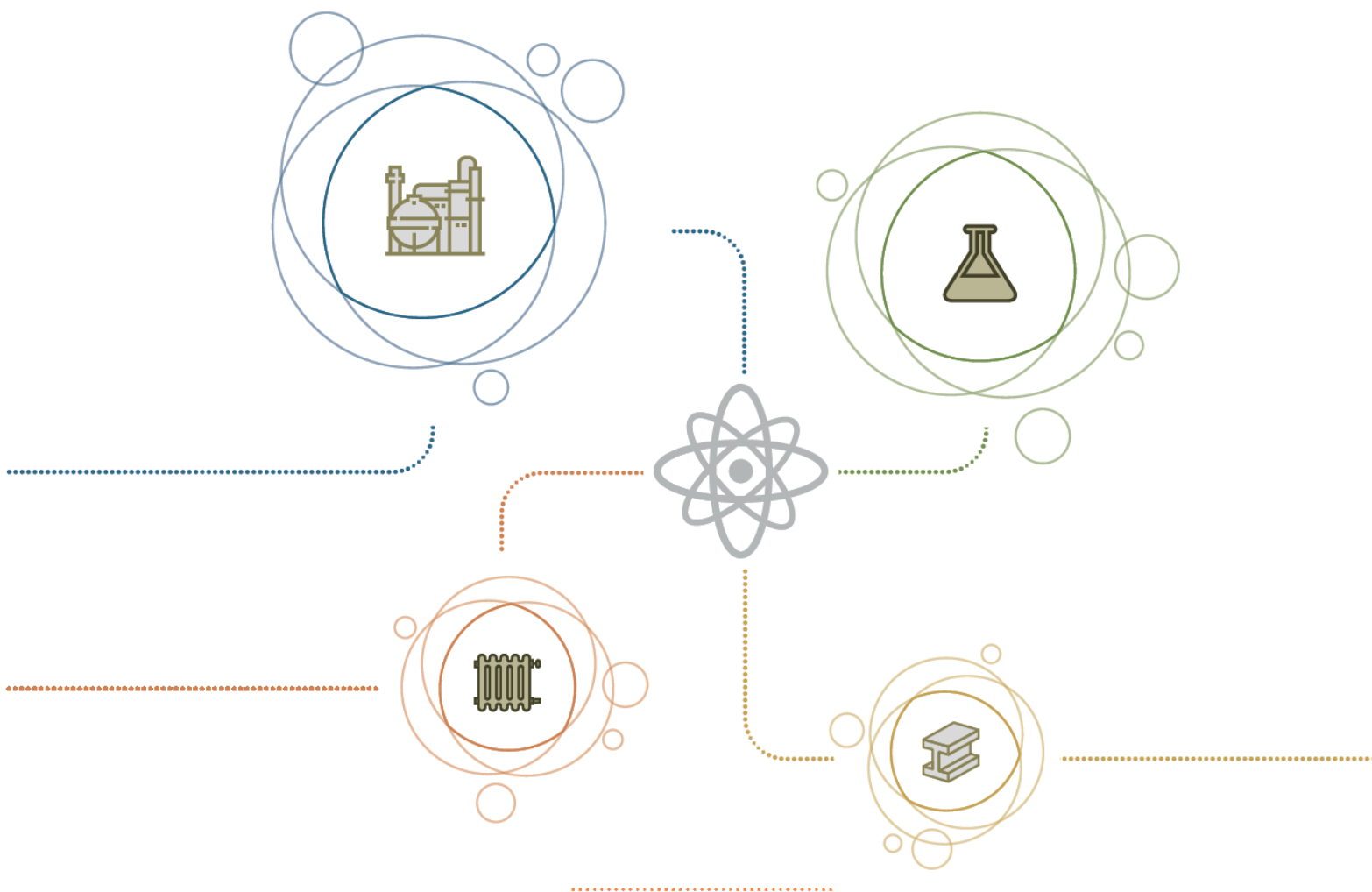




MINISTERSTWO ENERGII

Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce



Raport Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków
do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych

STRESZCZENIE

Zespół ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych (w skrócie Zespół ds. HTR) został powołany przez Ministra Energii 13 lipca 2016 roku. W ciągu kilkunastu miesięcy swojej pracy zebrał i przeanalizował informacje dotyczące zapotrzebowania na energię w postaci ciepła o temperaturze powyżej 250°C i możliwości jego zaspokojenia reaktorami HTR. Dokonano przeglądu dostępnych technologii reaktorowych uznając reaktory chłodzone helem (*High Temperature Gas-cooled Reactors – HTGR*) jako najlepszą opcję.

Przewaga tej technologii nad innymi wynika z unikalnych cech **inherentnego bezpieczeństwa uniemożliwiających stopienie rdzenia**, dojrzałości technologicznej oraz parametrów technicznych optymalnych do potrzeb przemysłu. Przeprowadzono oszacowanie kosztów budowy tego typu reaktora i wstępnie przeanalizowano opłacalność inwestycji w porównaniu z technologiami konwencjonalnymi. Wykazano, że przy zapewnieniu korzystnego kredytowania inwestycji **cena pary z HTGR może być porównywalna z ceną pary z kotłów gazowych**. Paliwo gazowe jest dzisiaj obciążone dużym ryzykiem braku dostępności i wzrostu cen oraz niepewnością kosztów emisji CO₂.

TECHNOLOGIA HTGR JEST ALTERNATYWNA, KTÓRA MOŻE ZAPEWNIĆ:

Uniezależnienie Polski od importu gazu od jednego dostawcy poprzez zmniejszenie zapotrzebowania do poziomu pokrywalnego przez wydobycie własne, gazociąg północny, gazoport.

Zmniejszenie emisji CO₂, co zwiększa pulę dostępną dla energetyki opartej na węglu kamiennym.

Zapewnienie krajowemu przemysłowi źródła ciepła o przewidywalnych kosztach, odpornych na zmiany cen paliw i niezależnych od cen uprawnień do emisji CO₂

Uruchomienie w kraju produkcji reaktorów HTGR o dużym potencjale eksportowym.

W tej sytuacji Zespół rekomenduje rozpoczęcie prac nad wdrożeniem HTGR.

Proponowany model biznesowy zakłada **utworzenie spółki celowej - nazwijmy ją roboczo HTR-EPC** - przez podmioty zainteresowane odbiorem ciepła przemysłowego. Pierwszym jej zadaniem byłoby opracowanie studium prekonceptyjnego pogłębiającego analizę przeprowadzoną przez Zespół oraz przeprowadzenie negocjacji z potencjalnymi partnerami zagranicznymi. Pozytywny wynik studium umożliwiłby uruchomienie projektowania reaktora. Projekt reaktora pozytywnie zaopiniowany przez dozór jądrowy otworzyłby możliwość podjęcia decyzji o budowie HTGR w konkretnych lokalizacjach. **Pierwszy HTGR ruszyłby ok. 2031 r.** Jednocześnie **HTR-EPC, zaraz po utworzeniu, rozpoczęłaby przygotowania i budowę reaktora eksperymentalnego HGTR małej mocy**, który jest potrzebny do przyspieszenia prac projektowych i licencjonowania reaktorów komercyjnych.

ZAPOTRZEBOWANIE NA CIEPŁO

Zapotrzebowanie na ciepło w Europie rozkłada się na poziomie 600-900 GWh/rok w przedziałach temperatur poniżej 250°C, 250-550°C i powyżej 1000°C oraz z niewielkim zapotrzebowaniem pomiędzy 550°C a 1000°C. Najniższy przedział może być zaspokojony przez reaktory lekkowodne (LWR). Jednak instalacje przemysłowe wykorzystujące takie temperatury są na ogół niewielkie i rozproszone, co utrudnia zastosowanie reaktorów jądrowych. Znaczące możliwości niesie sektor ciepłowniczy (ogrzewanie), który w wybranych krajach wykorzystuje ciepło odpadowe z dużych reaktorów energetycznych. Źródłem miejskiego ciepła mogłyby być reaktory SMR typu PWR, rozwijane w kilku państwach na świecie. Reaktory typu HTGR mają jednak tę przewagę, że można je budować bliżej siedzib ludzkich dzięki ich, opisanym niżej, inherentnym cechom bezpieczeństwa.



Para o $T \approx 500^\circ\text{C}$ jest standardowym nośnikiem ciepła w wielu dużych zakładach przemysłowych, głównie chemicznych. Zastosowanie reaktorów jądrowych byłoby o tyle ułatwione, że zastąpiłyby one wyeksploatowane kotły gazowe czy węglowe z zachowaniem istniejących instalacji, łącznie z turbinami produkującymi energię elektryczną na potrzeby zakładu. Zapotrzebowanie polskiego przemysłu na parę o takich parametrach wynosi ok. 6500 MW w kilkunastu lokalizacjach. W praktyce, zapotrzebowanie na reaktory HTGR do 2050 r. wynosi w Polsce 10-20, w EU 100-200 i na świecie 1000-2000 sztuk.

Zakres najwyższy, powyżej 1000°C , ma dużą przyszłość ze względu na produkcję wodoru i paliw wodoropochodnych. Zespół rekomenduje rozpoczęcie wstępnych prac badawczych nad odpowiednimi reaktorami (jak VHTR czy DFR) gdyż obecnie nie istnieje sprawdzona technologia jądrowa w tym zakresie.

WYBÓR TECHNOLOGII

Zdaniem Zespołu **optymalną technologią dla $T \approx 500^\circ\text{C}$ są reaktory typu HTGR¹**. Do takiego wniosku prowadzą też studia prowadzone przez SNETP², OECD NEA³, IAEA⁴ i rząd brytyjski⁵. W tej technologii zbudowano już kilkanaście reaktorów badawczych i przemysłowych (m.in. $2 \times 250 \text{ MW}_{\text{th}}$ oddawane do użytku w Chinach), co potwierdza jej dojrzałość. Ciągłe nie jest ona jednak komercyjnie rozpowszechniona i **jej wdrożenie na skalę przemysłową (seryjna produkcja reaktorów) stanowiłoby przełom w energetyce światowej**.

SZCZEGÓLNĄ ZALETĄ TECHNOLOGII HTGR JEST INHERENTNE BEZPIECZEŃSTWO - NIE MA RYZYKA STOPIENIA RDZENIA.

Paliwo TRISO, gdzie dwutlenek uranu znajduje się w powłoce SiC, przetestowano do $\sim 1700^\circ\text{C}$.

Nawet w przypadku awarii wszystkich systemów i utraty chłodziwa, rdzeń wychładza się samorzutnie dzięki wypromieniowywaniu ciepła i konwekcji.

Umożliwia to posadowienie takiego reaktora w bezpośredniej bliskości instalacji przemysłowych czy nawet siedzib ludzkich

KOSZTY I OPŁACALNOŚĆ EKONOMICZNA HTGR

Porównano koszt pary 540°C i 13.8 MPa z kotłów gazowych, węglowych i HTGR o mocy **165 MW** i wydajności **230 t/h**. Koszt projektowania i licencjonowania HTGR oszacowano na **500 mln zł**, zaś koszt budowy jednego HTGR na **$2,0 \pm 0,6$ mld zł netto**. Aby uwzględnić niepewności związane z przewidywaną ceną emisji CO_2 oraz z kosztami inwestycyjnymi, analizę wykonano dla różnych wartości parametrów wejściowych. Z analizy wynika, że przy **stopie dyskonta 4%** i cenie emisji CO_2 **20-50 €/t** uśredniony w okresie życia jednostki wytwórczej **koszt (LCOE) pary z HTGR 36 zł/GJ jest porównywalny z kosztem pary z kotła gazowego 36-42 zł/GJ**.

¹ W literaturze światowej na określenie reaktorów wysokotemperaturowych chłodzonych gazowym helem używa się skrótów zarówno HTGR jak i HTR. W niniejszym raporcie skrót HTR odnosi się ogólnie do różnych technologii reaktorów wytwarzających wysoką temperaturę.

² SNETP „Deployment Strategy”, 2015, www.snetp.eu/publications

³ OECD NEA „Nuclear Innovations 2050”, www.oecd-nea.org/ndd/ni2050

⁴ “Industrial Applications of Nuclear Energy”, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-4.3, 2017.

⁵ “Small Modular Reactors: Techno-Economic Assessment”, 2017.

www.gov.uk/government/publications/small-modular-reactors-techno-economic-assessment

Uruchomienie 500 mln zł na projekt reaktora (po pozytywnym wyniku studium prekonceptyjnego) w latach 2019-2023 umożliwiłoby podejmowanie decyzji o inwestycjach w konkretnych lokalizacjach po 2023 r., kiedy to uwarunkowania ekonomiczne będą znacznie lepiej określone.

Podejmując decyzję o rozpoczęciu prac nad technologią HTGR, oprócz liczbowych wskaźników ekonomicznych, należy uwzględnić wspomniane wyżej czynniki gospodarcze, takie jak:

- redukcja zależności od importu gazu
- zmniejszenie emisji CO₂
- przewidywalność kosztów eksploatacji
- potencjał eksportowy

DOSTĘPNOŚĆ TECHNOLOGII

Pomimo istnienia kilku reaktorów badawczych i komercyjnych typu HTGR - **nie istnieje projekt reaktora gotowy do powielania w skali przemysłowej**. Kompetencje i doświadczenie są rozproszone w wielu krajach na skutek zakończenia poszczególnych projektów. **Istniejąca wiedza nie jest chroniona patentami**, a wiele opracowań znajduje się w domenie publicznej. **Znaczną część kompetencji rozproszonych w UE, USA, Japonii i Korei udało się zgromadzić w projekcie Euratom Gemini+ koordynowanym przez NCBJ**. Kluczowym elementem technologii HTGR jest bezpieczne paliwo typu TRISO. Istnieje kilka linii produkcyjnych na świecie, co umożliwia kupno sprawdzonego już paliwa do pierwszych reaktorów w Polsce, przed wybudowaniem własnej fabryki paliwa.

MODEL BIZNESOWY

Obecnie żadna z wielkich firm projektujących reaktory jądrowe (poza Chinami) nie deklaruje gotowości podjęcia samodzielnie realizacji projektu HTGR. Stwarza to **możliwość utworzenia w Polsce nowej firmy zbierającej rozproszone kompetencje** (o przykładowej nazwie HTR-EPC, od „*engineering, procurement, construction*”). Możliwość ta jest jednocześnie szansą na przejęcie niemal całości potrzebnej własności intelektualnej. **HTR-EPC powinna mieć większościowy udział polskiego kapitału**, firmy zagraniczne mogłyby zaś uczestniczyć jako udziałowcy lub podwykonawcy. Obecność polskich firm chemicznych i energetycznych wśród uczestników prac nad HTGR gwarantowałaby merytoryczną poprawność studium prekonceptyjnego, a w następnym etapie, dostosowanie projektu reaktora do konkretnych potrzeb odbiorców.

REKOMENDOWANY HARMONOGRAM

- 2018 I kw: Umowa między ME i MNiSW o realizacji programu HTGR + ewentualny program rządowy
- 2018 I kw: Utworzenie spółki HTR-EPC + włączenie partnerów zagranicznych
- Reaktor eksperymentalny 10 MW_{th}:
 - 2018-20 projektowanie (150 mln zł), 2020-25: licencjonowanie i budowa (600 mln zł)
- Reaktor komercyjny 165 MW_{th}:
 - 2018: studium prekonceptyjne (10 mln zł)
 - 2019-23: projektowanie (500 mln zł)
 - 2023-26: przygotowanie budowy pierwszego HTGR (500 mln zł)
 - 2026-31: budowa pierwszego HTGR (1500 mln zł)