

■ **Wacław Gudowski, Katarzyna Kalend,**  
ORLEN Synthos Green Energy

# SMR - mały atom BWRX-300

## Dla polskiej transformacji energetycznej

Synthos Green Energy i ORLEN powołały spółkę typu „joint venture” - ORLEN Synthos Green Energy (OSGE) w celu wdrożenia technologii BWRX-300 oraz rozwoju innych zeroemisyjnych źródeł energii w Polsce i w Europie Centralnej. Reaktor BWRX-300 został zaprojektowany przez amerykańsko-japońską firmę GE-Hitachi Nuclear Energy - wiodącego w świecie dostawcę technologii reaktorów wrzących - BWR.

ORLEN jest zintegrowanym koncernem multienergetycznym, prowadzącym działalność w Europie Środkowej i Kanadzie. Zapewnia energię i paliwa dla ponad 100 mln Europejczyków. Synthos Green Energy (SGE) to spółka, której celem jest przeprowadzenie i wsparcie transformacji energetycznej w Polsce i w krajach Europy Centralnej. SGE wypracowało podstawy strategicznego partnerstwa z GE-Hitachi Nuclear Energy i w następnym etapie rozszerzyło tę współpracę na spółkę OSGE. Głównym celem OSGE jest wdrożenie najlepszych technologii SMR-ów w ramach strategii racjonalnej transformacji energetycznej uwolnienia się od paliw kopalnych i osiągnięcia w planowanym czasie założenia programu „net-0” [1].

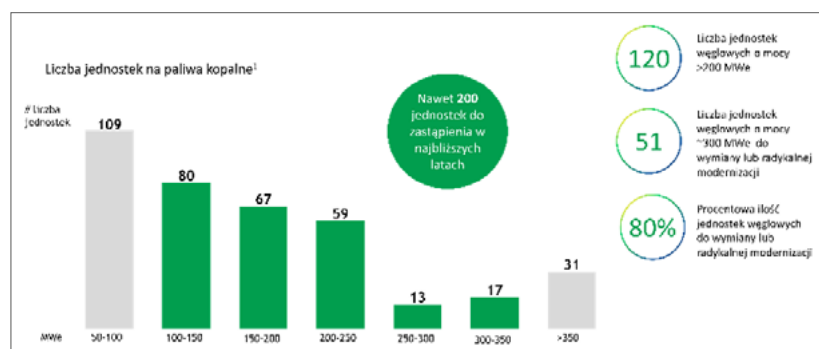
Zgodnie z Polityką Energetyczną Polski do 2040 r. - PEP2040 [2] oraz ogólną strategią Unii Europejskiej, Polskę czeka radykalna transformacja systemu energetycznego. Społecznie akceptowalna transformacja energetyczna musi zapewnić krajowi stabilne dostawy niedrogiej, przystępnej cenowo energii elektrycznej i ciepła. Jest to niewątpliwie koniecznym warunkiem harmonijnego

rozwoju kraju, zadowalającego komfortu życia ludności przy jednoczesnym zwiększeniu konkurencyjności polskiego przemysłu. Transformacja energetyczna musi także zapewnić Polsce bezpieczeństwo energetyczne i niezależność od niepewnych, często upolitycznionych zagranicznych dostaw paliw kopalnych. Ponadto stabilność sieci energetycznej gwarantująca niezaburzone dostawy energii do klientów i podmiotów gospodarczych wymaga optymalnego bezemisyjnego miksu źródeł energii. SMR BWRX-300 i/lub inne jądrowe źródła energii są

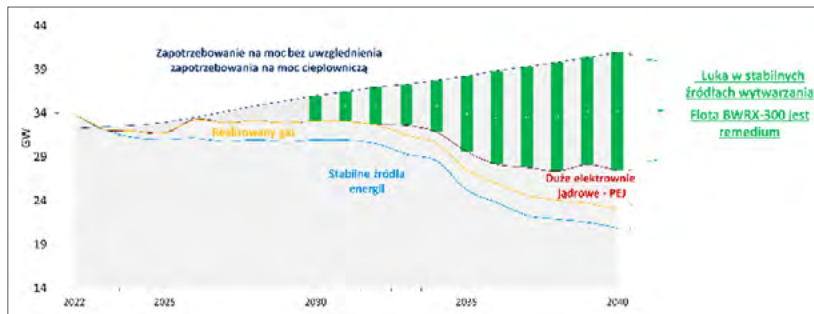
jedynymi bezemisyjnymi, w pełni sterowanymi źródłami!

### Potrzeba radykalnej i szybkiej modernizacji polskiego systemu energetycznego

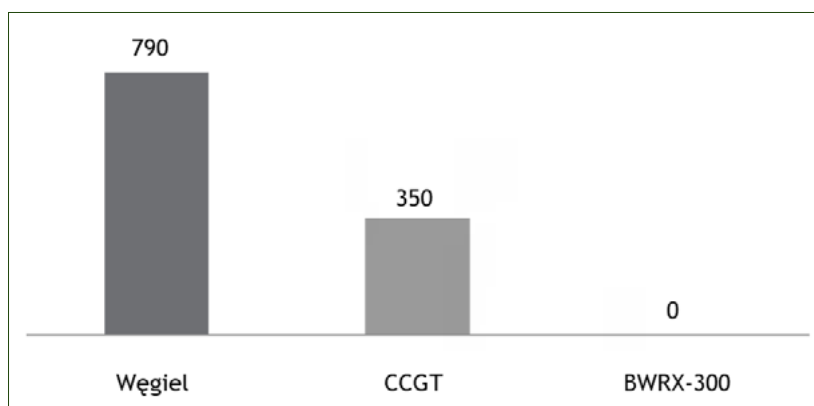
Polski system energetyczny zdominowany jest obecnie przez w większości starzejące się elektrownie i elektrociepłownie węglowe. Wiele jednostek <350 MWe ma kluczowe znaczenie dla zaopatrzenia obywateli i przemysłu



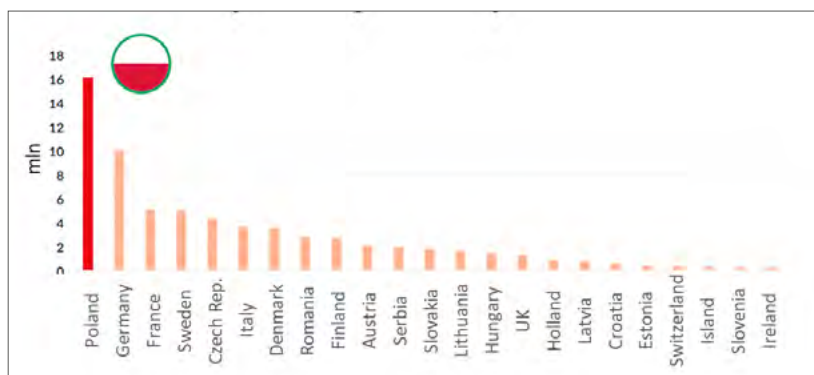
**Rys. 1.** Liczba jednostek energetycznych w Polsce opartych na paliwach kopalnych. Podział pod względem mocy wyjściowej (MWe); tylko +50 MW, ok. 80% jednostek na paliwa kopalne jest zasilanych węglem [3]



**Rys. 2.** Przewidywana 14 GW luka podażowa na moc elektryczną w Polsce w latach 2040 [2]



**Rys. 3.** Współczynnik emisji dwutlenku węgla dla różnych źródeł energii [tCO<sub>2</sub>/GWh]



**Rys. 4.** Ilość mieszkańców w poszczególnych krajach Europy podłączonych do centralnych sieci ciepłowniczych [4]

w energię elektryczną i ciepło. SMR-y, zwłaszcza BWRX-300, mogą efektywnie zastąpić jednostki o mocy 100-350 MW oparte na paliwach kopalnych (rys. 1), zapewniające stabilne zaopatrzenie w prąd elektryczny lub/i w ciepło.

Polski system energetyczny musi być radykalnie zmodernizowany prze-

chodząc przez konieczną transformację z systemu opartego na paliwach kopalnych na system oparty o źródła bezemisyjne. Dotychczasowe aktywa węglowe osiągają już, a w niektórych przypadkach radykalnie przekraczają nominalny czas eksploatacji i nie spełniają także norm środowiskowych, takich jak limity emi-

sji zarówno gazów cieplarnianych, jak i pyłów PM2.5 i PM10. Zgodnie z planem PEP2040 [2] do 2040 r. dominacja węgla i innych paliw kopalnych zostanie zmarginalizowana (rys. 2). Rozwój odnawialnych źródeł energii nie zapełni luki podażowej na stabilne źródła wytwarzania energii.

Wdrożenie reaktorów BWRX-300 w ramach strategii zamiany bloków węglowych na jądrowe (coal2nuclear) umożliwi również radykalne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery (rys. 3), a w konsekwencji zmniejszenie kosztów uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> oraz poprawi dostępność mocy jednostek do 93%.

BWRX-300 to także dobre rozwiązanie dla transformacji rynku ciepłowniczego. Do sieci ciepłowniczych podłączonych jest w Polsce ponad 16 mln mieszkańców (rys. 4), a Warszawa posiada największą w Europie scentralizowaną sieć ciepłowniczą.

Koncesjonowani wytwórcy ciepła w Polsce - 399 podmiotów - posiadają 55 200 MW mocy zainstalowanej, przy czym na rynku dominuje 11 spółek generujących 33% wolumenu. Około 50% jednostek ma moc >100 MW. Ponad 72% ciepła wytwarzają jednostki opalane węglem (rys. 5). Obiekty ciepłownicze w Polsce osiągają w większości przypadków granice swojego czasu bezpiecznej eksploatacji, starzeją się i wymagają wymiany na jednostki bezemisyjne.

W nadchodzących latach sektor ciepłowniczy wymagał będzie bardzo głębokiej transformacji. Przy obecnych ograniczeniach politycznych i przy naszych ambicjach środowiskowych gaz jako źródło energii jest złym rozwiązaniem, zaś duże elektrownie jądrowe ze względu na swoją scentralizowaną lokalizację nie będą w stanie zaspokoić zapotrzebowania na ciepło w polskich miastach. Poza tym, konstrukcja dużego atomu jest z różnych powodów, głównie ekonomicznych, ukierunkowana na produkcję energii elektrycznej. Natomiast technologia i konstrukcja reaktora BWRX-300 umożliwi wykorzystanie

ciepła w reżymie kogeneracji i wsparcie dekarbonizacji wielu sektorów przemysłu w Polsce (rys. 6).

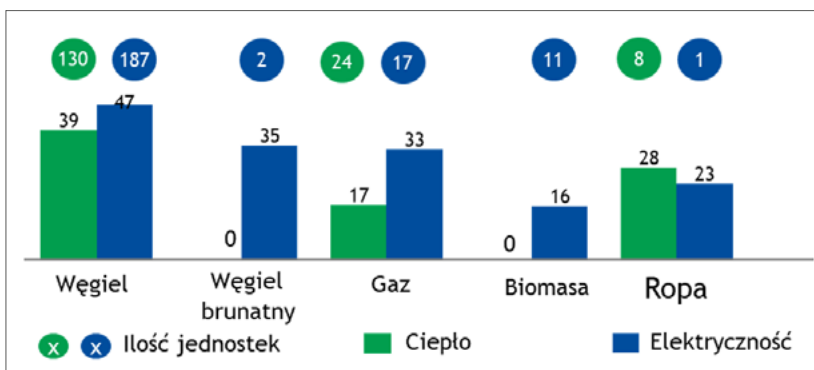
Parametry pary z BWRX-300 pozwalają na jej bezpośrednie wykorzystanie w ciepłownictwie i niektórych procesach przemysłowych, takich jak rafinacja ropy naftowej lub produkcja celulozy i papieru (rys. 7).

### Technologia BWRX-300

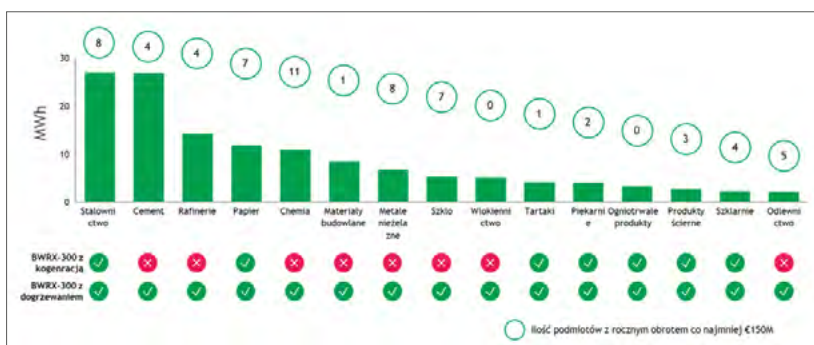
BWRX-300 należy do najnowszej generacji reaktorów zwanych Małymi Reaktorami Modułowymi - SMR (rys. 8). W ciągu najbliższych 10 lat małe reaktory modułowe zmieniają sposób, w jaki myślimy o niezawodnej, bezemisyjnej i przystępnej energetyce jądrowej. SMR mają nie więcej niż jedną trzecią wielkości typowego reaktora konwencjonalnego tzw. „wielkiej energetyki jądrowej/dużego atomu”. Charakteryzują się bardzo wysokim stopniem bezpieczeństwa i znacznie łatwiejszym procesem budowy dzięki modułowej konstrukcji. Dzięki temu SMR-y mogą być lokalizowane w pobliżu odbiorców energii elektrycznej, a przede wszystkim - ciepła, co sprawia, że energia jądrowa jest łatwiej dostępna i dopasowywalna do wymagań odbiorcy. Odległość od odbiorcy jest szczególnie ważna przy dystrybucji energii cieplnej.

Kluczowe zalety małych reaktorów modułowych - SMR - można tak podsumować:

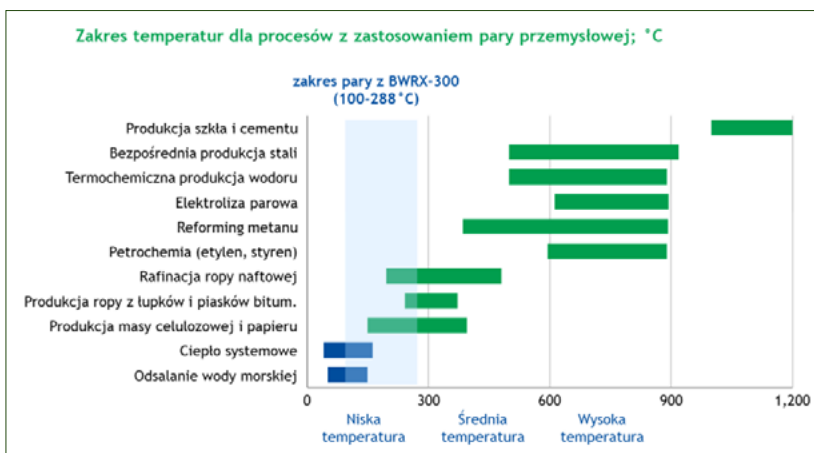
- **SMR wymagają mniej czasu na przygotowanie do budowy.** Większość komponentów SMR-ów będzie produkowana fabrycznie i wysyłana gotowa do złożenia w lokalizacji budowy. Dzięki dobrze zaprojektowanej, „taśmowej” produkcji w fabrykach, uproszczonej fazie budowy SMR-y mogą być znacznie tańsze niż tradycyjne duże projekty jądrowe, zmniejszając znacznie początkowe koszty kapitałowe. Rezultat: znaczne zmniejszenie prognozy kapitałowego - CAPEX.



Rys. 5. Średni wiek w latach jednostek ciepłowniczych w Polsce



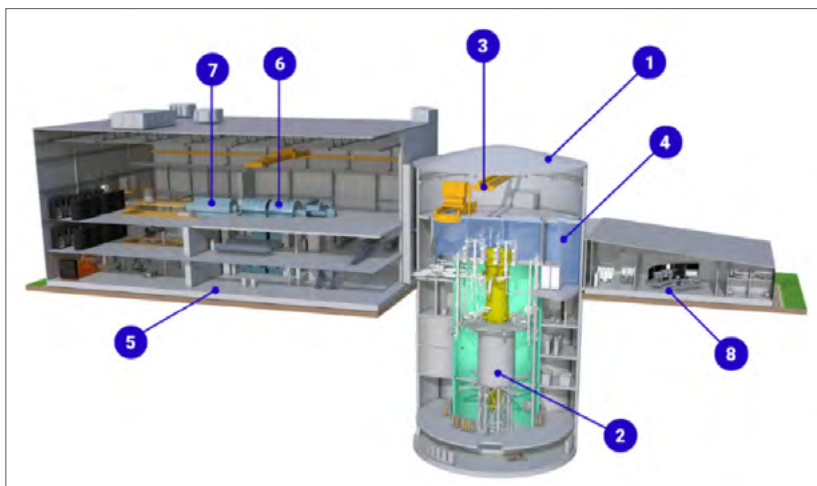
Rys. 6. Energia w MWh zużytkowana na tysiąc EUR wartości dodanej w cenach roku, 2015 [5]. Możliwości zastosowania BWRX-300 w poszczególnych sektorach przemysłowych



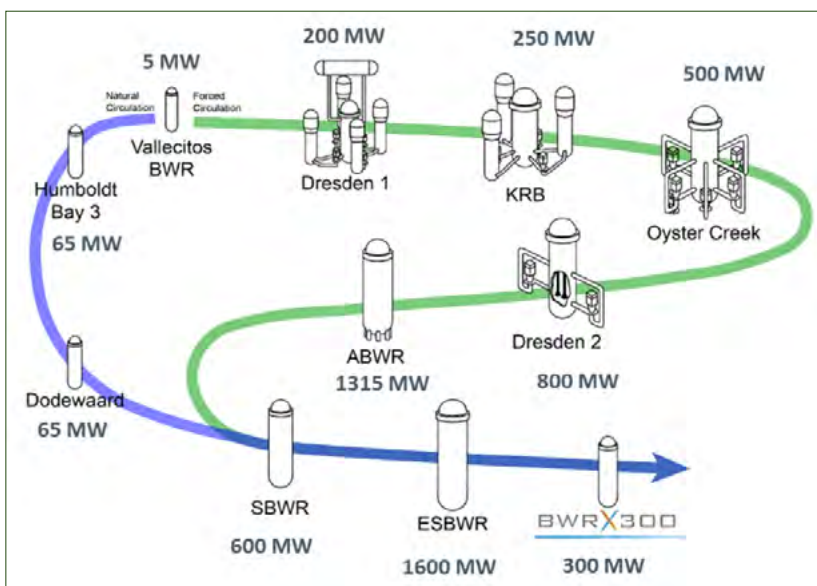
Rys. 7. Zakres temperatur dla procesów z zastosowaniem pary przemysłowej [°C]

- **Stwarzają więcej opcji lokalizacyjnych.** SMR-y dzięki swojej prostej i zwartej konstrukcji oraz dzięki możliwości kogeneracji oferują konsumentom energii więcej możliwości efektywnego wykorzystania

energii jądrowej. SMR-y można lokalizować w miejscach niedostępnych dla dużych reaktorów, w lokalizacjach z niezbyt wielką liczbą odbiorców, czy to ciepła, czy elektryczności, jak również w locali-



**Rys. 8.** Podstawowe elementy reaktora: 1 - budynek reaktora, 2 - zbiornik reaktora, 3 - dźwig reaktora, 4 - basen wypalonego paliwa, 5 - budynek turbiny, 6 - turbina, 7 - generator, 8 - sterownia [6]



**Rys. 9.** 60 lat rozwoju reaktorów wrzących BWR firmy GE i GE Hitachi

zaczajach z ograniczonym zaopatrzeniem w wodę.

- **SMR są dopasowywalne do potrzeb odbiorcy i gwarantują długi czas eksploatacji.** SMR-y są „dopasowywalne/elastyczne” w swojej oryginalnej koncepcji. Można je skalować „mocowo” w górę lub w dół, tak aby sprostać zapotrzebowaniu na energię. Jedną z najważniejszych zalet SMR-ów

typu BWRX-300 jest potencjał do wymiany lub modernizacji wycofywanych z eksploatacji elektrowni/elektrociepłowni węglowych. BWRX-300 umożliwia również radykalne uniezależnienie się od gazu, (gaz traktowany był jako pierwszy etap i pierwszy wybór w programie transformacji energetycznej przed inwazją Rosji na Ukrainę). Gaz jako paliwo przejści-

we nie jest już akceptowalną opcją. BWRX-300 taką opcją jest nie tylko jako etap przejściowy, ale jako ETAP KOŃCOWY. Projektowany okres eksploatacji BWRX-300 to 60 lat z możliwością przedłużenia do 80-90 lat.

- **BWRX-300 stwarza nowe możliwości biznesowe i stymuluje rozwój.** Analiza wartości dodanej brutto pozwoliła określić wkład w proces produkcji dóbr i usług w polskiej gospodarce. Faza inwestycyjna wraz z 60-letnim okresem działalności operacyjnej reaktora BWRX-300 może wygenerować ponad 24 mld PLN wartości dodanej brutto (zdyskontowanej).

Oszacowana potencjalna wartość płać generowanych w polskiej gospodarce w pełnym horyzoncie czasowym, działalność reaktora BWRX-300 (60 lat) może wygenerować ponad 3 mld PLN wynagrodzeń.

Uruchomienie i eksploatacja reaktora BWRX-300 może potencjalnie wygenerować odpowiednio ponad 2700 (budowa i uruchomienie) i 730 nowych stałych miejsc pracy w Polsce [7].

BWRX-300, zaprojektowany przez firmę GE Hitachi, nie jest reaktorem „rewolucyjnym”, czyli stosującym radykalnie nowe rozwiązania, ale jest wynikiem ewolucji (rys. 9) światowej klasy reaktorów wrzającej wody (BWR), wykorzystujących sprawdzone komponenty i licencjonowanych w wielu krajach USA i Kanady. GE-Hitachi Nuclear Energy (GEH) jest wiodącym na świecie dostawcą reaktorów, paliwa i usług nuklearnych. GEH ma ponad 70 lat doświadczenia i 67 licencjonowanych reaktorów w 10 krajach.

Rozwój reaktorów BWR to 10 ewolucyjnie ulepszanych generacji. BWRX-300 jest najprostszą, a jednocześnie najbardziej innowacyjną konstrukcją reaktora BWR od czasu rozpoczęcia opracowywania reaktorów przez firmę GE w 1955 r.

BWRX-300 posiada kilka kluczowych cech, które odróżniają go od innych technologii:

- obszar konieczny na budowę. BWRX-300 mieści się na działce o wymiarach 170 x 280 m. W granicach tego obszaru znajduje się przyłącze sieciowe, wieża chłodnicza, biura i inne niezbędne budynki (rys. 10).
- tańszy - w porównaniu do konwencjonalnej elektrowni jądrowej. Budowa BWRX-300 zużywa o 90% mniej betonu. Wielkość konstrukcji BWRX-300 jest również o 50% mniejsza w stosunku do wyprodukowanej energii elektrycznej (MW).
- bezpieczny - pasywne systemy bezpieczeństwa zmniejszają ryzyko wypadków z utratą chłodzenia (LOCA). Działające zgodnie z prawami natury systemy kondensacji pary i chłodzenia reaktora zapewniają bezpieczeństwo reaktora bez ingerencji człowieka nawet w przypadku najpoważniejszej i mało prawdopodobnej awarii przez co najmniej tydzień [8].

BWRX-300 jest zaprojektowany do wytwarzania dyspozycyjnej energii elektrycznej, może pracować w tzw. trybie nadążnym, Dopuszcza się zmianę mocy BWRX-300 o 50% z prędkością 0,50% mocy / minutę 2 x dziennie.

Projekt BWRX-300 jest prowadzony zgodnie z zasadą „design to cost”,

czyli zarządzanie kosztami projektu jest jednym z filarów projektu. Optymalizacja konstrukcji reaktora umożliwia zmniejszenie personelu obsługującego, koszty konserwacji i wymogi bezpieczeństwa. Czas budowy jest stosunkowo krótki i wynosi 24-36 miesięcy, a sama budowa stanowi jedynie około 10% wielkości i złożoności dużego projektu nuklearnego.

Wykorzystane są sprawdzone metody optymalizacji kosztów z innych branż. Istnieje również możliwość maksymalnego wykorzystania pozycji katalogowych, np. zakupu turbiny/generatora „z półki”, czyli istniejącej na rynku oferty.

### Przygotowanie kadr. Projekt Europejskiego Centrum Kształcenia Kadr dla Energetyki Jądrowej (ECKEJ)

Polska jest nowym i niedoświadczonym krajem na rynku energetyki jądrowej. I stanie przed wieloma wyzwaniami:

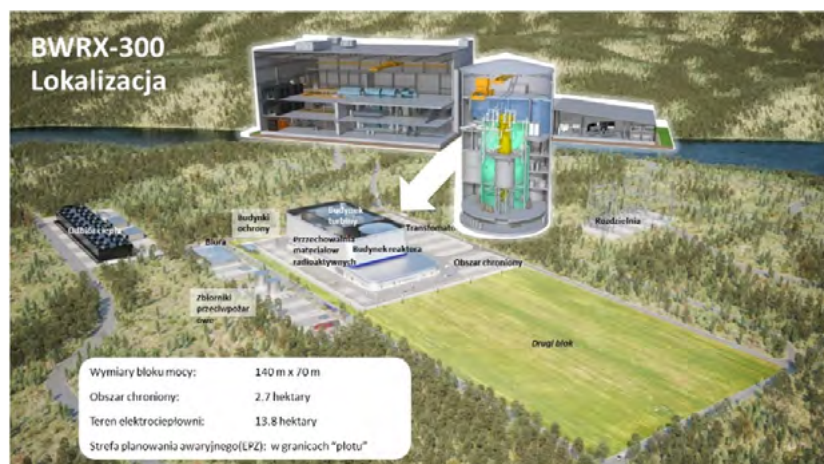
- zapewnienie stabilnych dostaw energii dla społeczeństwa i przemysłu, jako podstawy dynamicznego rozwoju gospodarki,
- zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego Polski,
- zamknięcie luki podażowej w systemie elektroenergetycznym, szacowanej na ok. 14 GW do 2040 r.,

- osiągnięcie neutralności klimatycznej.

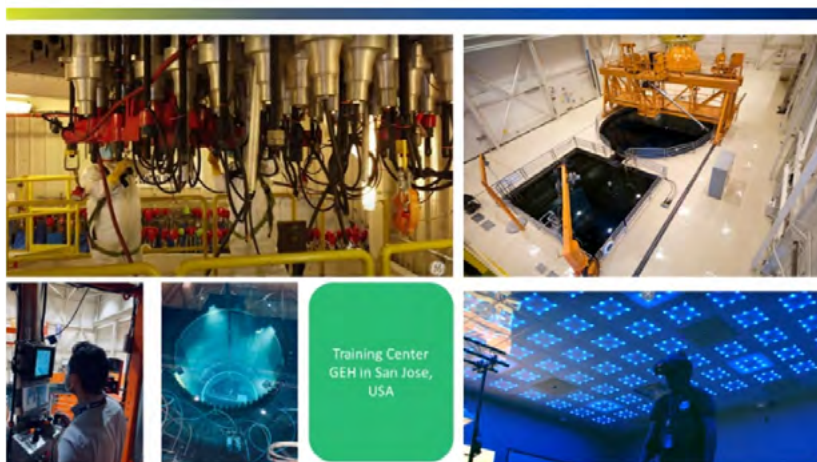
Spełnienie tych wymagań i zapewnienie bezpiecznej pracy floty reaktorów jądrowych będzie wymagało wysoce kompetentnego i wykwalifikowanego personelu w wielu obszarach nauki i technologii, zarządzania, kontroli jakości, bezpieczeństwa jądrowego, interakcji człowiek-maszyna, itp. Centrum Szkoleniowe jest koniecznością chwili!

Planowana jest następująca strategia tworzenia Europejskiego Centrum Kształcenia Kadr Dla Energetyki Jądrowej:

- Ścisła współpraca z:
  - GE Hitachi - dostawcą technologii reaktora BWRX-300,
  - Ontario Power Generation (OPG) - doświadczonym kanadyjskim operatorem jądrowym planującym wdrożenie pierwszego reaktora BWRX-300 w 2029 r. w Darlington, Ontario, Kanada,
  - Tennessee Valley Authority (TVA) - jedną z największych firm zajmujących się energetyką jądrową w USA. TVA posiada moce wytwórcze zbliżone do łącznej mocy zainstalowanej w Polsce i pracuje również nad wdrożeniem floty reaktorów BWRX-300.
- Przygotowanie programu Centrum i kadry instruktorskiej we współpracy z kompetentnymi partnerami:
  - Siecią Łukasiewicz, która zaangażowana jest czynnie w strategię rozwoju Centrum,
  - Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) - operatorem jedyne w Polsce reaktora badawczego Maria i posiadającym bogate zaplecze kompetencyjne w energetyce jądrowej,
  - Z polskimi uczelniami, które podpisały porozumienie pomiędzy MeiN, Orlenem i Uczelniami dotyczącego kierunku studiów Energetyka Jądrowa. W skład porozumienia wchodzi: Akademia Górniczo-Hutnicza, Po-



Rys. 10. Plan lokalizacyjny elektrowni z reaktorem BWRX-300 z możliwością stopniowej rozbudowy



Rys. 11. Centrum treningowe GE Hitachi w San Jose, USA

litechніка Gdańska, Politechnika Poznańska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Wroclawska, Politechnika Koszalińska, Politechnika Krakowska, Uniwersytet Warszawski, NCBJ i Centrum Łukasiewicz,

– Szwedzką Agencją KSU odpowiedzialną za kształcenie całej szwedzkiej kadry dla energetyki jądrowej,

– Królewskim Instytutem Technologicznym - KTH - w Sztokholmie, posiadającym wzorcowy program nauczania wyższego dla energetyki jądrowej,

– Fińskim Centrum Badawczym - VTT.

- Współpraca z Państwową Agencją Atomistyki (PAA) i z Urzędem Dozoru Technicznego (UDT) przy certyfikowaniu programu szkolenia i późniejszym dyplomowaniu przeszkolonych specjalistów.

- Współpraca z międzynarodowymi organizacjami wspierającymi kształcenie specjalistów dla energetyki jądrowej jak: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA), czy Agencją Energii Jądrowej NEA/OECD. Okresowe poddawanie się międzynarodowej ocenie tych organizacji.

Głównym celem Centrum Szkoleniowego jest zapewnienie wykwalifikowanej kadry dla szybkiego rozwoju i bezpiecznej eksploatacji energetyki jądrowej, takich jak:

- operatorzy reaktorów,
- inżynierowie elektrycy mechanicy chemicy, radiochemicy, dozymetryści, itp.,
- personel reagowania kryzysowego,
- kadra kierownicza zajmująca się zabezpieczeniem łańcucha dostaw dla energetyki jądrowej,
- inni specjaliści branżowi.

Bardziej ogólnie do zadań Centrum należy:

- Szkolenie wykwalifikowanej kadry dla polskiej i europejskiej energetyki jądrowej,
- Szkolenie i „coaching” kadry technicznej i menedżerskiej elekrowni w oparciu o technologię BWRX-300 z wykorzystaniem pełnowymiarowego symulatora i laboratorium Wirtualnej Rzeczywistości (VR) (rys. 11),
- Certyfikacja nabytych kwalifikacji do pracy w energetyce jądrowej,
- Komunikacja społeczna w celu budowania zrozumienia i wsparcia społecznego dla energetyki jądrowej.

## Podsumowanie i wnioski

Transformacja systemu energetycznego w Polsce jest koniecznością chwili. Wynika to ze starzenia się infrastruktury energetycznej, wycofywaniem z eksploatacji starych bloków energetycznych, jak i z konieczności dekarbonizacji energetyki, przemysłu i ciepłownictwa. Aby sprostać wymogom określonym w PEP2040, istotne jest wdrożenie zeroemisyjnego, stabilnego i przystępnego źródła wytwarzania energii i ciepła. Rozwiązaniem mogącym sprostać tym wymaganiom są właśnie reaktory SMR - BWRX-300. Wdrożenie floty reaktorów BWRX-300 zapewni Polsce również niezależność energetyczną od niestabilnych i politycznie nieakceptowalnych dostaw zagranicznych paliw kopalnych. □

### Bibliografia:

1. [https://climatecake.ios.edu.pl/wp-content/uploads/2022/06/CAKE\\_Transformacja-sektora-energetycznego\\_27.06.2022\\_final.pdf](https://climatecake.ios.edu.pl/wp-content/uploads/2022/06/CAKE_Transformacja-sektora-energetycznego_27.06.2022_final.pdf)
2. <https://www.gov.pl/web/ia/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-pep2040>
3. Bloomberg, TGE, GPI, PSE, URE, ARE, Market data.
4. PKN ORLEN & SGE analysis on the base of PEP 2040.
5. European Commission, Orbis, Japan Atomic Agency.
6. <https://fermi.ee/bwr-300/>
7. KPMG. Wykorzystanie technologii BWRX-300 w Polsce - analiza korzyści. Warszawa, 16 maja 2023 r.
8. GEH information, BCG (Boston Consulting Group) Analysis.