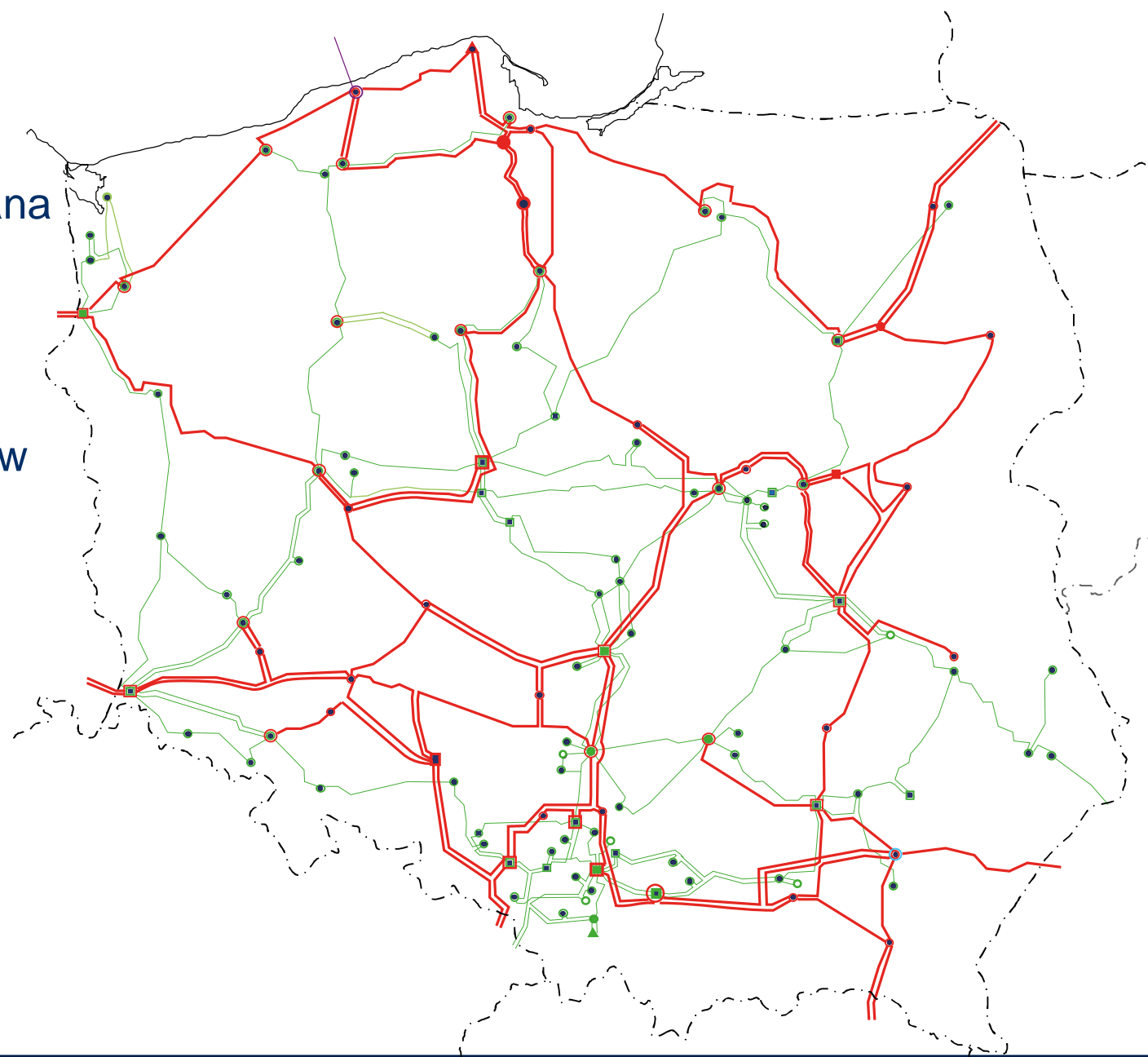
| Elektrownie systemowe

- ⌚ Źródła wiatrowe zlokalizowane głównie na północy kraju
- ⌚ PV rozłożone w miarę równomiernie w całym kraju (podstawowo SN/nn)
- ⌚ Kilka nowych bloków węglowych o mocy **ca 1 GW** uruchomionych w ostatniej dekadzie :
 - ⌚ Integracja z KSE bez większych trudności
 - ⌚ vs istotne zmiany w procesach planowania operacyjnego wymagała integracja FW / PV
- ⌚ Dwie istniejące elektrownie o łącznej mocy ponad 4 GW
- ⌚ Pierwsza EJ zlokalizowana na północy z uwagi na deficyt źródeł sterowalnych w tym obszarze



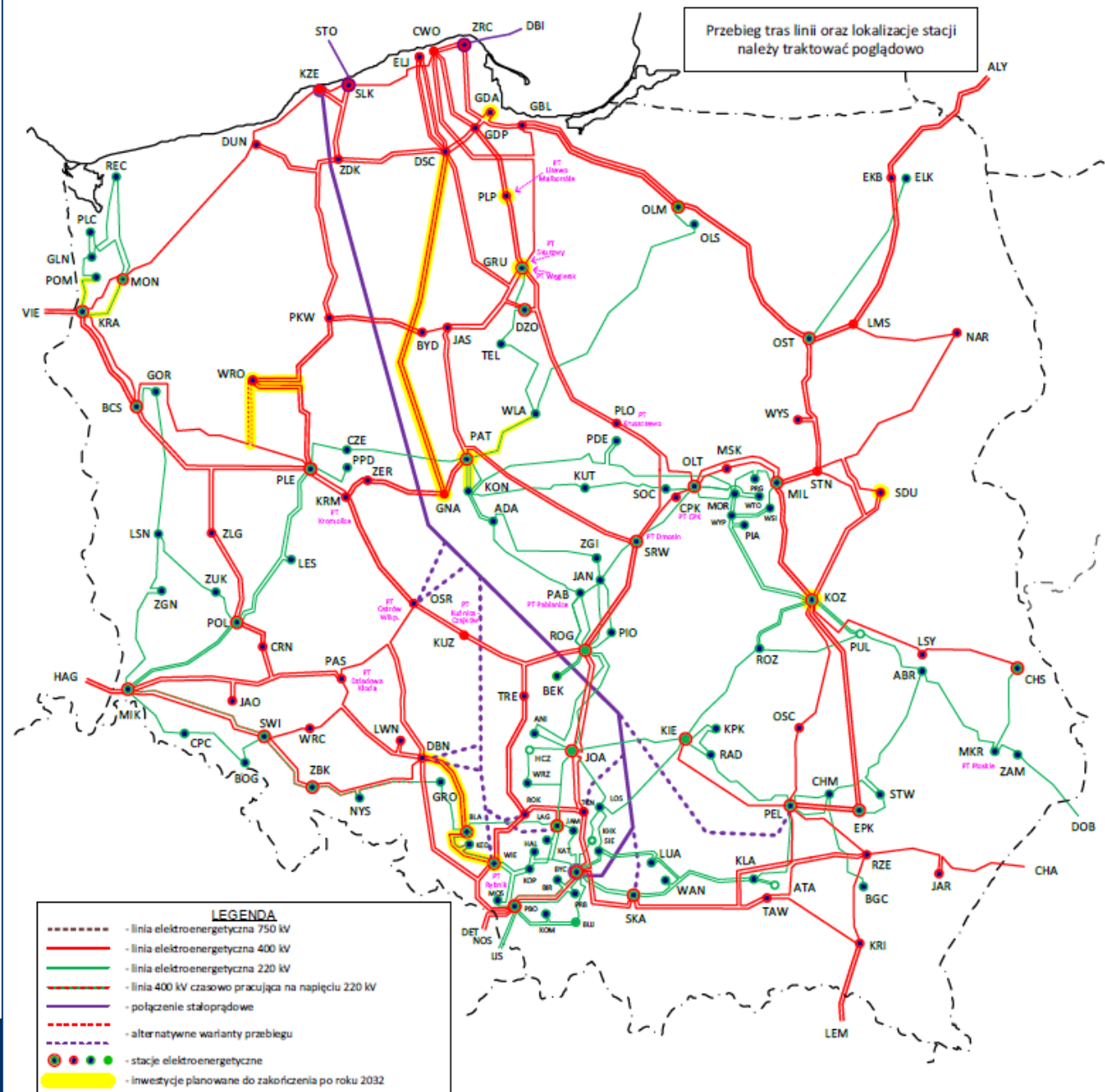
| Sieć przesyłowa

- ⇒ Sieć 400 kV i 220 kV, historycznie zbudowana do przesyłów z południa na północ
- ⇒ Tradycyjne przesyły z południa na północ zmieniają kierunek w dni wietrzne
- ⇒ W ostatnich latach intensywny rozwój sieci w północnej części KSE (FW on shore, połączenia z LT i SE)
- ⇒ Coraz większa zmienność tranzytów przez sieć PL (tradycyjnie zachód – południe),
- ⇒ Generalnie coraz większa zmienność rozptyłów w skali kontynentu (wielkości i kierunki):
 - ⇒ Wdrożenie mechanizmów rynkowych w UE
 - ⇒ Integracja źródeł niesterowalnych na dużą skalę



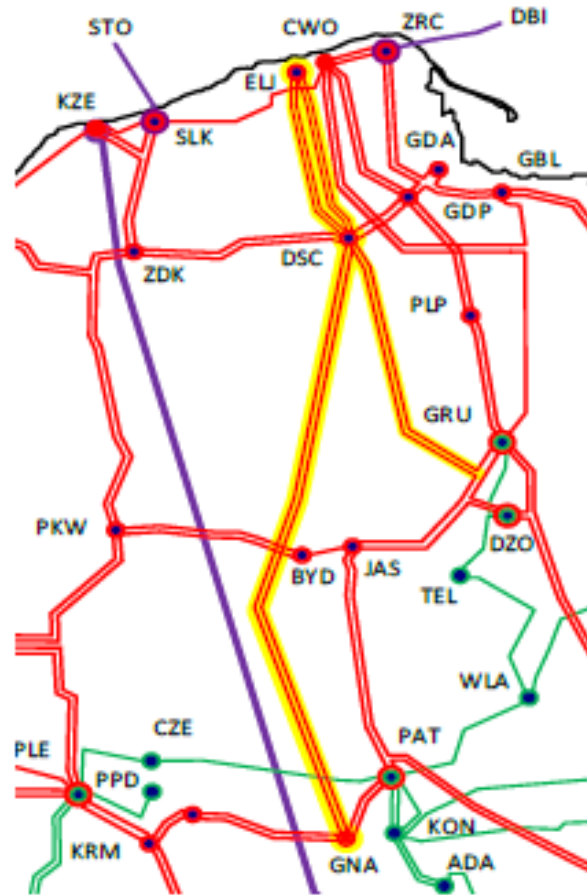
Plany rozwoju

- ⌚ Plan rozwoju sieci przesyłowej (PRSP) - ostatnia aktualizacja z listopada 2022 w perspektywie do roku 2032
- ⌚ Założenia rozwoju źródeł niesterowalnych:
 - ⌚ 20 GW PV
 - ⌚ 14 GW wiatr on shore
 - ⌚ 11 GW wiatr off shore
- ⌚ cd intensywnego rozwoju zdolności przesyłowych z północy na południe KSE
- ⌚ Układ wyprowadzenia mocy dla pierwszej EJ w lokalizacji Lubiatowo (do trzech bloków o mocy rzędu 1 GW, w sumie max 4 GW),
- ⌚ Kolejne EJ: preferowane lokalizacje w miejsce odstawianych dużych elektrowni węglowych (istniejąca infrastruktura sieciowa)



PRSP 2032: układ wyprowadzenia mocy z EJ1

Rys. 8-1 Inwestycje sieciowe dedykowane przyłączeniu i wyprowadzeniu mocy z elektrowni jądrowej



- ELJ – nowa stacja 400/110 kV stanowiąca miejsce przyłączenia bloków elektrowni jądrowej
- DSC – nowa stacja 400/110 kV na zachód od Trójmiasta
- GNA – nowa stacja 400/110 kV w rejonie Konina

I Analizy systemowe dla nowych jednostek wytwórczych

⇒ Kryterium n-1:

- ⇒ Po wyłączeniu pojedynczego elementu KSE parametry na pozostałych w dopuszczalnych granicach
- ⇒ W ciągu 15 minut należy doprowadzić do ponownego spełniania kryterium n-1

⇒ Rozpływy mocy:

- ⇒ Zapewnienie dopuszczalnych obciążeń elementów KSE
- ⇒ Zapewnienie właściwego profilu napięciowego KSE (min – max)

⇒ Stabilność napięciowa – odpowiednie zasoby mocy biernej

⇒ Stabilność przejściowa przy dużych zakłóceniach – brak utraty synchronizmu

⇒ Analiza zwarciova – brak zagrożeń dla wytrzymałości zwarciovej aparatury

⇒ Stabilność kątova dla małych zakłóceń – brak zagrożeń kołysaniami mocy

⇒ Stabilność częstotliwościowa – odpowiednie zasoby inercji

⇒ Analizy dla EJ podobne jak dla innych konwencjonalnych jednostek wytwórczych:

- ⇒ Podstawowe wymagania jednakowe dla wszystkich jednostek wytwórczych (EU RfG NC, PL IRiESP)

I Specyfika EJ – zasilanie potrzeb własnych

- ⇒ Istotne z uwagi na konieczność odprowadzenia ciepła powyłaczeniowego:
 - ⇒ Scenariusze braku zasilania mają znaczący wpływ na prawdopodobieństwo wystąpienia awarii ciężkiej
- ⇒ Redundancja zasilania potrzeb własnych EJ:
 - ⇒ Podstawowo z transformatora potrzeb własnych bloku
 - ⇒ Rezerwowo z co najmniej jednego transformatora rezerwowego przyłączonego do systemu niezależnie od układu wyprowadzenia mocy (preferowany inny poziom napięcia lub inna stacja)
 - ⇒ W przypadku utraty połączenia z systemem próba pracy na potrzeby własne
 - ⇒ W przypadku niepowodzenia krytyczne systemy bezpieczeństwa EJ zasilane z pozostających w ciągłej rezerwie redundantnych generatorów Diesla / turbin gazowych i baterii akumulatorów
- ⇒ W przypadku rozległego blackoutu EJ ma priorytet w przywróceniu zasilania:
 - ⇒ Dedykowany scenariusz odbudowy: uruchomienie EJ ze źródła posiadającego funkcję samostartu
- ⇒ Inne powiązane aspekty:
 - ⇒ Układ stacji przyelektrownianej (utrzymanie wymaganej redundancji)
 - ⇒ Bezpieczeństwo fizyczne stacji przyelektrownianej i linii blokowych / zasilania rezerwowego
 - ⇒ Cyberbezpieczeństwo / redundancja komunikacji OSP – EJ

I Cechy EJ z systemowego punktu widzenia

- ⊗ Źródło sterowalne o wysokim współczynniku dyspozycyjności (>90%)
- ⊗ Duża przewidywalność harmonogramu pracy:
 - ⊗ Planowe postoje (wymiana paliwa) znane z kilkuletnim wyprzedzeniem
 - ⊗ Długie kampanie paliwowe (ponad rok), możliwość zgromadzenia paliwa w elektrowni na kilka lat
 - ⊗ 60 letni okres eksploatacji, z opcją przedłużenia co najmniej o kolejne 20
- ⊗ Możliwe nadążanie za obciążeniem:
 - ⊗ Minima techniczne i gradienty zmian obciążeń porównywalne z blokami węglowymi
 - ⊗ Dłuższe czasy uruchomienia i minimalne czasy odstawienia
- ⊗ Struktura kosztów uzasadnia prace w podstawie obciążenia
- ⊗ Źródło znaczących ilości inercji, mocy zwarciowej i mocy biernej:
 - ⊗ „produkt uboczny” wytwarzania energii elektrycznej
 - ⊗ Istotne w systemach o dużym nasyceniu energoelektroniki (FW, PV, HVDC)
- ⊗ Stymulacja rozwoju technologicznego, kultura bezpieczeństwa

- ⊗ Elektrownie jądrowe są przyjazne dla systemów elektroenergetycznych

Dziękuję za uwagę

robert.paprocki@pse.pl