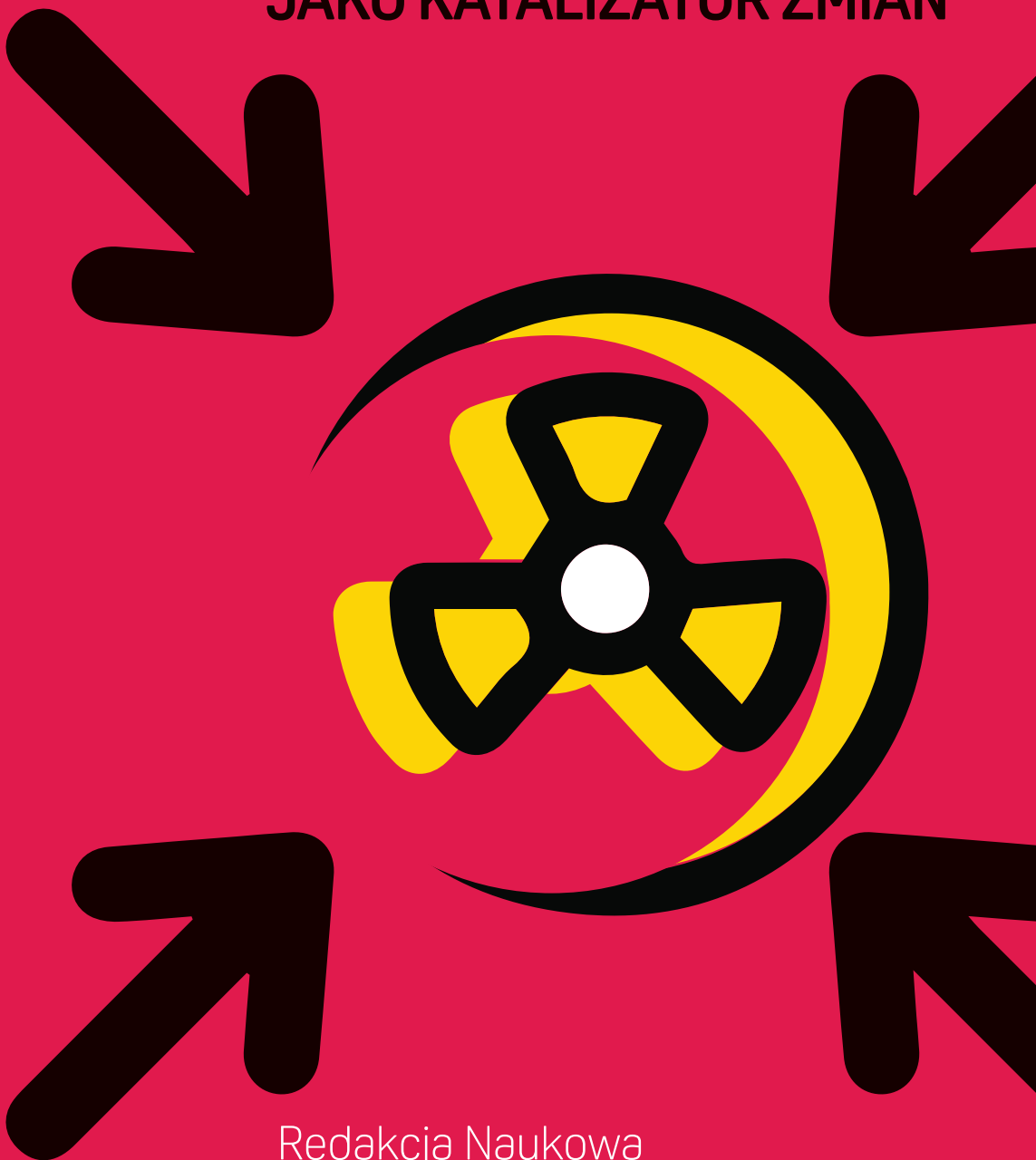


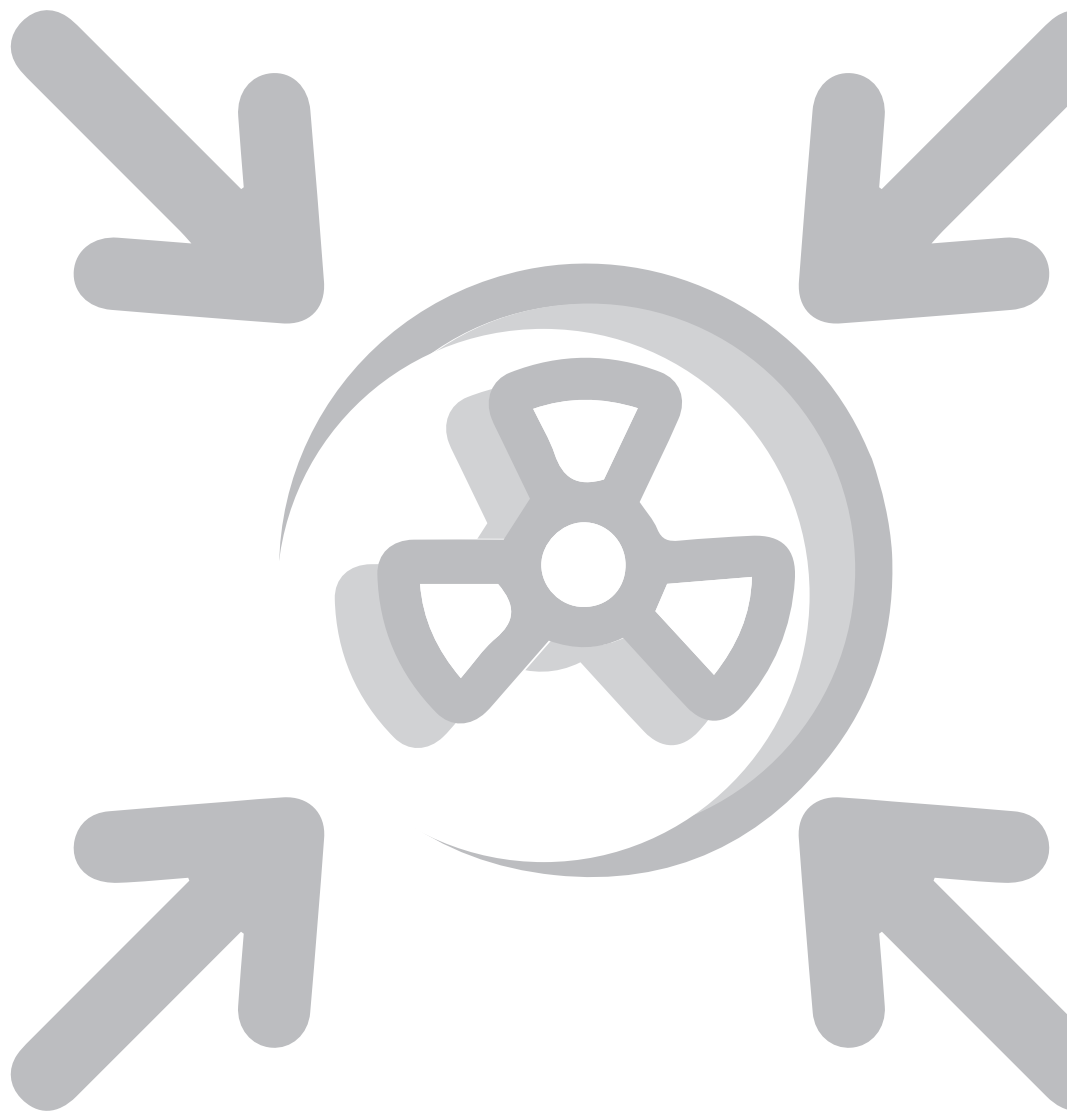
# MAŁE REAKTORY ATOMOWE

## JAKO KATALIZATOR ZMIAN



Redakcja Naukowa  
dr hab. Zbigniew Krysiak, prof. SGH

# MAŁE REAKTORY ATOMOWE JAKO KATALIZATOR ZMIAN





# Małe reaktory atomowe jako katalizator zmian

Redakcja Naukowa

dr hab. Zbigniew Krysiak, prof. SGH

Stowarzyszenie Absolwentów i Przyjaciół  
Wydziału Prawa Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego

Lublin 2025

## Recenzenci

Dr hab. Małgorzata Polkowska, prof. ASzWoj (Akademia Sztuki Wojennej)

Dr hab. Małgorzata Such-Pyrgiel (Akademia Nauk Stosowanych WSGE

im. Alcide De Gasperi w Józefowie)

## Opracowanie redakcyjne

Agnieszka Romanko

© Copyright by Stowarzyszenie Absolwentów i Przyjaciół Wydziału Prawa KUL

© Copyright by Stowarzyszenie Instytut Gospodarki Narodowej

ISBN 978-83-971600-6-4



Minister  
Nauki



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez  
Ministra Edukacji i Nauki w ramach Programu „Doskonała Nauka II”



**Doskonała  
Nauka**

Publikacja sfinansowana ze środków budżetu Państwa w ramach programu  
Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Małe reaktory atomowe jako katalizator zmian”  
w ramach programu „Doskonała Nauka II – Wsparcie konferencji naukowych”  
na podstawie umowy nr KONF/SN/0549/2023/01



**IGN**

INSTYTUT GOSPODARKI  
NARODOWEJ



Stowarzyszenie Absolwentów i Przyjaciół  
Wydziału Prawa Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego  
Al. Raławickie 14, c-742, 20-950 Lublin  
tel./fax 81 445-37-42  
e-mail: [wydawnictwo.sawp@gmail.com](mailto:wydawnictwo.sawp@gmail.com), <http://sawp.org.pl>

**Projekt okładki** Agnieszka Boryczko  
**Skład komputerowy i druk** Studio R-ka, ul. Lasockiego 15, 20-612 Lublin

## SPIS TREŚCI

<b>Wstęp</b> .....	7
<b>Arkadiusz Adamczyk</b> , Nowe obszary geopolityki. Globalna rywalizacja mocarstw w przestrzeni gospodarczej.....	9
<b>Agnieszka Boettcher</b> , Reaktory wysokotemperaturowe: technologia, zastosowanie i projekt HTGR-POLA.....	29
<b>Albert Borowiecki</b> , SMR-y w Chinach. Kontekst, definicje, stan obecny .....	43
<b>Marcin Chludziński</b> , Bezpieczeństwo energetyczne jako polska racja stanu .....	51
<b>Wacław Gudowski</b> , Bezpieczeństwo energetyczne to miękkie podbrzusze Zjednoczonej Europy.....	67
<b>Fabrizio Giulimondi</b> , „Zielony Ład” między prawem a ideologią: ochrona środowiska, ochrona przedsiębiorstw i gwarancja praw właścicieli....	85
<b>Keung Koo Kim</b> , Rozwój koreańskich reaktorów SMR.....	99
<b>Remigiusz Kopoczek</b> , Wyzwania i strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce.....	107
<b>Zbigniew Krysiak</b> , Małe reaktory modułowe strategicznym fundamentem ekonomicznej transformacji energetycznej.....	119
<b>Yochanan Shachmurove</b> , Małe reaktory modułowe (SMR) .....	137
<b>Renata Anna Stefaniuk</b> , Rady nadzorcze wobec wyzwań inwestycji strategicznych spółek Skarbu Państwa na przykładzie małych reaktorów jądrowych .....	149
<b>Paweł Turowski</b> , Otoczenie polityczne i regulacyjne rozwoju reaktorów (SMR) w ujęciu geoeconomicznym .....	157



## WSTĘP

Książka, którą oddajemy w Państwa ręce, stanowi owoc międzynarodowej konferencji naukowej pt. „Małe reaktory atomowe jako katalizator zmian”, realizowanej przez Stowarzyszenie Instytut Gospodarki Narodowej w ramach programu „Doskonała Nauka II”, finansowanego przez Ministra Edukacji i Nauki. Głównym celem konferencji było zgromadzenie ekspertów z dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych oraz społecznych, aby dokonać interdyscyplinarnej analizy roli i potencjału małych modularnych reaktorów atomowych (SMR) w procesie transformacji energetycznej Polski oraz ich wpływu na gospodarkę i społeczeństwo.

Wydarzenie odbyło się w dniach 15-16 stycznia 2025 r., gromadząc około 300 uczestników, w tym ekspertów krajowych oraz zagranicznych z Korei Południowej, Chin, USA, Włoch oraz wielu innych krajów. Konferencja została podzielona na sesje tematyczne dotyczące aspektów technologicznych, ekonomicznych, społecznych i geoeconomicznych związanych z SMR.

Podczas konferencji omówiono zagadnienia technologiczne i innowacyjne SMR, ich bezpieczeństwo, możliwości integracji z istniejącymi systemami energetycznymi oraz specyfikę technologiczną, w tym projekt wysokotemperaturowego reaktora HTGR-POLA. Równolegle analizowano ekonomiczne aspekty wdrożenia tych technologii, uwzględniając koszty, potencjalne korzyści i wyzwania inwestycyjne.

Interdyscyplinarność konferencji przejawiała się także w analizie społecznej akceptacji oraz wpływu środowiskowego SMR, jak również ich znaczenia dla bezpieczeństwa energetycznego Polski, co zostało szeroko omówione przez uczestniczących ekspertów.

Ważnym punktem konferencji były debaty eksperckie, które umożliwiły intensywną wymianę myśli i doświadczeń. Dyskusje skoncentrowały się na sposobach wykorzystania globalnych doświadczeń z wdrażania technologii SMR oraz ich strategicznym znaczeniu dla transformacji energetycznej kraju.

Publikacja ta gromadzi referaty i komunikaty prezentowane podczas konferencji, które zostały poddane redakcji naukowej i stanowią istotny wkład w dyskusję o przyszłości energetycznej nie tylko Polski, ale także całej Europy.



Mamy nadzieję, że materiały zawarte w tej książce przyczynią się do dalszego rozwoju badań oraz praktycznego wdrażania technologii małych reaktorów atomowych.

Organizatorzy konferencji pragną serdecznie podziękować wszystkim prelegentom, uczestnikom oraz instytucjom partnerskim za aktywny udział oraz współpracę, która pozwoliła na realizację tego ważnego przedsięwzięcia naukowego.

*Instytut Gospodarki Narodowej*

**Prof. dr hab. Arkadiusz Adamczyk**

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Polska

e-mail: adark@interia.pl

ORCID: 0000-0003-0561-0230

## **Nowe obszary geopolityki. Globalna rywalizacja mocarstw w przestrzeni gospodarczej**

Prognozowanie polityczne pozostaje stosunkowo młodą dziedziną nauk społecznych. Trzeba również przyznać, iż w stosunku do innych elementów życia społecznego jest to dziedzina o wiele trudniejsza niż np. prognozowanie ekonomiczne. Te bowiem w znacznej mierze opierają się na elementach racjonalnych, jak analiza popytu-podaży, cykle koniunkturalne, wskaźniki mikro- i makroekonomiczne itp., a przede wszystkim o „twarde” dane liczbowe. Prognoza polityczna, a zwłaszcza wchodzący w sferę geopolityki, nie posiada takiego komfortu<sup>1</sup>. Choć również posilkuje się wskaźnikami, które trudno uznać za niepodważalne, jednak w przypadku tej sfery o wiele większe znaczenie posiada uwzględnienie uwarunkowań siłą rzeczy dalekich od stabilności<sup>2</sup>. Takimi pozostają np. nastroje społeczne, których dynamika – jak pokazał choćby przykład Arabskiej Wiosny<sup>3</sup> – może trwale naruszyć utrwalone systemy, struktury władzy, jak również znacząco wpłynąć na przestrzeń międzynarodową. Innym wydarzeniem bez precedensu były akty terroru z 11 września. Prawdopodobnie, gdyby nie ataki na World Trade Center i Pentagon, decyzyjność polityczna prezydenta George W. Busha nie poszłaby w kierunku nadania wojnie z terroryzmem priorytetowego celu Stanów Zjednoczonych, trwale zmieniając konfigurację geopolityczną przestrzeni międzynarodowej<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> B. Sajduk, *Teoretyczne przesłanki współczesnej analizy politologicznej*, „Państwo i Społeczeństwo” 2007, nr 1, s. 17-48.

<sup>2</sup> A. Sepkowski, *Człowiek a przyszłość*, Toruń 2005, s. 65 i nast.

<sup>3</sup> J. Mormul, „Jaśminowa rewolucja” w Tunezji. Zwycięstwo społeczeństwa obywatelskiego czy islamskie przebudzenie?, w: *Arabska wiosna w Afryce Północnej. Przyczyny, przebieg, skutki*, red. E. Szczepankiewicz-Rudzka, Kraków 2014, s. 17-27.

<sup>4</sup> J. Angstrom, *Mapping the Competing Historical Analogies of the War on Terrorism. The Bush Presidency*, „International Relations” 2011, nr 25 (2), s. 224-242.

Oczywiście zasadniczą bazą w takiej sytuacji pozostaje teoria oraz nauki pomocnicze, dające badaczom sfery geopolitycznej wiedzę „pewną”. W przypadku geopolityki do najważniejszych nauk pomocniczych należy zaliczyć przede wszystkim geografę fizyczną i historię. Co oczywiste, ta pierwsza dostarcza niepodważalnej wiedzy na temat interesującej prognostów przestrzeni, przede wszystkim jej ukształtowania. Niemniej daje również możliwość oszacowania zasobów naturalnych, co z kolei pozwala na w miarę precyzyjne określenie relacji między tymi zasobami a zdolnością kształtowania przez podmiot ulokowany na badanym obszarze (przynajmniej) swego najbliższego otoczenia<sup>5</sup>. Historia z kolei pozwala na analizę trwałości powiązań politycznych na danej przestrzeni w perspektywie krótko-, średnio- i długoterminowej. Dynamika rozwoju zarówno obszarów, jak i makrostruktur społecznych, zdolność podporządkowania innych bytów politycznych, jak również powtarzalność zjawisk zachodzących w obrębie przestrzennym (państwo) i społecznym (naród) stanowią jedne z głównych przesłanek pozwalających na oparcie modeli prognostycznych na mniej bądź bardziej stabilnej bazie<sup>6</sup>. Historia to również pamięć o wybitnych jednostkach. W kontekście geopolityki to przede wszystkim o ludziach bądź tworzących podstawy intelektualne dla rozwiązań politycznych, bądź swoimi działaniami kreujących podwaliny „nowej rzeczywistości”, często swymi poglądami wykraczających poza daną epokę. Niektórzy po upływie czasu „tracili” status postaci historycznych, stając się wręcz kodami kulturowymi, wytyczającymi nowe rozumienie przestrzeni politycznej<sup>7</sup>.

Jedną z postaci, których teorie wpłynęły na polityczne postrzeganie przestrzeni i stan rywalizacji mocarstw, pozostawał wybitny geograf, sir Halford Mackinder. Choć termin geopolityka został wprowadzony do obiegu naukowego przez Szweda, Rudolfa Kjelléna w 1889 r. (według innych źródeł w 1916 r.)<sup>8</sup>, to jednak dopiero za sprawą brytyjskiego uczonego wyszedł on z fazy hermetycznych rozważań geograficznych, trwale lokując się w przestrzeni ekonomicznej i politycznej. Urodzony 15 lutego 1861 r. w lincolshireńskim

---

<sup>5</sup> J.A. Wendt, *Powstanie, rozwój i współczesne problemy badań geografii politycznej*, w: *W kręgu geografii politycznej i dyscyplin „okolicznych”*. Studia dedykowane Profesorowi Markowi Sobczyńskiemu, red. A. Rykała, Łódź 2023, s. 21-34.

<sup>6</sup> A. Nowak, *Od imperium do imperium. Spojrzenia na historię Europy Wschodniej*, Kraków 2004, s. 18 i nast.

<sup>7</sup> Ciekawe spostrzeżenia na temat socjologicznych uwarunkowań, w zasadzie tożsamy ze spojrzeniem geopolityka, wprowadziła Joanna Wawrzyniak. Zob. także: J. Wawrzyniak, *Historia i pamięć. Społeczne ramy historii najnowszej*, w: *Polska po 20 latach wolności*, red. M. Bucholc, S. Mandes, T. Szawiel, i in., Warszawa 2011, s. 534-538.

<sup>8</sup> N. Smith, *American Empire. Roosevelt's Geographer and the Prelude to Globalization*, Oakland 2003, s. 272-274.

Gainsborough uczony wydawał się przesiąknięty tradycją angielską (czy szerzej – brytyjską). Jednak wyniesiony z Oxfordu krytycyzm badawczy wskazywał dostrzeżenie czynników, nakazujących zakwestionowanie mocarstwowej pozycji brytyjskiej metropolii. Publikacja z 1902 r. pt. „Britain and the British Seas” („Brytania i morza brytyjskie”) przyniosła mu rozgłos, jednak z całej ponad 300 stronicowej monografii zapamiętane zostało dosadne, lecz jednocześnie obrazoburcze określenie pozycji Wielkiej Brytanii, opisanej jako „gruda węgla opływana przez ryby”<sup>9</sup>. Niewielu wnikało w kluczowe znaczenie tezy Mackindera, gdy wydobyć czarnego złota, na którym opierała się potęga ekonomiczna Wielkiej Brytanii, w erze maszyn parowych, węgla i stali oraz rywalizacji z blokiem Trójprzymierza (przede wszystkim z budującymi swoją pozycję Niemcami) miały swoją specyficzną wymowę. Jego wypowiedź nawet w kręgach naukowych postrzegana była jako ewidentne deprecjonowanie statusu Brytanii. Niezrażony jednak tym Mackinder sięgał po dalsze sukcesy organizacyjne i naukowe<sup>10</sup>. Głośnym echem w świecie nauki odbił się jego słynny wykład wygłoszony przed audytorium Royal Geographical Society w 1904 r., zawierający zręby rozwijanych w późniejszych latach dwóch teorii: „geograficznej osi historii” oraz „Heartlandu”. Obie do dzisiejszego dnia – zwłaszcza w połączeniu z treściami zawartymi w najgłośniejszym dziele Mackindera „Democratic Ideas and Reality”<sup>11</sup> – znajdują swych adherentów w poważnych kręgach naukowych i decyzyjnych<sup>12</sup>. W kontekście dzisiejszych rozważań na temat zdobycia światowej dominacji warto skupić się na jego twierdzeniach o wykorzystaniu historii dla badania i prognozowania przeobrażeń geograficznych oraz o zróżnicowanej przydatności poszczególnych przestrzeni i istnieniu centrów – nawet pozornie nieposiadających politycznego znaczenia, jednak istotnych ze względu na znajdujące się na ich terytorium zasoby naturalne – ogniskujących aktywność największych potęg zainteresowanych zdobyciem światowego prymatu. Dla współcześnie odczytujących

<sup>9</sup> H.J. Mackinder, *Britain and the British Seas*, Westport (Ct, USA) 1969, s. 3 i nast.

<sup>10</sup> W 1892 r. był założycielem University of Reading, w 1893 r. Geographical Association i wreszcie w 1903 r. należał do grona współzałożycieli London School of Economics, którego do roku 1908 r. był jej pierwszym dyrektorem. Na temat Mackindera zob.: B.W. Bluet, *Halford Mackinder. A Biography*, Austin 1987.

<sup>11</sup> Zob. polskie wydanie: H.J. Mackinder, *Demokratyczne ideały i rzeczywistość*, tłum. R. Domke, Zielona Góra 2017.

<sup>12</sup> Wśród postaci uznawanych za pozostające pod wpływem teorii Mackindera należy wymienić m.in. współczesnego mu Jamesa Fairgrieve, autora znanej pracy „Geografia a światowa potęga” i twórcy strategicznego pojęcia „strefy zgniotu”; Saula Cohena i jego teorii postrzępionego pasa wyłożonej w dziele „Geografia stosunków międzynarodowych”, a przede wszystkim stworzonej przez Georga Kennana w latach czterdziestych XX w. doktryny powstrzymywania (*containment*) Rosji i Chin.

teorię Mackindera, względnie zwolenników ponadczasowości idei brytyjskiego geografa, zasadniczy problem sprowadza się nieustannie do prawidłowego zdefiniowania i umiejscowienia Heartlandu, ze swej natury dynamicznego, zmiennego w czasie i przestrzeni<sup>13</sup>.

Na nieco innym biegunie znajduje się Nicholas Spykman. Jego teorie wyrosły wprost z krytyki mackinderowskiej wizji Heartlandu. Twórca znakomitej analizy geostrategicznej pt. „Geografia pokoju” zakwestionował twierdzenia Halforda Mackindera dotyczące zasadniczej roli centrów. Zdaniem Spykmana o wiele istotniejsze znaczenie posiadały obrzeża znajdujące się na skraju przestrzeni kontynentalnych (nazwane przez niego Rimlandem), stanowiące bezpośrednie zagrożenie (względnie zdolne stanowić skuteczną ochronę) dla kluczowych pod względem politycznym i ekonomicznym obszarów. Warto przy tej okazji przypomnieć, iż potwierdzenia swojej teorii Spykman upatrywał przede wszystkim w obserwacji i rozwoju współczesnych mu form relacji międzynarodowych m.in. w przetasowaniach politycznych dokonujących się w latach trzydziestych XX w. Wówczas to rodzący się sojusz Rzeszy Niemieckiej i Japonii, rozszerzony następnie do końca dekady o Włochy, marionetkowe Mandżukuo, Hiszpanię i Węgry<sup>14</sup>, w którym, bądź co bądź zasadniczą rolę odgrywały państwa położone peryferyjnie, stanowić miał potwierdzenie tezy o kluczowej roli obrzeży, posiadających zdolność destabilizacji nawet zasobniejszych centrów. Współcześni zwolennicy tej teorii wskazują przede wszystkim na wizjonerstwo amerykańskiego geopolityka, który – doprecyzowując i kreśląc przestrzennie położenie Rimlandu – zasadnicze znaczenie dla zdobycia bądź utraty pozycji mocarstwa przypisywał zdolności sprawowania globalnej kontroli azjatyckim wybrzeżom Oceanu Spokojnego i Indyjskiego, roponośnym przestrzeniom Bliskiego Wschodu, obszarowi śródziemnomorskiemu od Bosforu do Gibraltaru będącym zabezpieczeniem bogactwa Europy i wreszcie nadatlantyckich kresów Starego Kontynentu. Według Spykmana rola światowego hegemonu miała przypaść mocarstwu zdolnemu podporządkować sobie cały Rimland. Jednak jego zdaniem współczesne mu potęgi miały pozostawać jedynie zdolnymi do opanowania fragmentów tychże przestrzeni, co z kolei przekładać się miało na stan globalnej równowagi siły (*balance of power*). Według Spykmana próba osiągnięcia absolutnej dominacji

<sup>13</sup> Zob. także B.W. Bluet, *Halford Mackinder and the Pivot Heartland*, w: *Global Geostrategy. Mackinder and the Defence of the West*, red. B.W. Bluet, London–New York 2005, s. 1-16; M. Hauner, *What is Asia to Us? Russia's Asian Heartland Yesterday and Today*, London–New York 1990, s. 216-243.

<sup>14</sup> W początku lat czterdziestych doszło do kolejnego rozszerzenia m.in. o Bułgarię, Chorwację, Danię, Finlandię, Rumunię i Słowację.

przez jedno z mocarstw wyzwalać miało u innych automatyczne mechanizmy zapobiegnięcia osiągnięcia supremacji<sup>15</sup>. Mimo faktu, iż współcześnie teorie Spykmana zdają się raczej przegrywać z wizjami Mackindera, niewątpliwą zasługą amerykańskiego uczonego pozostaje zdefiniowanie jedenastu czynników decydujących o sile (względnie jej braku) państw, do których zaliczył „wielkość terytorialną, kształt granic, zasobność w bogactwa naturalne, poziom rozwoju ekonomicznego i technologicznego, zasoby finansowe, siłę militarną, stabilność polityczną, potencjał demograficzny, jednorodność etniczną, integrację społeczeństwa oraz duch narodowy”<sup>16</sup>.

W przypadku dynamicznie zmieniającego się świata, jego ogólnego rozwoju (jak również rozwoju nauk społecznych w szczególności), zrozumiałym pozostaje ewolucja obu teorii. Oczywisty pozostaje fakt, iż koncepcje stworzone na początku XX w. podlegały interpretacjom i reinterpretacjom, na których najważniejsze piętno odcisnęli tacy teoretycy jak Brian W. Bluet, Colin S. Gray, Robert Kagan, Alexandros Petersen, Gearóid Ó Tuathail, czy wreszcie Robert Kaplan<sup>17</sup>, który z bardzo dobrym skutkiem wtłoczył rozważania o przestrzeni w ramy badawcze teorii ekonomicznych. Syntetyzując dokonania współczesnych geografów, strategów, politycznych, teoretyków stosunków międzynarodowych czy wreszcie ekonomistów można zaryzykować hipotezę, iż Heartlandem współczesnego świata nie będzie bynajmniej przestrzeń kumulująca międzynarodowe konflikty czy inspirująca rywalizację mającą na celu zniszczenie obowiązującego ładu. Szukając bezpośrednich inspiracji u kolejnego pokolenia interpretatorów w poszukiwaniu kluczowej przestrzeni decydującej o pozycji i bezpieczeństwie światowej wyspy należy poszukiwać miejsca, w którym bije serce światowej gospodarki.

Należy jednocześnie pamiętać o dynamizmie pojęciowym, wynikającym po części z braku dostatecznego doprecyzowania pojęć stworzonych przez „ojców-założycieli” geopolityki, po części zaś z tempa zmian zachodzących

---

<sup>15</sup> N.J. Spykman, *America's Strategy in the World Politics. The United States and the Balance of Power*, New York 1942, s. 165-201.

<sup>16</sup> P. Eberhardt, *Koncepcja Rimlandu Nicholasa Spykmana i jej konsekwencje geopolityczne*, „Przegląd Geograficzny” 2014, nr 86, t. 2, s. 267.

<sup>17</sup> Zob. m.in. J. Baylis, J. Wirtz, C.S. Gray, i in., *Strategia we współczesnym świecie: Wprowadzenie do studiów strategicznych*, Kraków 2013; *Global Geostrategy...*; C.S. Gray, *The Sheriff: America's Defense of the New World Order*, Lexington (Ke, USA) 2014; R. Kagan, *Powrót historii i koniec marzeń*, Poznań 2009; R. Kaplan, *The Revenge of Geography. What the Map Tells Us about Coming Conflicts and the Battle Against Fate*, New York 2013, *passim*; A. Petersen, *The World Island. Eurasian Geopolitics and the Fate of the West*, Santa Barbara (Ca, USA) 2011; G.Ó Tuathail, *Understanding Critical Geopolitics. Geopolitics and Risk Society*, „Journal of Strategic Studies” 1999, nr 2-3 (22), s. 107-124.

we współczesnym świecie znacznie szybciej niż to miało miejsce u progu XX stulecia. Uzyskany przez dany obszar status Heartlandu nie jest bowiem dany raz na zawsze. Przestrzeń określona raz mianem Heartlandu, może w bardzo krótkim czasie spaść do roli całkowicie drugorzędnej. Dzisiejszy Rimland, lokowany na politycznych obrzeżach, przy spełnieniu określonych warunków (zazwyczaj jest to odkrycie bogactw naturalnych wpływających na zamożność makrostruktur społecznych, zwiększających wskazany przez Spykmana poziom rozwoju ekonomicznego i technologicznego, a co za tym idzie prowadzących do wzrostu zasobów finansowych i siły militarnej), może stać się Heartlandem. Nie jest to jednak proces skończony i – w skrajnych przypadkach – może prowadzić do regresu, a nawet zjawisk wywołujących zupełnie odwrotne skutki<sup>18</sup>.

We współczesnym świecie przestrzeniami zyskującymi na znaczeniu pozostają obszary zasobne w surowce energetyczne. One przede wszystkim przynoszą bogactwo państwom i narodom. One również pozwalają, poprzez zdolność budowy i projekcji siły militarnej, na osiągnięcie możliwości moderowania i przekształcania ładu międzynarodowego. Dobitnie pokazuje to przykład Federacji Rosyjskiej, państwa, które – mimo potencjalnej słabości, jaką determinowało zapóźnienie cywilizacyjne i technologiczne – potrafiło (dysponując odpowiednimi zasobami paliw kopalnych) uzyskać przemożny wpływ polityczny. Na tej bazie podjęło następnie próbę uzależnienia struktur państwowych, które – według wszystkich obiektywnych wskaźników – wyprzedzały Rosję pod względem rozwoju. Z kolei nawet bardzo pobieżna analiz tylko i wyłącznie wypowiedzi prezydenta Władimira Putina, upoważnia do tezy, że celem politycznym moskiewskich elit rządzących w bliskiej perspektywie pozostaje odbudowa potęgi i pozycji Rosji jako mocarstwa dominującego w przestrzeni postsowieckiej<sup>19</sup>. Natomiast w dłuższym przedziale czasowym nigdy w Moskwie i Sankt Petersburgu nie stracił na znaczeniu cel strategiczny, który sformułował Lenin w czasie rewolucji bolszewickiej. W sposób oczywisty chodzi o przesunięcie wpływów rosyjskich jak najbardziej na Zachód. Uprawniona wydaje się również teza, w myśl której współczesna Rosja idzie jeszcze dalej niż jej poprzednik, czyli Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich. Wydaje się, iż samo przesunięcie granic czy wpływów bynajmniej nie zaspokaja ambicji władarzy Kremla, mniej bądź bardziej otwarcie przejawiających dążenie do zdobycia dominującej pozycji w świecie, a przynajmniej do powrotu do pozycji zajmowanej

<sup>18</sup> N. Piereslegin, *Samouczitel igrы na „mirowoj szachmatnoj doskie”*. *Osnownyje poniatnia geopolitiki*, w: *Klassika geopolitiki*, red. K. Koroljew, Moskwa 2002, s. 680-698.

<sup>19</sup> M. Naveed Ul Hasan Shah, S. Abbas, I. Hussain, *Putin Doctrine in Russian Foreign Policy. Challenges for Us*, „Guman” 7 (2024), nr 2, s. 169-179.



przez Rosjan w okresie zimnej wojny<sup>20</sup>. W rozważaniach geopolitycznych nie może zabraknąć konstatacji, iż od przełomu wieków przeżywa swój renesans kolejna teoria geopolityczna, zwana euroazjanizmem. Należy również podkreślić, iż koncepcja, która przez większość intelektualistów świata zachodniego jest traktowana w kategoriach jednej w wielu teorii geopolitycznych, w politycznych realiach państwa rosyjskiego pozostaje nośną ideologią.

Powstanie tego nurtu nie jest bynajmniej konstruktem współczesnym. Termin euroazjanizm, jako konstrukt połączenia dwóch kontynentów z dominującą rolą Rosji w przestrzeni euroazjatyckiej, został stworzony w końcu XIX w. przez księcia Wieniamina Simionowa-Tieńszańskiego. Teoria ta od początku wykazywała ścisły związek z bieżącą polityką dostarczając rządzącym Rosją argumentów na rzecz działań zmierzających do podporządkowania Rosji całej przestrzeni Azji i Europy. U podstaw konstrukt leżało zresztą przekonanie, iż o wyższości cywilizacji rosyjskiej nad zachodnią, co nieuchronnie prowadziło do zderzenia cywilizacji zdefiniowanego pod koniec XX w. przez Samuela Huntingtona. Odwoływano się przy tym do tradycji odwiecznego sporu między Bizancjum a Rzymem, z którego wyłonić się miał „trzeci Rzym” (Moskwa), spełniający rolę cywilizacyjnego ośrodka misyjnego. Na podbudowie tej teorii Rosjanie w ostatniej dekadzie XIX w. podjęli próbę przeprowadzenia wielkiej modernizacji tej przestrzeni w kierunku stworzenia infrastrukturalnych podstaw do przyszłej ekspansji, czego wyrazem była m.in. decyzja o budowie kolei transsyberyjskiej. W nowym stuleciu realizacja tej koncepcji uległa zahamowaniu na skutek porażki w wojnie z Japonią. W drugiej i trzeciej dekadzie zaadoptowało tę teorię dla swoich potrzeb wojskowe otoczenie cara Mikołaja II, szukające uzasadnienia włączenia Rosji w działania I wojny światowej. Po upadku caratu stosunkowo łatwo przejęli ją komuniści. Euroazjanizm dostarczał zarówno podbudowy idei zaszczepienia komunizmu zachodnim rubieżom Europy, jak i uzasadnienia dla rewolucji bolszewickiej, która miała być drogą do szybkiej modernizacji społeczeństwa<sup>21</sup>. W latach 30-tych doszło dodatkowo do zaszczepienia do teorii euroazjańskiej osiągnięć brytyjskiej myśli geopolitycznej. Poniekąd można mówić przynajmniej o silnych inspiracjach osiągnięciami Halforda Mackindera, jeśli nie o zawłaszczeniu teorii Heartlandu. Dla Rosjan oczywiście to Moskwa (względnie Petersburg) pozostawała centrum decyzyjnym nie tylko dla Rosji, ale również całego globu<sup>22</sup>.

<sup>20</sup> R. Nicolsi, *Putins Kriegsrhetoric*, Göttingen 2025, *passim*.

<sup>21</sup> R. Bäcker, *Międzywojenny eurazjatyzm. Od intelektualnej kontrakulturacji do totalitaryzmu?*, Łódź 2000, *passim*.

<sup>22</sup> I.I. Dusinskiy, *Gieopolitika Rossiji*, Moskwa 2003, s. 53-84.



Rozwój euroazjanizmu w Rosji pozostaje niestety faktem. Federacja potrzebowała spójnej ideologii, której władarzom Kremla dostarczył Aleksander Dugin. Gruntownie wykształcony wykładowca Moskiewskiego Uniwersytetu Państwowego im. W. Łomonosowa od początku lat dziewięćdziesiątych XX w. odchodził w swych badaniach od socjologii podejmując zagadnienia z historii religii, geopolityki i filozofii, stając się stopniowo głosicielem neoimperializmu, euroazjanizmu i tradycjonalizmu integralnego<sup>23</sup>. Synteza pojęć wyniesionych z poszczególnych obszarów badawczych doprowadziła do tezy o posłannictwie Federacji, której misją pozostaje narzucenie prawosławia w wydaniu rosyjskim – jako religii przewyższającej cywilizacyjnie katolicyzm i odmiany protestantyzmu – kolejnym przestrzeniom na zachodzie kontynentu. Jak się miało okazać idea podporządkowania Zachodu w ogólnych zarysach bardzo odpowiadała władarzom Kremla, którzy – zastępując warstwę religijną twardą polityką uzależnienia energetycznego – niemal perfekcyjnie wpisali się w kontekst teoretyczny stworzony przez Dugina. Nie oznaczało to również wyrzeczenia się siły w relacjach z państwami pogranicza. Zasadnicze wytyczne zostały wzięte wprost z pism ideologa euroazjanizmu, według którego zachód Europy powinien podlegać prawom geopolitycznym wyznaczonym przez Moskwę. A w związku z tym Moskwa powinna mieć prawo rozszerzenia swoich granic wedle dowolnego swojego uznania, ponieważ sprawuje misję dziejową<sup>24</sup>.

Wyjście z poglądów Dugina i posiłkowanie się teoriami Mackindera i Spykmana pozwala uchwycić kontekst konfliktu na Ukrainie. Ukraina dla Europy to klasyczny Rimland, o czym świadczy nawet etymologia nazwy państwa (ziemia u krai [krańcu] Europy). Kraj ten ewidentnie pozostaje przestrzenią chroniącą europejski Heartland przed zagrożeniem zewnętrznym, na co zwracał zresztą uwagę już J. Piłsudski w momencie tworzenia granic polskiego państwa i po 1926 r.<sup>25</sup> Poczucie tego zagrożenia spadało jednak systematycznie wraz ze stabilizacją ładu postzimnowojennego, do czego przyczyniły się również ultraszkodliwe teorie usypiające poczucie niebezpieczeństwa państw zachodnich, jak np. teoria końca historii Francisa Fukuyamy i lansowany model stosunków Zachód-Rosja oparty o schemat „business as usualy”. Dla każdej Rosji (niezależnie do ustroju) od połowy XVII w. Ukraina to fragment rosyjskiego Heartlandu, centralna przestrzeń przyszłej ekspansji, stanowiąca klucz do osiągnięcia statusu potęgi globalnej. Jak ujął to otwarcie

<sup>23</sup> Zob. wydania polskie: A. Dugin, *Czwarta teoria polityczna*, Warszawa 2018; Tenże, *Manifest Wielkiego Przebudzenia i pisma czasu wojny*, Warszawa 2022; Tenże, *Podstawy geopolityki*, Warszawa 2019.

<sup>24</sup> L. Sykulisz, *Mysł geopolityczna Aleksandra Dugina*, Częstochowa 2024, *passim*.

<sup>25</sup> W. Paruch, *Mysł polityczna obozu piłsudczyńskiego 1926-1939*, Lublin 2005, s. 613-633.

Aleksander Dugin: „My Rosjanie [...] rozumiemy w pojęciach ekspansji i nigdy nie będziemy rozumować inaczej. Nie jesteśmy zainteresowani po prostu zachowaniem własnego państwa czy narodu. Jesteśmy zainteresowani wchłonięciem, przy pomocy wywieranego przez nas nacisku, maksymalnej liczby dopełniających nas kategorii. Nie jesteśmy zainteresowani kolonizowaniem tak jak Anglicy, lecz wytyczaniem swoich strategicznych granic geopolitycznych bez specjalnej nawet rusyfikacji, chociaż jakaś tam rusyfikacja powinna być. Rosja w swoim geopolitycznym oraz sakralno-geograficznym rozwoju nie jest zainteresowana w istnieniu niepodległego państwa polskiego w żadnej formie. Nie jest też zainteresowana istnieniem Ukrainy. Nie dlatego, że nie lubimy Polaków czy Ukraińców, ale dlatego, że takie są prawa geografii sakralnej i geopolityki”<sup>26</sup>.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenie można pokusić się o hipotezę, iż od wybuchu Pomarańczowej Rewolucji działania Moskwy na odcinku zachodnim zostały ukierunkowane na podporządkowanie Ukrainy. Paradoksalnie osiągnięciu tego celu miały służyć nawet decyzje o rzekomo charakterze wyłącznie ekonomicznym. Przykładem tego może być budowa gazociągu Nord Stream, stanowiącego *de facto* alternatywę dla gazociągu Sojuz i ropociągu Przyjaźń. Uruchomienie tejże inwestycji spowodowało obniżenie znaczenia (jak również wpływów do budżetu) Ukrainy, jako państwa tranzytowego. Co jednak okazało się dość proste w przypadku logiki wyeliminowania tranzytu gazu przez Ukrainę, nie było już tak oczywiste w stosunku do ropociągów. Powtórzenie tego procesu w obszarze transportu ropy wymagało większych inwestycji i nakładów, a przede wszystkim czasu. Ukraina pozostawała wciąż ważnym torem przesyłowym i – z punktu widzenia logiki Rosji – stan ten wymagał absolutnego podporządkowania Ukrainy dyspozycjom Kremla. Należy przyjąć tezę, iż w myśleniu politycznym Rosjan, Ukraina nie jest państwem. Ukraina pozostaje wyłącznie narzędziem. Narzędziem do zdobycia odpowiedniej pozycji, która – przynajmniej teoretycznie – umożliwi Rosji odzyskanie pozycji, jaką zajmował w XX w. Związek Radziecki. A że jej zręby budowane były i są wyłącznie dzięki wpływom z surowców, to biorąc pod uwagę artykułowane przez Rosję jej długofalowe cele, przede wszystkim powrót do zwycięskiej konfrontacji z Zachodem, w logice Kremla nie ma miejsca na niezależność Ukrainy. Dla urzeczywistnienia tego celu Rosja jest w stanie poświęcić wiele, a pytanie „jak wiele?” pozostaje otwartym. Posiłkując się argumentacją historyczną można postawić hipotezę,

---

<sup>26</sup> G. Górny, A. Dugin, *Czekam na Iwana Groźnego...*, „Fronda”, 1998, nr 11-12, s. 135.

iż włodarze Kremla, podobnie jak w czasach II wojny światowej, pozostają wyznawcami dewizy, iż „nikt nie będzie sądził zwycięzców”.

Argumentację na poparcie tych tez stanowią decyzje politycznego kierownictwa rosyjskiego z 2014 r. Warto zadać pytanie, dlaczego po tak spektakularnym sukcesie wizerunkowym, jakim była olimpiada w Soczi, Rosja zaledwie kilka tygodni później zdecydowała się na inwazję na Krym? Biorąc pod uwagę chronologię wydarzeń, destrukcja, dezintegracja i stopniowe podporządkowywanie Ukrainy zaczęły przebiegać w imponującym tempie, według scenariusza najprawdopodobniej napisanego w Moskwie: już 1 marca samozwańczy premier Krymu zwrócił się do prezydenta Putina o objęcie opieki nad ludnością półwyspu rzekomo zagrożonego napaścią Ukraińców, 16 marca przeprowadzono referendum na Krymie, co otworzyło drogę do połączenia z Rosją<sup>27</sup>. Po przyłączeniu półwyspu proces dezintegracji Ukrainy został przeniesiony w kierunku ługańskim i donieckim<sup>28</sup>. Ważnym wydaje się pytanie: dlaczego Rosjanie uznali, że był to dobry moment na urzeczywistnienie swych celów politycznych nawet w dość ograniczonej formule? Tajemnicą poliszynela, skrywaną przez publicystów, a znaną fachowcom, oczywistym było wpisanie tegoż ataku w kontekst rywalizacji globalnej. Światowa opinia publiczna miała znikomą świadomość, iż z punktu widzenia osiągnięcia celów rosyjskich moment został wybrany idealnie, obnażając okres największej słabości Stanów Zjednoczonych od zakończenia zimnej wojny<sup>29</sup>.

Z punktu widzenia Ameryki od czasu prezydentury George’a W. Busha do zakończenia pierwszej prezydentury Baracka Obamy, widoczne było trwałe zakorzenienie światowego ekonomicznego Heartlandu w rejonie Zatoki Perskiej. Na pierwszy plan wysuwała się Arabia Saudyjska, której produkcja pokrywała 38% amerykańskiego zapotrzebowania na węglowodory energetyczne. Stany Zjednoczone, w znacznym stopniu uzależnione od wpływów z przemysłu petrochemicznego, nie były już w stanie wyprodukować takiej ilości ropy, która sprawiałaby, że gospodarka Stanów Zjednoczonych mogłaby istnieć samoistnie. Od lat 70-tych w zasadzie uzależnienie od dostaw zewnętrznych było jednym z czynników najbardziej hamujących rozwój gospodarczy Stanów Zjednoczonych i Stany Zjednoczone z tego braku konkurencyjności zdawały sobie sprawę. Była to jedna z przyczyn, choć nie jedyna,

<sup>27</sup> W. Lysek, *Aneksja Krymu z perspektywy dekady. Wnioski dla zagrożonych rosyjską agresją, „Wschodnioznawstwo”* 18 (2024), s. 129-144.

<sup>28</sup> A. Gładij, *Konflikt zbrojny w Donbasie w latach 2014/2015. Rozłam wewnętrzny czy ukraińsko-rosyjska wojna? „Przegląd Strategiczny”* 2017, nr 10, s. 95-118.

<sup>29</sup> D. Yergin, *Nowa mapa. Jak energia zmienia geopolitykę*, Katowice 2021, s. 15-16.

braku odpowiedzi Stanów Zjednoczonych na przesuwanie przez Rosję granic w polityce międzynarodowej. Choć postronnym obserwatorom polityka resetu Obamy mogła wydawać się pozbawiona logiki z punktu widzenia taktyki przyjętej przez Amerykę w tamtym czasie<sup>30</sup>, była ona jak najbardziej racjonalna. Na Kapitolu i w Białym Domu uznano, iż w interesie Stanów Zjednoczonych leżało przede wszystkim utrzymanie stałego dopływu surowców energetycznych, niezbędnych dla funkcjonowania gospodarki. Stąd też przyjęto zasadę unikania konfrontacji z Rosją, co na Kremlu zostało – trafnie zresztą – odczytane jako element potwierdzający słabość Stanów Zjednoczonych. Odrębnym problemem pozostawała ponadto kwestia dość znikomego ówczesnego wpływu Stanów Zjednoczonych na europejskich sojuszników. Potwierdzeniem tego było chłodne przyjęcie decyzji Obamy o nałożeniu na Rosję sankcji po inwazji na Krym, co uświadomiło Amerykanom stopień uzależnienia od Europy w odniesieniu do surowców energetycznych pochodzących z Rosji. Sytuacja zmieniła się radykalnie dopiero w momencie, kiedy przypadkiem separatysty z Ługańska zastrzelili samolot linii Malaysia Airlines, w którym zginęli Europejczycy. Dopiero wówczas pod naciskiem opinii publicznej rządu państw europejskich i władze Wspólnoty przyłączyły się do amerykańskich sankcji<sup>31</sup>. Należy jednak podkreślić, iż był to krok o znaczeniu wyłącznie symbolicznym, same restrykcje okazały się wysoce nieskutecznymi i tak naprawdę nie przynoszącymi większego uszczerbku gospodarce Rosji. W momencie, kiedy stało się wiadomym, że polityka resetu okazała się błędem, zmiana retoryki Obamy, który zaczął nazywać Rosję mocarstwem regionalnym, jedynie dodatkowo drażniła Putina, nie przynosząc Ameryce żadnej wartości dodanej. W dużym uproszczeniu można stwierdzić, iż takie prowadzenie spraw amerykańskich sprawiło, że Rosjanie postawili na politykę wzmacniania najgroźniejszego konkurenta Stanów Zjednoczonych, tj. Chin. Wyrazem tego były decyzje o budowie gazociągów Siła Syberii i Siła Syberii 2, obliczonych na dostarczenie do Chin 38 mln m<sup>3</sup> gazu rocznie. Fakt, że nie uzyskały jeszcze pełnej przepustowości, daje pewne szanse Stanom Zjednoczonym.

Wypada jednak zadać pytanie, co takiego sprawiło, iż już w trakcie drugiej kadencji Baracka Obamy Stany Zjednoczone odważnie zmieniły retorykę wchodząc na drogę nieustępliwości wobec potężnego sąsiada. Z perspektywy czasu można postawić hipotezę, iż możliwości takie zawdzięczały determinacji

<sup>30</sup> R.G. Kaufman, *The Obama's Doctrine's Reset with Russia and Europe*, w: R.G. Kaufman, *Dangerous Doctrine. How Obama's Grand Strategy Weakened America*, Lexington (Ke, USA) 2016, s. 113.

<sup>31</sup> L. Isurin, *Reenacting the Enemy. Collective Memory Construction in Russian and US Media, Oxford 2022* (zob. m.in. rozdział: *Conflict in Eastern Ukraine and the MH17 downing*).

trzech amerykańskich technologów-biznesmenów, do tego stopnia, iż po 12 latach od uaktywnienia się ich przedsiębiorstw możliwe było polityczne zdyskontowanie ich sukcesu. Hasło Donalda Trumpa „Let’s make America great again” pozostałoby sloganem bez pokrycia, gdyby nie sukces technologiczno-biznesowy zapoczątkowany przez George Mitchella, Marka Papa i Charifa Soukiego.

George Mitchell pozostawał jednym z wielu osiadłych w Teksasie dzieci greckich imigrantów. Dzięki determinacji rodziców udało mu się skończyć studia geologiczne i uzyskać dyplom z inżynierii naftowej. Jego życiowe wybory determinowało miejsce zamieszkania i przywiązanie do teksańskiej tradycji, przede wszystkim tej związanej z wydobyciem surowców energetycznych. Kiedy w latach 80-tych XX w. pojawiły się diagnozy mówiące, iż złoża gazu i ropy amerykańskiej w Teksasie wyczerpią się ostatecznie w ciągu najbliższej dekady, George Mitchell konsekwentnie je kwestionował. Wbrew pesymistycznym prognozom założył firmę Mitchell Energy & Development, niemal obsesyjnie trwając w przekonaniu, że teksańskie zasoby są niemal nieograniczone. Penetrował opuszczone już wyrobiska, przede wszystkim w miejscach, z których wycofywał się stopniowo potentat wśród amerykańskich firm poszukiwawczych, Devon Energy. Jak się później okazało, doszedł do zaskakujących wniosków. Wyeksploatowane zasoby miały pozostać wciąż pełne pożądanego surowca, tyle że miał on być skomasowany pod ziemią w innej formule. Według Mitchella nie należało już oczekiwać erupcji gazu tryskającego z ziemi, który łatwo dawał się wtłoczyć w gazociągi. Surowiec ten pozostawał ukryty w postaci zaklętych form skalnych, tak zwanych łupków. Wyzwaniem stojącym przed Mitchellem i jego przedsiębiorstwem było po pierwsze odnalezienie metody wydobycia nowych form gazu, po drugie stworzenie metody jego przetwarzania. W ciągu 19 lat rozwoju przedsięwzięcia udało mu się wypracować nowatorską metodę szczelinowania hydraulicznego pozwalającą na wydobycie łupków gazowych w ilości uzasadniającej ich eksploatację od strony ekonomicznej. Jego odkrycie doprowadziło nie tylko do renesansu przemysłu wydobywczego w Teksasie, ale stworzyło podstawy do rychłego porzucenia przez Stany Zjednoczone pozycji importera i przejście na pozycję czołowego gracza na rynku paliw płynnych<sup>32</sup>. Odkrycie Mitchella pozwoliło również zdyskontować sukces na gruncie wewnętrznym. Rewolucja łupkowa pozwoliła bowiem na rozwiązaniu szeregu problemów, do tej pory nierozwiązywalnych, ze względu na niedobory surowcowe. Przede

---

<sup>32</sup> M.L. Holloway, *Innovation Dynamics and Policy in the Energy Sector. Building Global Energy Markets, Institutions, Public Policy, Technology and Culture on the Texan Innovation Example*, Cambridge (Ma, USA) 2021, s. 245-247.

wszystkim pozwoliły w długiej perspektywie opanować problem bezpieczeństwa energetycznego. W upadających elektrowniach, do tej pory zasilanych węglem i uzależnionych od dostaw surowców pochodzących z zewnątrz, zdołano w krótkim czasie wprowadzić nowe rozwiązania technologiczne i przystosować je do produkcji energii przy użyciu gazu łupkowego. Mitchell, zapewne w sporej mierze pozaintencjonalnie, przyczynił się do rozwiązania wielu problemów społecznych, przede wszystkim wykorzystania rezerw ludzkich w upadającej wcześniej branży gazowo-naftowej i spadku stopy bezrobocia w Teksasie. Również przyczynił się do stworzenia nowej strategii dla stanów południowo-zachodnich, w oparciu o przemysł wydobywczy. Jak pokazały bowiem późniejsze ustalenia Federalnego Komitetu ds. surowców kopalnych, zasób łupków gazowych szacowany jest na poziom zapewniający eksploatację na kolejne 118 lat (pod warunkiem utrzymania obecnego poziomu wydobywania)<sup>33</sup>. Po 19 latach samodzielnego funkcjonowania Mitchell Energy & Development Corp. została później przejęta przez Devon Energy za sumę 3,5 mld dolarów, a sam George Mitchell otrzymał funkcję w Zarządzie swego niegdysiejszego konkurenta. Mitchell wszedł w ten sposób do elitarnego klubu 500 najbogatszych ludzi na świecie i jednego z 10 najbardziej wpływowych osobistości w energetyce.

Kolejnym człowiekiem, który przyczynił się do odbudowania potęgi Ameryki, był Mark Papa i jego firma EOG Resource. Kolokwialnie można byłoby powiedzieć, iż był to kolejny szaleniec, który przeciwstawiał się tezie, że zasoby wewnętrzne Stanów Zjednoczonych uległy wyczerpaniu. To co Mitchell uczynił z wydobywaniem gazu, Papa uczynił z produkcją ropy naftowej. Wydobywanie tego surowca przez EOG Resource w 2009 r. odpowiadało mniej więcej produkcji Rumunii. Jednak 5 lat determinacji wystarczyło, by w 2014 r. EOG Resource było w stanie wyprowadzić Amerykę na pozycję, na której w wydobywaniu mierzonym w liczbach bezwzględnych ustępowała tylko Arabii Saudyjskiej i Irakowi<sup>34</sup>.

Wspomniany rok 2014 był ważny jeszcze z jednego powodu podnoszonego w kontekście rywalizacji globalnej. Wówczas to bowiem produkcja ropy w złożach kontrolowanych przez EOG Resource wyprzedziła produkcję ropy w Samotrółorze, czyli w głównym sercu produkcji rosyjskiej.

Do pełnego obrazu pionierów nowego przemysłu wydobywczego w Stanach Zjednoczonych brakuje jeszcze jednej sylwetki. Początkowo nic nie

---

<sup>33</sup> R. Gold, *The Boom. How Fracking Ignited the American Energy Revolution and Changed The World*, New York 2014, s. 114 i nast.

<sup>34</sup> G. Zuckerman, *The Frackers. The Outrageous Inside Story of the New Energy Revolution*, New York 2013, s. 176 i nast.



wskazywało na to, by Charif Souki, urodzony w Egipcie imigrant, miał zasłynąć jako gwiazda przemysłu petrochemicznego. Początkowo bowiem skłaniał się ku karierze bankowca, następnie restauratora. Niemniej – jak sam wspominał – nie były to branże, które pozwoliłyby mu zrealizować własne aspiracje, nie mówiąc już o zdobyciu bogactwa. W 1996 r. należał do grona założycieli Cheniere Energy, Inc., jednej z firm, która miała zająć się importem gazu dla – jak się wydawało – potrzebującego zewnętrznego „zasilania” przemysłu amerykańskiego. Zanim jednak Cheniere Energy zdołała znaleźć biznesowego partnera wśród bliskowschodnich eksporterów surowców energetycznych obserwacja dynamiki produkcji gazu i ropy poczyniona przez Soukiego, doprowadziła go do jedynego słusznego wniosku, iż należy przybrać kierunek odwrotny. Jeżeli bowiem wydobycie gazu miało przyrastać w takim tempie, jakie właśnie obserwował, w krótkim czasie musiało dojść do sytuacji, w której Ameryka nie będzie zdolna ten gaz przechowywać. Idąc pod prąd w stosunku do współzałożycieli swojej firmy, Souki doprowadzał do sytuacji, w której stacje kontenerowe, z założenia mające przyjmować ropę i gaz z Zatoki Perskiej, zaczęły być przystosowywane nie do załadunku, a do wyładunku tegoż surowca. Jego charyzma sprawiła, iż zdołał przeforsować decyzję o montażu terminale zdolnych obsługiwać tankowce, które w jego zamyśle miały eksportować gaz i ropę. Decyzje te zapadały w momencie, kiedy odwrócenie roli Stanów Zjednoczonych z importera na eksportera źródeł energii nie było jeszcze takie oczywiste. Dzięki determinacji Soukiego Cheniere Energy, Inc. wyrosła na głównego gracza w obszarze produkcji, transportu i handlu gazem LNG<sup>35</sup>, a sam Souki w 2013 r. z dochodem 142 mln. dolarów pozostawał najlepiej opłacanym dyrektorem zarządzającym w Stanach Zjednoczonych<sup>36</sup>. Mimo, iż sam Souki rozstał się w 2016 r. z Cheniere Energy, Inc. na skutek konfliktu z inwestorami, to jednak jego wizjonerstwu Ameryka zawdzięcza wytycznie nowego biznesowego „szlaku” i współtworzenie podstaw do podjęcia skutecznej rywalizacji z najpoważniejszymi graczami na światowym rynku paliwowym. Gdyby nie jego poprawna ocena tylko pozornie oczywistych procesów i wyciągnięcie z teże oceny właściwych wniosków, zbudowanie możliwości eksportowych Stanów Zjednoczonych z pewnością musiałyby ulec przesunięciu w czasie.

Wydaje się jednak, iż bez wsparcia politycznego tak dynamiczny przyrost dochodów przemysłu gazowo-naftowego byłby niemożliwy. Nie sposób nie

---

<sup>35</sup> P. Plebaniak, *Prawidła geopolitycznej gry o przetrwanie. Nasza przyszłość w świecie niepewności*, Częstochowa 2023, *passim*.

<sup>36</sup> G. Zuckerman, *The Frackers...*, s. 316 i nast.

docenić w tym momencie roli administracji federalnej. Dynamiczne wejście Stanów Zjednoczonych na rynki paliwowe zbiegło się z początkiem prezydentury Donalda Trumpa. Już pierwsze trzy miesiące, w trakcie których Donald Trump przyjął dwie bardzo ważne wizyty, zapowiadało nadejście nowego otwarcia w polityce amerykańskiej. Pierwsza to była wizyta premiera Japonii, druga wizyta premiera Korei Południowej. Teoretycznie obie związane były z bezpieczeństwem regionalnym, natomiast z obu tych wizyt obaj premierzy wyjechali podpisując każdy dziesięcioletni kontakt, pierwszy na dostawę ropy, drugi na dostawę gazu. Co istotne obaj przywódcy uczynili to, będąc jeszcze związanymi podobnymi umowami z Rosją<sup>37</sup>. Można zatem założyć, iż zanim w stosunku do Europy Donald Trump sformułował przekaz mówiący że bezpieczeństwo kosztuje, wcześniej prawdopodobnie w ten sam sposób zostali potraktowani dalekowschodni sojusznicy Stanów Zjednoczonych. Z dużą dozą prawdopodobieństwa można założyć, iż Japończycy i Koreańczycy zapłacili za gwarancję swego narodowego bezpieczeństwa ponosząc wymiernie skalkulowane koszty w ekwiwalencie gospodarczym.

Wracając do trzech wymienionych powyżej pionierów amerykańskiego przemysłu wydobywczego należy podkreślić, iż dokonali oni rzeczy bardzo ważnej, przyczyniając się do znaczących przetasowań na arenie międzynarodowej. Z dużą dozą prawdopodobieństwa można założyć, iż gdyby nie było dokonań biznesowych George Mitchella, Marka Papy i Charifa Soukiego zapewne znaleźliby się inni, którzy wytyczyliby Stanom Zjednoczonym tę ścieżkę rozwoju. Niemniej, wielkie znaczenie ma czas, w którym trzech biznesmenów wcieliło w życie swoje idee. Z geopolitycznego punktu widzenia, objawienie się nowego ekonomicznego Heartlandu miało olbrzymie znaczenie. Przede wszystkim sprawiło, iż Stany Zjednoczone przestały opierać swą pozycję mocarstwa wyłącznie na zdolnościach militarnych, a zdolne były uzyskać realne podstawy ekonomiczne dla swej pozycji. Jeszcze ważniejsze było poprawienie zdolności konkurencyjnej wyrobów wysokoprzetworzonych, które w przeciwieństwie do potęg azjatyckich, oparte były nie na taniej sile roboczej, a na taniej energii. Do tego stopnia była to przewaga znacząca, iż pod koniec kadencji Baracka Obamy chiński Sinofarm poważnie rozważał ulokowanie w Minnesocie sześciu kluczowych zakładów farmaceutycznych. Chińczycy mieli oprzeć swe kalkulacje na wyliczeniach, w myśl których koszty taniej energii z powodzeniem miały zrekompensować wyższe koszty pracy, a wartością dodaną stanowić miał dostęp do wysoko wykwalifikowanej kadry.

---

<sup>37</sup> K.E. Wiegand, S. Lee, *Walking a Fine Line. US Involvement in Bilateral Tensions between South Korea and Japan*, „Journal of East Asian Studies”, 2025, nr 3 (24), s. 386 i nast.



Jednak to tania energia miała być główną podstawą planowanych w przyszłości zysków. Wszystkie plany zniweczyło jednak zwycięstwo wyborcze Donalda Trumpa, w optyce którego Chiny to przede wszystkim rywal, którego ekonomicznie należało osłabiać, a przynajmniej – w miarę posiadanych przez Stany Zjednoczone możliwości – unikać jego wzmocnienia.

Wejście Stanów Zjednoczonych jako gracza na rynku surowców zmieniło w sposób zasadniczy tzw. geopolitykę rurociągów. Przede wszystkim należy podkreślić kontekst rywalizacji z Rosją, zwłaszcza na europejskim rynku, stanowiącym do tej pory domenę Federacji. Trzeba jednak podkreślić, iż Stany Zjednoczone – zwłaszcza pod rządami Trumpa – mocno akcentują *iunctim* między gwarancjami bezpieczeństwa płynącymi z obecności wojsk amerykańskich w Europie a wyborem dostawcy surowców strategicznych. Pomijając aspekt rezygnacji z dostaw rosyjskich po agresji Federacji na Ukrainę, ta dodatkowa „zachęta” polityczna może okazać się czynnikiem znaczącym. Innym zagadnieniem pozostaje kwestia jakości. Rosja oczywiście jest w stanie konkurować cenowo, jednak amerykańska ropa i gaz z łupków okazały się paliwami o wyższej wartości energetycznej. Przy zastosowaniu gazu i ropy jako surowca do produkcji energii był to czynnik nakazujący przynajmniej poddanie bilansu ekonomicznego ponownym kalkulacjom. Gaz z łupków, poddany odpowiedniej obróbce, okazał się też surowcem niemal zupełnie pozbawionym zanieczyszczeń, co posiadało szczególne znaczenie w tych gałęziach przemysłu (rolnictwo czy szeroko rozumiana produkcja żywności, przemysł farmaceutyczny). I wreszcie ostatni aspekt tej rywalizacji ujawniony za prezydentury Joe Bidena. Gdyby nie zyski z importu surowców energetycznych, zaangażowanie finansowe i materiałowe Stanów Zjednoczonych w konflikty światowe, w tym również w wojnę na Ukrainie, byłoby po prostu niemożliwe. Bez uzyskania dodatkowych źródeł finansowania – a bez amerykańskiego boomu energetycznego trudno byłoby wskazać możliwość pozyskania dodatkowego dopływu środków – byłby to wydatek, którego Stany Zjednoczone nie byłyby w stanie udźwignąć bez jednoczesnego uniknięcia znacznego pogłębienia własnego deficytu budżetowego.

Wydawać się może również, iż wewnętrzny sukces w obszarze użycia surowców jako elementu budowania mocarstwowej pozycji stanowił dla amerykańskich elit politycznych zachętę również do prób włączenia się do rywalizacji o zasoby naturalne poza granicami Stanów Zjednoczonych. Nacisk położony przez administrację Donalda Trumpa na narzucenie Ukrainie warunków pomocy militarnej w zamian za udział amerykańskich firm w eksploatacji metali ziem rzadkich, pozwala również na uchwycenie kontekstu

wcześniejszych wypowiedzi prezydenta Stanów Zjednoczonych odnośnie do Kanady i Grenlandii. Ważnym pozostaje również kontekst rywalizacji z Rosją o złoża arktyczne. Można postawić hipotezę, że być może Trump wskazał w tym momencie na przestrzenie, których zasobność może zdecydować w przyszłości o zasobności i ubóstwie. W Ameryce najwyraźniej zrozumiano, iż zasobność surowcowa stanowi podstawę zasobności narodowej, a ta z kolei pozostaje nieodzownym warunkiem zdolności włączenia się w globalną rywalizację. W tym kontekście warto dokonać analizy porównawczej trzech współczesnych pretendentów do roli światowego dominatora, tj. Stanów Zjednoczonych, Rosji i Chin. Rosja to mocarstwo, które opiera swoje funkcjonowanie niemal wyłącznie na dochodach z eksportu bogactw naturalnych. Niekwestionowanym pozostaje fakt, iż Federacji posiada ich znaczne zasoby, ale wewnętrzna zdolność ich wykorzystania do osiągnięcia zaawansowania technologicznego czy cywilizacyjnego pozostaje problematyczna. Chiny z kolei wykształciły w ostatnim okresie zdolność wytwarzania produktów bardzo zaawansowanych technologicznie. Problemem Państwa Środka pozostaje natomiast uzależnienie gospodarki od zewnętrznych dostaw surowców. Stany Zjednoczone w tym momencie wysuwają się na czoło zarówno w zdolności eksploatacji bogactw naturalnych (nie tylko na obszarze własnego państwa), jak i wytwórczej innowacyjności. Podobnie jak za prezydentury Ronalda Reagana w rywalizacji ekonomicznej nie może umknąć szeroki kontekst polityczny.

### Bibliografia

- Angstrom J., *Mapping the Competing Historical Analogies of the War on Terrorism. The Bush Presidency*, „International Relations” 2011, nr 25 (2), s. 224-242.
- Baylis J., Wirtz J., Gray C.S., i in., *Strategia we współczesnym świecie: Wprowadzenie do studiów strategicznych*, Kraków 2013.
- Bäcker R., *Międzywojenny eurazjatyzm. Od intelektualnej kontrakulturacji do totalitaryzmu?*, Łódź 2000.
- Bluet B.W., *Halford Mackinder. A Biography*, Austin 1987.
- Bluet B.W., *Halford Mackinder and the Pivot Heartland*, w: *Global Geostrategy. Mackinder and the Defence of the West*, red. B.W. Bluet, London–New York 2005, s. 1-16.
- Dugin A., *Czwarta teoria polityczna*, Warszawa 2018.
- Dugin A., *Manifest Wielkiego Przebudzenia i pisma czasu wojny*, Warszawa 2022.
- Dugin A., *Podstawy geopolityki*, Warszawa 2019.

- Dusinskiy I.I., *Gieopolitika Rossiji*, Moskwa 2003.
- Eberhardt P., *Koncepcja Rimlandu Nicholasa Spykmana i jej konsekwencje geopolityczne*, „Przegląd Geograficzny” 2014, nr 86, t. 2, s. 261-280.
- Gładij A., *Konflikt zbrojny w Donbasie w latach 2014/2015. Rozłam wewnętrzny czy ukraińsko-rosyjska wojna?* „Przegląd Strategiczny” 2017, nr 10, s. 95-118.
- Gray C.S., *The Sheriff: America's Defense of the New World Order*, Lexington (Ke, USA) 2014.
- Gold R., *The Boom. How Fracking Ignited the American Energy Revolution and Changed The World*, New York 2014.
- Górny G., Dugin A., *Czekam na Iwana Groźnego...*, „Frona”, 1998, nr 11-12, s. 130-146.
- Hauner M., *What is Asia to Us? Russia's Asian Heartland Yesterday and Today*, London–New York 1990.
- Holloway M.L., *Innovation Dynamics and Policy in the Energy Sector. Building Global Energy Markets, Institutions, Public Policy, Technology and Culture on the Texan Innovation Example*, Cambridge (Ma, USA) 2021.
- Isurin L., *Reenacting the Enemy. Collective Memory Construction in Russian and US Media*, Oxford 2022.
- Kagan R., *Powrót historii i koniec marzeń*, Poznań 2009.
- Kaplan R., *The Revenge of Geography. What the Map Tells Us about Coming Conflicts and the Battle Against Fate*, New York 2013.
- Kaufman R.G., *The Obama's Doctrine's Reset with Russia and Europe*, w: R.G. Kaufman, *Dangerous Doctrine. How Obama's Grand Strategy Weakened America*, Lexington (Ke, USA) 2016, s. 113.
- Łysek W., *Aneksja Krymu z perspektywy dekady. Wnioski dla zagrożonych rosyjską agresją*, „Wschodnioznawstwo” 18 (2024), s. 129-144.
- Mackinder H.J., *Britain and the British Seas*, Westport (Ct, USA) 1969.
- Mackinder H.J., *Demokratyczne ideały i rzeczywistość*, tłum. R. Domke, Zielona Góra 2017.
- Mormul J., *„Jaśminowa rewolucja” w Tunezji. Zwycięstwo społeczeństwa obywatelskiego czy islamskie przebudzenie?*, w: *Arabska wiosna w Afryce Północnej. Przyczyny, przebieg, skutki*, red. E. Szczepankiewicz-Rudzka, Kraków 2014, s. 17-27.
- Naveed Ul Hasan Shah M., Abbas S., Hussain I., *Putin Doctrine in Russian Foreign Policy. Challenges for Us*, „Guman” 7 (2024), nr 2, s. 169-179.
- Nicolsi R., *Putins Kriegersrhetoric*, Göttingen 2025.
- Nowak A., *Od imperium do imperium. Spojrzenia na historię Europy Wschodniej*, Kraków 2004.
- Paruch W., *Mysł polityczna obozu piłsudczykowskiego 1926-1939*, Lublin 2005.

- Petersen A., *The World Island. Eurasian Geopolitics and the Fate of the West*, Santa Barbara (Ca, USA) 2011.
- Piereslegin N., *Samoucziciel gry na „mirowej szachmatnej doskie”*. Osnownyje poniatnia geopolitiki, w: *Klassika geopolitiki*, red. K. Koroljew, Moskwa 2002, s. 680-698.
- Plebaniak P., *Prawidła geopolitycznej gry o przetrwanie. Nasza przyszłość w świecie niepewności*, Częstochowa 2023.
- Sajduk B., *Teoretyczne przesłanki współczesnej analizy politologicznej*, „Państwo i Społeczeństwo” 2007, nr 1, s. 17-48.
- Sepkowski A., *Człowiek a przyszłość*, Toruń 2005.
- Smith N., *American Empire. Roosevelt’s Geographer and the Prelude to Globalization*, Oakland 2003.
- Spykman N.J., *America’s Strategy in the World Politics. The United States and the Balance of Power*, New York 1942.
- Sykulski L., *Myśl geopolityczna Aleksandra Dugina*, Częstochowa 2024.
- Tuathail G.Ó., *Understanding Critical Geopolitics. Geopolitics and Risk Society*, „Journal of Strategic Studies” 1999, nr 2-3 (22), s. 107-124.
- Wawrzyniak J., *Historia i pamięć. Społeczne ramy historii najnowszej*, w: *Polska po 20 latach wolności*, red. M. Bucholc, S. Mandes, T. Szawiel, i in., Warszawa 2011, s. 534-538.
- Wendt J.A., *Powstanie, rozwój i współczesne problemy badań geografii politycznej*, w: *W kręgu geografii politycznej i dyscyplin „okolicznych”*. Studia dedykowane Profesorowi Markowi Sobczyńskiemu, red. A. Rykała, Łódź 2023, s. 21-34.
- Wiegand K.E., Lee S., *Walking a Fine Line. US Involvement in Bilateral Tensions between South Korea and Japan*, „Journal of East Asian Studies”, 2025, nr 3 (24), s. 386-407.
- Yergin D., *Nowa mapa. Jak energia zmienia geopolitykę*, Katowice 2021.
- Zuckerman G., *The Frackers. The Outrageous Inside Story of the New Energy Revolution*, New York 2013.



**Dr Agnieszka Boettcher**

Pracownia Obliczeń Neutronowych i Nowych Technologii

Zakład Energetyki Jądrowej i Analiz Środowiska

Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Polska

e-mail: agnieszka.boettcher@ncbj.gov.pl

ORCID: 0000-0003-2332-7519

## **Reaktory wysokotemperaturowe: technologia, zastosowanie i projekt HTGR-POLA**

### **Wprowadzenie**

Reaktory jądrowe to urządzenia, w których zachodzi reakcja rozszczepienia w warunkach kontrolowanych. Większość energetycznych elektrowni jądrowych na świecie działa w oparciu o reaktory chłodzone wodą. Ciepło generowane w reaktorze jądrowym, w wyniku reakcji rozszczepienia, znajduje zastosowanie głównie w produkcji energii elektrycznej. W zależności od wybranej technologii, temperatura chłodziwa może wynosić do ok. 300°C w przypadku reaktorów chłodzonych wodą (LWR, ang. *Light Water Reactor*) i od ok. 550°C do 1000°C w przypadku reaktorów wysokotemperaturowych (HTGR, ang. *High Temperature Gas-Cooled Reactor* lub HTR, ang. *High Temperature Reactor*). Reaktory wysokotemperaturowe mogą stanowić uzupełnienie miksu energetycznego w obszarach niedostępnych dla innych źródeł energii.

W 2016 r. Minister Energii powołał Zespół ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych (w skrócie: Zespół ds. HTR). Zespół przeanalizował zapotrzebowanie na energię cieplną o temperaturze powyżej 250°C oraz dostępne technologie, które mogą to zapotrzebowanie pokryć. Biorąc pod uwagę dojrzałość technologiczną oraz cechy bezpieczeństwa technologii, Zespół rekomendował reaktory wysokotemperaturowe jako optymalne dla potrzeb przemysłu. Raport Zespołu ds. HTR został opublikowany w 2017 r.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> G. Wrochna i in., *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce. Raport Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych*, Warszawa, wrzesień 2017; *Wysokotemperaturowe reaktory jądrowe chłodzone*

Reaktory wysokotemperaturowe mogą stanowić źródło energii (cieplnej i elektrycznej) w zakładach przemysłowych, w których procesy technologiczne wymagają wysokich temperatur.

W 2019 r. – w ramach krajowego finansowania – rozpoczęto prace zmierzające do wdrożenia technologii reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce. Pierwszym etapem była realizacja Projektu GOSPOSTRATEG-HTR: *Przygotowanie instrumentów prawnych, organizacyjnych i technicznych do wdrażania technologii HTR w Polsce*, realizowanym przez konsorcjum w składzie: Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, współfinansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Rezultaty Projektu zostały wdrożone podczas realizacji (w NCBJ) Projektu HTGR: *Opis techniczny wysokotemperaturowego reaktora badawczego HTGR chłodzonego gazem*, finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki. Rezultatem prac jest projekt podstawowy HTGR-POLA (ang. *POLish Atom*). Projekt podstawowy HTGR-POLA realizowany był we współpracy z Japońską Agencją Energii Atomowej (JAEA).

## 1. Technologia HTGR

Zasada działania reaktora wysokotemperaturowego nie różni się od zasad działania reaktorów innych technologii, stosowanych w energetyce. Źródłem energii jest ciepło z rozszczepienia paliwa jądrowego. To, co wyróżnia technologię HTGR, to materiały konstrukcyjne reaktora, które mogą pracować w wyższych temperaturach, konstrukcja paliwa oraz chłodziwo. W reaktorze wysokotemperaturowym czynnikiem chłodzącym jest obojętny chemicznie gaz (hel). Pozwala to na uzyskanie znacznie wyższych temperatur, nawet rzędu 1000°C, przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa reaktora. Dzięki temu HTGR mogą stanowić źródło ciepła wysokotemperaturowego w przemyśle.

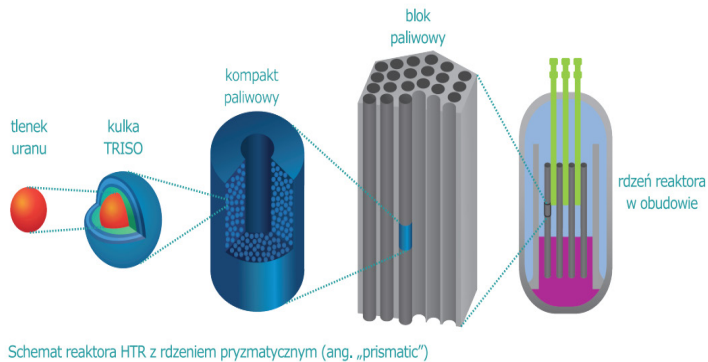
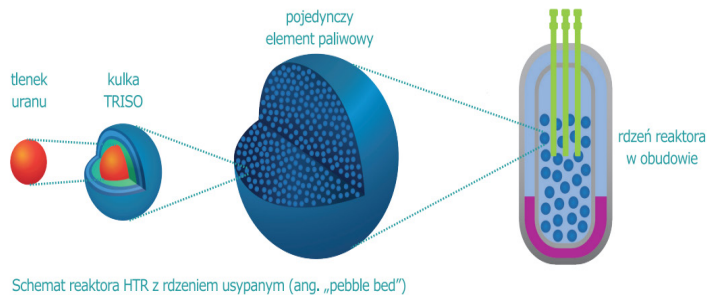
Można wyróżnić dwie konstrukcje rdzenia HTGR: kulowy ze złożem usypanym oraz blokowy (zwany również pryzmatycznym, ang. *prismatic*). Schemat rdzenia, dla obu konstrukcji przedstawiono na Rysunku 1<sup>2</sup>.

---

*gazem (HTGR)*, <https://www.gov.pl/web/klimat/wysokotemperaturowe-reaktory-jadrowe-chlodzone-gazem-htgr> [dostęp: 17.01.2025].

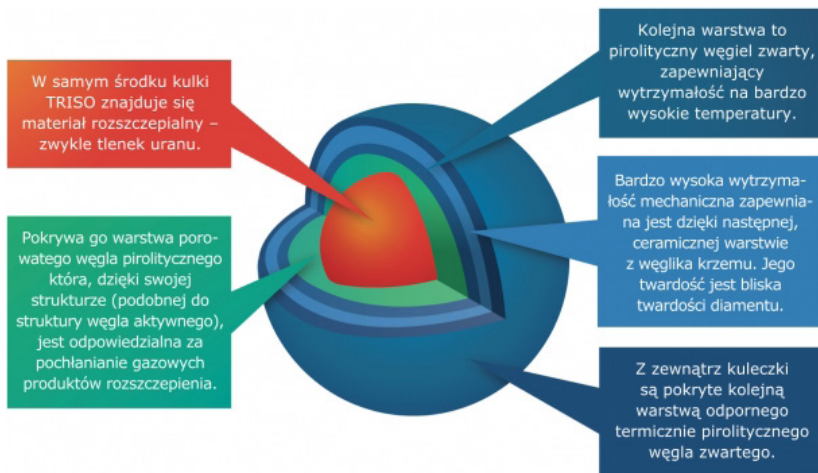
<sup>2</sup> Strona projektu GOSPOSTRATEG-HTR z materiałami edukacyjnymi: <https://www.gohtr.pl/Dopobrania.html> [dostęp: 17.01.2025].





Rysunek 1. Schemat konstrukcji rdzenia HTGR [źródło: <https://www.gohtr.pl/Do-pobrania.html>].

Niezależnie od konstrukcji rdzenia, w reaktorach wysokotemperaturowych stosowane jest paliwo TRISO (ang. *TR*istructural-*IS*Otropic). Średnica TRISO wynosi ok. 1 mm, a średnica wewnętrznej części z materiałem paliwowym wynosi ok. 0.6 mm. Paliwo otoczone jest przez cztery warstwy, które zapewniają wytrzymałość i bezpieczeństwo paliwa (Rysunek 2).

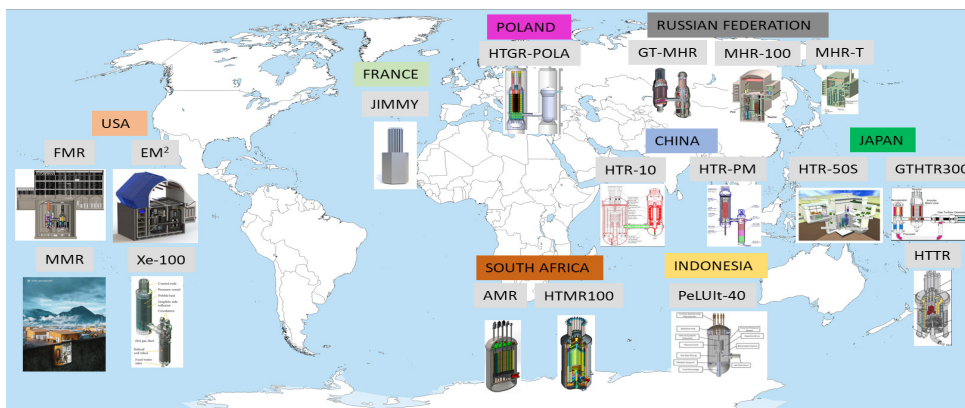


Rysunek 2. Struktura paliwa TRISO [źródło: <https://www.gohtr.pl/Do-pobrania.html>].



W zależności od przyjętej konstrukcji rdzenia paliwo TRISO umieszczane jest w elementach paliwowych w kształcie kul lub kompaktów paliwowych, w obu przypadkach matrycę stanowi grafit (Rysunek 1).

Technologia HTGR jest technologią dojrzałą i sprawdzoną na świecie. Pierwszy reaktor badawczy został uruchomiony w 1963 r. w Wielkiej Brytanii, a pierwszy reaktor energetyczny w 1967 r. w Stanach Zjednoczonych Ameryki. Aktualnie w eksploatacji jest reaktor testowy HTTR (ang. *High Temperature Test Reactor*) w Japonii oraz energetyczny HTR-PM w Chinach. HTTR to reaktor z rdzeniem pryzmatycznym, natomiast HTR-PM ma konstrukcję rdzenia w formie złoża usypanego. Aktualnie na świecie istnieje kilkanaście projektów reaktorów wysokotemperaturowych o różnej konstrukcji, mocy i stopniu zaawansowania. Na Rysunku 3 przedstawiono reaktory wysokotemperaturowe, z uwzględnieniem projektów oraz ukończonych i eksploatowanych urządzeń, według Katalogu *Small Modular Reactor Technology* Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej z 2024 r.<sup>3</sup>

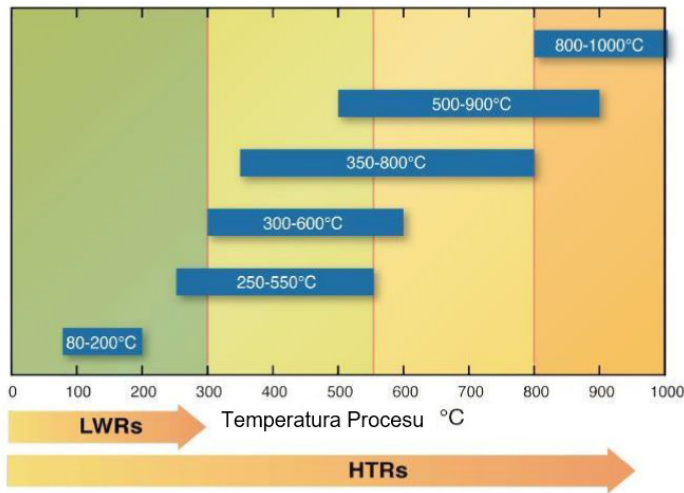


Rysunek 3. Rozwój technologii HTGR na świecie [opracowanie własne według *Small Modular Reactor Technology Catalogue*].

## 2. Zastosowanie HTGR

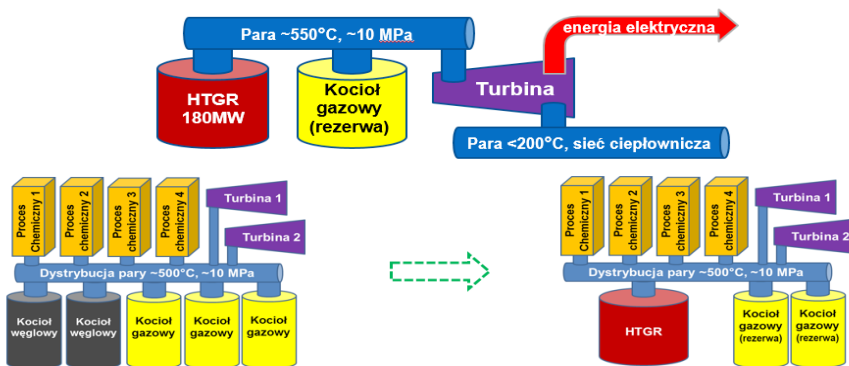
Wiele przemysłowych procesów chemicznych wymaga wysokich temperatur, które mogą być dostarczone dzięki zastosowaniu reaktorów wysokotemperaturowych (Rysunek 4). Reaktor wysokotemperaturowy może być źródłem pary technologicznej o temperaturze 550°C i wyższej, w zależności od projektu reaktora i zastosowanych materiałów odpornych na wysokie temperatury.

<sup>3</sup> *Small Modular Reactor Technology Catalogue*, IAEA 2024, [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_catalogue\\_2024.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_catalogue_2024.pdf) [dostęp: 17.01.2025].



Rysunek 4. Możliwość zastosowania reaktorów jądrowych jako źródła ciepła w procesach technologicznych [źródło: J. Buongiorno, M. Corradini, D. Petti, J. Parsons, *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World. An Interdisciplinary MIT Study*, Cambridge, MA, 2019].

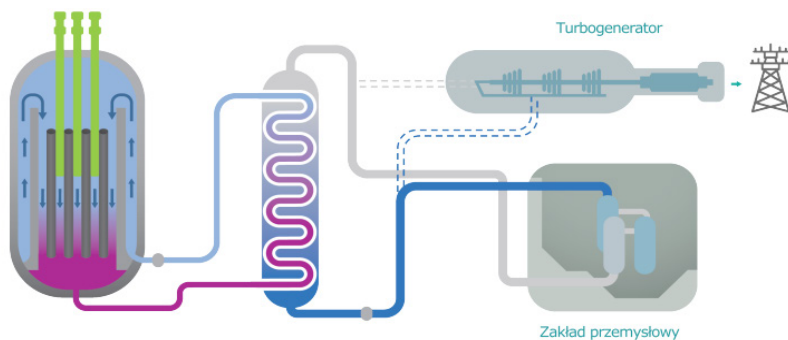
Analiza możliwości wdrożenia reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce zrealizowana w 2017 r. (zlecona przez Ministra Energii) wykazała, że optymalny byłby projekt reaktora, który byłby źródłem pary technologicznej o temperaturze 550°C i ciśnieniu ~10MPa<sup>4</sup>. Reaktor wysokotemperaturowy dostarczający parę o takich parametrach mógłby zastąpić źródła ciepła działające w oparciu o paliwa kopalne, przyczyniając się do redukcji emisji gazów cieplarnianych (Rysunek 5).



Rysunek 5. Schemat wymiany kotłów na paliwa kopalne na HTGR [autor: G. Wrochna].

Reaktor wysokotemperaturowy może być nie tylko źródłem bezemisyjnego wysokotemperaturowego ciepła, ale również energii elektrycznej (Rysunek 6).

<sup>4</sup> G. Wrochna i in., *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce*.

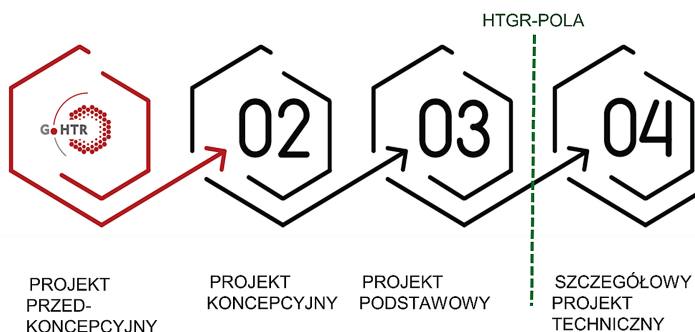


Uproszczony schemat blokowy obrazujący ideę działania instalacji jądrowej

Rysunek 6. Schemat reaktora HTGR jako źródła bezemisyjnej energii cieplnej oraz elektrycznej [źródło: <https://www.gohtr.pl/Do-pobrania.html>].

### 3. Reaktor HTGR-POLA

Mając na uwadze potencjał zastosowania reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce i na świecie<sup>5</sup>, Zespół Narodowego Centrum Badań Jądrowych we współpracy z Japońską Agencją Energii Atomowej oraz podwykonawcami, opracował projekt podstawowy HTGR-POLA. Projektowanie reaktora jądrowego składa się z czterech faz (Rysunek 7). Na tym etapie projekt został zakończony na projekcie podstawowym.



Rysunek 7. Fazy projektu HTGR-POLA.

Pierwszym etapem był projekt przed-koncepcyjny, zrealizowany w ramach Projektu GOSPOSTRATEG-HTR, współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Kolejne dwa etapy zrealizowano w ramach Projektu HTGR: *Opis techniczny wysokotemperaturowego reaktora badawczego HTGR chłodzonego gazem*, finansowanego przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.

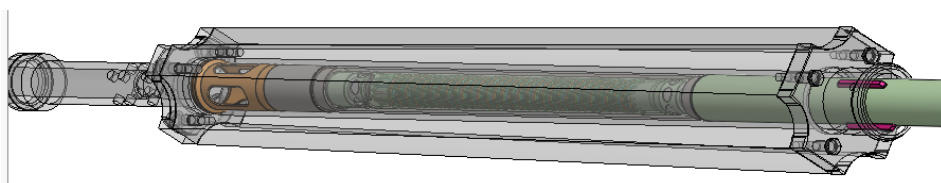
<sup>5</sup> Tamże.

Działania na rzecz wdrożenia technologii HTGR obejmują również takie elementy, jak komunikacja społeczna i edukacja, komunikacja z przemysłem oraz współpraca międzynarodowa, w tym w ramach projektów Euratomu (GEMINI+, GEMINI 4.0).

#### 4. Projekt GOSPOSTRATEG-HTR

Projekt GOSPOSTRATEG-HTR, współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu strategicznego GOSPOSTRATEG I, składał się z dwóch faz: badawczej oraz przygotowania do wdrożenia, po 4 zadania na każdą fazę, i realizowany był przez konsorcjum: Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Narodowe Centrum Badań Jądrowych oraz Instytut Chemii i Techniki Jądrowej. Celem projektu było przygotowanie instrumentów prawnych, organizacyjnych i technicznych do wdrażania technologii reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce. W toku realizacji projektu zidentyfikowano niezbędne procedury pomiarowe służące do badania i atestowania materiałów konstrukcyjnych HTGR, z uwzględnieniem norm krajowych lub międzynarodowych, prowadzenia tych badań, a w drugiej fazie projektu procedury te wdrożono. Przeprowadzono szereg badań m.in. grafitu, który jest materiałem wykorzystywanym do budowy rdzenia HTGR.

W NCBJ zaprojektowano, wybudowano, przetestowano i uruchomiono specjalną sondę do naswietlań materiałów konstrukcyjnych HTGR w rdzeniu reaktora badawczego MARIA, w temperaturze do 1000°C, tj. w temperaturach pracy reaktora HTGR<sup>6</sup>.



Rysunek 8. Model sondy ISHTAR wewnątrz kanału do naswietlań w reaktorze MARIA [źródło: M. Lipka i in., *Experimental Study of ISHTAR Thermostatic Irradiation Device for the MARIA Research Reactor*, „EPJ Web of Conferences” 253 (2021). ANIMMA Conference 2021, <https://doi.org/10.1051/epjconf/202125304001>].

Zespół NCBJ opracował pre-koncepcję reaktora badawczego HTGR. Opracowano jego założenia techniczne, a następnie wykonano szereg analiz bezpieczeństwa, określono zdarzenia inicjujące i scenariusze awarii,

<sup>6</sup> M. Migdal i in., *ISHTAR Thermostatic Irradiation Device for Advanced Nuclear Technologies Research in the Maria Reactor*, „Rynek Energii” 4 (2022), s. 57-60.

wykonano analizy rozkładu substancji promieniotwórczych w obiegu HTGR i zagrożeń radiacyjnych w warunkach normalnej eksploatacji i warunkach awaryjnych. Wykonano wstępny projekt obiegu wtórnego reaktora z uwzględnieniem wykorzystania ciepła do demonstracji jego zastosowania w procesach technologicznych.

W pierwszej fazie projektu opracowano także strategię komunikacji z przemysłem oraz ogółem społeczeństwa, a w drugiej fazie projektu wdrożono strategię poprzez m.in. organizację konferencji dla przemysłu, opracowanie materiałów promocyjnych, w tym gier, organizację wykładów i wiele innych. W konferencji dla przemysłu wzięło udział ponad 100 osób, reprezentujących różne przedsiębiorstwa. Wykłady oraz krótkie filmy edukacyjne dostępne są na kanale You Tube NCBJ.

## 5. Projekt HTGR

Kontrakt Nr 1/HTGR/2021/14 pomiędzy NCBJ i Ministerstwem Edukacji i Nauki (MEiN) pt. „Opis techniczny badawczego, wysokotemperaturowego reaktora jądrowego chłodzonego gazem HTGR” zakładał, że w ciągu trzech lat zostanie przygotowany projekt koncepcyjny, a następnie większość projektu podstawowego takiego urządzenia. Ustalono, że reaktor będzie o mocy 30-40 MW<sub>t</sub> przy temperaturze wylotowej chłodziwa (helu) 750°C.

Zespół Narodowego Centrum Badań Jądrowych, we współpracy z Japońską Agencją Energii Atomowej oraz podwykonawcami opracował projekt podstawowy HTGR-POLA oraz elementy Wstępnego Raportu Bezpieczeństwa. Na projekt podstawowy składają się następujące tomy opracowanej dokumentacji:

Tom I: „Wprowadzenie i opis ogólny”

Tom II: „Lokalizacja i plan obiektu”

Tom III: „Konstrukcje, systemy i elementy wyposażenia”

Tom IV: „Reaktor”

Tom V: „Układ chłodzenia reaktora i systemy pomocnicze”

Tom VI: „Projekt bezpieczeństwa”

Tom VII: „Układy pomiarów i sterowania”

Tom VIII: „Układy elektryczne”

Tom IX : „Układy pomocnicze”

Tom X: „Gospodarka paliwem”

Tom XI: „Gospodarka odpadami”

Tom XII: „Ochrona radiologiczna”

Tom XIII: „Ochrona przed zagrożeniami zewnętrznymi i wewnętrznymi

Tom XIV: „Eksploatacja”

Tom XV: „Analizy projektowe”

Tom XVI: „Projekt Instalacji Konwersji Energii (IKE)”

Tom XVII: „Probabilistyczna ocena ryzyka”

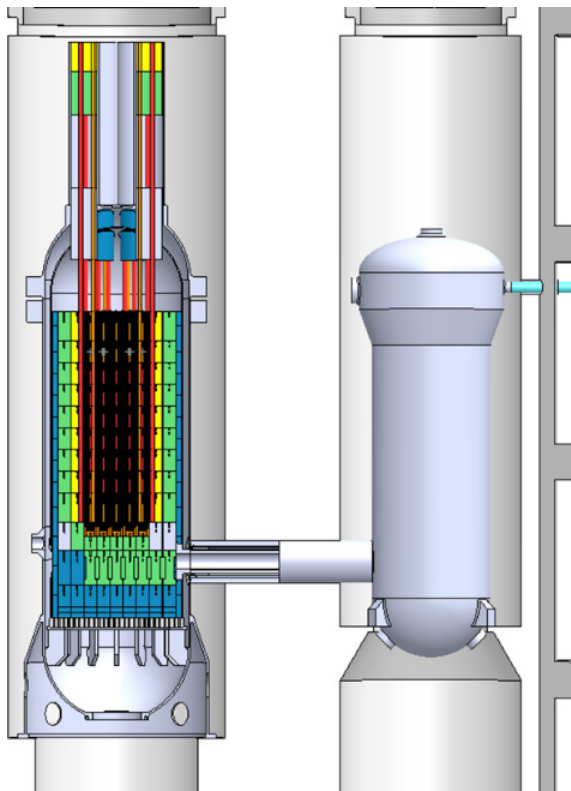
Tom XVIII: „Likwidacja obiektu”

Podstawowe parametry HTGR-POLA i wizualizację reaktora wraz z wytwornicą pary przedstawiono w Tabeli 1 i na Rysunku 9.

Tabela 1. Podstawowe parametry HTGR-POLA [źródło: *Small Modular Reactor Technology Catalogue*; M.P. Dąbrowski i in., *Concept of the Polish High Temperature Gas-Cooled Reactor HTGR-POLA*, „Nuclear Engineering and Design” 424 (2024), <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113197>; *The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition*, [https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition) [dostęp: 17.01.2025]].

Opracowanie projektu	Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Typ reaktora	High-temperature gas-cooled reactor (HTGR)
Rdzeń	Blokowy tzw. pryzmatyczny
Moc cieplna	30 MW
Paliwo, wzbogacenie	Nisko wzbogacony UO <sub>2</sub> , HALEU
Typ paliwa	TRISO cząstki w matrycy grafitowej (compact)
Cykl paliwowy	Otwarty, przechowalnik wypalonego paliwa na terenie
Moderator	Grafit
Chłodziwo	Hel
Ciśnienie chłodziwa	6 MPa
Temperatura chłodziwa na wejściu	325°C
Temperatura chłodziwa na wyjściu	750°C
Obieg wtórny	Woda/para wodna
Ciśnienie obiegu wtórnego	13.8 MPa
Systemy bezpieczeństwa	Pasywne i aktywne
Kontrola reaktywności	Pręty kontrolne, wypalające się trucizny, absorbery rezerwowe

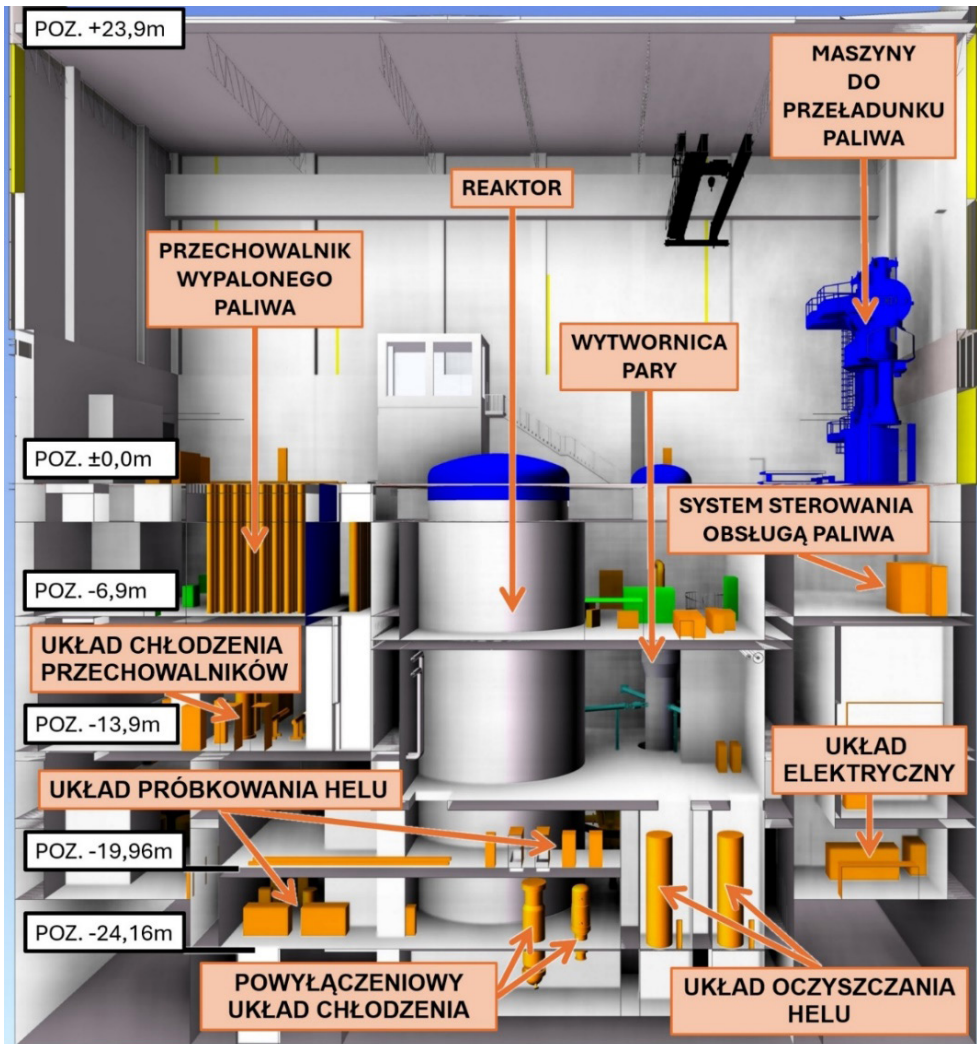
Budynek reaktora	Konstrukcja żelbetowa, nadciśnienie obliczeniowe do 0,1 MPa, budynek wentylowany
Moc na wyjściu	Praca w kogeneracji, moc elektryczna max. 10 MW brutto, ciepło wysokotemperaturowe w parze max. 25 t/h, niskotemperaturowa moc cieplna w wodzie max. 16.5 MW
Projektowy czas eksploatacji	60 lat



Rysunek 9. Wizualizacja HTGR-POLA z wytwornicą pary [źródło: *Small Modular Reactor Technology Catalogue*; M.P. Dąbrowski i in., *Concept of the Polish High Temperature Gas-Cooled Reactor HTGR-POLA*].

Poza parametrami reaktora, opracowany został projekt zagospodarowania terenu, w tym wyposażenie poszczególnych budynków. Na Rysunku 10 przedstawiono wizualizację budynku reaktora z jego wyposażeniem.





Rysunek 10. Wizualizacja budynku reaktora HTGR-POLA [źródło: *Small Modular Reactor Technology Catalogue*].

HTGR-POLA został zaprojektowany tak, aby jego konstrukcja jak najbardziej była zbliżona do konstrukcji reaktora HTGR przemysłowego o mocy 180 MW<sub>t</sub>.

Kolejnym etapem jest szczegółowy projekt techniczny HTGR-POLA, którego realizacja uzależniona jest od jego finansowania.



## Podsumowanie

Projekt HTGR-POLA w 50% stanowi IP Polski. Dalsza realizacja i wdrożenie HTGR-POLA będzie kamieniem milowym na drodze do rozwoju i zapewnienia bezemisyjnych źródeł energii cieplnej i elektrycznej w Polsce. Projekt stanowi również potencjał eksportu technologii do innych krajów.

W 2023 r. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) wydała pozytywną wstępną opinię ekspercką dotyczącą opisu technicznego projektu koncepcyjnego polskiego wysokotemperaturowego chłodzonego gazem reaktora badawczego. W lutym 2024 r. Agencja Energii Jądrowej OECD (NEA OECD) opublikowała projekt HTGR-POLA w swoim raporcie<sup>7</sup>, a we wrześniu 2024 r. IAEA umieściła HTGR-POLA w bazie danych ARIS (ang. *Advanced Reactor Information System*), która zawiera opisy projektów ewolucyjnych i innowacyjnych reaktorów jądrowych.

## Bibliografia

- Buongiorno J., Corradini M., Petti D., Parsons J., *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World. An Interdisciplinary MIT Study*, Cambridge, MA, 2019.
- Dąbrowski M.P. i in., *Concept of the Polish High Temperature Gas-Cooled Reactor HTGR-POLA*, „Nuclear Engineering and Design” 424 (2024), <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.113197>
- Lipka M. i in., *Experimental Study of ISHTAR Thermostatic Irradiation Device for the MARIA Research Reactor*, „EPJ Web of Conferences” 253 (2021). ANIMMA Conference 2021, <https://doi.org/10.1051/epjconf/202125304001>.
- Migdal M. i in., *ISHTAR Thermostatic Irradiation Device for Advanced Nuclear Technologies Research in the Maria Reactor*, „Rynek Energii” 4 (2022), s. 57-60.
- Small Modular Reactor Technology Catalogue*, IAEA 2024, [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_catalogue\\_2024.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_catalogue_2024.pdf) [dostęp: 17.01.2025].
- The NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition*, [https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_90816/the-nea-small-modular-reactor-dashboard-second-edition) [dostęp: 17.01.2025].
- Wrochna G. i in., *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce. Raport Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych*, Warszawa, wrzesień 2017.

---

<sup>7</sup> M.P. Dąbrowski i in., *Concept of the Polish High Temperature Gas-Cooled Reactor HTGR-POLA*.

---

*Wysokotemperaturowe reaktory jądrowe chłodzone gazem (HTGR)*, <https://www.gov.pl/web/klimat/wysokotemperaturowe-reaktory-jadrowe-chlodzone-gazem-htgr> [dostęp: 17.01.2025].



**Albert Borowiecki**

Instytut Badań Chin Współczesnych, Polska

e-mail: albertborowiecki@gmail.com

## **SMR-y w Chinach. Kontekst, definicje, stan obecny**

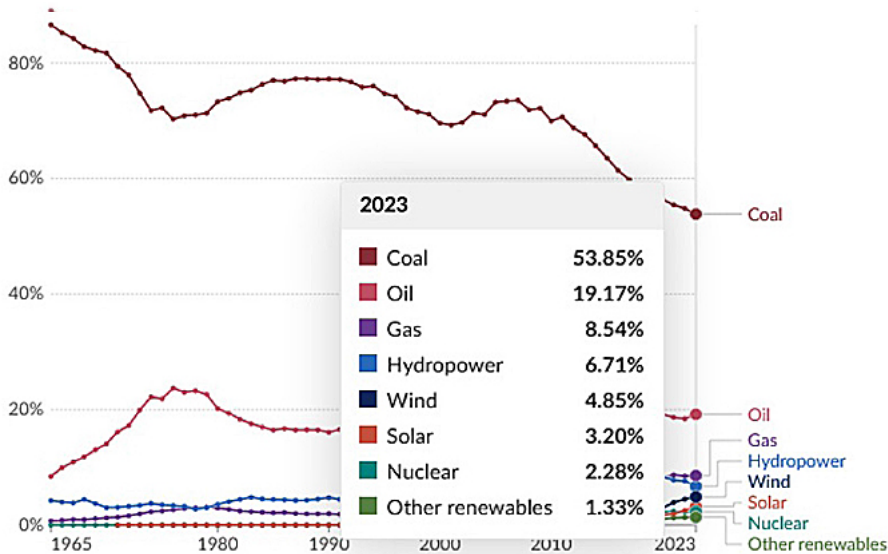
Zanim przejdę do omówienia rozwoju technologii SMR-ów w Chinach, chciałbym nakreślić krótkie tło, aby zrozumieć szerszy kontekst i pozycjonowanie tej technologii względem innych rozwiązań energetycznych w tym kraju.

Zacznijmy od spojrzenia na zapotrzebowanie na energię elektryczną w Chinach. Pod koniec 2023 r. wynosiło ono około 9500 TWh, co oznacza wzrost rok do roku o około 7%. Ten trend wzrostowy prawdopodobnie utrzyma się w najbliższych latach, biorąc pod uwagę dynamiczny rozwój gospodarczy i społeczny Chin. Obecnie w Chinach klasa średnia liczy około 400 milionów osób, a kolejne 800 milionów aspiruje do dołączenia do tej grupy. To generuje ogromne zapotrzebowanie na energię, zwłaszcza w kontekście rosnącej konsumpcji i modernizacji infrastruktury.

Jeśli przyjrzymy się rynkowi samochodów elektrycznych, sytuacja wygląda podobnie. Na chińskich drogach jeździ obecnie około 38 milionów samochodów elektrycznych, podczas gdy łączna liczba zarejestrowanych pojazdów to w przybliżeniu 400 milionów. Oznacza to, że potencjał rozwoju elektromobilności w Chinach jest ogromny, co z kolei przekłada się na dalszy wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną.

Jeśli przyjrzymy się chińskiemu mikrowi energetycznemu, zauważymy, że pomimo dynamicznego rozwoju energetyki jądrowej, jej udział w całościowym bilansie energetycznym pozostaje stosunkowo niewielki. Obecnie w Chinach działa 55 elektrowni jądrowych, 22 są w budowie, a kolejne 70 jest planowanych. Mimo to energia jądrowa stanowi niecałe 2% miksu energetycznego kraju i w najbliższej przyszłości ten udział prawdopodobnie nie ulegnie znaczącej zmianie. Można zatem stwierdzić, że nawet przy ponad 150 planowanych i budowanych elektrowniach jądrowych, ta technologia pozostaje na marginesie chińskiego systemu energetycznego.

Dlaczego tak się dzieje? Aby to zrozumieć, warto spojrzeć na dane z Global Energy Monitor dotyczące poszczególnych składowych generacji energii elektrycznej w Chinach.



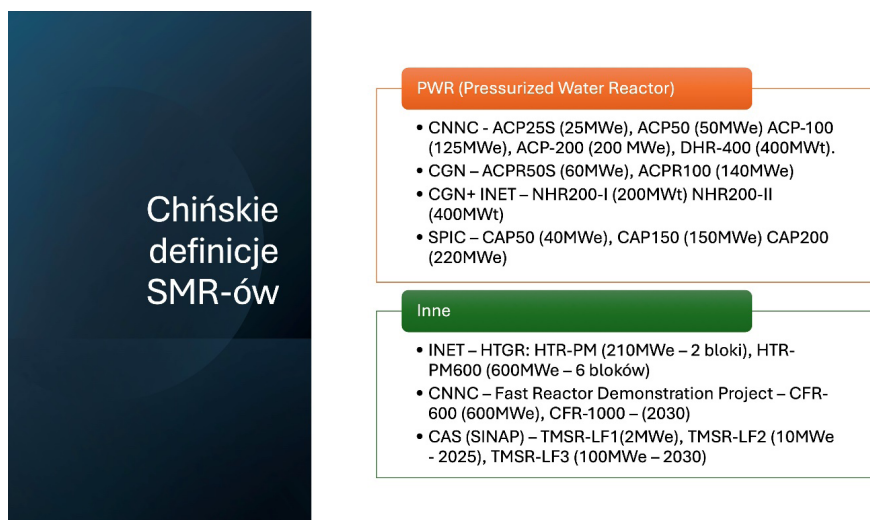
W przypadku energetyki jądrowej mamy obecnie zainstalowaną moc 58 GW, a po uwzględnieniu elektrowni planowanych i będących w budowie, liczba ta wzrasta do 118 GW. Dla porównania, farmy wiatrowe mają już zainstalowane 395 GW mocy, a po dodaniu planowanych projektów, łączna moc wzrośnie do 495 GW. W przypadku elektrowni słonecznych obecna moc wynosi 386 GW, a z planowanymi inwestycjami osiągnie 566 GW. Jeśli chodzi o elektrownie morskie, Chiny mają obecnie 323 GW mocy zainstalowanej, a z planowanymi projektami będzie to 561 GW.

Gdy zsumujemy te liczby, okazuje się, że moc działających elektrowni jądrowych wynosi 58 GW, podczas gdy odnawialne źródła energii (OZE) dostarczają już 1210 GW mocy. To oznacza, że OZE mają 20-krotnie większy udział w chińskim systemie energetycznym niż energetyka jądrowa. Ta dysproporcja pokazuje, że Chiny stawiają przede wszystkim na rozwój odnawialnych źródeł energii, które stanowią kluczowy element ich strategii energetycznej.

Jeśli przyjrzymy się planowanym mocom, które mają zostać dodane do chińskiego systemu energetycznego, zauważymy, że energetyka jądrowa ma osiągnąć 118 GW, podczas gdy odnawialne źródła energii (OZE) mają docelowo dostarczyć aż 1600 GW. To pokazuje ogromną dysproporcję między tymi dwoma sektorami. Warto w tym miejscu przypomnieć definicję, która jest kluczowa dla zrozumienia tematu. Według Światowej Agencji Energetyki,

mały reaktor jądrowy (SMR) to taki, który generuje do 300 MW energii elektrycznej. Jednak Chiny mają nieco inne podejście do tej kwestii. Jeśli spojrzymy na moce wymienione na rysunku poniżej, szczególnie w przypadku reaktorów typu CFR-600 czy CFR-1000, zauważymy, że ich moc jest dwukrotnie, a nawet trzykrotnie większa niż klasyczna definicja SMR-a. Mimo to Chińczycy nadal klasyfikują je jako małe reaktory jądrowe.

Podobna sytuacja dotyczy innych reaktorów rozwijanych w Chinach. Ogólnie rzecz biorąc, technologie SMR-ów w tym kraju można podzielić na dwie główne grupy: reaktory wodno-ciśnieniowe oraz inne technologie, które są obecnie rozwijane. Każda z tych grup zasługuje na szczegółowe omówienie, a na rysunku poniżej znajduje się ich pełna lista.



Pierwsza grupa to reaktory jądrowe rozwijane przez *China National Nuclear Corporation* (CNNC). Skrót APC pochodzi od terminu „zaawansowany chiński reaktor ciśnieniowy”. Prace badawcze nad tym reaktorem rozpoczęły się w 2010 r., a budowa ruszyła w 2019 r. Planowane podłączenie do sieci ma nastąpić w 2025 r. Reaktor ten ma moc 385 MW energii termicznej i 125 MW energii elektrycznej. Jego okres użytkowania szacuje się na 60 lat, a wymiana paliwa odbywa się co 2 lata.

Kolejną technologią rozwijaną przez *China National Nuclear Corporation* jest DHR-400, czyli niskotemperaturowy reaktor typu basenowego. Ten reaktor został zaprojektowany wyłącznie do generowania ciepła, co ma na celu zastąpienie bloków węglowych w sieciach ciepłowniczych. Obecnie znajduje się on w fazie pilotażowej. Budowa rozpoczęła się w 2017 r. i zakończyła w 2019 r. Okres eksploatacji wynosi 60 lat. Jednym z wyzwań związanych

z tym reaktorem jest kwestia zarządzania energią cieplną w okresach, gdy zapotrzebowanie na nią spada. Chińczycy rozwiązują ten problem, łącząc reaktor z magazynami ciepła, takimi jak dodatkowe baseny wody, które pozwalają na przechowywanie nadmiaru ciepła, gdy sieć nie jest w stanie go przyjąć.

Następna rodzina reaktorów, rozwijana przez *China General Nuclear Power* (CGN), nosi nazwę ACPR, co można przetłumaczyć jako „zaawansowane chińskie reaktory wodno-ciśnieniowe”. Prace nad tymi reaktorami trwają od 2009 r. W tej rodzinie znajdują się obecnie dwa typy reaktorów. Pierwszy z nich, ACPR50S, jest przeznaczony do zastosowań morskich, takich jak statki, platformy wydobywcze czy pływające elektrownie jądrowe. Drugi, ACPR1000, charakteryzuje się nieco większymi parametrami i jest przeznaczony do zastosowań lądowych. W obu przypadkach okres użytkowania przewidziano na 40 lat, a wymiana paliwa odbywa się co 3 lata.

Kolejna rodzina reaktorów rozwijana przez *China General Nuclear Power* oraz Instytut Technologii Nuklearnych i Nowych Uniwersytetu Xinhua to reaktor NHR-200 II. Skrót NHR pochodzi od terminu *Nuclear Heating Reactor*. Prace nad tym reaktorem rozpoczęły się już w 1989 r. W 2018 r. przygotowano studium wykonalności, a w 2019 r. projekt został przesłany do chińskiej agencji odpowiedzialnej za certyfikację bezpieczeństwa. Na razie nie udało mi się znaleźć informacji o tym, czy reaktor uzyskał już certyfikację lub czy prowadzone są jakiegokolwiek prace pilotażowe.

Następna grupa reaktorów to rodzina CAP, rozwijana przez *State Power Investment Corporation*. Ta konstrukcja jest wyjątkowa, ponieważ w przeciwieństwie do większości chińskich projektów, które rozwijają się od mniejszych do większych rozwiązań, tutaj mamy do czynienia z odwrotnym podejściem. *State Power Investment Corporation* wykorzystuje duże reaktory *Westinghouse* jako punkt wyjścia, aby tworzyć ich mniejsze, modularne wersje. Planowane są trzy typy takich reaktorów: jeden przeznaczony dla platform pływających oraz dwa do użytku lądowego, z których ostatni, CAP200, ma być dedykowany głównie do celów grzewczych. W przypadku reaktorów pływających wymiana paliwa odbywa się co pięć lat, a w przypadku reaktorów lądowych – co trzy lata. Przewidywany czas użytkowania dla mniejszych reaktorów to 80 lat, a dla większych – 60 lat.

To były ostatnie reaktory z grupy reaktorów ciśnieniowych wodnych.

Następnie scharakteryzowane zostaną inne technologie rozwijane w Chinach w zakresie małych reaktorów nuklearnych. Pierwszym z nich jest reaktor opracowywany przez Instytut Nowych Technologii i Technologii Nuklearnych, o którym już wcześniej wspominałem. To kolejny projekt, nad

którym pracują. Angielski skrót można rozwinąć jako *high-temperature gas-cooled reactor* (HTGR), czyli wysokotemperaturowy reaktor chłodzony gazem, w tym przypadku helem, ze złożem lub rdzeniem usypanym. Nazwa wynika z faktu, że podstawowa wersja tego reaktora składa się z dwóch modułów, a w każdym z nich znajduje się prawie 250 tysięcy kulek, przypominających rozmiarem piłeczki tenisowe, które zawierają paliwo do reaktora. To ciekawy pomysł, ponieważ w tego typu reaktorach nie ma przerw na wymianę paliwa – proces ten odbywa się w sposób ciągły. Na dole reaktora kuleczki są usuwane, przechodzą przez specjalny system, który ocenia stopień zużycia paliwa w każdej z nich. Jeśli kulka nadaje się do ponownego użycia, jest wrzucana z powrotem do reaktora od góry. Jeśli jest już wyczerpana, trafia do składowania.

Prace nad tym reaktorem rozpoczęły się w 2001 r. Projekt demonstracyjny powstał w 2012 r. Następnie, po analizach Reinera Murmana, który zwrócił uwagę na konieczność wzmocnienia mechanizmów bezpieczeństwa w reaktorach typu SMR, w 2018 r. wprowadzono odpowiednie ulepszenia. W marcu 2024 r. reaktor został podłączony do sieci ciepłowniczej. Obecnie trwają prace nad studium wykonalności dla większej wersji tego reaktora, która zamiast dwóch modułów, miałaby ich sześć. Ta wersja pozwalałaby na generowanie 600 MW energii elektrycznej, co odpowiada około 1200 MW energii cieplnej, czyli prawie dwukrotnie więcej niż w przypadku klasycznego SMR-a.

Kolejną technologią rozwijaną w Chinach w zakresie reaktorów nuklearnych jest reaktor na neutronach prędkich, chłodzony sodem, typu basenowego. Tym projektem zajmuje się *China National Nuclear Corporation*. Pierwsza wersja tego reaktora została podłączona do sieci w 2011 r. Obecnie trwają prace nad większą wersją, oznaczoną jako CFR-600. Jak widać, jego moce znacznie przekraczają klasyczną definicję SMR-a, jednak w Chinach nadal zalicza się go do tej kategorii. Budowa pierwszego bloku rozpoczęła się w 2017 r., a podłączenie do sieci nastąpiło w 2023 r. Obecnie trwa instalacja drugiego bloku, która rozpoczęła się w 2020 r., a planowane podłączenie do sieci przewidziano na 2026 r. Szacowany czas eksploatacji wynosi 40 lat.

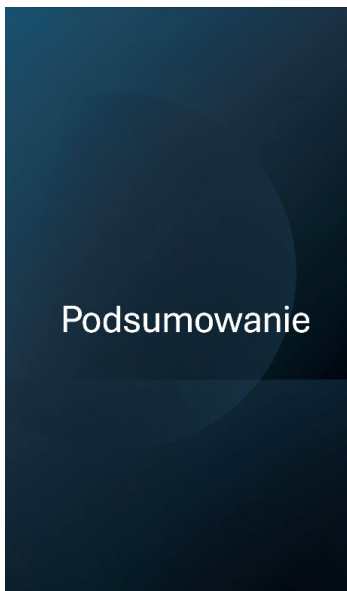
W Chinach średni czas od rozpoczęcia prac instalacyjnych nad SMR-em do jego podłączenia do sieci wynosi około 6 lat.

Ostatnią technologią, która jest badana i rozwijana w Chinach, są reaktory ciekłosolne, opracowywane przez Chińską Akademię Nauk we współpracy z Szanghajskim Instytutem Fizyki Stosowanej. W tej chwili w sieci działa pilotażowy reaktor o mocy 2 MW energii cieplnej. Prace nad nim rozpoczęły się w 2011 r., budowa ruszyła w 2018 r., a podłączenie do sieci nastąpiło w 2023 r. Dla tego eksperymentalnego reaktora przewidziano okres eksploatacji na 10



lat. Obecnie planowane są kolejne dwie wersje tego reaktora o większych mocach. Pierwszy, o mocy 10 MW energii elektrycznej, ma rozpocząć budowę w 2025 r., a kolejny, dziesięciokrotnie większy, jest planowany na początek lat 30. XXI w. Ta technologia jest szczególnie interesująca, ponieważ reaktory ciekłosolne nie wymagają wody do chłodzenia. Dzięki temu mogą być stosowane na terenach pustynnych, w miejscach z ograniczonym dostępem do wody, a także, jak planują Chińczycy, na platformach latających.

Podsumowując, w Chinach obserwujemy ogromną różnorodność testowanych technologii w zakresie małych reaktorów jądrowych. Wśród nich znajdują się ciśnieniowe reaktory wodne, wysokotemperaturowe reaktory chłodzone gazem, reaktory na neutronach prędkich chłodzone sodem typu basenowego, niskotemperaturowe reaktory typu basenowego oraz torowe reaktory ciekłosolne. W sumie równolegle rozwijanych jest pięć różnych technologii, co pokazuje szerokie spektrum badań i innowacji w tym obszarze.



- Duża różnorodność testowanych technologii
  - Ciśnieniowy reaktor wodny
  - Wysokotemperaturowy reaktor chłodzony gazem
  - Reaktor jądrowy na neutronach prędkich chłodzony sodem typu basenowego
  - Niskotemperaturowy reaktor typu basenowego
  - Torowy reaktor ciekłosolny
- Duża różnorodność zastosowań
  - Pływające (ACPR50S, ACP25S, ACP50S, ACP100S, HHP25, CAP50)
  - Ciepło mieszkańców (DHR-400, NHR-200, CAP150, CAP200) + ciepło przemysłowe + odsalanie wody + radioizotopy
  - Obszary pustynne (z małą ilością wody) – TMSR-LF1
  - Platformy latające – TMSR-LF1
- SMR-y nie będą odgrywały znaczącej roli w mikście energetycznym Chin.

Chińskie projekty obejmują bardzo zróżnicowane zastosowania. Reaktory te są testowane na platformach pływających, dedykowane do dostarczania ciepła mieszkańcom lub przemysłowi. W okresach, gdy zapotrzebowanie na ciepło spada, na przykład latem, planuje się wykorzystanie tych reaktorów do odsalania wody morskiej, produkcji wody słodkiej lub wytwarzania różnego rodzaju radioizotopów. Dodatkowo, reaktory torowe i ciekłosolne są projektowane z myślą o zastosowaniach na obszarach pustynnych oraz na platformach latających. Te ostatnie mogą służyć na przykład do zapewnienia

---

komunikacji bezprzewodowej 5G na terenach dotkniętych klęskami żywiołowymi, które zniszczyły istniejącą infrastrukturę, lub do zasilania dronów obserwacyjnych wymagających długiego czasu przebywania w powietrzu.

Mimo tak dużej liczby projektów i różnorodności zastosowań, małe reaktory jądrowe (SMR-y) prawdopodobnie nie będą odgrywały znaczącej roli w chińskim miksie energetycznym. Ich udział prawdopodobnie pozostanie na poziomie 2-3%, co pokazuje, że choć technologia ta jest intensywnie rozwijana, to w skali całego systemu energetycznego Chin pozostaje niszowym rozwiązaniem.



**Mgr Marcin Chludziński**

Centrum Strategii Rozwojowych, Polska

e-mail: chludzinskim@gmail.com

ORCID: 0009-0009-5182-7378

## **Bezpieczeństwo energetyczne jako polska racja stanu**

### **Wprowadzenie**

Bezpieczeństwo energetyczne jest kluczowym elementem stabilności gospodarki i funkcjonowania państwa. Oznacza nie tylko zapewnienie dostępu do energii w wymaganej ilości, ale także jej stabilne i przewidywalne ceny, które warunkują konkurencyjność przemysłu i jakość życia obywateli. Współczesne wyzwania energetyczne obejmują zarówno globalny wzrost zapotrzebowania na energię, jak i konieczność dywersyfikacji źródeł jej produkcji. Polska, jako kraj o dużym udziale przemysłu energochłonnego, stoi przed dylematem, jak zapewnić bezpieczeństwo energetyczne przy jednoczesnym utrzymaniu konkurencyjności na rynku międzynarodowym<sup>1</sup>.

W skali globalnej prognozy wskazują, że w ciągu najbliższej dekady zużycie energii wzrośnie nawet trzykrotnie, co wynika zarówno z rozwoju przemysłu, jak i postępu technologicznego, w tym rozwoju sztucznej inteligencji (AI), centrów danych oraz cyfryzacji gospodarki<sup>2</sup>. Rosnąca liczba serwerowni i infrastruktury przetwarzania danych powoduje ogromne zapotrzebowanie na energię, a jednocześnie wymaga stabilnych i niskoemisyjnych źródeł energii<sup>3</sup>. Jednym z przykładów znaczenia energii w sektorze technologicznym jest wykorzystywanie jej do zasilania kryptowalut, gdzie koszt energii stanowi główny czynnik produkcji. Nielegalne podłączanie tzw. „farm kryptowalutowych” do sieci energetycznych dowodzi, jak istotnym aspektem ekonomicznym stała się energia elektryczna<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*, „Politeja” 4 (79) 2022, s. 167-186, <https://doi.org/10.12797/Politeja.19.2022.79.10>

<sup>2</sup> R. Szczerbowski, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – mix energetyczny i efektywność energetyczna*, „Polityka Energetyczna” 16 (2013), z. 4, s. 35-47.

<sup>3</sup> E. Nowiński, *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*, „Nowa Energia” 79 (2021), nr 3, s. 42-46.

<sup>4</sup> Obserwator Finansowy, *Makroekonomia i trendy gospodarcze w energetyce*, 2025.

Trendy te wskazują, że bezpieczeństwo energetyczne będzie jednym z najważniejszych czynników determinujących rozwój gospodarczy w XXI w.<sup>5</sup>

Polska gospodarka opiera się na sektorach wymagających dużej ilości energii, w tym na hutnictwie, górnictwie oraz przemyśle chemicznym<sup>6</sup>. Jednym z największych konsumentów energii jest KGHM Polska Miedź – przedsiębiorstwo hutnicze, które wymaga ciągłego dostępu do energii elektrycznej i gazu, aby utrzymać produkcję<sup>7</sup>. KGHM jest drugim największym przemysłowym konsumentem energii w Polsce, zaraz po Polskich Kolejach Państwowych (PKP), których infrastruktura transportowa również wymaga znacznych nakładów energetycznych<sup>8</sup>. Szczególnie istotne jest to, że duże przedsiębiorstwa przemysłowe, takie jak KGHM, działają w systemie ciągłym, co oznacza, że ich zakłady pracują 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu<sup>9</sup>. Produkcja hutnicza wymaga stałego podtrzymywania wysokich temperatur w piecach rafineryjnych, co sprawia, że nie można polegać wyłącznie na odnawialnych źródłach energii, takich jak fotowoltaika czy farmy wiatrowe. Ich charakterystyka sprawia, że są one niestabilnym źródłem energii, zwłaszcza w nocy lub w okresach niskiej wietrzności<sup>10</sup>.

Wzrost cen energii elektrycznej i gazu staje się coraz większym obciążeniem dla polskich przedsiębiorstw<sup>11</sup>. Od 2018 r. KGHM podejmował działania optymalizacyjne, takie jak kompensacja mocy biernej, stabilizacja napięcia, systemy automatyki, budowa bloków parowo-gazowych czy rozwój energetyki odnawialnej<sup>12</sup>. Jednakże nawet te inicjatywy nie były wystarczające do zapewnienia długoterminowej stabilności kosztów<sup>13</sup>. Obserwując trendy na rynku międzynarodowym widać, że wysokie koszty energii mogą prowadzić do relokacji inwestycji poza Polskę, co negatywnie wpłynie na rozwój gospodarczy kraju<sup>14</sup>. W niektórych przypadkach przedsiębiorstwa rezygnują z uruchomienia nowo wybudowanych fabryk, ponieważ w świetle obecnych cen energii ich działalność nie jest już ekonomicznie uzasadniona<sup>15</sup>.

---

<sup>5</sup> Instytut Kościuszki, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – raport otwarcia*, 2010.

<sup>6</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

<sup>7</sup> Polski Instytut Ekonomiczny, *Raport o stanie energetyki w Polsce*, 2023.

<sup>8</sup> Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *Poland 2022: Executive Summary*, 2022.

<sup>9</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

<sup>10</sup> E. Nowiński, *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

<sup>11</sup> Polski Instytut Ekonomiczny, *Raport o stanie energetyki w Polsce*.

<sup>12</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

<sup>13</sup> Instytut Kościuszki, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – raport otwarcia*.

<sup>14</sup> Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *Poland 2022: Executive Summary*.

<sup>15</sup> Obserwator Finansowy, *Makroekonomia i trendy gospodarcze w energetyce*.

Wobec powyższych wyzwań, kluczowe staje się poszukiwanie nowych, bardziej efektywnych źródeł energii<sup>16</sup>. W artykule podjęta będzie analiza możliwości wdrożenia małych reaktorów modułowych (SMR) jako sposobu na poprawę bezpieczeństwa energetycznego Polski<sup>17</sup>. Scharakteryzowana zostanie ich ekonomiczna i technologiczna opłacalność, a także potencjalne bariery wdrożenia<sup>18</sup>. Wnioski płynące z tej analizy pozwolą odpowiedzieć na pytanie, czy SMR-y mogą stać się fundamentem polskiej strategii energetycznej w najbliższych dekadach<sup>19</sup>.

## 1. Aktualna sytuacja energetyczna Polski

Polska stoi przed istotnymi wyzwaniami w zakresie energetyki, które wynikają zarówno z rosnącego zapotrzebowania na energię, jak i konieczności uniezależnienia się od paliw kopalnych oraz zagranicznych dostaw surowców<sup>20</sup>. Transformacja energetyczna, w połączeniu z dynamicznymi zmianami na globalnym rynku energii sprawia, że polska gospodarka musi poszukiwać nowych, stabilnych i ekonomicznie opłacalnych źródeł zasilania<sup>21</sup>.

Polska gospodarka charakteryzuje się dużym udziałem przemysłu energochłonnego, który w znacznym stopniu kształtuje krajowy bilans energetyczny. Wśród największych odbiorców energii znajdują się:

- przemysł hutniczy i wydobywczy – zakłady, takie jak KGHM Polska Miedź, wykorzystują ogromne ilości energii elektrycznej oraz gazu do procesów metalurgicznych. Ze względu na specyfikę produkcji, przedsiębiorstwa te wymagają stabilnych i nieprzerwanych dostaw energii przez całą dobę<sup>22</sup>;
- transport kolejowy – Polskie Koleje Państwowe (PKP) są największym odbiorcą energii w sektorze transportu. Elektryfikacja kolei, choć wpisuje się w cele dekarbonizacji, stanowi również wyzwanie w kontekście zapewnienia stabilnych źródeł energii dla infrastruktury kolejowej<sup>23</sup>;

---

<sup>16</sup> Instytut Kościuszki, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – raport otwarcia*.

<sup>17</sup> W. Jureńczyk, *Small Modular Reactors in Polish-American Energy Cooperation. Małe reaktory modułowe w polsko-amerykańskiej współpracy energetycznej*, „Sprawy Międzynarodowe” 75 (2022), nr 3-4, s. 97-117.

<sup>18</sup> Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments*, 2024.

<sup>19</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

<sup>20</sup> Tamże.

<sup>21</sup> R. Szczerbowski, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – mix energetyczny i efektywność energetyczna*.

<sup>22</sup> Polski Instytut Ekonomiczny, *Raport o stanie energetyki w Polsce*.

<sup>23</sup> Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *Poland 2022: Executive Summary*.

- sektor IT i centra danych – rosnąca digitalizacja gospodarki, rozwój sztucznej inteligencji i przetwarzania danych generuje zwiększone zapotrzebowanie na energię. Globalne firmy, takie jak Google i Meta, już inwestują w niezależne źródła energii, w tym modułowe reaktory jądrowe (SMR), co wskazuje na przyszły trend w sektorze technologicznym<sup>24</sup>;
- gospodarstwa domowe i usługi – mimo że sektor przemysłowy jest głównym konsumentem energii, wzrastające ceny energii elektrycznej i gazu wpływają również na odbiorców indywidualnych, prowadząc do wzrostu kosztów utrzymania i presji na rynek pracy<sup>25</sup>.

Wysokie ceny energii stanowią jedno z największych zagrożeń dla konkurencyjności polskiego przemysłu. Wzrost kosztów energii elektrycznej i gazu bezpośrednio przekłada się na opłacalność działalności produkcyjnej, co skutkuje decyzjami o wstrzymaniu inwestycji lub nawet zamykaniu zakładów<sup>26</sup>. W ostatnich latach niektóre przedsiębiorstwa zrezygnowały z uruchomienia nowych fabryk, ponieważ ceny energii znacząco przekroczyły poziom przewidywany w biznesplanach. Sytuacja ta prowadzi do obniżenia atrakcyjności Polski jako miejsca do lokowania inwestycji przemysłowych, co może negatywnie wpłynąć na rynek pracy i tempo wzrostu gospodarczego<sup>27</sup>.

Problem konkurencyjności nie dotyczy wyłącznie Polski – podobne wyzwania stoją przed niemieckim przemysłem, który po wyłączeniu elektrowni jądrowych i uzależnieniu się od gazu, w wyniku kryzysu energetycznego doświadczył gwałtownego wzrostu kosztów produkcji. W odpowiedzi Niemcy zaczęły przywracać do użytku elektrownie węglowe i inwestować w nowe bloki gazowe, aby zapewnić stabilność energetyczną<sup>28</sup>.

Obecna sytuacja energetyczna Polski ujawnia kilka kluczowych problemów związanych z zapewnieniem taniej i stabilnej energii. Jednym z największych wyzwań jest ograniczona zdolność krajowej sieci przesyłowej do integracji nowych źródeł energii. W szczególności dotyczy to energii odnawialnej, której nadwyżki w okresach dużej produkcji (np. w słoneczne dni) nie mogą być efektywnie magazynowane ani przesyłane<sup>29</sup>. W wielu regionach kraju odbiór

---

<sup>24</sup> E. Nowiński, *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

<sup>25</sup> Obserwator Finansowy, *Makroekonomia i trendy gospodarcze w energetyce*.

<sup>26</sup> Instytut Kościuszki, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – raport otwarcia*.

<sup>27</sup> Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *Poland 2022: Executive Summary*.

<sup>28</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

<sup>29</sup> R. Szczerbowski, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – mix energetyczny i efektywność energetyczna*.

energii z mikroinstalacji fotowoltaicznych jest ograniczony, co prowadzi do frustracji prosumentów i obniżenia opłacalności inwestycji w OZE<sup>30</sup>.

Kolejnym problemem jest brak jednoznacznej strategii dotyczącej wykorzystania gazu jako paliwa przejściowego. Choć Polska uniezależniła się od dostaw gazu z Rosji, jego import drogą morską (LNG) wiąże się z wyższymi kosztami. Pomimo rozbudowy infrastruktury gazowej, brak stabilnych regulacji dotyczących przyszłości tego surowca sprawia, że firmy wahają się przed inwestycjami w nowe bloki gazowe<sup>31</sup>.

W tym kontekście technologia SMR staje się potencjalnym rozwiązaniem problemów z dostępnością taniej energii dla przemysłu. Modułowe reaktory jądrowe mogą stanowić stabilne dostawy energii w sposób bardziej elastyczny niż tradycyjne elektrownie jądrowe. Kluczowe pytanie dotyczy jednak szybkości wdrożenia tej technologii w Polsce oraz gotowości do poniesienia niezbędnych inwestycji<sup>32</sup>.

Obecnie Polska nie jest w stanie konkurować z krajami o niższych kosztach energii, co w dłuższej perspektywie może prowadzić do deindustrializacji i utraty miejsc pracy. W związku z tym konieczne jest podjęcie strategicznych decyzji dotyczących modernizacji infrastruktury energetycznej oraz wdrożenia rozwiązań zapewniających przewidywalne ceny energii dla gospodarki<sup>33</sup>.

## **2. Rola małych reaktorów modułowych (SMR) w strategii energetycznej Polski**

W kontekście rosnącego zapotrzebowania na energię, wysokich kosztów jej produkcji oraz potrzeby zapewnienia stabilnych dostaw dla przemysłu energochłonnego, Polska stoi przed koniecznością wdrożenia nowych, innowacyjnych rozwiązań w sektorze energetycznym. Jednym z najbardziej obiecujących kierunków jest technologia małych reaktorów modułowych (*Small Modular Reactors* – SMR), które mogą odegrać kluczową rolę w przyszłej strategii energetycznej kraju.

Małe reaktory modułowe (SMR) to nowoczesne jednostki jądrowe o mniejszej mocy niż tradycyjne elektrownie jądrowe. Typowa moc pojedynczego

---

<sup>30</sup> E. Nowiński, *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

<sup>31</sup> Polski Instytut Ekonomiczny, *Raport o stanie energetyki w Polsce*.

<sup>32</sup> W. Jureńczyk, *Small Modular Reactors in Polish-American Energy Cooperation*.

<sup>33</sup> Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments*.



reaktora SMR waha się od kilkudziesięciu do 300 MW, podczas gdy duże reaktory konwencjonalne osiągają moc rzędu kilku GW.

Charakterystyczną cechą SMR jest modułowa budowa, umożliwiająca ich seryjną produkcję oraz szybki montaż w docelowym miejscu eksploatacji. W przeciwieństwie do klasycznych elektrowni jądrowych, których budowa trwa nawet kilkanaście lat, SMR mogą zostać wdrożone w okresie od dwóch do pięciu lat, w zależności od przyjętej technologii i dostępności komponentów.

Dzięki zwartej konstrukcji i innowacyjnym rozwiązaniom inżynierskim, SMR charakteryzują się wysokim poziomem bezpieczeństwa. Wiele z nich korzysta z technologii pasywnego chłodzenia, co oznacza, że w przypadku awarii systemy bezpieczeństwa działają automatycznie, bez konieczności ingerencji człowieka czy zasilania zewnętrznego.

Obecnie na świecie rozwijanych jest kilka typów reaktorów SMR, w tym:

- **reaktory wodne ciśnieniowe (PWR)** – bazujące na technologii wykorzystywanej w większości istniejących elektrowni jądrowych, ale w mniejszej skali;
- **reaktory wysokotemperaturowe chłodzone gazem (HTGR)** – umożliwiające produkcję zarówno energii elektrycznej, jak i ciepła procesowego dla przemysłu;
- **reaktory chłodzone stopioną solą (MSR)** – oferujące wysoką efektywność i potencjalnie większe bezpieczeństwo eksploatacyjne.

SMR oferują szereg istotnych korzyści w porównaniu do konwencjonalnych elektrowni jądrowych, co czyni je atrakcyjnym rozwiązaniem dla krajów takich jak Polska, które dopiero rozwijają swoje kompetencje w zakresie energetyki jądrowej:

- 1) **Krótszy czas budowy i niższe koszty inwestycyjne.** Tradycyjne elektrownie jądrowe wymagają ogromnych nakładów finansowych, a ich budowa często przeciąga się z powodu złożonych procesów licencyjnych i trudności w realizacji dużych projektów infrastrukturalnych. SMR mogą być produkowane seryjnie w fabrykach, co redukuje koszty oraz ryzyko opóźnień w realizacji inwestycji.
- 2) **Elastyczność lokalizacji.** Duże elektrownie jądrowe wymagają znacznych terenów oraz spełnienia szeregu restrykcyjnych norm bezpieczeństwa. SMR, dzięki swojej kompaktowej budowie, mogą być lokalizowane bliżej odbiorców energii, na przykład w pobliżu zakładów przemysłowych.

### 3) **Zmniejszone ryzyko awarii i uproszczone systemy bezpieczeństwa.**

Reaktory SMR są projektowane tak, aby minimalizować ryzyko awarii i ich skutki. Wiele z nich działa na zasadzie tzw. pasywnych systemów bezpieczeństwa, eliminując konieczność ingerencji operatorów w sytuacjach awaryjnych.

### 4) **Możliwość stopniowego skalowania mocy.** SMR umożliwiają elastyczne skalowanie mocy w zależności od potrzeb – mogą być instalowane pojedynczo lub w grupach, tworząc tzw. klastry energetyczne, które można rozbudowywać w miarę rosnącego zapotrzebowania na energię.

Dla polskiego przemysłu energochłonnego, takiego jak hutnictwo czy produkcja chemiczna, stabilne i tanie źródła energii są kluczowe dla utrzymania konkurencyjności. KGHM, jako jeden z największych odbiorców energii w Polsce, rozpoczął analizy dotyczące wdrożenia SMR w celu uniezależnienia się od wahań cen energii elektrycznej.

Budując strategię, która została zaprezentowana w 2019 r. (i która nadal jest realizowana, wdrażana oraz aktualna), skoncentrowaliśmy się na filarach 4E: elastyczności; efektywności; energii; ekologii.

W ramach opracowania strategii, pojawił się temat modułowych reaktorów wraz z pytaniami kwestionującymi pracę z technologią innowacyjną, nie wdrożoną jeszcze na szeroką skalę. Byłem przekonany, że inwestycje w tego typu rozwiązania dadzą nam przewagę sytuując nas w czołówce światowych liderów. Oczywiście jest fakt, że taka technologia będzie funkcjonować i będzie się rozwijać z głównego powodu, jakim jest dużo niższy koszt – w porównaniu z budową dużych projektów jądrowych.

Technologia modułowych reaktorów pozwala na uzyskanie mniejszej mocy. Reaktor rozważany przez naszą firmę miał moc 1,77 MW, a jego wydajność można było skalować poprzez zestawianie kilku reaktorów w grupy po cztery, sześć lub dwanaście jednostek. Jeden reaktor to zaledwie trzy duże moduły, które ważą kilkadziesiąt ton, a ich złożenie daje gotową instalację. Budowa takiej jednostki to perspektywa dwóch, trzech lat od momentu rozpoczęcia produkcji i prefabrykacji, a także, co jest niezwykle istotne, zajmuje mniejszą powierzchnię. Dzięki niższej mocy i innym czynnikom, nie wymagane są tak rozległe strefy ochronne i duże obszary terenu.

W ówczesnej sytuacji, jedyną technologią, która uzyskała wstępną akceptację Nadzoru Atomowego w Stanach Zjednoczonych, była technologia New Scale. W 2021 r. uzyskała ona ostateczną decyzję o dopuszczeniu do użytkowania. Była to jedyna technologia, która miała oficjalną autoryzację. Zaczęliśmy

rozważać jej zastosowanie, chociaż wówczas jeszcze nie sfinalizowaliśmy umowy inwestycyjnej na budowę z tym partnerem. Skupiliśmy się na analizie możliwości jej wykorzystania u nas oraz rozpoczęliśmy pozyskiwanie niezbędnych pozwoleń formalno-prawnych, które umożliwiłyby rozpoczęcie budowy.

KGHM uzyskał ostateczną decyzję o dopuszczeniu technologii SMR, co stanowiło podstawę do ubiegania się o pozwolenie na budowę. Prace nad projektem były bardzo zaawansowane, prowadziliśmy analizy różnych technologii, od różnych dostawców, ponieważ w tym czasie nie było wiadome, która z nich najwcześniej osiągnie dojrzałość. Z perspektywy czasu była to słuszna decyzja.

Warto nadmienić, że obecnie technologii SMR nie kwestionuje się i uważa za innowacyjną, mimo ryzyka inwestycyjnego i trudności np. legislacyjnych w implementacji. W ubiegłym roku giganci technologiczni, jak Google czy Meta, informowali o utworzeniu JV związanych z budową SMR dla zapewnienia stabilnego źródła energii dla swoich rozwojowych projektów.

W dużych zakładach przemysłowych, ciągłość dostaw energii jest niezbędna i wynika z ciągłości procesów, a w przemyśle miedziowym zwłaszcza, wykorzystanie energii pochodzącej z OZE nie jest wystarczające, ponieważ ich produkcja jest niestabilna. SMR mogą pełnić rolę stabilnego źródła energii, działając niezależnie od warunków atmosferycznych.

Dodatkowym atutem SMR jest możliwość ich umiejscowienia bezpośrednio w pobliżu zakładów przemysłowych, co pozwoliłoby na zmniejszenie kosztów związanych z przesyłem energii oraz ograniczenie strat na liniach przesyłowych.

SMR wzbudzają coraz większe zainteresowanie na całym świecie, a kilka krajów podjęło już konkretne kroki w kierunku ich wdrożenia:

- Stany Zjednoczone – firma NuScale uzyskała zgodę amerykańskiej Komisji Nadzoru Jądrowego (NRC) na wdrożenie pierwszego reaktora SMR. Projekty te są wspierane przez rząd USA i odegrają kluczową rolę dla przyszłości amerykańskiej energetyki;
- Kanada – kraj ten prowadzi intensywne badania nad wdrożeniem SMR do zasilania odległych społeczności oraz kopalni w północnych prowincjach, gdzie dostęp do energii jest ograniczony;
- Rumunia – jako jedno z pierwszych państw w Europie rozpoczęła współpracę z firmą NuScale w celu budowy SMR jako alternatywy dla tradycyjnych elektrowni jądrowych;
- Wielka Brytania – rząd brytyjski ogłosił plan inwestycyjny dotyczący SMR, traktując je jako kluczowy element przyszłego mixu energetycznego.

### 3. Wyzwania związane z wdrażaniem technologii SMR w Polsce

Wdrożenie małych reaktorów modułowych (SMR) w Polsce jest obiecującym rozwiązaniem dla przyszłości krajowego sektora energetycznego, ale napotyka szereg wyzwań. Obejmują one zarówno aspekty regulacyjne, ekonomiczne, technologiczne, jak i społeczne<sup>34</sup>. Pomimo potencjalnych korzyści wynikających z wdrożenia tej technologii, Polska musi zmierzyć się z szeregiem barier, które mogą utrudnić jej implementację w krótkim i średnim okresie<sup>35</sup>.

Energetyka jądrowa, w tym technologia SMR, podlega ścisłej kontroli regulacyjnej zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym. Kluczową rolę odgrywa tu Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA), która ustala standardy bezpieczeństwa oraz nadzoruje przepływ materiałów jądrowych<sup>36</sup>. Ponadto regulacje dotyczące eksploatacji reaktorów jądrowych w Polsce muszą być zgodne z polityką Unii Europejskiej oraz krajowymi przepisami dotyczącymi ochrony radiologicznej, składowania odpadów jądrowych i zezwoleń na budowę<sup>37</sup>.

Jednym z kluczowych wyzwań jest dostęp do paliwa jądrowego, czyli wzbogaconego uranu. SMR w zależności od technologii mogą korzystać z różnych typów paliwa, ale większość reaktorów wymaga surowca o wyższym stopniu wzbogacenia niż ten stosowany w tradycyjnych elektrowniach jądrowych. Obecnie produkcja wzbogaconego uranu jest ograniczona do kilku krajów, takich jak Stany Zjednoczone, Rosja czy Francja<sup>38</sup>. W kontekście geopolitycznych napięć, Polska musi zapewnić sobie niezależność dostaw, co może wymagać długoterminowych umów z partnerami zagranicznymi.

Alternatywą mogą być technologie SMR oparte na paliwie niewzbogaconym, takie jak reaktory CANDU stosowany np. w Rumunii, jednak ich wdrożenie wymagałoby dostosowania do polskiego systemu regulacyjnego<sup>39</sup>.

Inwestycje w technologię SMR wiążą się z wysokimi kosztami początkowymi, które mogą stanowić istotną barierę. Choć SMR mogą być tańsze w budowie niż konwencjonalne elektrownie jądrowe (przy zachowaniu efektu skali, pojedyncze, pionierskie reaktory są znacznie droższe, jeśli chodzi o koszt jednostki wyprodukowanej energii), to nadal wymagają znacznych nakładów

<sup>34</sup> Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments*.

<sup>35</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

<sup>36</sup> Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *Poland 2022: Executive Summary*.

<sup>37</sup> W. Jureńczyk, *Small Modular Reactors in Polish-American Energy Cooperation*.

<sup>38</sup> Polski Instytut Ekonomiczny, *Raport o stanie energetyki w Polsce*.

<sup>39</sup> E. Nowiński, *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

finansowych na badania, rozwój, certyfikację i infrastrukturę<sup>40</sup>. Przykładowo, koszt pojedynczego reaktora SMR szacuje się na kilka miliardów złotych, a jego zwrot może nastąpić dopiero po kilkunastu latach eksploatacji. W związku z tym konieczne jest zapewnienie mechanizmów finansowania takich inwestycji, np. poprzez partnerstwa publiczno-prywatne, wsparcie rządowe lub fundusze unijne<sup>41</sup>.

Dodatkowo Polska musi zmierzyć się z problemem kosztów operacyjnych i konkurencyjności SMR względem innych źródeł energii. W długim okresie, niskie koszty eksploatacji mogą sprawić, że SMR będą atrakcyjną alternatywą, jednak w krótkim okresie wysokie koszty początkowe mogą ograniczyć ich rozwój<sup>42</sup>.

Polska sieć elektroenergetyczna jest przystosowana do funkcjonowania dużych elektrowni węglowych, które dostarczają energię w sposób scentralizowany. Wdrożenie SMR wymagałoby zmian w infrastrukturze energetycznej, w tym w sieciach przesyłowych i dystrybucyjnych<sup>43</sup>. Małe reaktory modułowe, dzięki swojej konstrukcji, mogą działać bliżej odbiorców końcowych, co teoretycznie zmniejsza straty przesyłowe. Jednak problemem jest dostosowanie obecnej sieci do pracy w systemie rozproszonym<sup>44</sup>.

Innym wyzwaniem jest możliwość magazynowania energii i stabilizowania jej dostaw. SMR mogą zapewnić stabilne źródło energii, ale ich integracja z systemem, który coraz bardziej opiera się na źródłach odnawialnych, wymaga odpowiednich rozwiązań w zakresie zarządzania mocą i elastyczności sieci<sup>45</sup>.

Energetyka jądrowa, pomimo swoich zalet, wciąż budzi kontrowersje w społeczeństwie. Wiele osób obawia się zagrożeń związanych z eksploatacją reaktorów jądrowych, w tym ryzyka awarii, problemu odpadów radioaktywnych czy potencjalnych zagrożeń dla środowiska<sup>46</sup>. W Polsce nadal występuje brak jednoznacznego poparcia społecznego dla energetyki jądrowej. Protesty społeczne oraz sceptycyzm lokalnych społeczności mogą opóźnić realizację inwestycji, zwłaszcza jeśli reaktory SMR miałyby być budowane w pobliżu miast lub osiedli mieszkaniowych<sup>47</sup>.

---

<sup>40</sup> Obserwator Finansowy, *Makroekonomia i trendy gospodarcze w energetyce*.

<sup>41</sup> R. Szczerbowski, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – mix energetyczny i efektywność energetyczna*.

<sup>42</sup> Instytut Kościuszki, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – raport otwarcia*.

<sup>43</sup> Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *Poland 2022: Executive Summary*.

<sup>44</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

<sup>45</sup> W. Jureńczyk, *Small Modular Reactors in Polish-American Energy Cooperation*.

<sup>46</sup> E. Nowiński, *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

<sup>47</sup> Obserwator Finansowy, *Makroekonomia i trendy gospodarcze w energetyce*.

Dodatkowo, polityczne uwarunkowania mogą wpływać na tempo wdrażania technologii. W Polsce decyzje dotyczące energetyki są często uzależnione od bieżącej sytuacji politycznej, co utrudnia długoterminowe planowanie inwestycji w SMR<sup>48</sup>.

Wdrożenie małych reaktorów modułowych w Polsce może stanowić kluczowy element strategii bezpieczeństwa energetycznego, jednak wiąże się z wieloma wyzwaniami. Regulacje międzynarodowe, wysokie koszty inwestycyjne, konieczność modernizacji infrastruktury oraz brak pełnego poparcia społecznego to czynniki, które mogą opóźnić realizację projektów SMR<sup>49</sup>.

Dlatego też, aby pokonać te bariery, Polska powinna skupić się na zapewnieniu stabilnego finansowania, uproszczeniu procedur regulacyjnych oraz edukacji społeczeństwa w zakresie bezpieczeństwa i korzyści płynących z tej technologii<sup>50</sup>. W przeciwnym razie ryzykujemy pozostanie w tyle za krajami, które już aktywnie wdrażają SMR jako element swojej strategii energetycznej<sup>51</sup>.

#### 4. Alternatywne strategie dla polskiego sektora energetycznego

Polska stoi przed koniecznością modernizacji i dywersyfikacji swojego mixu energetycznego, aby zapewnić stabilne, konkurencyjne i zrównoważone źródła energii dla gospodarki oraz odbiorców indywidualnych. Obecny system oparty głównie na węglu oraz rosnące koszty energii wymagają wdrożenia alternatywnych strategii, które pozwolą na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego oraz redukcję emisji CO<sub>2</sub>.

Energetyka odnawialna odgrywa coraz większą rolę w polskim systemie energetycznym, jednak jej rozwój napotyka szereg wyzwań związanych z magazynowaniem energii, stabilnością dostaw oraz integracją z siecią elektroenergetyczną.

Polska dynamicznie rozwija fotowoltaikę i energetykę wiatrową. Według danych z 2023 r., moc zainstalowana w fotowoltaice przekroczyła 13 GW, a energetyka wiatrowa osiągnęła 8 GW. Mimo tych osiągnięć, odnawialne źródła energii (OZE) charakteryzują się niestabilnością produkcji – wiatraki nie produkują energii, gdy nie wieje wiatr, a farmy fotowoltaiczne są bezużyteczne w nocy.

---

<sup>48</sup> Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments*.

<sup>49</sup> Polski Instytut Ekonomiczny, *Raport o stanie energetyki w Polsce*.

<sup>50</sup> R. Szczerbowski, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – mix energetyczny i efektywność energetyczna*.

<sup>51</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.



Brak efektywnych systemów magazynowania energii sprawia, że nadwyżki energii wyprodukowane w ciągu dnia są często tracone, a w okresach niskiej produkcji konieczne jest uruchamianie rezerwowych źródeł wytwarzania, często opartych na węglu lub gazie. Dodatkowo, w niektórych regionach kraju sieć przesyłowa nie jest dostosowana do odbioru dużej ilości energii odnawialnej, co prowadzi do ograniczeń w przesyłach i strat energii.

W związku z tym dalszy rozwój OZE w Polsce wymaga:

- **budowy systemów magazynowania energii** – w tym baterii litowo-jonowych, elektrowni szczytowo-pompowych oraz technologii wodorowych, które pozwolą na stabilizację systemu;
- **modernizacji sieci przesyłowej** – zwiększenie jej elastyczności i zdolności do odbioru energii z OZE;
- **integracji z innymi źródłami energii** – hybrydowe systemy łączące OZE z małymi reaktorami modułowymi (SMR) mogłyby zapewnić stabilność dostaw.

Pomimo tych wyzwań, inwestycje w energetykę odnawialną będą kontynuowane, zwłaszcza w kontekście unijnych regulacji dotyczących neutralności klimatycznej oraz konieczności redukcji emisji CO<sub>2</sub>.

Gaz ziemny jest postrzegany jako paliwo przejściowe w procesie transformacji energetycznej. W porównaniu do węgla, generuje mniejsze emisje CO<sub>2</sub> i pozwala na szybkie uruchamianie elektrowni w sytuacji niedoboru energii z OZE.

Polska, po odcięciu dostaw rosyjskiego gazu, uniezależniła się energetycznie dzięki Baltic Pipe i terminalom LNG w Świnoujściu. Jednak importowany gaz jest droższy niż gaz rosyjski, co przekłada się na wysokie koszty energii dla odbiorców przemysłowych.

Niemcy, pomimo odejścia od energetyki jądrowej, nadal inwestują w bloki gazowe, aby zapewnić stabilność systemu elektroenergetycznego. Podobne działania mogłyby zostać wdrożone w Polsce, jednak z uwagi na wysokie ceny gazu oraz unijne regulacje dotyczące jego wykorzystania w dłuższym okresie, inwestowanie w ten surowiec budzi kontrowersje.

Kluczowe wyzwania związane z wykorzystaniem gazu w Polsce to:

- **niepewność regulacyjna** – unijne przepisy dążą do eliminacji gazu w dłuższym okresie, co rodzi pytania o zasadność inwestycji w nowe elektrownie gazowe;
- **wysokie koszty gazu** – import LNG jest drogi, a jego cena może się dynamicznie zmieniać w zależności od sytuacji geopolitycznej;

- **alternatywne paliwa** – wodór może stać się konkurencyjną alternatywą dla gazu, jednak jego produkcja na dużą skalę wymaga znacznych inwestycji.

Podsumowując, gaz może pełnić rolę stabilizatora systemu energetycznego w najbliższych latach, może zastąpić w pewnej skali bloki węglowe, jednak długoterminowe plany energetyczne powinny uwzględniać inne technologie, takie jak SMR, energetyka jądrowa czy rozwój magazynów energii.

Efektywność energetyczna jest jednym z najtańszych i najbardziej efektywnych sposobów na zmniejszenie zużycia energii oraz obniżenie kosztów jej produkcji. W Polsce konieczne są działania w trzech kluczowych obszarach:

- 1) Optymalizacja zużycia energii w przemyśle
  - przemysł energochłonny, taki jak hutnictwo czy przemysł chemiczny, powinien inwestować w technologie redukujące straty energii, np. inteligentne systemy zarządzania zużyciem czy odzysk ciepła odpadowego;
  - przykładem są działania KGHM, który wdrożył systemy automatyki poprawiające efektywność energetyczną i stabilizację napięcia.
- 2) Modernizacja budynków i infrastruktury
  - Polska posiada duży zasób budynków o niskiej efektywności energetycznej, które wymagają termomodernizacji;
  - wprowadzenie standardów dla nowych budynków oraz wsparcie finansowe dla termomodernizacji mogą znacząco obniżyć zużycie energii.
- 3) Rozbudowa i modernizacja sieci przesyłowych
  - Polska sieć energetyczna wymaga inwestycji o wartości ok. 30 miliardów złotych, aby dostosować ją do wzrastającego udziału OZE oraz nowych technologii, takich jak SMR;
  - w wielu regionach kraju infrastruktura przesyłowa jest przestarzała i nie pozwala na efektywne wykorzystanie energii odnawialnej.

Modernizacja sieci elektroenergetycznej oraz inwestycje w efektywność energetyczną są kluczowe dla obniżenia kosztów energii oraz zapewnienia jej stabilnych dostaw. Bez tych działań Polska może stracić konkurencyjność na globalnym rynku, a przemysł energochłonny może zostać zmuszony do relokacji do krajów oferujących tańszą energię.

Alternatywne strategie dla polskiego sektora energetycznego obejmują rozwój OZE, wykorzystanie gazu jako paliwa przejściowego oraz poprawę efektywności energetycznej i modernizację sieci przesyłowych. Każda z tych ścieżek wiąże się z wyzwaniem, ale ich skuteczna realizacja jest niezbędna, aby Polska mogła zagwarantować stabilne i konkurencyjne dostawy energii dla gospodarki.



Długoterminowym celem powinna być budowa zróżnicowanego systemu energetycznego, opartego na stabilnych źródłach energii, takich jak SMR, przy jednoczesnym maksymalnym wykorzystaniu potencjału odnawialnych źródeł energii i technologii magazynowania energii.

## 5. Wnioski i rekomendacje

Polska stoi przed koniecznością modernizacji i dywersyfikacji swojego miks energetycznego, aby zapewnić stabilne, konkurencyjne i zrównoważone źródła energii dla gospodarki oraz odbiorców indywidualnych. Obecny system oparty głównie na węglu oraz rosnące koszty energii wymagają wdrożenia alternatywnych strategii, które pozwolą na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego oraz redukcję emisji CO<sub>2</sub><sup>52</sup>.

Miedź oraz jej zasoby są ograniczone na świecie, a jej wydobycie nie będzie trwać wiecznie. Wzrost zapotrzebowania na miedź widać wyraźnie w jej cenach, co jest zrozumiałe, ponieważ atrakcyjna cena skutkuje dużym popytem. Miedź jest niezbędna w wielu branżach: w turbinach silnikowych, turbinach elektrycznych, samochodach elektrycznych oraz turbinach wiatrowych, niezbędna w ogromnych ilościach – w samochodzie elektrycznym to około 250-300 kg, w turbinie wiatrowej kilka ton. Rosnące potrzeby związane z tymi technologiami sprawiają, że miedź staje się jednym z kluczowych surowców w procesie transformacji energetycznej.

Produkcja miedzi w sposób konkurencyjny, przy utrzymaniu kosztów na akceptowalnym poziomie niezagrażających polskiemu przemysłowi, wymaga taniej energii. Taniej energii, która nie wynika z budowy pojedynczego projektu atomowego, ale z długoterminowego rozwoju takich projektów. Przy założeniu, że pierwszy reaktor może zostać uruchomiony dopiero w 2043 r., koniecznością jest przetrwanie przy utrzymaniu konkurencyjności przemysłu i gospodarki. Koniecznością jest również przyciągnięcie inwestycji, bez zwiększania bezrobocia na skutek utraty konkurencyjności. Niewłaściwa polityka energetyczna może prowadzić do wzrostu bezrobocia oraz utraty miejsc pracy, co jest zagrożeniem zarówno dla obywateli, jak i dla gospodarki.

Celem musi być nie tylko podtrzymanie siły nabywczej obywateli, poprzez wspieranie firm płacących podatki i tworzących miejsca pracy, ale także stymulowanie wzrostu gospodarczego. Dlatego mogę zaryzykować stwierdzenie, że nie tylko SMR, ale także ogólne bezpieczeństwo energetyczne, stanowią

---

<sup>52</sup> T. Hebda, *Energy Policy of Poland Until 2040*.

obecnie polską rację stanu. A bezpieczeństwo energetyczne to nie tylko kwestia zapewnienia dostaw energii – to także konieczność utrzymania jak najniższej ceny energii, dostępnej zarówno dla konsumentów indywidualnych, jak i dla przedsiębiorstw. Obecnie rachunki za energię dla obywateli częściowo kompensowane dopłatami, są mniej odczuwalne w budżecie domowym, ale takie wsparcie nie będzie trwało wiecznie. Wkrótce ceny energii będą musiały zostać zrealizowane, co znacznie wpłynie na gospodarstwa domowe.

Przemysł natomiast już teraz odczuwa brak kompensacji, ponieważ firmy nie otrzymują wsparcia, a koszty energii rosną. Choć nie jest to jeszcze w pełni widoczne, mniejsze firmy – takie jak piekarnie czy usługi – już teraz borykają się z trudnościami. Wkrótce jednak wszyscy obywatele odczują skutki wyższych cen, co odbije się na cenach produktów, a także na sytuacji gospodarczej, czyli: zmniejszeniu produkcji, relokacji firm, braku nowych inwestycji, co prowadzić będzie do redukcji pensji i pogorszenia sytuacji na rynku pracy.

Podsumowując więc, zarówno SMR, jak i inne inicjatywy regulacyjne mające na celu poprawę polskiego systemu energetycznego, inwestycje w efektywność energetyczną oraz technologie, które prowadzą do obniżenia kosztów energii, stanowią kluczowe elementy polskiej racji stanu oraz fundament polskiego rozwoju gospodarczego.

## Bibliografia

- Hebda T., *Energy Policy of Poland Until 2040. The Challenges and Threats to Energy Security in the Next Two Decades*, „Politeja” 79 (2022), nr 4, s. 167-186, <https://doi.org/10.12797/Politeja.19.2022.79.10>
- Instytut Kościuszki, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – raport otwarcia*, 2010.
- Jureńczyk W., *Small Modular Reactors in Polish-American Energy Cooperation. Małe reaktory modułowe w polsko-amerykańskiej współpracy energetycznej*, „Sprawy Międzynarodowe” 75 (2022), nr 3-4, s. 97-117.
- Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, *Small Modular Reactors: Advances in SMR Developments*, 2024.
- Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *Poland 2022: Executive Summary*, 2022.
- Nowiński E., *Transformacja energetyki a bezpieczeństwo energetyczne Polski*, „Nowa Energia” 79 (2021), nr 3, s. 42-46.
- Obserwator Finansowy, *Makroekonomia i trendy gospodarcze w energetyce*, 2025.
- Polski Instytut Ekonomiczny, *Raport o stanie energetyki w Polsce*, 2023.
- Szczerbowski R., *Bezpieczeństwo energetyczne Polski – mix energetyczny i efektywność energetyczna*, „Polityka Energetyczna” 16 (2013), z. 4, s. 35-47.



**Prof. dr hab. Waław Gudowski**

Narodowe Centrum Badań Jądrowych/OSGE, Polska

e-mail: waław.gudowski@osge.com

ORCID: 0000-0003-0331-2547

## **Bezpieczeństwo energetyczne to miękkie podbrzusze Zjednoczonej Europy**

### **Wprowadzenie**

Niniejszy tekst koncentruje się na problematyce małych modułowych reaktorów jądrowych (SMR), które obecnie znajdują się najbliżej wdrożenia i realizacji. Ponadto, analizie zostanie poddana technologia reaktorów wysokotemperaturowych (HTGR), która również może odegrać istotną rolę w przyszłym miksie energetycznym.

### **1. Bezpieczeństwo energetyczne jako wrażliwy aspekt funkcjonowania Unii Europejskiej**

Na kilka miesięcy przed podpisaniem umowy o budowie rurociągu NORDSTREAM 2 podczas konferencji dotyczącej bezpieczeństwa energetycznego, która odbyła się w 2008 r. w Bergen (Norwegia), poruszyłem kluczowe kwestie związane z bezpieczeństwem energetycznym Europy. Zwróciłem uwagę, że bezpieczeństwo energetyczne jest nierozdzielnie związane z infrastrukturą przesyłową, w tym rurociągami, a nie wyłącznie z zagadnieniami związanymi z bronią jądrową. Już wówczas podkreślałem, że dostęp do taniej energii jest fundamentem współczesnych gospodarek oraz życia społecznego. Nierównomierne rozmieszczenie zasobów paliw kopalnych oraz krytyczna potrzeba ich eksploatacji generują napięcia i osłabiają stabilność systemu energetycznego.

Już w 2008 r. przewidywałem, że kluczowymi zagrożeniami dla globalnego bezpieczeństwa energetycznego będą:

- niestabilność polityczna w krajach produkujących energię,
- manipulowanie dostępem do surowców energetycznych,
- problemy związane z tranzytem energii,

- rywalizacja między różnymi źródłami energii,
- ataki na infrastrukturę energetyczną oraz awarie zakłócające dostawy surowców.

Wskazywałem, że brak stabilności w sektorze energetycznym wynika ze źle rozumianej ekonomii koncentrującej się jedynie na najtańszych źródłach energii. Doprowadziło to do sytuacji, w której w wielu państwach, w tym w Polsce, władze w praktyce zrezygnowały z odpowiedzialności za długofalowe bezpieczeństwo energetyczne wierząc naiwnie, że czysto rynkowe mechanizmy w rozwoju energetyki są wystarczające.

Obecnie obserwujemy konsekwencje tych zaniedbań. Problemy z dostawami energii elektrycznej spowodowane długotrwałymi okresami bezwietrznej i pochmurnej pogody (tzw. *dunkelflaute*) ukazują słabości systemu opartego na odnawialnych źródłach energii, które są niesterowalne i trudne do kontrolowania. W 2008 r. przestrzegałem przed podpisaniem umowy dotyczącej projektu Nord Stream 2. Niestety, moje ostrzeżenia zostały zignorowane, a umowa została podpisana we wrześniu 2008 r. we Władawostoku. To pokazuje, jak często eksperci są pomijani w kluczowych decyzjach politycznych.

Nieco później podczas konferencji „Nuclear Poland” w 2010 r. przedstawiłem wizję rozwoju energetyki jądrowej jako jednego z filarów narodowego bezpieczeństwa energetycznego. Polska, jako kraj dopiero wchodzący w sektor energetyki jądrowej, musi mieć świadomość, że jest to projekt na dziesiątki, a nawet setki lat. Kluczowe decyzje w tym obszarze powinny być podejmowane ponad podziałami politycznymi, ponieważ mają one fundamentalne znaczenie dla przyszłości kraju.

Dyskusja na temat długoterminowej strategii energetycznej powinna uwzględniać wyważoną kombinację odnawialnych źródeł energii, stabilnych i kontrolowalnych technologii jądrowych oraz efektywnego zarządzania infrastrukturą przesyłową. Jedynie takie podejście pozwoli zagwarantować bezpieczeństwo energetyczne i niezależność gospodarczą Polski i Unii Europejskiej.

## **2. Rekomendacje dotyczące wdrażania technologii jądrowych w Polsce**

Podczas mojej prezentacji przedstawiłem następujące rekomendacje:

- Polska, jako państwo po raz pierwszy wdrażające technologie jądrowe, powinna opierać się na sprawdzonych i bezpiecznych rozwiązaniach. Oznacza to, że pierwsze reaktory powinny wykorzystywać technologię lekkowodną, aby umożliwić ich szybkie wdrożenie.

- Kluczowe jest podejmowanie decyzji dotyczących całego cyklu paliwowego już na początkowym etapie rozwoju energetyki jądrowej, błędem jest odkładanie dyskusji na temat zarządzania i utylizacji zużytego paliwa i odpadów promieniotwórczych na później. Konieczne jest przedstawienie społeczeństwu kompleksowego pakietu rozwiązań.
- Komunikacja publiczna w sprawach energii jądrowej powinna być zawsze rzetelna, zrównoważona i wiarygodna, ponieważ jeden poważniejszy błąd w przekazie może trwale podważyć zaufanie do całego przedsięwzięcia.

W 2010 r. przedstawiłem realistyczną i pragmatyczną wizję wdrożenia energetyki, a raczej energii jądrowej w Polsce:

- zaawansowane reaktory lekkowodne o dużej mocy powinny być budowane na wybrzeżu Bałtyku, gdzie możliwe jest ich efektywne chłodzenie. Podkreślałem również konieczność optymalnego wykorzystania ciepła odpadowego. Wykorzystanie ciepła w kogeneracji na potrzeby ciepłownictwa komunalnego, produkcji biopaliw oraz innych zastosowań powinno być integralną częścią strategii polskiej energetyki jądrowej.
- małe reaktory typu SMR powinny być budowane w takich lokalizacjach, jak np. na Śląsku, gdzie istnieje zapotrzebowanie zarówno na energię elektryczną, jak i na ciepło przemysłowe.

W tamtym okresie termin SMR odnosił się do reaktorów małych i średnich (*Small and Medium Reactors*). Dopiero od 2015 r. zaczęto używać określenia *Small Modular Reactors* – małe modułowe reaktory. W koncepcji przedstawionej w 2010 r. małe i średnie reaktory wysokotemperaturowe (HTGR) miały stanowić rozwiązanie dla przemysłowego obszaru Śląska, przede wszystkim w zakresie produkcji wysokotemperaturowego ciepła.

Rok 2010 mógł być przełomowy w kontekście wdrożenia systemów wodorowych oraz technologii zgazowania i upłynniania węgla, ale wciąż opartych na paliwach kopalnych. W późniejszym czasie temat ten stracił na aktualności, ponieważ podjęto z wielu racjonalnych powodów decyzję o całkowitym odejściu od węgla. Warto jednak podkreślić, że technologie zgazowania i upłynniania węgla mogły znacząco poprawić efektywność jego wykorzystania oraz zredukować emisję CO<sub>2</sub> o jakieś 30% na jednostkę wyprodukowanej energii.

Z satysfakcją mogę stwierdzić, że moja obecna praca nad reaktorem HTGR w Narodowym Centrum Badań Jądrowych stanowi zamknięcie pewnego etapu mojej pracy zawodowej. W 1975 r. rozpocząłem projekt w ramach amerykańskiej Fundacji Marii Curie-Skłodowskiej pt. „Reaktory wysokotemperaturowe dla gazyfikacji i upłynniania węgla” – był to mój pierwszy projekt po ukończeniu

studiów na Akademii Górniczo-Hutniczej. Choć obecnie odchodzi się od tych technologii, warto zauważyć, że już wiele lat temu ciepło z reaktorów wysokotemperaturowych mogło znacząco przyczynić się do rozwoju technologii zgazowania i upłynniania węgla, zwiększając jego atrakcyjność energetyczną.

Proces upłynniania węgla jest znany od dawna – opracowano go jeszcze przed II wojną światową, przy czym wówczas wykorzystywano ciepło pochodzące ze spalania paliw kopalnych. Wykorzystanie energii jądrowej w tych procesach znacząco zwiększyłyby ich efektywność energetyczną.

W 2010 r. moje wnioski były zbliżone do obecnych. Kluczową rolą państwa jest eliminowanie niepewności politycznych w długofalowych projektach infrastrukturalnych. Energia jądrowa może i powinna stanowić filar bezpieczeństwa energetycznego, a regulacje prawne i ramy polityczne powinny być stabilne i odporne na zmiany wynikające z cyklu wyborczego czy też z populizmu wyborczego.

Ważnym aspektem, na który należy zwrócić szczególną uwagę, jest minimalizowanie ryzyka niekontrolowanego rozprzestrzeniania materiałów jądrowych i technologii ułatwiających budowę broni masowego rażenia. Ponadto, niezbędne jest odpowiedzialne zarządzanie odpadami radioaktywnymi, w tym ich składowanie oraz ewentualne przetwarzanie. Należy także zapewnić transparentność komunikacji ze społeczeństwem – wszelkie informacje powinny być rzetelne i klarowne, aby uniknąć utraty zaufania społecznego.

Podczas konferencji „Energetyka jądrowa – jak się do tego zabrać?” w Świerku w 2012 r. podkreślałem, że pierwszą lekcją wynikającą m.in. z doświadczeń szwedzkich, jest konieczność podejmowania decyzji oraz utrzymywania konsensusu ponad podziałami politycznymi. Stabilne warunki regulacyjne są niezbędne dla wszystkich interesariuszy rynku energii jądrowej.

Istotne jest również podejmowanie decyzji we właściwym czasie. Każda technologia oraz wiele decyzji politycznych mają swoje „optymalne okno” wdrożeniowe – jeśli zostanie ono przeoczone, realizacja planów staje się znacznie trudniejsza i napotyka na niepotrzebne bariery.

Obecnie w Polsce istnieje silne poparcie społeczne dla rozwoju energetyki jądrowej. Czy istnieje także polityczny konsensus? Formalnie tak, jednak brak jest jasnej strategii jego skutecznego wykorzystania. Kluczowym postulatem jest unikanie wykorzystywania polityki do rozwiązywania problemów o charakterze technicznym.

### 3. Rola państwa w wyborze technologii jądrowych

Nie należy do kompetencji polityków wybór konkretnych technologii. Przykładem właściwego podejścia jest Szwecja, gdzie rząd podjął decyzję o budowie 10 GW nowych mocy jądrowych do lat 2042-2045, pozostawiając wybór odpowiednich technologii wyspecjalizowanym podmiotom, takim jak np. Vattenfall. Podobny model powinien zostać zastosowany w Polsce – decyzje technologiczne powinny należeć do kompetentnych przedsiębiorstw i ekspertów, a nie do organów państwowych.

### 4. Wnioski płynące z historii

Jak już wcześniej wspomniano, nie można odkładać kluczowych kwestii i decyzji „na później”. Wszelkie znaczące wyzwania techniczne oraz zapytania społeczne wymagają natychmiastowego adresowania. Przykładem negatywnych konsekwencji braku odpowiednich decyzji jest sytuacja w Stanach Zjednoczonych, gdzie problem zarządzania użytym paliwem jądrowym nie został skutecznie rozwiązany. Mimo ogromnych nakładów finansowych na budowę składowiska Yucca Mountain w stanie Nevada, odpady jądrowe wciąż są przechowywane w tymczasowych basenach przy reaktorach. Dodatkowo, decyzja o utworzeniu składowiska w stanie, w którym nie funkcjonuje ani jedna elektrownia jądrowa, była rażącym błędem wynikającym z braku odpowiedniego dialogu ze społeczeństwem.

W celu skutecznego rozwiązywania problemów związanych z energetyką jądrową, należy wybierać lokalizacje tam, gdzie społeczność jest świadoma specyfiki tej technologii i wyraża na nią zgodę. Budowanie zaufania społecznego poprzez rzetelną i transparentną komunikację jest kluczowe dla powodzenia projektów jądrowych. Utrata wiarygodności w tym obszarze może mieć długofalowe negatywne konsekwencje.

Szczególną ostrożność należy zachować również w kontaktach z mediami, gdyż nierzetelne informacje mogą prowadzić do nieuzasadnionych obaw społecznych, co znacząco utrudnia realizację projektów o strategicznym znaczeniu dla bezpieczeństwa energetycznego państwa. W tym kontekście należy unikać przekazów sensacyjnych, które mogą negatywnie wpływać na postrzeganie energetyki jądrowej w opinii publicznej. Niestety media lubią głównie SENSACYJNE INFORMACJE.



## 5. Doświadczenia międzynarodowe i strategia rozwoju energetyki jądrowej w Polsce

### 5.1. Historia ze Szwecji – znaczenie rzetelnej komunikacji

W 1996 r. w Szwecji zaprosiliśmy grupę amerykańskich dziennikarzy, aby zaprezentować im zamknięty już reaktor chłodzony ciężką wodą – Agesta, który niegdyś dostarczał ciepło do jednej z dzielnic Sztokholmu. Choć obiekt był od dawna wyłączony z eksploatacji, a jego kluczowe mechanizmy rozmontowane, sama wzmianka o „ciężkiej wodzie” wystarczyła, aby wywołać niepożądane spekulacje.

Już w kolejnym tygodniu na pierwszej stronie *Washington Post* pojawił się artykuł sugerujący, że Szwecja utrzymuje możliwość produkcji broni jądrowej. Publikacja ta wywołała natychmiastową reakcję administracji państwowej, a mój telefon nieustannie dzwonił z zapytaniami ze strony ministerstw. Warto podkreślić, że *Washington Post* to jedna z gazet, którą jako pierwszą czyta prezydent Stanów Zjednoczonych.

Przykład ten dobitnie pokazuje, jak istotna jest precyzyjna i odpowiedzialna komunikacja w obszarze energetyki jądrowej. Niewłaściwe przekazy mogą prowadzić do dezinformacji, a nawet do poważnych konsekwencji na arenie międzynarodowej.

### 5.2. Strategia energetyczna Polski – wybór technologii

Polska powinna dostosować technologie jądrowe do warunków geograficznych i potrzeb gospodarczych. Dlatego:

- Na wybrzeżu Bałtyku rekomendowane są duże reaktory lekkowodne (LWR) oraz małe modułowe reaktory (SMR). Reaktory te klasyfikowane są powszechnie jako Generacja 3+.
- Na Śląsku optymalnym rozwiązaniem będą wysokotemperaturowe reaktory gazowe (HTGR), które mogą dostarczać zarówno energię elektryczną, jak i ciepło przemysłowe.
- W całym kraju, szczególnie w Politechnikach i w Narodowym Centrum Badań Jądrowych należy aktywnie rozwijać badania nad zaawansowanymi technologiami jądrowymi, w tym reaktorami IV generacji i kolejnymi. „Kto z nadzieją patrzy w przyszłość, cieszy się teraźniejszością”.

Zaawansowane badania i kształcenie kadr w obszarze technologii jądrowych nie tylko podniosą konkurencyjność polskiej energetyki, ale także uczynią

ją atrakcyjną dla młodych specjalistów. Kluczową rolę w tym zakresie powinno odgrywać Narodowe Centrum Badań Jądrowych, pełniąc funkcję narodowego laboratorium wspierającego wdrażanie nowych technologii – podobnie jak amerykańskie laboratoria narodowe.

### **5.3. Energetyka jądrowa a luka energetyczna w Polsce**

Według aktualnych analiz, prezes Urzędu Regulacji Energetyki wskazuje w ciągu kilkunastu lat deficyt sterowalnej mocy na poziomie 18 GW w polskim systemie energetycznym. Nawet przy założeniu wdrożenia dużych elektrowni jądrowych w latach 30. XXI w., luka energetyczna pozostanie znacząca – wynosząc kilkanaście gigawatów.

W 2024 r. średnia cena energii elektrycznej w Polsce (Spot Price) wynosi 81,40 euro za MWh, co jest jedną z najwyższych wartości w regionie – wyprzedza nas jedynie Estonia (o 50 centów). W Szwecji natomiast błędna polityka energetyczna doprowadziła do ogromnych różnic w cenach energii pomiędzy północą (gdzie funkcjonują elektrownie wodne i jądrowe), a południem (gdzie w wyniku decyzji politycznych zamknięto trzy reaktory jądrowe). Różnice te sięgają nawet 50%, co powoduje zrozumiałe napięcia społeczne i gospodarcze.

### **5.4. Rozwój SMR-ów w Polsce – rola Orlen Synthos Green Energy**

Jestem związany z Orlen Synthos Green Energy (OSGE) od momentu jego powstania i aktywnie wspierałem budowę strategii SMR-owej. Gdy rozpoczęliśmy prace nad tym projektem, zespół liczył zaledwie cztery osoby. Dziś w OSGE pracuje już ponad 100 specjalistów, a do końca 2025 r. liczba ta ma wzrosnąć do 200-250 osób.

Wdrożenie technologii BWRX-300 w Polsce wymaga prowadzenia racjonalnej polityki opartej na wiedzy eksperckiej i dogłębnych analizach. Polska ma szansę stać się liderem w obszarze SMR-ów, oferując innowacyjne rozwiązania w dynamicznie rozwijającym się sektorze.

Co istotne, wielu moich byłych studentów wraca z zagranicy, aby uczestniczyć w tym projekcie, co jest dowodem na atrakcyjność tego sektora dla wykwalifikowanej kadry. Niemniej jednak wdrażanie technologii jądrowych nie jest zadaniem prostym. BWRX-300 to produkt firmy GE Hitachi, która posiada ponad 130-letnią historię, a jej oddział GE Nuclear działa od prawie 90 lat.

## 5.5. Zabawny paradoks historyczny

Warto wspomnieć o pewnej ironii losu – firma Westinghouse została założona przez Georga Westinghouse’a w celu produkcji energii elektrycznej na prąd zmienny, natomiast General Electric (GE) zostało stworzone przez Thomasa Edisona, aby promować prąd stały. Dziś Westinghouse promuje reaktory ciśnieniowe, a GE dostarcza technologię reaktorów wrzących o globalnym znaczeniu, pokazując, jak ewoluują kierunki rozwoju przemysłu energetycznego. W systemach energetycznych jest miejsce i zapotrzebowanie zarówno na prąd zmienny, jak i na prąd stały – podobnie jest z reaktorami: jest miejsce i zapotrzebowanie zarówno na reaktory ciśnieniowe, jak i na reaktory wrzące.

Polska stoi przed kluczowymi decyzjami dotyczącymi wdrożenia technologii jądrowych. Aby zapewnić stabilność i bezpieczeństwo energetyczne, konieczne jest:

- racjonalne podejście do wyboru technologii, dostosowane do warunków lokalnych i strategicznych celów państwa;
- inwestowanie w badania i edukację, aby rozwijać krajowe kompetencje w dziedzinie technologii jądrowych;
- przejrzysta i rzetelna komunikacja społeczna, aby unikać dezinformacji i budować zaufanie do energetyki jądrowej;
- stabilna polityka energetyczna, która pozwoli na skuteczne wdrożenie SMR-ów i dużych reaktorów jądrowych.

Dzięki odpowiednim decyzjom Polska ma szansę stać się liderem innowacyjnej i bezpiecznej energetyki jądrowej w Europie.

## 6. Rozwój technologii reaktorów jądrowych – BWRX-300 jako innowacyjne rozwiązanie

### 6.1. Historia wyboru technologii jądrowych przez czołowe koncerny

Dwa główne koncerny energetyczne w USA obrały różne ścieżki rozwoju technologii jądrowej:

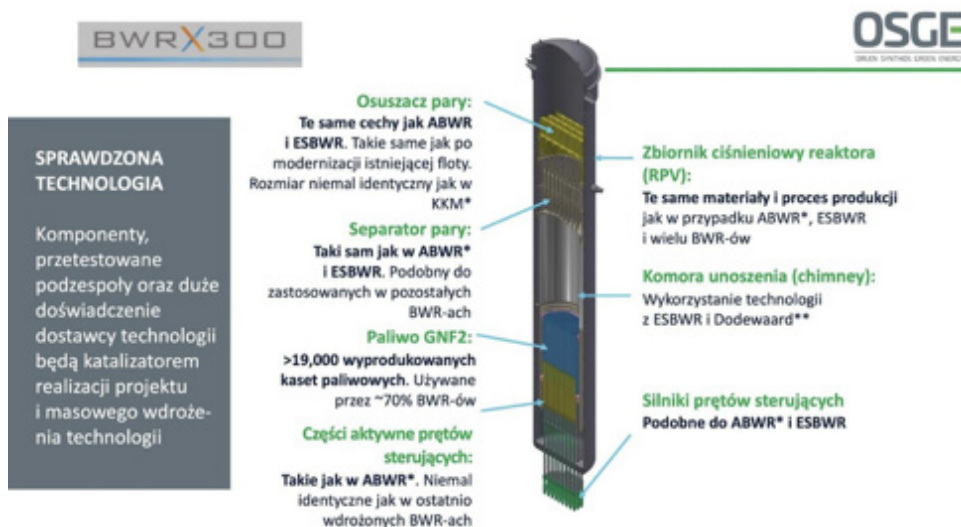
- Westinghouse postawił na reaktory ciśnieniowe (PWR – *Pressurized Water Reactor*),
- General Electric (GE) opracował i wdrożył reaktory wrzące (BWR – *Boiling Water Reactor*).

W 2007 r. GE połączyło siły z japońską firmą Hitachi, co dodatkowo wzmocniło ich pozycję w branży jądrowej. Warto podkreślić, że GE posiada ogromne doświadczenie w tej dziedzinie – jego pierwsza jednostka zajmująca się energetyką jądrową powstała już w 1939 r., zaledwie trzy miesiące po odkryciu zjawiska rozszczepienia jądra atomowego przez Lise Meitner, Otto Hahna i Fritza Strassmanna (grudzień 1938 r., Berlin).

Lise Meitner, jako pierwsza, dostrzegła potencjał energetyczny rozszczepienia i nadała temu zjawisku właściwą nazwę. Hahn i Strassmann, będąc chemikami, zaobserwowali pojawienie się śladów baru w próbce czystego uranu napromieniowanego neutronami – co stanowiło kluczowy dowód na wystąpienie reakcji rozszczepienia.

## 6.2. BWRX-300 – sprawdzona technologia i jej zalety

BWRX-300 to nowoczesny, mały modułowy reaktor (SMR), bazujący na sprawdzonej technologii reaktorów wrzących. Wszystkie jego komponenty były już stosowane w działających reaktorach jądrowych, co obala twierdzenie, jakoby była to technologia nieprzetestowana.



Rysunek 1.

## 6.3. Paliwo jądrowe – GNF-2

BWRX-300 wykorzystuje paliwo GNF-2, które:

- zostało zlicencjonowane już w 2010 r.,

- jest wykorzystywane w wielu funkcjonujących reaktorach,
- do tej pory wyprodukowano około 20 tysięcy kaset paliwowych. Rdzeń reaktora BWRX-300 to tylko 240 takich kaset paliwowych.

Warto zaznaczyć, że proces licencjonowania nowego paliwa jądrowego trwa co najmniej 5-6 lat. Wymaga on przeprowadzenia serii testów obejmujących m.in. umieszczenie paliwa w reaktorze, jego napromieniowanie oraz analizę zachowania koszulek paliwowych. Korzystanie z już zlicencjonowanego paliwa oznacza znaczną oszczędność czasu i kosztów.

#### **6.4. Zalety konstrukcyjne BWRX-300**

Najważniejszą innowacją w konstrukcji BWRX-300 jest eliminacja konieczności stosowania pomp cyrkulacyjnych.

Dzięki wykorzystaniu naturalnej cyrkulacji chłodziwa, reaktor ten:

- nie wymaga zasilania elektrycznego do działania pomp, co zwiększa bezpieczeństwo w przypadku awarii,
- wykorzystuje zjawisko wrzenia jako siłę napędową, jako swego rodzaju naturalną pompę, dzięki czemu para wodna sama cyrkuluje w zbiorniku reaktora,
- opiera się na sprawdzonych technologiach, a każdy jego komponent został wcześniej przetestowany.

BWRX-300 można porównać do układanki złożonej z gotowych, sprawdzonych modułów, co znacząco upraszcza proces wdrożenia tej technologii.

#### **6.5. Reaktory wrzące w Szwecji – doświadczenia z technologią BWR**

Szwecja posiada bogate doświadczenie w eksploatacji reaktorów wrzących:

- spośród 12 wybudowanych reaktorów, 9 to jednostki typu BWR,
- wszystkie zostały sfinansowane ze środków krajowych w latach 1971-1985.

Technologia reaktorów wrzących jest sprawdzona i stosowana na całym świecie. Jednym z jej kluczowych atutów jest niższy koszt budowy w porównaniu do reaktorów PWR. Niższy koszt dzięki prostszej konstrukcji.

## 6.6. Dlaczego reaktor BWR jest tańszy od reaktora PWR?

- Brak drugiego obiegu chłodzenia – w reaktorze wrzącym para wodna jest bezpośrednio kierowana na turbinę, eliminując konieczność stosowania wymienników ciepła.
- Brak stabilizatora ciśnienia – w reaktorze PWR znajduje się dodatkowy duży zbiornik na górze reaktora, który jest zbędny w technologii BWR.
- Łatwiejsza konserwacja – wymiennik ciepła w reaktorze BWR można demontować i kontrolować co roku lub co dwa lata, podczas gdy w PWR wymiennik ciepła jest praktycznie niereperowalny – w przypadku awarii konieczna jest jego całkowita wymiana.

## 6.7. BWR – reaktor przeznaczony wyłącznie do zastosowań cywilnych

Na świecie wybudowano dotychczas 350 reaktorów PWR oraz 95 reaktorów BWR. Mniejsza liczba reaktorów wrzących wynika z faktu, że technologia BWR nie nadaje się do zastosowań wojskowych, w przeciwieństwie do PWR, który był szeroko wykorzystywany na okrętach podwodnych i dużych lotniskowcach.

Dlaczego reaktor BWR nie znalazł zastosowania w marynarce wojennej?

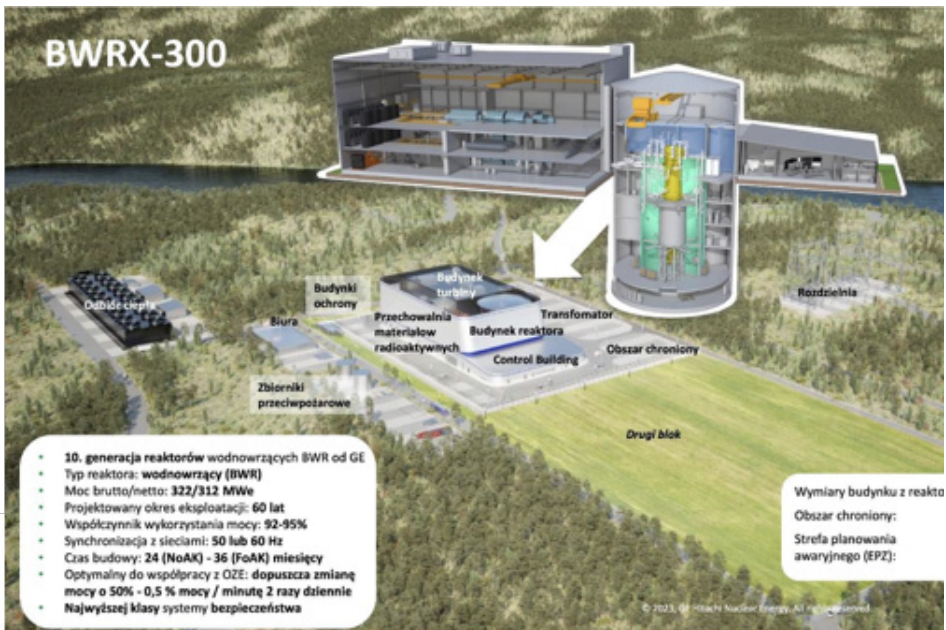
- generuje radioaktywny azot-16 w obiegu parowym,
- azot-16 jest silnie promieniotwórczy, ale ma bardzo krótki okres połowicznego rozpadu, który wynosi zaledwie kilka sekund,
- po wyłączeniu reaktora, w ciągu kilku minut radioaktywność zanika, a azot wraca do swojej pierwotnej postaci – tlenu-16.

Z uwagi na specyfikę działania, reaktory BWR nie mogły być wykorzystywane na okrętach podwodnych, gdzie kompaktowość i minimalizacja emisji promieniowania miały kluczowe znaczenie.

Reaktory typu BWRX-300 to nowoczesne, bezpieczne i ekonomiczne rozwiązanie bazujące na sprawdzonych technologiach.

W kontekście planów Polski dotyczących rozwoju energetyki jądrowej, reaktory BWRX-300 mogą odegrać kluczową rolę w dekarbonizacji i stabilizacji systemu energetycznego.





Rysunek 2. Wizualizacja Planu Terenu dla Reaktora: Prezentowana plansza przedstawia wizualizację planu terenu dla reaktora. Strefa ograniczonego użytkowania zajmuje 2,7 hektara.

## 6.8. Wymagania obszarowe i elastyczność operacyjna

Wymagania przestrzenne dla tego typu reaktora są stosunkowo niewielkie – w przeliczeniu na megawat są one znacznie niższe niż w przypadku dużych reaktorów. Istotną zaletą małego reaktora jest jego zdolność do zmiany mocy – może on dwukrotnie zmniejszyć lub zwiększyć swoją wydajność w ciągu doby, redukując moc ze 100% do 50% w ciągu dwóch godzin. Ograniczenie to nie wynika z uwarunkowań fizycznych czy technologicznych, lecz z amerykańskich regulacji, które choć uwzględniają kwestie techniczne, mogą potencjalnie dopuszczać szybsze zmiany mocy. Dzięki tym właściwościom reaktor BWRX-300 doskonale sprawdza się w stabilizacji sieci odnawialnych źródeł energii (OZE).

## 6.9. Bariery ochronne reaktora BWRX-300

Reaktor BWRX-300 wykorzystuje wielowarstwowy system zabezpieczeń, zgodny z koncepcją „obrony w głąb”, stosowaną również w dużych reaktorach. Ochronę zapewnia pięć barier: od pastylki paliwowej pokrytej ceramicznym

tlenkiem, poprzez koszulkę paliwową, aż po obudowę bezpieczeństwa reaktora. Kluczową cechą tego modelu jest zdolność do autonomicznego chłodzenia w przypadku awarii – reaktor może być chłodzony wodą z basenów umieszczonych nad nim, co zapewnia jego stabilność przez siedem dni bez potrzeby interwencji operatora ani zasilania elektrycznego. Dla porównania, w dużych reaktorach standardowy czas na podjęcie działań przez operatora wynosi około 30 minut.

### **6.10. Lokalne źródła dostaw komponentów („Local Content”)**

BWRX-300 to technologia amerykańsko-europejska – paliwo pochodzi z Hiszpanii lub Szwecji, natomiast sam reaktor jest konstrukcją GE Hitachi. Wyspa konwencjonalna może być w całości produkowana w Polsce, ponieważ krajowi dostawcy dysponują odpowiednimi kompetencjami w zakresie turbin i innych komponentów. Trwają rozmowy z wieloma firmami w celu uzyskania niezbędnych certyfikacji, które zapewnią zgodność produkcji z wymaganiami bezpieczeństwa jądrowego.

Oczywiście, ekonomia małych reaktorów modułowych nabiera sensu w kontekście floty reaktorów, a nie pojedynczego urządzenia. Krzywa uczenia wskazuje, że wraz z kolejnymi jednostkami (np. trzecim, piątym reaktorem) koszt jednostkowy spadnie o około 30-40%. W przypadku dużych reaktorów każdy nowy reaktor stanowi praktycznie odrębny projekt, co zwiększa koszty i komplikuje procesy wdrożeniowe.

Należy również pamiętać, że planowanie floty SMR-ów jest w zasadzie planowaniem systemu przemysłowego na okres 20-30 lat lub nawet dłużej. Jest to proces długoterminowy, a nie jednorazowy projekt. Zespół realizujący te inwestycje będzie kontynuował pracę, przenosząc się z jednej lokalizacji na kolejną, w sposób podobny do doświadczeń Szwecji. Każdego roku jeden reaktor zostanie oddany do użytku przez grupę wykwalifikowanych specjalistów, którzy będą przechodzić z jednej budowy na drugą, realizując projekt etapami.

## **7. Lokalizacja i planowanie floty reaktorów**

Obecnie wydano już sześć decyzji zasadniczych dotyczących potencjalnych lokalizacji reaktorów, co wzbudziło liczne dyskusje polityczne. Planowane lokalizacje obejmują m.in.: Ostrołękę, Włocławek, Warszawę, Dąbrowę Górniczą, Stawy Monowskie, Kraków, Nową Hutę, Tarnobrzeg oraz Stalową Wolę.



## Potencjalne lokalizacje w Polsce



**Ministerstwo Klimatu i Środowiska wydało 7 grudnia 2023 r. sześć Decyzji Zasadniczych** na podstawie których OSGE może kontynuować proces licencjonowania zmierzający do budowy do 24 jednostek BWRX-300 w sześciu lokalizacjach.

Dokładna lokalizacja w okolicy Warszawy jest przedmiotem analiz. Wniosek o wydanie decyzji w sprawie projektu warszawskiego nie został jeszcze złożony.



\*wiodąca aplikacja



Rysunek 3.

Kolorem zielonym na mapie oznaczone są lokalizacje, gdzie energia jądrowa będzie wykorzystywana wyłącznie do produkcji prądu, natomiast kolorem szarym – miejsca, gdzie energia będzie również stosowana w procesach przemysłowych i do produkcji ciepła.

Istotnym elementem rozwoju małych reaktorów jest ich zastosowanie w przemyśle chemicznym. Przykładem jest firma Synthos, która dostarcza kauczuk dla 25% rynku oponowego w Europie. Redukcja śladu węglowego tej produkcji jest kluczowa dla utrzymania konkurencyjności. W podobnej sytuacji znajduje się Anwil we Włocławku, gdzie również planowane jest wykorzystanie energii jądrowej.

Dzięki ograniczonej skali oddziaływania, reaktory SMR wymagają uproszczonych procedur oceny wpływu transgranicznego. Dotychczasowe konsultacje w ramach takich analiz dotyczące Stawów Monowskich – przeprowadzone z Czechami, Słowacją i Austrią – nie napotkały większych zastrzeżeń.

## 8. Perspektywy i rozwój technologii

Polska, we współpracy z Kanadą i Stanami Zjednoczonymi, realizuje strategię standaryzacji projektu reaktora BWRX-300 w ramach porozumienia Technology Collaboration Agreement. Jego celem jest opracowanie projektu standardowego, tzw. *standard design*, który uprości kolejne etapy procesu licencjonowania technologii na rynku europejskim.

Doświadczenia w rozwoju energetyki w prowincji Ontario były w dużej mierze wynikiem pogarszającej się jakości powietrza pod koniec lat 80. i 90. XX w. – sytuacja w Toronto była wówczas porównywalna do tej, jaką niekiedy obserwuje się w Krakowie. W odpowiedzi na ten problem zamknięto wszystkie okoliczne elektrociepłownie węglowe i zbudowano reaktory CANDU w Darlington, położonym kilkadziesiąt kilometrów od Toronto, oraz w Pickering, jeszcze bliżej miasta.

Obecnie wdrażana jest nowa strategia, zakładająca budowę reaktorów BWRX-300 w miejscach, gdzie niegdyś funkcjonowały elektrownie węglowe, podczas gdy reaktory CANDU będą stopniowo wyłączane. Uważam, że jest to słuszna decyzja, ponieważ CANDU to jeden z najbardziej skomplikowanych reaktorów jądrowych. Jego główną zaletą jest brak konieczności wzbogacania uranu, jednak z technicznego i operacyjnego punktu widzenia stanowi on wyzwanie.

Projekt Phoenix, znany również jako *Coal to Nuclear*, w rzeczywistości opiera się na koncepcji, którą opracowaliśmy jeszcze przed Amerykanami.

W Polsce realizowany jest program DESIRE, prowadzony przez Politechnikę Śląską oraz projekt *Gospostrateg*, który *de facto* stworzył rozwiązania analogiczne do tych, które obecnie rozwijają Amerykanie w celu zastąpienia elektrowni węglowych jednostkami jądrowymi.

W ramach projektu *Phoenix* Stany Zjednoczone oferują wsparcie w opracowywaniu rozwiązań, szczególnie dla dużych aglomeracji, w tym m.in. dla systemów ciepłowniczych w miastach. Obecnie do inicjatywy *Phoenix* dołączyły dwa europejskie kraje – Słowacja oraz projekt związany z reaktorem BWRX-300.

Trwają prace nad wstępnym raportem bezpieczeństwa, który stanowi kluczowy element całego procesu. W praktyce jego zatwierdzenie umożliwi rozpoczęcie prac budowlanych, w tym wykonanie pierwszych wykopów oraz montaż pierwszych modułów. Nasze działania opierają się na doświadczeniach Ontario Power Generation (OPG, wcześniej Ontario Hydro), podobnie jak w przypadku firmy Vattenfall w Szwecji.

W ramach globalnych inicjatyw Polska aktywnie uczestniczy w *European Industrial Alliance on SMR*, gdzie BWRX-300 jest jednym z dziewięciu wybranych rozwiązań dla Europy. Estonia zapowiedziała budowę dwóch takich reaktorów, a Czechy oraz Szwecja rozważają ich wdrożenie.

## 9. Koszty i opłacalność

Według badania IBRIS z 2023 r. ponad 60% Polaków popiera rozwój małych reaktorów jądrowych, co świadczy o szerokiej akceptacji tej technologii. Poparcie na poziomie 70% można uznać wręcz za zdecydowaną aprobatę społeczną.

Zszacunkowy koszt budowy reaktora BWRX-300 jest niższy niż suma opłat emisyjnych generowanych przez elektrownię gazową w ciągu 25 lat eksploatacji. Dodatkowo, reaktor ten może działać przez co najmniej 80 lat, co czyni go rozwiązaniem bardziej ekonomicznym w długoterminowej perspektywie.

## 10. Rozwój reaktorów wysokotemperaturowych (HTGR)

Polska jest jednym z liderów w zakresie projektu rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych (HTGR). Ich kluczową zaletą jest możliwość uzyskiwania temperatur rzędu 900-1000°C, co pozwala na zastosowanie ich w przemyśle chemicznym oraz produkcji wodoru metodą termiczną, bez konieczności użycia energii elektrycznej.

Podstawą technologii HTGR jest paliwo TRISO, które zapewnia wyjątkowo wysoki poziom bezpieczeństwa. W skład każdej cząsteczki paliwowej wchodzi warstwa ochronna, w tym węgiel krzemowy – jeden z najtrwalszych materiałów na Ziemi. Obecnie niemiecka technologia produkcji TRISO charakteryzuje się najniższym prawdopodobieństwem awarii – rzędu 1 na  $10^{-8}$  –  $10^{-10}$ .



Rysunek 4.

## **Podsumowanie**

Reaktor BWRX-300 stanowi optymalne rozwiązanie dla Polski pod względem strategicznym i ekonomicznym. Jego rozwój odbywa się przy aktywnym udziale polskich i międzynarodowych partnerów, co zapewnia dostęp do najnowszych technologii i standardów licencyjnych.

Koncepcja transformacji energetycznej w Polsce uwzględnia również reaktory wysokotemperaturowe (HTGR), które będą kluczowe w procesie dekarbonizacji przemysłu, zwłaszcza w zakresie produkcji ciepła procesowego.

Dzięki wdrożeniu nowoczesnych technologii jądrowych Polska może nie tylko uniezależnić się od paliw kopalnych, ale także stać się europejskim liderem w dziedzinie innowacyjnej energetyki jądrowej.



**Prof. Fabrizio Giulimondi**

Szkoła Główna Mikołaja Kopernika, Polska

e-mail: [fabrizio.giulimondi@sgmk.edu.pl](mailto:fabrizio.giulimondi@sgmk.edu.pl)

ORCID: 0009-0008-5242-6448

## **„Zielony Ład” między prawem a ideologią: ochrona środowiska, ochrona przedsiębiorstw i gwarancja praw właścicieli**

### **Wprowadzenie**

Niniejsza analiza koncentruje się na europejskim Zielonym Ładzie, który stanowi kluczowy element współczesnych debat zarówno na forum Unii Europejskiej, jak i na poziomie globalnym. Zielony Ład ze względu na swoją interdyscyplinarną naturę obejmuje zagadnienia prawne, środowiskowe, ekonomiczne oraz techniczne, stając się przedmiotem szczególnego zainteresowania zarówno w kontekście regulacji instytucjonalnych, jak i ich społeczno-gospodarczych konsekwencji. Głównym celem analizy jest ukazanie złożoności implementacji zasad Zielonego Ładu oraz wskazanie na istotne napięcia pomiędzy ekologicznymi celami regulacji, a gospodarczymi i społecznymi skutkami tych działań.

### **1. Interdyscyplinarność wyzwań środowiskowych**

Zielony Ład, rozpatrywany przez pryzmat zmian klimatycznych, stanowi przykład złożonego problemu, który wymyka się jednoaspektowej analizie. Choć kwestie naukowe związane z transformacją klimatyczną pozostają istotne, niniejsza analiza koncentruje się na wymiarze prawnym i jego powiązaniach z gospodarką. W ostatnich latach instytucje europejskie, w szczególności Komisja Europejska, podjęły szereg interwencji legislacyjnych, których celem jest implementacja założeń Zielonego Ładu. Wprowadzone regulacje nie tylko kształtują ramy prawne, lecz także generują bezpośrednie konsekwencje ekonomiczne, zwłaszcza w sektorze nieruchomości, mieszkalnictwa oraz transportu.

Kluczowym elementem dyskusji jest relacja między prawem a gospodarką. Regulacje techniczne narzucane przez Unię Europejską, dotyczące m.in. modernizacji budynków mieszkalnych, rewitalizacji kondominiów czy standardów emisyjnych dla pojazdów, są przykładem ingerencji prawno-regulacyjnej ściśle powiązanej z dynamiką ekonomiczną: prawo jednocześnie warunkuje gospodarkę i podlega jej wpływom. Wymagania te, mimo celów środowiskowych, niosą ze sobą znaczące obciążenia finansowe dla właścicieli nieruchomości – zarówno osób prywatnych, jak i podmiotów zbiorowych. Restrykcyjne normy remontowe lub termomodernizacyjne wymuszają konieczność ponoszenia nakładów przekraczających często możliwości finansowe jednostek.

W kontekście powyższych wyzwań zwraca się uwagę na konieczność stworzenia mechanizmów wsparcia finansowego ze strony państw członkowskich. Bez systemowych rozwiązań, takich jak dotacje, ulgi podatkowe czy preferencyjne kredyty, realizacja celów Zielonego Ładu może prowadzić do pogłębienia nierówności ekonomicznych. Grupy społeczne o ograniczonych zasobach finansowych, zmuszone do dostosowania się do nowych standardów, staną przed ryzykiem marginalizacji. Wymaga to koordynacji między poziomem unijnym a krajowym, szczególnie w świetle zmieniającej się konfiguracji politycznej instytucji europejskich i wąskich większości decyzyjnych.

Analiza wskazuje, że skuteczna implementacja Zielonego Ładu zależy nie tylko od spójności regulacji prawnych, lecz także od uwzględnienia ich społeczno-ekonomicznego oddziaływania. Interdyscyplinarność tematu wymaga dalszych badań nad optymalizacją narzędzi wsparcia oraz oceną długofalowych efektów wprowadzanych reform.

## **2. Skutki regulacji środowiskowych w kontekście prawno-ekonomicznym**

W literaturze przedmiotu wskazuje się na liczne przykłady wpływu restrykcyjnych regulacji środowiskowych na gospodarkę i własność prywatną. Jednym z często analizowanych przypadków jest sytuacja w stanie Kalifornia (Stany Zjednoczone), gdzie wprowadzenie radykalnych przepisów ekologicznych dotyczących standardów technicznych w nieruchomościach doprowadziło do utraty możliwości wynajmu lub sprzedaży domów niespełniających nowych wymogów. W efekcie część właścicieli zmuszona została do rezygnacji z majątku ze względu na niemożność poniesienia kosztów dostosowawczych. Analogiczne zjawiska obserwuje się w sektorze motoryzacyjnym, gdzie regulacje ograniczające sprzedaż pojazdów spalinowych na rzecz elektrycznych stworzyły niszę rynkową

korzystną dla producentów technologii niskoemisyjnych. Powyższe przypadki ilustrują kluczowy problem w analizie ekonomicznej prawa: czy regulacje prawne stanowią pierwotną przyczynę zmian gospodarczych, czy też są jedynie instrumentem dostosowującym prawo do istniejących trendów ekonomicznych.

Debata nad relacją między prawem a gospodarką koncentruje się na pytaniu, na ile system prawny determinuje procesy ekonomiczne, a na ile sam podlega instrumentalizacji przez czynniki ekonomiczne. W kontekście Zielonego Ładu Unii Europejskiej wątpliwości budzi status prawny jako narzędzia realizacji celów środowiskowych. Czy regulacje techniczne dotyczące modernizacji budynków lub ograniczeń emisyjnych w transporcie stanowią autonomiczny akt suwerennej władzy, czy też odzwierciedlają interesy podmiotów gospodarczych działających w skali ponadnarodowej? Ta kwestia, o charakterze nie tylko prawnym, ale także filozoficznym, odsłania szerszy konflikt między dwoma paradygmatami: antropocentrycznym i ekocentrycznym.

### **3. Ekocentryzm vs. antropocentryzm w prawie środowiskowym**

Zielony Ład, rozpatrywany przez pryzmat filozofii prawa, wpisuje się w ekocentryczny model ochrony środowiska. W tym ujęciu ekosystem traktowany jest jako nadrzędny cel regulacji, podczas gdy człowiek postrzegany jest jako jeden z elementów systemu przyrodniczego. Przeciwna koncepcja antropocentryczna lokuje ludzkie interesy i potrzeby w centrum oceny prawnej, uznając środowisko za zasób podlegający ochronie w celu zapewnienia dobrostanu obecnych i przyszłych pokoleń. W ramach Zielonego Ładu wyraźnie dominuje podejście ekocentryczne, czego przejawem są m.in. bezwzględne standardy techniczne narzucane właścicielom nieruchomości czy restrykcyjne limity emisji dla przemysłu.

Konflikt między ekocentryzmem a antropocentryzmem przekłada się na konkretne dylematy w tworzeniu i stosowaniu prawa środowiskowego. Z jednej strony, priorytetowe traktowanie ochrony ekosystemów prowadzi do ograniczeń w działalności gospodarczej, co ilustrują wspomniane przypadki z Kalifornii czy europejskiego sektora motoryzacyjnego. Z drugiej strony, podejście antropocentryczne wymaga poszukiwania rozwiązań równoważących ochronę środowiska z prawem do rozwoju gospodarczego, wolnością przedsiębiorczości oraz ochroną własności prywatnej. Kluczowym wyzwaniem staje się zatem opracowanie mechanizmów prawnych uwzględniających zarówno zdrowie publiczne i bezpieczeństwo ekologiczne, jak i ekonomiczne prawa jednostek oraz podmiotów gospodarczych.



Prawo ochrony środowiska charakteryzuje się dualizmem podejść: ekocentrycznego, w którym środowisko stanowi nadrzędny cel regulacji, oraz antropocentrycznego, koncentrującego się na ochronie interesów człowieka. Przykładem ekocentryzmu w praktyce są działania organizacji takich jak Greenpeace, gdzie interwencje prawne traktują ekosystem jako wartość autonomiczną, a człowieka jako element szerszego układu przyrodniczego. Prawo środowiskowe, niezależnie od przyjętej perspektywy, ingeruje w wielowymiarowe aspekty życia jednostek i działalności podmiotów gospodarczych, wymuszając balans między ochroną środowiska a prawami ekonomicznymi.

Przytoczone przykłady oraz analiza paradygmatów wskazują, że skuteczność prawa środowiskowego zależy od klarownego określenia jego filozoficznych fundamentów. Wymaga to:

- 1) świadomego wyboru między ekocentrycznym a antropocentrycznym modelem regulacji;
- 2) uwzględnienia kosztów społeczno-ekonomicznych w procesie legislacyjnym;
- 3) wypracowania instrumentów kompensacyjnych dla grup dotkniętych negatywnymi skutkami transformacji ekologicznej.

Dalsze badania powinny koncentrować się na ocenie proporcjonalności środków prawnych w stosunku do zakładanych celów środowiskowych oraz na analizie długoterminowych skutków dominacji paradygmatu ekocentrycznego w prawodawstwie unijnym.

#### **4. Zasada ostrożności jako narzędzie mediacji interesów**

Kluczowym instrumentem w tym kontekście pozostaje zasada ostrożności, której celem jest minimalizacja ryzyka szkód dla zdrowia publicznego i środowiska przy jednoczesnym uwzględnieniu interesów gospodarczych. W ramach prawa Unii Europejskiej zasada ta funkcjonuje jako mechanizm prewencyjny, wymagający od organów publicznych i przedsiębiorców podejmowania działań zapobiegawczych nawet w przypadku braku pełnej naukowej pewności co do skali zagrożeń. Nadzór administracyjny, oparty na tej zasadzie, musi uwzględniać zarówno potencjalne szkody środowiskowe, jak i konieczność ochrony integralności fizycznej oraz psychicznej jednostek przed niekontrolowanymi działaniami przemysłowymi.

Ramę regulacyjną dla działań Wspólnoty w dziedzinie ochrony środowiska określa art. 191 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE). Wymienia on cztery kluczowe zasady, z których trzy zostały wprowadzone Jednolitym Aktem Europejskim z 1986 r., a czwarta – Traktatem z Maastricht z 1992 r.:

1. **Zasada działania zapobiegawczego** – obliguje do podejmowania środków zaradczych wobec szkód środowiskowych naukowo potwierdzonych lub prawdopodobnych.
2. **Zasada naprawy szkód u źródła** – nakazuje eliminację zanieczyszczeń na etapie ich powstawania.
3. **Zasada „zanieczyszczający płaci”** – przenosi odpowiedzialność finansową za szkody środowiskowe na podmiot je wywołujący.
4. **Zasada ostrożności** – wymaga wdrażania środków prewencyjnych w sytuacjach niepewności naukowej, aby uniknąć potencjalnie nieodwracalnych skutków.

W doktrynie prawnomiędzynarodowej przeprowadzono liczne analizy dotyczące implementacji tych zasad, zwłaszcza w kontekście ich wzajemnych powiązań i kolizji. Zasada ostrożności, w kształcie nadanym jej przez prawodawstwo wspólnotowe, stała się przedmiotem szczegółowych interpretacji w orzecznictwie sądów krajowych, unijnych oraz międzynarodowych. Przykładem są sprawy dotyczące konfliktów między ochroną zdrowia publicznego a rozwojem przemysłowym, takie jak kontrowersje wokół działalności zakładów chemicznych (np. przypadki analizowane w literaturze włoskiej). W takich sytuacjach zasada ostrożności służyła jako narzędzie mediacji między wymogami produktywności a koniecznością ochrony środowiska i zdrowia zbiorowego.

Implementacja unijnych zasad środowiskowych wymaga ich adaptacji do wewnętrznych systemów prawnych państw członkowskich. W przypadku zasady ostrożności kluczowe okazuje się wypracowanie mechanizmów oceny ryzyka, które łączą wymogi naukowe z realiami ekonomicznymi. Przykładowo, restrykcyjne przepisy dotyczące emisji przemysłowych lub standardów technicznych dla nieruchomości muszą uwzględniać zarówno koszty dostosowawcze dla przedsiębiorców, jak i długofalowe korzyści ekologiczne.

## **5. Zasada ostrożności w prawie środowiskowym: geneza, implikacje i implementacja**

Zasada ostrożności, rozumiana jako zestaw działań prewencyjnych mających na celu ochronę zdrowia indywidualnego i zbiorowego, funkcjonuje w ramach antropocentrycznego paradygmatu prawa środowiskowego. Jej celem jest zarówno ochrona integralności fizycznej i psychicznej jednostki, jak i minimalizacja zagrożeń wynikających z oddziaływania czynników środowiskowych. Kluczowym elementem tej zasady jest pojęcie „ryzyka” (wł. *rischio*), definiowanego jako wielowymiarowa funkcja obejmująca charakter

zagrożenia, prawdopodobieństwo jego wystąpienia oraz stopień narażenia podmiotów. W sytuacjach, w których zdarzenie może prowadzić do wielu potencjalnych konsekwencji o różnym prawdopodobieństwie, zasada ostrożności stanowi narzędzie zarządzania niepewnością.

Kontury zasady ostrożności zostały po raz pierwszy nakreślone w niemieckiej literaturze prawniczej, a następnie zaadaptowane przez prawo Unii Europejskiej. W systemie niemieckim zasada ta wykształciła się jako autonomiczny fundament legislacyjny, odrębny od zasady zapobiegania, koncentrując się na ochronie dóbr podstawowych, takich jak zdrowie czy środowisko, nawet w warunkach niepewności naukowej. W prawie wspólnotowym zasada ostrożności zyskała status narzędzia prewencji, wymagającego podejmowania środków zaradczych w sytuacjach, gdy zagrożenie nie zostało w pełni udokumentowane naukowo, lecz jego potencjalne skutki uznano za nieodwracalne.

Implementacja zasady ostrożności, szczególnie w kontekście unijnego Zielonego Ładu, pociąga za sobą istotne konsekwencje dla prywatnej inicjatywy gospodarczej. Regulacje techniczne dotyczące modernizacji budynków, ograniczenia emisji czy standardów technologicznych w transporcie skutkują restrykcjami w zakresie swobody działalności gospodarczej. Przykładowo, właściciele nieruchomości zmuszeni są do dostosowania swoich dóbr do rygorystycznych wymogów środowiskowych pod groźbą utraty możliwości sprzedaży lub wynajmu. Analogiczne ograniczenia dotyczą sektora motoryzacyjnego, gdzie zakaz sprzedaży pojazdów niespełniających norm emisyjnych wpływa na strukturę rynku. Tego typu interwencje legitymizowane są potrzebą ochrony dóbr o szczególnym znaczeniu, takich jak zdrowie publiczne czy środowisko, których degradacja może przybrać niekontrolowany charakter przestrzenny i czasowy.

Podstawy dla globalnego stosowania zasady ostrożności zostały określone podczas Konferencji Sztokholmskiej w 1972 r. w sprawie Środowiska Ludzkiego, a następnie usankcjonowane prawnie poprzez Konwencję Wiedeńską z 1985 r. dotyczącą ochrony warstwy ozonowej. Szczególne znaczenie ma Deklaracja z Rio de Janeiro z 1992 r., której art. 15 stanowi, że brak pełnej pewności naukowej nie może usprawiedliwiać opóźniania działań zapobiegających degradacji środowiska w przypadku ryzyka poważnych i nieodwracalnych szkód. Dokument ten, powiązany z art. 191 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE), tworzy spójne ramy dla unijnej polityki środowiskowej.

We francuskim porządku prawnym zasada ostrożności została formalnie wprowadzona ustawą nr 92-654 z dnia 13 lipca 1992 r., regulującą kontrolę nad wykorzystaniem organizmów zmodyfikowanych genetycznie. Ustawa ta zmodyfikowała wcześniejsze przepisy z 1976 r. (nr 76-663) dotyczące instalacji przemysłowych

objętych nadzorem środowiskowym. Francuska definicja zasady ostrożności podkreśla konieczność podejmowania działań prewencyjnych nawet przy braku jednoznacznych dowodów naukowych, co stanowi wzór dla innych systemów prawnych.

Ustawa Barnier z dnia 2 lutego 1995 r. skodyfikowała kluczowe zasady prawa środowiskowego, w tym zasadę ostrożności, zapobiegania szkodom u źródła oraz partycypacji społecznej. W odniesieniu do zasady ostrożności ustawa stanowi, że brak pewności naukowej nie może stanowić podstawy do opóźnienia wprowadzenia skutecznych i proporcjonalnych środków zapobiegających ryzyku poważnych oraz nieodwracalnych szkód w środowisku, przy uwzględnieniu kryterium akceptowalności kosztów ekonomicznych. Warto zauważyć, że francuska formuła różni się od zapisów Deklaracji z Rio z 1992 r.: podczas gdy tekst francuski wymaga współwystępowania **poważnych i nieodwracalnych** szkód, dokument międzynarodowy dopuszcza zastosowanie zasady już przy wystąpieniu szkód **poważnych lub nieodwracalnych**.

Francuski wymiar sprawiedliwości rozwinął interpretację zasady ostrożności w kontekście kontrowersji dotyczących ryzyka przenoszenia HIV poprzez transfuzje krwi. Sądy uznały, że nawet niepotwierdzone hipotezy naukowe powinny być uwzględniane w procesie decyzyjnym, jeśli istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia poważnych konsekwencji. W 2005 r. zasada ta zyskała rangę konstytucyjnej poprzez ustawę nr 2005-205, wprowadzającą Kartę Środowiska do francuskiego porządku prawnego. Dokument ten obowiązuje władze publiczne do uwzględniania wymogów ostrożności w politykach rozwojowych.

We włoskim systemie prawnym debata koncentruje się na relacji między ochroną środowiska a innymi wartościami konstytucyjnymi, takimi jak prawo do pracy, wolność przedsiębiorczości czy swoboda przemieszczania. W okresie pandemii COVID-19 spór ten przybrał na intensywności, dotykając fundamentalnego pytania: czy prawo do zdrowia zbiorowego i indywidualnego posiada nadrzędny status wobec innych praw, czy też konstytucyjne wartości pozostają w stanie dynamicznej równowagi?

W literaturze przedmiotu wyodrębnić można dwa stanowiska:

- 1) **Hierarchiczne** – zakłada pierwszeństwo prawa do zdrowia i środowiska nad innymi wolnościami, co znajduje odzwierciedlenie w czasowych ograniczeniach działalności gospodarczej lub swobody poruszania się podczas kryzysów.
- 2) **Równoważące** – podkreśla równorzędność wartości konstytucyjnych, dopuszczając tymczasową przewagę jednych nad innymi wyłącznie w oparciu o zasadę proporcjonalności i konieczności.

Włoskie orzecznictwo pandemiczne stało się polem testowym dla powyższych koncepcji. Restrykcje wprowadzone w celu ochrony zdrowia publicznego – takie jak lockdowny, obowiązek szczepień czy ograniczenia w handlu – spotkały się z zarzutami naruszenia art. 41 Konstytucji (wolność przedsiębiorczości) oraz art. 16 (swoboda przemieszczania). Trybunał Konstytucyjny, analizując te przypadki, podkreślał konieczność bilansowania interesów zamiast sztywnej hierarchii. W jednym z wyroków wskazano, że nadrzędnym celem państwa jest zapewnienie „równej ochrony” wszystkich praw, co wymaga elastycznego podejścia uwzględniającego kontekst społeczno-ekonomiczny.

Spór ten nie ogranicza się do Włoch. W państwach członkowskich UE obserwuje się podobne napięcia między implementacją unijnych dyrektyw środowiskowych (np. w ramach Zielonego Ładu) a ochroną narodowych gwarancji konstytucyjnych. Przykładowo, niemiecki Federalny Trybunał Konstytucyjny w wyroku z 2021 r. uznał, że restrykcyjne cele klimatyczne muszą być realizowane z poszanowaniem wolności przyszłych pokoleń do kształtowania polityk publicznych. Włoski Trybunał Konstytucyjny w wyroku nr 264 z 2012 r. jednoznacznie odrzucił koncepcję sztywnej hierarchii między wartościami konstytucyjnymi, podkreślając konieczność osiągnięcia „rozsądnej równowagi” między prawami podstawowymi. W uzasadnieniu wskazano, że prawo do zdrowego środowiska, wyprowadzone z konstytucyjnej ochrony zdrowia (art. 32 Konstytucji Włoskiej), oraz prawo do pracy (art. 4) pozostają w relacji wzajemnej integracji. Trybunał zaakcentował, że ochrona konstytucyjna ma charakter systemowy – nie dopuszcza się absolutnej dominacji jednego prawa nad innymi, aby uniknąć przekształcenia go w instrument hegemoniczny („prawo tyrańskie”), co obserwowano w okresie pandemii COVID-19.

W przedstawionym ujęciu ochrona środowiska realizowana jest poprzez pryzmat antropocentryczny, gdzie człowiek stanowi centralny punkt odniesienia. Oznacza to, że działania na rzecz zdrowia ekosystemu muszą uwzględniać ochronę praw jednostki do rozwoju gospodarczego, zatrudnienia oraz przedsiębiorczości. W przeciwieństwie do modelu ekocentrycznego, który traktuje środowisko jako wartość autonomiczną, podejście to zakłada, że znaczenie ochrony przyrody wynika z jej związku z dobrem wspólnoty ludzkiej.

Ilustracją powyższego konfliktu stała się debata dotycząca działalności włoskiej filii koncernu BASF, podejrzewanej o generowanie szkód zdrowotnych wśród lokalnej społeczności. Władze miejskie Rzymu, pełniące funkcję organu nadzoru zdrowotnego, stanęły przed dylematem wyboru między opcją ekocentryczną – zakładającą relokację zakładu i eliminację źródła zanieczyszczeń kosztem utraty 450 miejsc pracy – a opcją antropocentryczną, polegającą na utrzymaniu

działalności przy równoczesnym wdrożeniu zaostrzonych środków ochrony zdrowia mieszkańców. Spór uwidocznił sprzeczność między interesem ekonomicznym (utrzymanie zatrudnienia i rozwoju regionalnego), zdrowiem publicznym (redukcja zachorowań powiązanych z emisjami przemysłowymi) oraz wolną inicjatywą gospodarczą, gwarantowaną art. 41 Konstytucji Włoskiej.

Analiza konsekwencji potencjalnych rozstrzygnięć wykazała, że propozycja ekocentrycznej relokacji wiązałaby się z szeregiem negatywnych skutków. Likwidacja miejsc pracy dla 450 rodzin mogłaby doprowadzić do destabilizacji społeczno-ekonomicznej regionu, a koszty migracji zarobkowej (np. przenoszenia się pracowników do Irlandii) obciążłyby zarówno gospodarstwa domowe, jak i lokalny rynek pracy. Dodatkowo gmina straciłaby znaczące wpływy podatkowe, co ograniczyłoby jej możliwości inwestycyjne. Z kolei utrzymanie zakładu bez restrykcji środowiskowych groziło dalszą eskalacją chorób wśród mieszkańców, naruszeniem unijnej zasady ostrożności (art. 191 TFUE) oraz ryzykiem kosztownych roszczeń odszkodowawczych.

W odpowiedzi na te wyzwania przyjęto rozwiązanie kompromisowe, oparte na trzech filarach. Po pierwsze, wdrożono zaawansowane technologie redukcji emisji, mające na celu minimalizację wpływu zakładu na środowisko. Po drugie, wprowadzono stały monitoring zdrowotny populacji, umożliwiający szybką reakcję na ewentualne zagrożenia. Po trzecie, uruchomiono program rekompensat dla mieszkańców narażonych na podwyższone ryzyko zdrowotne. Decyzja ta odzwierciedlała zasadę proporcjonalności, wymagającą uwzględnienia zarówno kosztów ekonomicznych, jak i środowiskowych w procesie decyzyjnym, oraz podkreślała konieczność łączenia celów ekologicznych z ochroną praw społeczno-gospodarczych.

Przypadek BASF potwierdza tezę, że współczesne prawo środowiskowe funkcjonuje w przestrzeni „permanentnego negocjowania wartości”. Brak sztywnej hierarchii między prawami konstytucyjnymi wymaga od legislatorów i organów stosujących prawo:

- operacjonalizacji zasady zrównoważonego rozwoju (art. 3 ust. 3 TUE),
- rozwoju instrumentów oceny oddziaływania środowiskowo-społecznego (ESIA),
- instytucjonalizacji dialogu międzysektorowego z udziałem nauki, biznesu i społeczeństwa obywatelskiego.

Historyczne przypadki lokalizacji obiektów przemysłowych na obszarach początkowo niezamieszkałych, które z czasem uległy urbanizacji, ilustrują trwałe napięcie między rozwojem gospodarczym a ochroną zdrowia



publicznego i środowiska. Przykład rzeźni budowanych w latach 50. XX w., wokół których z czasem powstały osiedla mieszkaniowe, uwidacznia konsekwencje braku koordynacji między planowaniem przestrzennym a polityką przemysłową. W drugiej połowie XX w. wiele zakładów przemysłowych, w tym rzeźnie, lokowano na peryferyjnych, niezurbanizowanych terenach. Dynamiczny rozwój miast sprawił jednak, że obszary te znalazły się z czasem w centrum aglomeracji. Skutkiem tego są długotrwałe konflikty na linii przemysł–mieszkańcy, obejmujące degradację zdrowia publicznego związaną z emisją hałasu, odorów oraz substancji zanieczyszczających, naruszenie zasad ochrony dziedzictwa przyrodniczego (zwłaszcza terenów leśnych) oraz niespójność regulacji budowlanych, wynikającą z braku uwzględnienia przyszłej ekspansji miejskiej w pierwotnych pozwoleniach na budowę.

Kluczowym wyzwaniem współczesnego zarządzania przestrzenią jest integracja aspektów środowiskowych z procesem lokalizacji inwestycji przemysłowych. Wymaga to przeprowadzania wstępnej oceny oddziaływania, obejmującej analizę ryzyka zanieczyszczeń, hałasu oraz wpływu na ekosystemy jeszcze przed wydaniem pozwolenia na budowę. Niezbędne jest również wyznaczanie stref buforowych, które bezwzględnie oddzielają tereny przemysłowe od obszarów mieszkalnych, oraz prognozowanie urbanistyczne, uwzględniające długofalowe scenariusze rozwoju miast w dokumentach planistycznych. Badania wskazują, że optymalnym rozwiązaniem byłoby lokowanie obiektów o wysokim potencjale oddziaływania środowiskowego wyłącznie poza strefami zurbanizowanymi, co minimalizowałoby przyszłe konflikty.

Brak definitywnych rozstrzygnięć w zakresie kontroli zanieczyszczeń wymusza stosowanie zasady ostrożności (art. 191 TFUE). W praktyce przejawia się to poprzez ciągły monitoring parametrów środowiskowych, takich jak hałas, emisje gazów czy stan wód gruntowych, mechanizmy natychmiastowej reakcji (np. automatyczne wstrzymanie działalności przy przekroczeniu norm) oraz partycypację społeczną, polegającą na udostępnianiu mieszkańcom danych w czasie rzeczywistym. Próby pogodzenia ochrony zdrowia z utrzymaniem miejsc pracy generują konieczność poszukiwania kompromisów. W przypadku historycznych inwestycji przemysłowych działania naprawcze często ograniczają się do modernizacji technologii redukujących emisje przy zachowaniu ciągłości produkcji, programów rekompensat finansowo wspierających mieszkańców narażonych na negatywne skutki, oraz stopniowej relokacji wybranych procesów poza obszary mieszkalne. Te strategie podkreślają, że współczesne zarządzanie przestrzenią wymaga nie tylko naukowej precyzji, lecz także elastyczności w godzeniu sprzecznych interesów społeczno-ekonomicznych.

## 6. Wnioski

Przypadek rzeźni oraz podobnych obiektów przemysłowych dowodzi, że skuteczne zarządzanie ryzykiem środowiskowym wymaga prospektywnego podejścia do planowania przestrzennego. Kluczowe rekomendacje obejmują:

- 1) **wzmocnienie instrumentów oceny *ex-ante*** – obligatoryjne uwzględnianie wskaźników zdrowotnych i ekologicznych w procesie inwestycyjnym,
- 2) **instytucjonalizację stref wykluczenia** – prawny zakaz lokalizacji przemysłu ciężkiego w promieniu minimalnym od terenów mieszkalnych,
- 3) **integrację systemów monitoringu** – połączenie danych środowiskowych, urbanistycznych i demograficznych w platformach cyfrowych.

Dalsze badania powinny koncentrować się na analizie kosztów społeczno-ekonomicznych utrzymywania przestarzałych obiektów przemysłowych w strefach zurbanizowanych oraz ocenie efektywności mechanizmów kompensacyjnych.

## 7. Propozycja modelu zrównoważonego antropocentryzmu

Współczesne debaty na temat polityk środowiskowych, w tym unijnego Zielonego Ładu, uwidaczniają konieczność unikania skrajności ideologicznych. Zarówno ekocentryczne paradygmaty, stawiające ochronę ekosystemów ponad innymi wartościami, jak i antropocentryczne modele ignorujące kryzys klimatyczny, prowadzą do polaryzacji stanowisk. Kluczowym wyzwaniem pozostaje wypracowanie modelu integrującego prawo do zdrowego środowiska z prawem do pracy, wolnością przedsiębiorczości oraz ochroną zdrowia jednostek.

W literaturze przedmiotu podkreśla się, że nadmiernie ekocentryczne podejście, widoczne w części unijnych regulacji, może marginalizować interesy jednostek i rodzin, narzucając restrykcje gospodarcze o wysokich kosztach społecznych. Przykładem są kontrowersje wokół norm technicznych dla nieruchomości czy zakazów sprzedaży pojazdów spalinowych, które – choć motywowane słusznymi celami – budzą wątpliwości co do proporcjonalności ingerencji w wolność gospodarczą (art. 41 Konstytucji Włoskiej) i prawa własności.

Antropocentryzm, rozumiany jako priorytetowe traktowanie potrzeb człowieka, nie musi stać w sprzeczności z ochroną środowiska. W proponowanym ujęciu „zrównoważonego antropocentryzmu” ochrona ekosystemów wynika



z ich instrumentalnej wartości dla przetrwania i dobrostanu ludzkości. Model ten wymaga jednak:

- 1) **uznania równorzędności praw konstytucyjnych** – zdrowie, praca, przedsiębiorczość i środowisko muszą podlegać dynamicznej harmonizacji,
- 2) **oparcia decyzji na dowodach naukowych** – eliminacji regulacji opartych wyłącznie na przesłankach ideologicznych,
- 3) **respektowania zasady pomocniczości** – unikania nadmiernej centralizacji rozstrzygnięć na poziomie ponadnarodowym.

Restrykcyjne wymogi dotyczące termomodernizacji budynków lub zakaz użytkowania określonych technologii, takich jak kotły węglowe, ilustrują dylemat między ochroną środowiska a wolnością jednostki. Analizy ekonomiczne wskazują, że brak systemowego wsparcia finansowego dla gospodarstw domowych prowadzi do wykluczenia społecznego grup najuboższych, które nie są w stanie ponieść kosztów dostosowania się do nowych regulacji. Tymczasem art. 3 TUE wyraźnie podkreśla konieczność uwzględnienia „różnorodności kultur i tradycji” państw członkowskich w realizacji celów środowiskowych, co wymaga elastyczności w kształtowaniu polityk.

Rozwiązaniem konfliktów na linii ekologia–gospodarka może być instytucjonalizacja stałego dialogu między trzema kluczowymi obszarami: nauką, dostarczającą danych o skali zagrożeń i skuteczności środków zaradczych; prawem, tworzącym ramy balansujące interesy wszystkich podmiotów; oraz gospodarką, identyfikującą koszty i korzyści transformacji ekologicznej. Przykładem skutecznego modelu są mechanizmy konsultacyjne przyjęte w nordyckich strategiach „zielonej transformacji”, gdzie związki zawodowe, organizacje ekologiczne i przedsiębiorcy współtworzą plany redukcji emisji, uwzględniając zarówno cele klimatyczne, jak i społeczno-ekonomiczne realia.

#### **Wnioski z analizy wskazują na trzy kluczowe kierunki działań:**

- 1) **unikanie sztywnych hierarchii wartości** – konstytucyjne prawa do środowiska, pracy i zdrowia wymagają elastycznego wazenia w zależności od kontekstu, aby uniknąć marginalizacji którejkolwiek z tych sfer;
- 2) **nauka jako arbiter** – decyzje polityczne muszą opierać się na weryfikowalnych danych, a nie ideologicznych założeniach, co zwiększa przejrzystość i akceptację społeczną;
- 3) **ochrona autonomii jednostki** – regulacje środowiskowe powinny uwzględniać lokalne uwarunkowania ekonomiczne i kulturowe, unikając formy scentralizowanego dyktatu.

W celu uniknięcia dezintegracji społecznej, przyszłe reformy w ramach Zielonego Ładu powinny wprowadzić obowiązkowe analizy wpływu społecznego (SIA) dla wszystkich proponowanych regulacji. Dodatkowo niezbędne jest zwiększenie finansowania programów wsparcia dla grup wrażliwych oraz ustanowienie międzysektorowych rad doradczych z udziałem naukowców, przedsiębiorców i organizacji pozarządowych. Tego typu mechanizmy pozwoliłyby na integrację różnorodnych perspektyw i minimalizację ryzyka polaryzacji.

Dalsze badania powinny koncentrować się na pomiarze skuteczności dialogicznych modeli zarządzania w redukowaniu napięć społecznych w państwach członkowskich UE. Szczególnie istotna jest analiza długofalowych skutków wdrażanych rozwiązań, zarówno pod kątem redukcji emisji, jak i utrzymania spójności społecznej oraz konkurencyjności gospodarek lokalnych.

Analiza Zielonego Ładu wykazała, że skuteczna realizacja tej inicjatywy zależy od równoważenia różnych, często sprzecznych interesów – ekologicznych, społecznych oraz gospodarczych. Konieczne jest wypracowanie elastycznych mechanizmów prawnych, które będą mogły uwzględniać złożoność relacji między środowiskiem a gospodarką. Kluczowymi rekomendacjami dla dalszej implementacji Zielonego Ładu są: stworzenie narzędzi wsparcia finansowego, precyzyjne definiowanie ryzyka środowiskowego oraz instytucjonalizacja dialogu pomiędzy interesariuszami – nauką, sektorem prywatnym i społeczeństwem obywatelskim. Tylko zintegrowane podejście, uwzględniające różnorodne perspektywy, umożliwi skuteczną realizację celów ekologicznych przy jednoczesnym zachowaniu równowagi społeczno-ekonomicznej.

## Bibliografia

- Deklaracja Sztokholmska z 1972 r., Deklaracja Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Środowiska Ludzkiego, przyjęta 16 czerwca 1972 r., Dokument ONZ A/CONF.48/14/Rev.1.
- Deklaracja z Rio de Janeiro w sprawie środowiska i rozwoju, przyjęta podczas Konferencji ONZ w Rio de Janeiro 3-14 czerwca 1992 r., Dokument ONZ A/CONF.151/26, t. I, 1992.
- Jednolity Akt Europejski, Dz. U. WE L 169 z dnia 29 czerwca 1987 r.
- Karta Środowiska (Francja), Ustawa konstytucyjna nr 2005-205 z dnia 1 marca 2005 r., JORF n° 51 du 2 mars 2005.
- Konstytucja Republiki Włoskiej z dnia 27 grudnia 1947 r.

- Konwencja Wiedeńska w sprawie ochrony warstwy ozonowej, podpisana 22 marca 1985 r., weszła w życie 22 września 1988 r., Dz. U. z 1992 r., Nr 98, poz. 490.
- Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE), wersja skonsolidowana, Dz. Urz. UE C 326 z 26 października 2012 r.
- Traktat o Unii Europejskiej (Traktat z Maastricht), podpisany 7 lutego 1992 r., Dz. U. WE C 191 z 29 lipca 1992 r.
- Ustawa Barnier z dnia 2 lutego 1995 r. (Loi Barnier), dotycząca wzmocnienia ochrony środowiska, JORF n° 29 du 3 février 1995.
- Ustawa francuska nr 76-663 z dnia 19 lipca 1976 r. w sprawie instalacji przemysłowych objętych nadzorem środowiskowym, JORF n° 171, 23 juillet 1976.
- Ustawa francuska nr 92-654 z dnia 13 lipca 1992 r. w sprawie kontroli wykorzystywania organizmów zmodyfikowanych genetycznie, JORF n° 162, 14 juillet 1992.
- Wyrok Trybunału Konstytucyjnego Włoch nr 264 z 2012 r., Sentenza n. 264/2012 della Corte Costituzionale Italiana.

**Prof. Keung Koo Kim**

KEPCO International Nuclear Graduate School, Korea Południowa

e-mail: kkkim@kings.ac.kr

ORCID: 0000-0002-5088-2537

## **Rozwój koreańskich reaktorów SMR**

### **1. Historia koreańskich elektrowni jądrowych**

#### **1.1. Korea: kraj o trudnych warunkach środowiskowych**

Najpierw rzut oka na Koreę – większość Polaków wie, gdzie leży Korea. Kraj położony na Dalekim Wschodzie, teren o bardzo trudnych warunkach środowiskowych, ale mimo to osiągnął bardzo szybki rozwój gospodarczy. Korea dysponuje bardzo ograniczonymi zasobami ziemi – około 70% jej powierzchni zajmują góry. Oznacza to, że jedynie 30% obszaru nadaje się do zamieszkania, podczas gdy populacja kraju przewyższa liczbę mieszkańców Polski. Brakuje nam konwencjonalnych źródeł energii: nie posiadamy złóż ropy, gazu ani węgla. To zmusza nas do inwestycji w alternatywne rozwiązania energetyczne, kluczowe dla rozwoju gospodarczego. Naszym atutem są za to wysoko wykwalifikowane kadry i zaawansowane technologie.

Dziś należymy do „klubu” 30-50 – najdynamiczniej rozwijających się państw świata, wśród których przy liczbie ludności przekraczającej 50 milionów, dochód na mieszkańca przekracza 30 tysięcy dolarów. Jednak nasza droga do sukcesu była wyjątkowo trudna.

#### **1.2. Droga do sukcesu: od ruin do nowoczesnego państwa**

75 lat temu, po trwającej trzy lata wojnie, kraj leżał w gruzach. Infrastruktura przemysłowa została zniszczona i brakowało nawet podstawowych źródeł energii, a kraj był jednym z najbiedniejszych na świecie. W tych krytycznych czasach kluczową rolę odegrała współpraca międzynarodowa. Dr Walker Lee Cisler, ówczesny prezes Chicago Edison Co., podczas spotkania z naszym pierwszym prezydentem stwierdził: „Skoro natura nie obdarzyła

was surowcami, musicie wytworzyć energię sami. Waszym kapitałem jest ludzki umysł – to on pozwoli wam rozwinąć energetykę jądrową”. Te słowa stały się fundamentem naszej strategii. Inwestycje w naukę i nowoczesne technologie, zwłaszcza w sektorze jądrowym, umożliwiły przekształcenie ruin w nowoczesne państwo.

### 1.3. Początki energetyki jądrowej w Korei

Pomimo trudnej sytuacji ekonomicznej, w jakiej znajdował się wówczas nasz kraj, podjęliśmy śmiałą decyzję o inwestycji w energetykę jądrową. Już w 1959 r. rozpoczęliśmy pionierskie badania jądrowe, co pozwoliło nam przystąpić do budowy pierwszego reaktora badawczego. Warto podkreślić, że na ten cel przeznaczaliśmy aż 1,5% całego budżetu państwa – był to znaczący odsetek, świadczący o strategicznym priorytecie, jaki przyznaliśmy tej inicjatywie. W 1971 r. rozpoczęliśmy budowę pierwszej elektrowni jądrowej. Całkowity koszt budowy wyniósł 25% rocznego budżetu państwa. Tego rodzaju ogromna inwestycja opierała się więc na niezwykle śmiałej decyzji dotyczącej energii jądrowej.

### 1.4. Etapy rozwoju technologii jądrowej

Teraz możemy powiedzieć, że Korea osiągnęła samowystarczalność w zakresie technologii jądrowej. Możemy również powiedzieć, że nasza samodzielność technologiczna miała kilka etapów:

- 1) **Kupowanie i uruchamianie.** Pierwszy etap to po prostu kupowanie i uruchamianie. To znaczy, że kontraktowaliśmy projekty konstrukcji elektrowni atomowych „pod klucz”. Równolegle z zakupami elektrowni jądrowych uczyliśmy się, jak one działają i jak je obsługiwać.
- 2) **Usamodzielnienie technologiczne.** Następnie postanowiliśmy usamodzielnić się technologicznie, więc zaczęliśmy budować w oparciu o naszą technologię. Technologii jądrowej uczyliśmy się za granicą, zwłaszcza od amerykańskiej firmy Combustion Engineering.

Wielu młodych inżynierów, którzy właśnie ukończyli uniwersytet, zostało wysłanych do Stanów Zjednoczonych, aby opanowali technologię jądrową. Podczas realizacji prawdziwego projektu budowy elektrowni jądrowej zapoznali się z wieloma technologiami firmy Combustion Engineering i dowiedzieli się, jak zaprojektować reaktor jądrowy.

To był blok elektrowni jądrowej Hanbit 3 i 4, ale kolejną fazę projektu – budowę następnego bloku elektrowni jądrowej – powierzono naszym inżynierom, którzy przeszli szkolenie w Stanach Zjednoczonych.

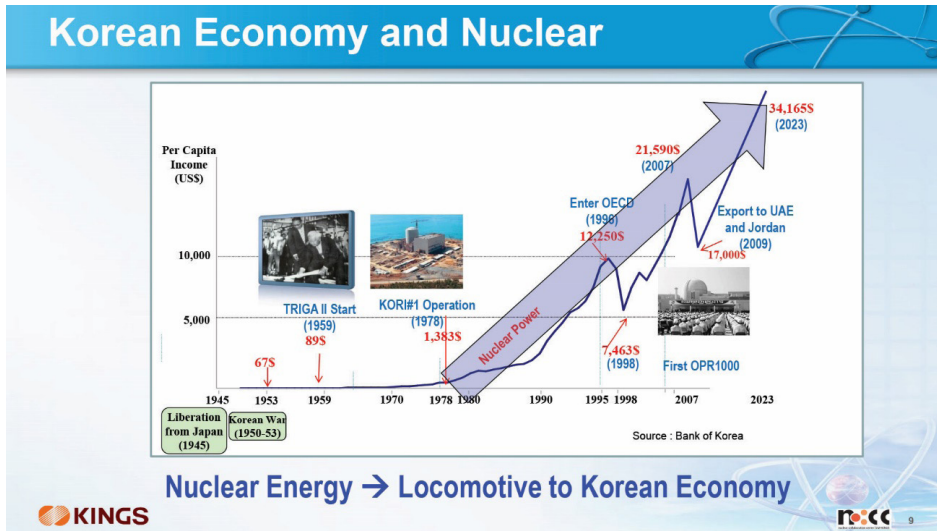
- 3) **Własne projekty.** Po udanej budowie tych dwóch projektów elektrowni jądrowych, zaczęliśmy realizować nasz własny projekt. Zaprojektowaliśmy własną elektrownię jądrową i rozpoczęliśmy jej budowę. Rozwinęliśmy własne technologie elektrowni jądrowych, takie jak SMART, i-SMR, APR 1400, APR 1000.

Rysunek 1 pokazuje niektóre osiągnięcia w ciągu ostatnich 65 lat w zakresie technologii badań i rozwoju jądrowego. Obecnie osiągnęliśmy samowystarczalność w zakresie wszystkich technologii jądrowych.



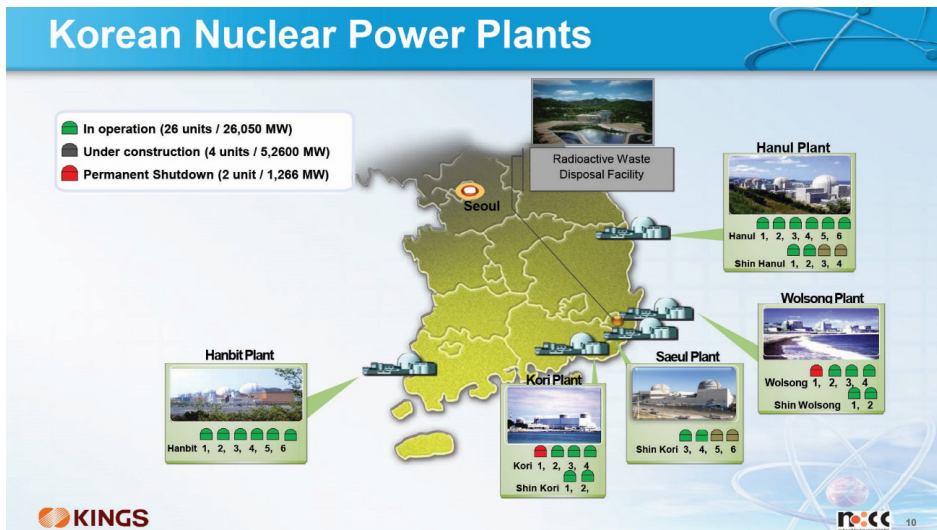
Rysunek 1.

Na Rysunku 2 został przedstawiony wzrost dochodów osobistych w naszej gospodarce. Jak widać, nasza pierwsza elektrownia jądrowa rozpoczęła działalność komercyjną w 1978 r. Od tego czasu nasz wzrost gospodarczy gwałtownie rośnie w związku z wykorzystaniem energii jądrowej. Energia jądrowa jest więc lokomotywą koreańskiego wzrostu gospodarczego.



Rysunek 2.

Obecnie mamy 26 działających elektrowni jądrowych i 4 elektrownie jądrowe w budowie, a 2 są już zamknięte. W planach jest budowa 3 kolejnych elektrowni jądrowych i jednego małego reaktora modułowego.



Rysunek 3.

Po krótkim wprowadzeniu do koreańskich elektrowni jądrowych, zostaną scharakteryzowane małe reaktory modułowe.



## 2. Charakterystyka małych reaktorów modułowych (SMR)

### 2.1. Znaczenie energii jądrowej na świecie

Technologia jądrowa została wybrana przez National Academy of Engineering USA jako jedno z 20 największych osiągnięć inżynierskich ostatnich 20 wieków. Obecnie energia jądrowa na całym świecie przyczynia się do zaopatrzenia w energię na dużą skalę. Według dostępnych danych statystycznych, w 2023 r. 9,1% światowej energii elektrycznej pochodziło z reaktorów jądrowych.

Dzisiaj zapotrzebowanie na energię jądrową wzrasta, szczególnie ze względu na bezpieczeństwo energetyczne i dekarbonizację. Niektóre rozwijające się kraje próbują tworzyć energetykę jądrową w celu zaspokojenia własnych potrzeb.

Według World Nuclear Association 45 krajów rozpoczyna budowę nowych elektrowni jądrowych, a w planach jest budowa kolejnych 96 elektrowni jądrowych.

Zaadaptowaliśmy wiele sprawdzonych technologii, które zostały potwierdzone w obecnie działającej elektrowni jądrowej typu PWR. Wdrożyliśmy również kilka innowacyjnych koncepcji, takich jak koncepcja reaktora zintegrowanego, koncepcja modularyzacji, pasywny system bezpieczeństwa i w pełni zdigitalizowany system sterowania.

Co najważniejsze, aby opracować nową technologię, od samego początku rozwoju reaktora ustanowiliśmy kompleksowy program walidacji technologii. Sprawdziliśmy naszą nową technologię, która została wdrożona za pomocą SMART podczas eksperymentów. Do tej pory przeprowadziliśmy prawie 50 różnych rodzajów testów i eksperymentów.

### 2.2. Typowe eksperymenty walidacji technologii

Typowe eksperymenty walidacji technologii zakładają:

- 1) testy paliwa TH;
- 2) testy rozwoju mechaniki i komponentów;
- 3) eksperymenty hydrauliki termicznej;
- 4) zintegrowany obiekt testowy SMART;
- 5) symulator głównej sterowni SMART.



Wszystkie wyniki eksperymentów zostały przedstawione w raporcie technicznym i przedłożone naszemu organowi licencyjnemu w celu uzyskania zatwierdzenia standardowego projektu SMART. SMART miał zostać zatwierdzony przez organ licencyjny w 2012 r. W celu uzyskania certyfikatu zatwierdzenia standardowego projektu, zainwestowaliśmy ponad 300 milionów dolarów i 1700 roboczogodzin oraz przeprowadziliśmy ponad 50 eksperymentów i testów. W końcu otrzymaliśmy standardowy certyfikat projektu.

### **2.3. Koreańskie osiągnięcia w technologii SMR**

W oparciu o standardowy projekt technologiczny staramy się współpracować z międzynarodowym partnerem w celu zbudowania pierwszej instalacji. W 2015 r. nasz kraj i Królestwo Arabii Saudyjskiej porozumiały się w sprawie współpracy partnerskiej SMART. Nie jest to typowa współpraca między sprzedawcą technologii a jej nabywcą. Zamierzamy nawiązać partnerstwo. Oznacza to, że dzielimy się własnością technologii SMART z Królestwem Arabii Saudyjskiej. Wspólnie zbudowaliśmy pierwszą jednostkę i doprowadziliśmy do jej komercjalizacji. To jedna z kluczowych koncepcji partnerstwa SMART. W 2015 r. rozpoczęliśmy tak zwany pierwszy w swoim rodzaju projekt inżynierski, co oznacza, że projekt budowlany został rozpoczęty w 2015 r.

Dostosowaliśmy projekt SMART do warunków środowiskowych i terenowych Królestwa Arabii Saudyjskiej, co było istotnym krokiem w ramach pierwszego w swoim rodzaju projektu inżynierskiego. Przygotowaliśmy również dokument licencyjny, znany jako wstępny raport analizy bezpieczeństwa, który stanowi podstawę dla dalszych etapów licencjonowania.

## **3. Rozwój koreańskich reaktorów SMR**

### **3.1. SMART: gotowy do wdrożenia**

Pierwsza elektrownia SMART miała zostać zbudowana w Yanbu, czyli na wschodnim wybrzeżu w pobliżu Medyny, ale obecnie projekt budowlany jest zawieszony. Rzeczywisty projekt budowlany został zawieszony, ale w tym czasie realizujemy równoległą strategię licencyjną, aby zbudować pierwszy SMART w Królestwie Arabii Saudyjskiej. Jak możemy uzyskać tak zwaną licencję na pozwolenie na budowę? Podjęliśmy decyzję o dwutorowej strategii licencjonowania. Jednym z nich jest nieco wcześniejszy standardowy proces licencjonowania zatwierdzania projektu w Korei. Zakładamy, że w ciągu

najbliższego roku lub sześciu miesięcy zostanie wydana licencja na pozwolenie na budowę, co otworzy drogę do realizacji projektu. Mimo że proces uzyskiwania pozwolenia na budowę nie został jeszcze rozpoczęty, w 2019 r. w Korei rozpoczęto proces uzyskiwania standardowego zatwierdzenia. Obecnie wnioskodawcami są CARI, Koreański Instytut Badań nad Energią Atomową, KAKL, który był organizacją z Arabii Saudyjskiej, oraz KHNP. Te trzy strony wspólnie złożyły wniosek o zatwierdzenie nowego projektu standardu SMART. Wreszcie, w zeszłym roku, otrzymaliśmy kolejne standardowe zatwierdzenie projektu. W szczególności, różnica technologiczna między wersją z 2012 r. a tą nową wersją, to w pełni pasywny system bezpieczeństwa. W zeszłym roku, we wrześniu, oficjalnie otrzymaliśmy nowe standardowe zatwierdzenie projektu. Obecnie zespół ds. rozwoju SMART próbuje skonstruować pierwszą jednostkę SMART w Kanadzie i kilku innych krajach.

### **3.2. I-SMR: przyszłość koreańskich reaktorów SMR**

Pozwolę sobie przedstawić kolejny projekt rozwoju SMR, tak zwany i-SMR, innowacyjny SMR. Staramy się rozwijać naszą technologię SMART w kierunku bardziej wszechstronnych reaktorów SMR. Ponieważ zwiększamy rejestrowaną moc ze 110 MWe do 170 MWe, więc potrzebujemy bezpieczniejszych, bardziej ekonomicznych i bardziej wszechstronnych reaktorów SMR. Ta innowacyjna technologia SMR ma wiele cech ewolucyjnych w stosunku do SMART. Bezpieczeństwo zostało zwiększone co najmniej 100 razy. W i-SMR wdrożono wiele innych zaawansowanych technologii. Obecnie w jednej elektrowni i-SMR będą zainstalowane 4 reaktory i-SMR. Oczywiście system bezpieczeństwa jest w pełni pasywny. Jeśli zbudujemy 4 moduły w jednej lokalizacji reaktora, wówczas cały reaktor i-SMR może dostarczyć około 680 MWe energii elektrycznej. Obecnie pracujemy nad standardowym projektem w celu uzyskania licencji na zatwierdzenie standardowego projektu.

### **3.3. Plany rządu koreańskiego**

Nasz rząd ogłosił również politykę energetyczną, która obejmuje rozwój technologii SMR. Zamierzamy rozpocząć budowę jednego reaktora SMR w 2028 r. Oprócz tych dwóch reaktorów SMR w naszym kraju, staramy się opracować wiele różnych typów reaktorów SMR, tak zwanych reaktorów prędkich chłodzonych sodem, które noszą nazwę PGSFR, reaktorów morskich MSR, które są integralną częścią reaktora BANDI, reaktorów chłodzonych stopioną solą, a nawet wysokotemperaturowych reaktorów chłodzonych gazem.



Rysunek 4.

## Podsumowanie

Rozwijamy technologię SMR, więc opracowaliśmy dwa reaktory SMR. Jeden jest już opracowany, więc SMART jest gotowy do natychmiastowego wdrożenia, a i-SMR jest w fazie rozwoju, natomiast celem jest stworzenie najlepszego na świecie reaktora SMR w 2030 r. Koreańskie reaktory SMR są optymalnym, bezemisyjnym rozwiązaniem energetycznym z uwzględnieniem integracji z energią odnawialną.

Jeśli chodzi o rynek dużych elektrowni jądrowych – zespół z Korei z powodzeniem dostarczył i zbudował dużą elektrownię jądrową na czas i zgodnie z założonym budżetem. Mamy doświadczenie w budowie dużych elektrowni jądrowych w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Obecnie cztery bloki APR1400 są bezpiecznie eksploatowane w ZEA. Również w Korei byliśmy w stanie zbudować własną elektrownię jądrową na czas i zgodnie z założonym budżetem. Tak, że koreańskie reaktory SMR możemy dostarczać na czas i w ramach założonego budżetu.

**Dr Remigiusz Kopoczek**

Szkoła Główna Mikołaja Kopernika, Polska

e-mail: remigiusz@kopoczek.pl

ORCID: 0000-0003-2179-7111

## **Wyzwania i strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce**

### **Wprowadzenie**

Rozwój energetyki jądrowej w Polsce, zarówno w zakresie budowy dużych elektrowni, jak i małych modułowych reaktorów (SMR), stanowi kluczowy element strategii mającej na celu zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego oraz ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Polska, stając przed perspektywą ambitnych inwestycji w sektorze atomowym, napotyka na poważne bariery związane z dostępnością odpowiednio wykwalifikowanych specjalistów. Problem ten nie jest nowy – historycznie, począwszy od lat 80. XX w., podjęto pierwsze próby stworzenia kierunków studiów mających na celu wyszkolenie specjalistów na potrzeby elektrowni Żarnowiec. Przerwanie tego procesu edukacyjnego w latach 90-tych, w wyniku zakończenia współpracy ze Związkiem Radzieckim, spowodowało znaczące zahamowanie rozwoju kompetencji jądrowych w Polsce<sup>1</sup>.

Obecnie, w obliczu ambitnych projektów energetycznych, ponownie konieczne staje się uruchomienie szeroko zakrojonych działań edukacyjnych. Niniejszy artykuł analizuje aktualne wyzwania związane z kształceniem kadr dla energetyki jądrowej oraz przedstawia strategie, które mogą zapewnić skuteczne przygotowanie specjalistów niezbędnych do obsługi planowanych inwestycji infrastrukturalnych<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> P. Gierszewski i in., *Historia energetyki jądrowej w Polsce i perspektywy jej rozwoju*, Wydawnictwo Naukowe PWN 2021.

<sup>2</sup> P. Betkowski, *Rozwój energetyki jądrowej w Polsce – stan obecny i perspektywy*, Instytut Energetyki 2022; Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*, Baker McKenzie 2025.

## 1. Rozwój energetyki jądrowej w Polsce

Według harmonogramu rządowego, Polska planuje rozpocząć produkcję energii z pierwszej elektrowni jądrowej około roku 2030. Lokalizacją pierwszej dużej elektrowni jądrowej jest Choczewo w województwie pomorskim, gdzie zostaną zbudowane trzy reaktory AP1000 firmy Westinghouse o łącznej mocy 3,75 GWe<sup>3</sup>. Wybrana technologia AP1000 charakteryzuje się zaawansowanymi systemami bezpieczeństwa opartymi na pasywnych metodach chłodzenia, co znacząco zmniejsza ryzyko poważnych awarii. Kolejne lokalizacje oraz technologie dla następnych elektrowni pozostają na etapie szczegółowych analiz strategicznych, uwzględniających kwestie logistyczne, środowiskowe i społeczne<sup>4</sup>.

Równocześnie przedsiębiorstwa krajowe aktywnie rozwijają technologie małych reaktorów modułowych (SMR). Orlen Synthos Green Energy planuje instalację 24 reaktorów BWRX-300 firmy GE Hitachi w kilku miejscach, w tym w Ostrołęce, Włocławku i Krakowie<sup>5</sup>. KGHM rozważa technologię VOYGR firmy NuScale Power, złożoną z sześciu reaktorów o mocy 77 MW każdy, planowaną dla lokalizacji w województwie wielkopolskim. Świętokrzyska Grupa Przemysłowa Industria realizuje projekt dwóch reaktorów Rolls-Royce SMR o łącznej mocy elektrycznej 940 MWe, z potencjalnymi lokalizacjami w Chmielniku lub Daleszycach<sup>6</sup>. SMR mają szerokie zastosowania, nie tylko w produkcji energii elektrycznej, ale także w ciepłownictwie systemowym, produkcji wodoru i zasilaniu dużych zakładów przemysłowych<sup>7</sup>. Istotnym czynnikiem sprzyjającym rozwojowi SMR są wysokie koszty emisji CO<sub>2</sub> oraz rosnące ceny paliw kopalnych, które zwiększają atrakcyjność tej technologii. Pierwsze SMR w Polsce mogą rozpocząć działalność operacyjną pomiędzy rokiem 2036 a 2040, a do 2045 r. potencjalna moc zainstalowania tych reaktorów może przekroczyć nawet 5 GWe<sup>8</sup>.

---

<sup>3</sup> Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska 2020.

<sup>4</sup> J. Kleszcz, *Potencjał energetyki jądrowej w Polsce – analiza strategiczna*, Centrum Analiz Strategicznych 2020.

<sup>5</sup> Ł. Jureńczyk, *Inwestycje w sektorze jądrowym a bezpieczeństwo energetyczne Polski*, Biuletyn PISM 2022.

<sup>6</sup> T. Pastucha, *SMR jako przyszłość polskiej energetyki jądrowej*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Śląskiego 2024.

<sup>7</sup> Ł. Jureńczyk, *Inwestycje w sektorze jądrowym a bezpieczeństwo energetyczne Polski*; Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*.

<sup>8</sup> Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*.

Realizacja tych kompleksowych przedsięwzięć wiąże się z koniecznością zapewnienia wysoko wyspecjalizowanych zasobów ludzkich. Kadra musi posiadać kompetencje obejmujące zarówno klasyczne aspekty zarządzania dużymi projektami infrastrukturalnymi, jak i zaawansowane technologicznie kwestie związane z bezpieczeństwem, obsługą reaktorów oraz integracją systemów energetycznych. Skuteczne kształcenie takich specjalistów stanowi jedno z głównych wyzwań stojących przed Polską w kontekście realizacji strategii rozwoju energetyki jądrowej<sup>9</sup>.

## **2. Kluczowe wyzwania i strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce**

Podstawowym problemem, przed którym stoi polska energetyka jądrowa, jest brak odpowiedniej liczby wyszkolonych specjalistów. Problem ten jest konsekwencją historycznych zaniechań edukacyjnych po anulowaniu projektu budowy elektrowni jądrowej Żarnowiec w latach 90. XX w. W wyniku tej decyzji polski system edukacji znacząco ograniczył ofertę specjalistycznych kierunków związanych z energetyką jądrową, co doprowadziło do obecnej luki pokoleniowej wśród ekspertów tej dziedziny.

Proces szkolenia specjalistów energetyki jądrowej jest wyjątkowo długotrwały i skomplikowany. Od rozpoczęcia edukacji technicznej na poziomie średnim, poprzez studia wyższe, aż do uzyskania niezbędnych uprawnień do samodzielnej pracy przy reaktorze jądrowym, upływa nawet kilkanaście lat. Długość tego cyklu edukacyjnego stanowi znaczącą barierę wobec pilnych potrzeb kadrowych wynikających z intensywnego rozwoju projektów jądrowych oraz wdrażania nowoczesnych technologii, takich jak reaktory modułowe SMR.

Raporty eksperckie jednoznacznie wskazują, że istotnym wyzwaniem pozostaje także brak doświadczenia polskich firm w realizacji inwestycji jądrowych, co dodatkowo komplikuje proces pozyskiwania i kształcenia kompetentnych specjalistów. Eksperci zaznaczają, że kluczowym zagrożeniem dla rozwoju projektów energetyki jądrowej w Polsce może być także niedobór kadry menedżerskiej zdolnej efektywnie zarządzać złożonymi projektami infrastrukturalnymi, zarówno w wymiarze technologicznym, jak i organizacyjnym.

---

<sup>9</sup> R. Smolinski i in., *Rozwój kompetencji w sektorze jądrowym – potrzeby i wyzwania*, Europejski Instytut Energii Jądrowej 2023; M. Juszcak, *Strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 2023; Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*.



Ponadto, długotrwałe procedury administracyjne i konieczność spełnienia rygorystycznych wymagań regulacyjnych w obszarze bezpieczeństwa jądrowego generują dodatkowe zapotrzebowanie na wyspecjalizowanych pracowników posiadających odpowiednie kwalifikacje techniczne i regulacyjne. Realizacja planów jądrowych w Polsce wymaga zatem nie tylko zwiększenia liczby absolwentów kierunków inżynierskich związanych z energetyką jądrową, ale również intensywnego rozwoju programów szkoleniowych i kształcenia ustawicznego, które umożliwią szybkie pozyskanie niezbędnych kompetencji praktycznych oraz dostosowanie wiedzy do najnowszych standardów międzynarodowych.

W celu sprostania tym wyzwaniom, niezbędne jest stworzenie skutecznych mechanizmów współpracy pomiędzy uczelniami, sektorem prywatnym oraz administracją państwową, które pozwolą na kompleksowe przygotowanie przyszłych specjalistów energetyki jądrowej<sup>10</sup>.

Dynamiczny rozwój energetyki jądrowej w Polsce wymaga kompleksowego podejścia do kształcenia przyszłych specjalistów. Kluczowe kompetencje zawodowe, jakie powinny być rozwijane, obejmują przede wszystkim zaawansowaną wiedzę z zakresu inżynierii jądrowej. W ramach tej dziedziny kluczowe znaczenie mają umiejętności z zakresu fizyki neutronowej, która analizuje zachowanie neutronów w reaktorach jądrowych oraz mechanizmy sterowania reakcjami jądrowymi. Termohydraulika, obejmująca zagadnienia przepływu ciepła oraz chłodziwa w systemach reaktorów, odgrywa niezwykle istotną rolę w zapewnieniu stabilnej i bezpiecznej pracy instalacji jądrowych. Niezbędne są także kompetencje związane z inżynierią materiałową, koncentrujące się na doborze, testowaniu oraz analizie materiałów odpornych na działanie promieniowania, korozję i wysokie temperatury.

Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna to kolejny obszar kompetencji niezbędnych dla specjalistów branży jądrowej. Szczególnego znaczenia nabiera tutaj znajomość procedur bezpieczeństwa, zarządzania ryzykiem i minimalizowania skutków potencjalnych incydentów. Specjaliści powinni biegłe posługiwać się metodami monitorowania radiacyjnego, interpretacją wyników badań środowiskowych oraz zapewnieniem zgodności z obowiązującymi standardami międzynarodowymi i krajowymi w obszarze bezpieczeństwa radiologicznego.

Istotnym aspektem, który coraz częściej znajduje się w centrum uwagi, są systemy sterowania, automatyka i cyberbezpieczeństwo. Zaawansowane technologicznie instalacje jądrowe wymagają wysokiego poziomu automatyzacji

---

<sup>10</sup> M. Juszcak, *Strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce*; Baker McKenzie, Polityka Insight, *Nuclear Energy in Poland 2025*.

oraz zaawansowanych systemów kontroli, których bezpieczeństwo musi być zagwarantowane na wielu poziomach. Specjaliści powinni posiadać kompetencje w projektowaniu, wdrażaniu oraz bieżącej obsłudze tych systemów, jak również umiejętność ochrony przed zagrożeniami związanymi z cyberatakami, które mogą stanowić poważne ryzyko dla infrastruktury jądrowej.

Niezwykle ważną grupę kompetencji zawodowych stanowi również zarządzanie projektami oraz logistyka realizacji inwestycji infrastrukturalnych. Budowa elektrowni jądrowych to przedsięwzięcia charakteryzujące się wysokim poziomem złożoności, długim czasem realizacji oraz znacznymi kosztami. Specjaliści w tej dziedzinie powinni umieć skutecznie zarządzać projektami, planować harmonogramy inwestycyjne oraz koordynować działania różnych podmiotów zaangażowanych w proces budowy infrastruktury energetycznej. Istotne są tutaj również kompetencje w zakresie planowania zasobów, finansowania projektów oraz zarządzania ryzykiem inwestycyjnym.

Ponadto istotne jest rozwijanie umiejętności miękkich i społecznych, takich jak efektywna komunikacja, współpraca w zespołach interdyscyplinarnych oraz umiejętności negocjacyjne. Kompetencje te umożliwiają skuteczne zarządzanie relacjami z interesariuszami, w tym z lokalnymi społecznościami, które są kluczowe dla osiągnięcia społecznej akceptacji inwestycji jądrowych. Dodatkowo, międzynarodowy charakter branży energetyki jądrowej wymaga rozwijania kompetencji językowych oraz umiejętności funkcjonowania w środowisku wielokulturowym i międzynarodowym.

Warto również podkreślić znaczenie edukacji ustawicznej i ciągłego podnoszenia kwalifikacji zawodowych specjalistów energetyki jądrowej. Z uwagi na dynamiczny rozwój technologiczny oraz zmieniające się regulacje prawne i standardy bezpieczeństwa, konieczne jest zapewnienie dostępu do regularnych szkoleń i kursów doskonalących. Specjaliści muszą stale aktualizować swoją wiedzę, aby móc sprostać wyzwaniom związanym z bieżącym zarządzaniem elektrowniami oraz wdrażaniem nowych technologii jądrowych<sup>11</sup>.

### 3. Kształcenie ustawiczne i rozwój kompetencji

Kształcenie ustawiczne odgrywa kluczową rolę w przygotowaniu kadr do pracy w dynamicznie zmieniającej się branży energetyki jądrowej. W obliczu szybkiego rozwoju technologii oraz wdrażania nowych rozwiązań konieczne jest regularne aktualizowanie wiedzy i podnoszenie kompetencji

---

<sup>11</sup> M. Juszcak, *Strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce*; Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*.



zawodowych specjalistów. Systematyczne szkolenia, kursy doskonalące oraz programy certyfikacyjne pozwalają na efektywne dostosowanie się do wymagań nowoczesnej energetyki jądrowej i zwiększenie poziomu bezpieczeństwa operacyjnego elektrowni<sup>12</sup>.

Jednym z kluczowych elementów edukacji ustawicznej jest rozwój programów menedżerskich, które umożliwiają efektywne zarządzanie projektami jądrowymi. Specjaliści odpowiedzialni za realizację dużych inwestycji infrastrukturalnych powinni posiadać nie tylko zaawansowaną wiedzę techniczną, ale także umiejętności związane z zarządzaniem zespołami, analizą ryzyka oraz optymalizacją kosztów i harmonogramów. Wprowadzenie dedykowanych szkoleń dla kadry menedżerskiej jest niezbędne, aby sprostać wyzwaniom związanym z wieloletnimi i kosztownymi inwestycjami w sektorze jądrowym<sup>13</sup>.

Edukacja ustawiczna powinna obejmować również szkolenia praktyczne, w tym ćwiczenia na symulatorach reaktorów oraz warsztaty prowadzone we współpracy z zagranicznymi ośrodkami badawczymi i operatorami elektrowni jądrowych. Możliwość odbycia staży w działających elektrowniach jądrowych, takich jak te we Francji, Szwecji czy USA, pozwoli polskim specjalistom na zdobycie unikalnego doświadczenia i praktycznych umiejętności w zakresie eksploatacji nowoczesnych jednostek energetycznych<sup>14</sup>.

Z uwagi na wieloaspektowość energetyki jądrowej, edukacja ustawiczna powinna także uwzględniać aspekty związane z cyberbezpieczeństwem, ochroną radiologiczną oraz zarządzaniem kryzysowym. W obliczu rosnących zagrożeń związanych z atakami cybernetycznymi oraz koniecznością minimalizowania skutków ewentualnych awarii, specjalistyczne szkolenia w tych dziedzinach powinny stać się standardowym elementem ścieżki rozwoju zawodowego pracowników sektora jądrowego<sup>15</sup>.

Nieodzownym elementem kształcenia ustawicznego jest także współpraca z sektorem prywatnym i organizacjami międzynarodowymi. Przemysł jądrowy wymaga ciągłej wymiany wiedzy i doświadczeń, co sprawia, że kluczowe jest uczestnictwo polskich specjalistów w międzynarodowych konferencjach, forach technologicznych oraz projektach badawczo-rozwojowych. Partnerstwa z organizacjami takimi jak Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) oraz Europejska Wspólnota Energii Atomowej (EURATOM) mogą

<sup>12</sup> Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*.

<sup>13</sup> Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*.

<sup>14</sup> P. Betkowski, *Rozwój energetyki jądrowej w Polsce – stan obecny i perspektywy*; J. Kleszcz, *Potencjał energetyki jądrowej w Polsce – analiza strategiczna*.

<sup>15</sup> Ł. Jureńczyk, *Inwestycje w sektorze jądrowym a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

przyczynić się do podniesienia standardów kształcenia i wdrożenia najlepszych praktyk stosowanych w krajach posiadających zaawansowany sektor jądrowy<sup>16</sup>.

Wreszcie, istotne jest także stworzenie systemu certyfikacji i akredytacji dla specjalistów pracujących w energetyce jądrowej. Wprowadzenie jednolitych standardów kwalifikacji oraz systemu okresowych egzaminów kompetencyjnych pozwoli na bieżącą ocenę poziomu wiedzy pracowników oraz zwiększy ich mobilność zawodową na rynku międzynarodowym. Standardy te powinny być zgodne z wytycznymi Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej oraz uwzględniać specyfikę różnych technologii jądrowych, w tym SMR<sup>17</sup>.

Dzięki wdrożeniu kompleksowego systemu edukacji ustawicznej, Polska będzie mogła skutecznie przygotować kadry zdolne do realizacji wielkoskalowych inwestycji jądrowych oraz zapewnić długoterminowy rozwój sektora energetyki jądrowej, zgodnie z najwyższymi standardami międzynarodowymi.

#### 4. Strategie edukacyjne i instytucjonalne

Realizacja ambitnych projektów energetyki jądrowej w Polsce wymaga kompleksowego i strategicznego podejścia do kształcenia kadr oraz zapewnienia odpowiedniego wsparcia instytucjonalnego. Rozwiązania powinny obejmować rozbudowę kierunków studiów technicznych oraz specjalistycznych programów na politechnikach i uniwersytetach, uwzględniając specyfikę technologii SMR. Szczególny nacisk powinien być położony na tworzenie dedykowanych programów edukacyjnych, uwzględniających najnowsze rozwiązania technologiczne oraz aspekty praktyczne, takie jak symulacje komputerowe czy modelowanie procesów jądrowych<sup>18</sup>.

Istotnym elementem strategii edukacyjnej powinno być również wdrażanie praktyk zawodowych oraz międzynarodowych staży we współpracy z uznanymi światowymi firmami jądrowymi, jak Westinghouse, GE Hitachi, NuScale czy Rolls-Royce. Staże zagraniczne pozwolą polskim specjalistom na zdobycie doświadczenia operacyjnego i technologicznego w realnych warunkach pracy, zwiększając tym samym ich kompetencje zawodowe oraz umiejętności praktyczne<sup>19</sup>.

<sup>16</sup> R. Smolinski i in., *Rozwój kompetencji w sektorze jądrowym – potrzeby i wyzwania*; Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*.

<sup>17</sup> Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*; Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*.

<sup>18</sup> Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*.

<sup>19</sup> P. Betkowski, *Rozwój energetyki jądrowej w Polsce – stan obecny i perspektywy*; J. Kleszcz, *Potencjał energetyki jądrowej w Polsce – analiza strategiczna*.

Kolejnym ważnym elementem strategii jest stworzenie nowoczesnych centrów szkoleniowych wyposażonych w pełnoskalowe makiety reaktorów oraz symulatory, które pozwolą na prowadzenie zaawansowanych szkoleń praktycznych dla operatorów oraz personelu technicznego. Takie centra mogłyby być lokalizowane przy politechnikach lub instytutach badawczych, co umożliwi efektywną współpracę między środowiskiem akademickim i przemysłem<sup>20</sup>.

Strategie edukacyjne powinny być wsparte finansowo oraz organizacyjnie przez Ministerstwo Edukacji i Nauki oraz Ministerstwo Klimatu i Środowiska. Szczególne znaczenie ma tu finansowanie nowoczesnych laboratoriów badawczych, stypendiów dla najlepszych studentów oraz rozwój programów kształcenia dualnego, łączącego naukę teoretyczną z praktyką zawodową w realnych warunkach pracy. Taki model edukacji pozwala na szybsze i skuteczniejsze przygotowanie absolwentów do pracy w sektorze jądrowym<sup>21</sup>.

Również zaangażowanie przemysłu w proces kształcenia specjalistów oraz ustawicznego podnoszenia kwalifikacji kadry już zatrudnionej jest kluczowym aspektem strategii instytucjonalnej. Przedsiębiorstwa zaangażowane w projekty jądrowe powinny aktywnie uczestniczyć w tworzeniu programów kształcenia, prowadzeniu warsztatów oraz kursów doskonalących dla pracowników. Współpraca ta powinna obejmować nie tylko aspekty technologiczne, ale także rozwój kompetencji miękkich, zarządczych oraz umiejętności efektywnej komunikacji z interesariuszami i społecznościami lokalnymi<sup>22</sup>.

Dodatkowym wsparciem dla strategii edukacyjnych powinno być wdrożenie mechanizmów współpracy międzynarodowej, umożliwiających wymianę wiedzy, doświadczeń oraz technologii z krajami posiadającymi rozwiniętą energetykę jądrową, takimi jak Francja, Szwecja, Kanada czy USA. Dzięki temu możliwe będzie przyspieszenie procesu transferu wiedzy i dostosowanie polskiego systemu edukacji do najwyższych standardów międzynarodowych<sup>23</sup>.

## 5. Korzyści społeczne i gospodarcze

Skuteczne wdrożenie strategii kształcenia kadr dla energetyki jądrowej przyniesie istotne korzyści zarówno na poziomie społecznym, jak

<sup>20</sup> Ł. Jureńczyk, *Inwestycje w sektorze jądrowym a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

<sup>21</sup> T. Pastucha, *SMR jako przyszłość polskiej energetyki jądrowej*.

<sup>22</sup> R. Smolinski i in., *Rozwój kompetencji w sektorze jądrowym – potrzeby i wyzwania*; M. Juszcak, *Strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce*.

<sup>23</sup> Baker McKenzie, Polityka Insight, *Nuclear Energy in Poland 2025*; Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPE)*.

i gospodarczym. Po pierwsze, rozwój sektora jądrowego przyczyni się do powstania tysięcy stabilnych miejsc pracy, nie tylko w samych elektrowniach, ale także w szeroko pojętym łańcuchu dostaw, obejmującym przemysł technologiczny, budowlany, transportowy i badawczo-rozwojowy<sup>24</sup>. Nowe inwestycje związane z budową i eksploatacją elektrowni jądrowych stworzą potrzebę zatrudnienia wysoko wykwalifikowanych specjalistów, co wpłynie na wzrost kompetencji na rynku pracy oraz zwiększenie atrakcyjności kierunków studiów związanych z energetyką jądrową<sup>25</sup>.

Wzrost potencjału badawczo-rozwojowego polskich uczelni i instytutów stanowi kolejną istotną korzyść. Inwestycje w infrastrukturę badawczą, nowoczesne laboratoria oraz programy współpracy międzynarodowej przyczynią się do podniesienia poziomu nauki i technologii w Polsce. W szczególności, rozwój technologii SMR może stać się szansą dla polskich instytucji badawczych na uczestnictwo w globalnych projektach związanych z innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie energetyki jądrowej<sup>26</sup>. Współpraca z uczelniami technicznymi oraz sektorami przemysłowymi pozwoli na wypracowanie unikalnych kompetencji w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji nowoczesnych systemów jądrowych, zwiększając konkurencyjność polskiej nauki na arenie międzynarodowej<sup>27</sup>.

Transfer międzynarodowej wiedzy technologicznej jest jednym z kluczowych aspektów rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Współpraca z globalnymi liderami technologicznymi, takimi jak Westinghouse, GE Hitachi czy EDF, umożliwi wprowadzenie najnowszych rozwiązań technologicznych oraz przyspieszy proces adaptacji innowacyjnych systemów bezpieczeństwa i zarządzania reaktorami. Ponadto, dostęp do międzynarodowych standardów i najlepszych praktyk w zakresie budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych przyczyni się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa oraz efektywności operacyjnej polskich inwestycji w tym sektorze<sup>28</sup>.

Poprawa bezpieczeństwa energetycznego oraz redukcja emisji CO<sub>2</sub> to fundamentalne cele rozwoju energetyki jądrowej. Wprowadzenie elektrowni jądrowych do krajowego miksu energetycznego zmniejszy zależność Polski od importu paliw kopalnych, zwłaszcza gazu ziemnego i węgla, co przyczyni

---

<sup>24</sup> Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPE)*.

<sup>25</sup> Ł. Jureńczyk, *Inwestycje w sektorze jądrowym a bezpieczeństwo energetyczne Polski*.

<sup>26</sup> P. Betkowski, *Rozwój energetyki jądrowej w Polsce – stan obecny i perspektywy*; R. Smolinski i in., *Rozwój kompetencji w sektorze jądrowym – potrzeby i wyzwania*.

<sup>27</sup> Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*.

<sup>28</sup> J. Kleszcz, *Potencjał energetyki jądrowej w Polsce – analiza strategiczna*; T. Pastucha, *SMR jako przyszłość polskiej energetyki jądrowej*.

się do większej stabilności dostaw energii oraz ograniczenia wpływu geopolitycznych czynników na ceny energii elektrycznej<sup>29</sup>. Ponadto, elektrownie jądrowe jako niskoemisyjne źródło energii pozwolą na znaczne ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, wspierając realizację celów klimatycznych Unii Europejskiej oraz dążenie do neutralności węglowej<sup>30</sup>.

Dodatkowo, rozwój energetyki jądrowej wpłynie na wzmocnienie sektora technologicznego i przemysłowego w Polsce. Budowa oraz eksploatacja nowoczesnych reaktorów przyczyni się do wzrostu zapotrzebowania na zaawansowane materiały, technologie informatyczne oraz systemy sterowania i automatyki, co może przełożyć się na dynamiczny rozwój krajowych przedsiębiorstw technologicznych<sup>31</sup>. Zwiększenie udziału polskich firm w realizacji projektów jądrowych pozwoli na utworzenie silnej i konkurencyjnej gałęzi gospodarki, zdolnej do współpracy z międzynarodowymi liderami sektora jądrowego.

W dłuższej perspektywie rozwój sektora jądrowego może stać się katalizatorem dla innowacyjnych technologii, takich jak produkcja wodoru, wykorzystanie ciepła odpadowego z reaktorów do procesów przemysłowych czy rozwój nowych metod magazynowania energii. Polska, poprzez odpowiednie inwestycje i rozwój kompetencji, ma szansę stać się liderem w implementacji nowoczesnych technologii w sektorze energetycznym, co znacząco wpłynie na jej pozycję w międzynarodowym rynku energii<sup>32</sup>.

Podsumowując, rozwój energetyki jądrowej oraz skuteczne kształcenie kadr dla tego sektora przyniesie Polsce wielowymiarowe korzyści – od stabilnych miejsc pracy i wzrostu kompetencji zawodowych, przez rozwój nauki i technologii, po zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i zmniejszenie negatywnego wpływu sektora energetycznego na środowisko. Jest to strategiczny krok, który może znacząco przyczynić się do transformacji energetycznej i gospodarczej kraju w najbliższych dekadach.

## Podsumowanie i rekomendacje

Dla powodzenia planowanych inwestycji jądrowych kluczowe jest holistyczne podejście, obejmujące współpracę rządu, uczelni i przemysłu. Kluczowe znaczenie ma utworzenie trwałego systemu edukacyjnego i szkoleniowego, który będzie w stanie elastycznie dostosowywać się do zmieniających

<sup>29</sup> Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*.

<sup>30</sup> M. Juszcak, *Strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce*.

<sup>31</sup> R. Smolinski i in., *Rozwój kompetencji w sektorze jądrowym – potrzeby i wyzwania*.

<sup>32</sup> Baker McKenzie, *Polityka Insight, Nuclear Energy in Poland 2025*.

się potrzeb technologicznych oraz gospodarczych. W tym kontekście konieczne jest zwiększenie atrakcyjności kierunków studiów związanych z energetyką jądrową poprzez jasno określone perspektywy zawodowe oraz odpowiednie finansowanie infrastruktury edukacyjnej<sup>33</sup>.

W perspektywie długoterminowej, kluczowe znaczenie będzie miało tworzenie praktycznych programów kształcenia i szkoleń zawodowych, które dostarczą wykwalifikowane kadry na potrzeby dynamicznie rozwijającego się sektora energetyki jądrowej w Polsce. Szczególną uwagę należy poświęcić wdrażaniu nowoczesnych metod dydaktycznych, w tym symulacji komputerowych i pełnoskalowych symulatorów reaktorów, które pozwolą na lepsze przygotowanie techniczne przyszłych pracowników sektora<sup>34</sup>.

Jednym z kluczowych elementów strategii powinno być nawiązanie międzynarodowej współpracy edukacyjnej i technologicznej z krajami posiadającymi rozwinięty sektor jądrowy, takimi jak Francja, Szwecja czy Kanada. Wymiana doświadczeń oraz wdrażanie najlepszych praktyk pozwoli na podniesienie poziomu kształcenia w Polsce oraz stworzenie nowoczesnego, konkurencyjnego sektora energetyki jądrowej<sup>35</sup>.

Nieodzownym krokiem jest także stworzenie systemu certyfikacji i akredytacji dla specjalistów pracujących w energetyce jądrowej, zgodnie ze standardami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) oraz Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej (EURATOM). Wprowadzenie jednolitych norm pozwoli na ujednoczenie kwalifikacji zawodowych oraz zwiększy mobilność specjalistów na rynku międzynarodowym<sup>36</sup>.

Ostatecznie, zapewnienie długoterminowego sukcesu inwestycji jądrowych wymaga ścisłej koordynacji działań pomiędzy sektorem publicznym a prywatnym. Kluczowe znaczenie będzie miało zaangażowanie polskich przedsiębiorstw w projekty badawczo-rozwojowe oraz ich aktywny udział w kształceniu i szkoleniu specjalistów. Stworzenie nowoczesnej i dobrze funkcjonującej struktury edukacyjnej i zawodowej zapewni stabilność i rozwój sektora energetyki jądrowej w Polsce na kolejne dekady.

<sup>33</sup> Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*.

<sup>34</sup> Ł. Jureńczyk, *Inwestycje w sektorze jądrowym a bezpieczeństwo energetyczne Polski*; J. Kleszcz, *Potencjał energetyki jądrowej w Polsce – analiza strategiczna*.

<sup>35</sup> R. Smolinski i in., *Rozwój kompetencji w sektorze jądrowym – potrzeby i wyzwania*.

<sup>36</sup> Baker McKenzie, Polityka Insight, *Nuclear Energy in Poland 2025*.

## Bibliografia

- Baker McKenzie, Polityka Insight, *Nuclear Energy in Poland 2025*, Baker McKenzie 2025.
- Betkowski P., *Rozwój energetyki jądrowej w Polsce – stan obecny i perspektywy*, Instytut Energetyki 2022.
- Gierszewski P. i in., *Historia energetyki jądrowej w Polsce i perspektywy jej rozwoju*, Wydawnictwo Naukowe PWN 2021.
- Jureńczyk Ł., *Inwestycje w sektorze jądrowym a bezpieczeństwo energetyczne Polski*, Biuletyn PISM 2022.
- Juszczak M., *Strategie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w Polsce*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 2023.
- Kleszcz J., *Potencjał energetyki jądrowej w Polsce – analiza strategiczna*, Centrum Analiz Strategicznych 2020.
- Pastucha T., *SMR jako przyszłość polskiej energetyki jądrowej*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Śląskiego 2024.
- Polish Nuclear Power Programme, *The Polish Nuclear Power Programme (PPEJ)*, Ministerstwo Klimatu i Środowiska 2020.
- Smolinski R. i in., *Rozwój kompetencji w sektorze jądrowym – potrzeby i wyzwania*, Europejski Instytut Energii Jądrowej 2023.



**Dr hab. Zbigniew Krysiak, prof. SGH**

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Polska

e-mail: zkrysiak@sgh.waw.pl

ORCID: 0000-0002-5894-7075

## **Małe reaktory modułowe strategicznym fundamentem ekonomicznej transformacji energetycznej**

### **Wprowadzenie**

Analiza problematyki małych reaktorów modułowych (ang. *Small Modular Reactors*, SMR) w związku z ich rozwojem technologicznym, inżynierskim, produkcją, wdrażaniem do działania operacyjnego generującego energię dla przemysłu i gospodarstw domowych, powinna być dokonywana w powiązaniu z ekonomicznymi aspektami i uwarunkowaniami procesów transformacji energetycznej. Dane i wnioski płynące z doniesień w literaturze przedmiotu i dotychczasowych wdrożeń wskazują na bardzo dobre parametry ekonomiczne SMR-ów jako taniego, elastycznego i stabilnego źródła energii elektrycznej i ciepłej<sup>1</sup>.

Obecnie na świecie działa ok. 450 różnego typu elektrowni jądrowych, a prognozy wskazują, że w długiej perspektywie do 2050 r. nastąpi wielki boom popytowy na nowe elektrownie jądrowe. W perspektywie 25 lat na świecie może powstać ok. 1000-2000 nowych elektrowni jądrowych, w Europie ok. 100-200, zaś w Polsce ok. 10-20<sup>2</sup>. Można sądzić, że istotny udział w budowie elektrowni jądrowych będą miały technologie wysokotemperaturowych reaktorów (ang. *High Temperature Gas Reactors*, HTGR), w których chłodziwem jest hel i należą one do reaktorów najnowszej generacji.

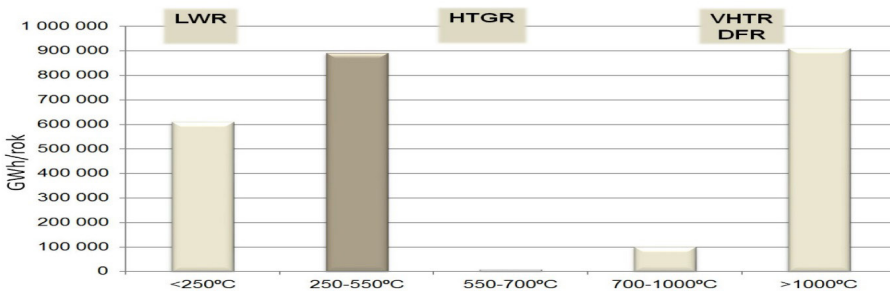
Istotnym argumentem przemawiającym za praktycznym, a nie tylko teoretycznym znaczeniem omawianego problemu badawczego jest fakt, że wdrażanie technologii reaktorów wysokotemperaturowych (z ang. HTGR: *High*

---

<sup>1</sup> B. Steigerwald, J. Weibezahn i in., *Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies: A model-based analysis of small modular reactors*, „Energy” 281 (2023), 128204, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128204>

<sup>2</sup> Ministerstwo Energetyki, *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce*, Warszawa, wrzesień 2017, <https://www.gov.pl/web/klimat/wysokotemperaturowe-reaktory-jadrowe-chlodzone-gazem-htgr> [dostęp: 17.01.2025], s. 5.

*Temperature Gas-cooled Reactors* lub HTR: *High Temperature Reactors*) wynika z wysokiego zapotrzebowania na ciepło, którego popyt w Europie szacuje się na poziomie ok. 600-900 TWh/rok w zakresach temperatur poniżej 250°C, pomiędzy 250-550°C i powyżej 1000°C, przy raczej małym zapotrzebowaniu między 550°C a 1000°C<sup>3</sup>. Taka skala popytu na ciepło wynika ze stosowanych technologii w różnych gałęziach przemysłu. Na Rysunku 1 przedstawiono prognozowane zapotrzebowanie na ciepło przemysłowe z perspektywy 2017 r. dla różnych zakresów temperatur, dla których przyporządkowane są określone technologie<sup>4</sup>. Prognoza zapotrzebowania na ciepło w temperaturze poniżej 250°C wynosi ok. 600 TWh/rok i do tego celu są przeznaczone tzw. lekko-wodne reaktory (ang. *Light Water Reactor*, LWR), dla temperatur od 250°C do 550°C stosuje się wysokotemperaturowe SMR typu HTGR, na które powinny wytwarzać energię cieplną na poziomie 900 TWh/rok, zaś zapotrzebowanie na ciepło dla temperatur powyżej 1000°C wynosi ok. 900 TWh/rok, do czego należy stosować reaktory o bardzo wysokiej temperaturze (ang. *Very High Temperature Reactors*, VHTR).



Rysunek 1. Zapotrzebowanie europejskiego przemysłu na ciepło procesowe (źródło – EUROPAIRS). Zaznaczono adekwatne technologie reaktorowe, podano za: Ministerstwo Energetyki, *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce*, s. 9.

Inwestycje w elektrownie jądrowe, a szczególnie te duże, wymagają o wiele wyższych nominalnych początkowych nakładów finansowych niż w inne źródła energii, a przy tym są to inwestycje na okres 60-80 lat działalności operacyjnej, podczas gdy inwestycje w elektrownie gazowe lub węglowe muszą być odnawialne znacznie częściej, a w przypadku farm wiatrowych (FW) lub paneli fotowoltaicznych (PV) odnawianie inwestycji dokonuje się nie rzadziej niż co 20 lat, mimo to, efekt finalny w postaci niższych kosztów wytwarzania energii z SMR-ów przemawia za opłacalnością budowania małych elektrowni

<sup>3</sup> Tamże, s. 9.

<sup>4</sup> Tamże.

jądrowych. Fakt wysokich początkowych nakładów finansowych przy budowie SMR-ów mobilizuje do stworzenia odpowiednich modeli finansowania, sposobów zarządzania ryzykiem finansowym, metod szacowania efektywności ekonomicznej, gdyż te stosowane dla elektrowni węglowych, gazowych, FV i FW okazują się niewystarczające. W tym kontekście kluczowe stają się możliwości pozyskiwania i mobilizowania dużych źródeł finansowych, co wymaga spojrzenia na potencjał generowania takich funduszy w danej gospodarce, do czego powinna być dostosowana i przyczynić się odpowiednia strategia wzrostu gospodarczego państwa, w której należy uwzględnić model solidaryzmu społeczno-gospodarczego pozwalającego na równomierny wzrost potencjału ekonomicznego wszystkich podmiotów w narodzie. Brak zsynchronizowania takich procesów finansowania SMR-ów ze strategią gospodarczą nie będzie skuteczne dla rozwoju elektrowni jądrowych i dobrej, tzw. z ludzką twarzą, transformacji energetycznej.

Celem niniejszego artykułu jest wykazanie, że w obecnych warunkach oraz sytuacji na świecie, a także błędnego modelu transformacji energetycznej w UE, wdrażanie SMR-ów do produkcji energii, w szczególności dla polskiej gospodarki, jest niezbędny. W tym kontekście przedstawione zostaną argumenty i czynniki, które wskazują na ekonomikę SMR-ów i uwarunkowania w zakresie potencjału finansowego Polski jako determinant motywujących do budowania małych elektrowni jądrowych współfinansowanych przez państwo, podmioty gospodarcze i gospodarstwa domowe.

W procesie realizacji celu pracy i opracowywania problemu badawczego postawiono następującą hipotezę główną: model transformacji energetycznej pomijający wdrażanie SMR-ów posiada prawdopodobnie wysokie ryzyko niepowodzenia i może prowadzić do niewydolności systemu gospodarczego Polski.

## 1. Polski reaktor POLA potencjałem w rozwoju energetyki

Polski reaktor SMR POLA-HTGR został skonstruowany w latach 2016-2023 i należy on do grupy pięciu tego typu reaktorów w świecie, które czekają na przygotowanie dokumentacji inżynierskiej w celu rozpoczęcia budowy do rozpoczęcia działania operacyjnego<sup>5</sup>. Rozpoczęte działania w zakresie budowy reaktora typu SMR przez *Orlen Synthos Green Energy* (OSGE), spółki należącej do grupy PKN ORLEN wraz ze skonstruowanym reaktorem POLA tworzą dobrą bazę do przyspieszenia dalszego wdrażania reaktorów SMR

---

<sup>5</sup> A. Boettcher i in., *Projekt GOSPOSTRATEG-HTR: Rezultaty Projektu, „Postępy Techniki Jądrowej”* 66 (2023), z. 1, s. 9-19.

do produkcji energii<sup>6</sup>. Polski rząd w 2024 r. zatrzymał finansowanie wdrażania tego reaktora do przemysłu, co tworzy poważne ryzyko, że budowany latami zespół konstruktorów o niezwykle wysokich kompetencjach zostanie przejęty przez inne światowe ośrodki. Potrzebne środki finansowe na stworzenie dokumentacji inżynierskiej nie są duże i wynoszą prawdopodobnie ok. 80 mln zł. Szybkie wybudowanie reaktora POLA-HTGR, na który czeka obecnie już kilkadziesiąt przedsiębiorstw, które mogłyby po wybudowaniu lub w trakcie budowy refinansować takie inwestycje, gdyż jest to ich interes biznesowy. Takie działanie w tym przedmiocie przyczyniłoby się do stworzenia w Polsce know-how, będącego dalej bazą do dalszej produkcji takich reaktorów i sprzedaży nie tylko w Polsce, ale także za granicę. Polska myśl techniczna, wdrożona do działalności operacyjnej w biznesie, znalazłaby się w światowej czołówce, co przyczyniłoby się do silnego rozwoju polskiej gospodarki. Wśród bardzo ważnych cech SMR-ów i czynników motywujących do ich szybkiego wdrażania w Polsce, a w tym reaktora POLA można wymienić:

- prognozowany w przyszłości duży deficyt mocy w Polsce, a także w UE,
- ryzyko przerw w dostawie prądu w Polsce, nawet do ok. 3 miesięcy/rok,
- duże znaczenie wysokotemperaturowych reaktorów dla przemysłu,
- rozpoczęte w OSGE przygotowania do budowy reaktora MSR typu BWRX-300,
- niskie nakłady inwestycyjne dla SMR-ów na tle dużych elektrowni jądrowych,
- krótki czas budowy SMR-ów w porównaniu z dużymi elektrowniami jądrowymi,
- modułowa konstrukcja SMR-ów umożliwiająca sukcesywne zwiększanie mocy,
- dowolność w doborze lokalizacji stosownie do potrzeb odbiorców energii,
- niski koszt produkcji i stabilność dostaw energii w porównaniu do FV i FW,
- finansowanie budowy SMR-ów przez odbiorców energii jako akcjonariuszy,
- uzyskiwanie energii po kosztach produkcji przez akcjonariuszy SMR-ów,
- budowa sieci przesyłowych dla odbiorców energii z SMR redukująca cenę prądu,
- rozwój technologii CAI stosowanych do produkcji SMR-ów i paliwa jądrowego,

---

<sup>6</sup> A. Mikulski, *Energetyka Jądrowa na Świecie i w Polsce w latach 2023-2024*, „Postępy Techniki Jądrowej” 67 (2024), z. 4, s. 13-18.

- kosztowny model transformacji energetycznej bazujący na podatku od emisji CO<sub>2</sub>.

## 2. Ekonomiczne znaczenie CAI dla produkcji SMR-ów

Istotnym elementem rozwoju gospodarczego pod kątem tworzenia wysokiej wartości dodanej i zwiększania produktywności są inteligentne procesy technologiczne i produkcyjne, które powinny być wspierane różnymi narzędziami i systemami do sterowania, kontroli i wspomagania decyzji w toku produkcyjnym, łańcuchów dostaw i dystrybucji oraz całej działalności operacyjnej przedsiębiorstwa. Ważnym w tym zakresie stają się tzw. inteligentne elektroniczne procesory i oprogramowanie bazujące na sieciach neuronowych, którym przypisano nazwę „sztuczna inteligencja” (ang. *Artificial Intelligence*, AI), chociaż nie mającą nic wspólnego z inteligencją jako atrybutu i cechy osoby ludzkiej.

AI posiada i będzie miała kluczowe zastosowanie w systemach produkcji i dystrybucji energii, co również ma wspierać ekonomikę transformacji energetycznej uwzględniającej całą gamę źródeł energii, a w tym także procesy konstrukcji, produkcji i budowy oraz instalowania SMR-ów. Zachowanie konkurencyjności gospodarczej na tle innych krajów będzie warunkowane zdolnością wykorzystania AI, która obecnie jest bardzo zaawansowana w USA i prawdopodobnie też w Chinach, podczas gdy Unia Europejska i Polska pod tym względem są daleko w tyle. Technologie bazujące na AI są uzależnione od tzw. układów scalonych (Chipów) AI (ang. *Chip Artificial Intelligence*, CAI), których produkcja w tej chwili jest skoncentrowana w USA i podlega silnej ochronie.

Zastosowanie CAI ma kolosalne znaczenie w przemyśle militarnym i systemach operacyjnych na nowoczesnym polu walki zbrojnej, dlatego zdolności konstrukcyjne i produkcyjne CAI mogą budować przewagę militarną, a przede wszystkim tworzyć system bezpieczeństwa dla państw NATO, co szczególnie jest ważne na tle imperialnych zapędów Rosji. W tym kontekście szczelność systemów bezpieczeństwa członków NATO, także Polski, przy zapobieganiu transmisji i przekazywaniu CAI do Rosji staje się kluczowym problemem. W ostatnim roku rząd Stanów Zjednoczonych ocenił Polskę jako państwo posiadające nieszczelny system bezpieczeństwa z wysokim ryzykiem przekazywania technologii CAI do Rosji, wskutek czego USA ograniczyły dostarczanie CAI do Polski w zakresie funkcjonalności i ilości. Taka sytuacja hamuje w Polsce rozwój gospodarczy oddalając coraz bardziej polski potencjał ekonomiczny od zachodu. Brak CAI spowoduje także osłabienie militarne Polski.

CAI będą miały istotne zastosowanie dla rozwoju energetyki jądrowej, a w szczególności SMR-ów. Standardowe bloki SMR produkowane są w fabryce i dostarczane do miejsca ich lokalizacji, gdzie są montowane. Modułowość i wystandaryzowane elementy konstrukcji SMR-ów powodują, że ich produkcja musi być bardzo precyzyjna i szybka, aby można było uzyskać wysoką jakość, produktywność i ekonomię. Jest to niezwykle ważne także ze względu na bardzo dużą skalę popytu na SMR-y w świecie, który w perspektywie 20 lat może osiągnąć poziom kilku tysięcy, a w samej Polsce ok. 20<sup>7</sup>.

Zaawansowane technologie CAI będą bardzo potrzebne w przyszłości do produkcji paliwa jądrowego, w tym w szczególności do paliwa bez naturalnej promieniotwórczości, co będzie zabezpieczać przed rozprzestrzenianiem broni jądrowej, szczególnie, gdyby paliwo radioaktywne znalazło się w rękach terrorystów lub nieodpowiedzialnych ludzi. Reaktory wysokotemperaturowe, wśród których jest także polski reaktor POLA, wykorzystują nowoczesne paliwo jądrowe typu TRISO (ang. *TRIStructural-ISotropic*)<sup>8</sup>. Także naukowcy z Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku (NCBJ) przeprowadzili wstępne badania odporności „osłon” kuleczek paliwowych na uszkodzenia mechaniczne. Prace prowadzone są we współpracy z Europejskim Centrum Badawczym (JRC)<sup>9</sup>.

Paliwo TRISO to główny atrybut i zaleta reaktorów HTR. Wykorzystuje się w nim tlenek lub węgiel uranu, jako paliwo jądrowe. Materiał rozszczepialny otoczony jest czterema warstwami okrywającymi<sup>10</sup>. Użycie jako budulca, warstw „osłon”, węgla pirolitycznego, który jest podobny do grafitu oraz twardego niczym diament węgla krzemu (zwanego też karborundem) sprawia, że kuleczki paliwa wielkości ziarenka maku, są wyjątkowo odporne na uszkodzenia mechaniczne i chemiczne<sup>11</sup>. Warstwy okrywające TRISO są również bardzo odporne termicznie (do 1700°C). Pozwala to utrzymywać temperaturę rdzenia reaktora rzędu 1100°C i produkować na „wyjściu” reaktora ciepło do 700-800°C<sup>12</sup>. To unikalna cecha tego reaktora: uzyskane ciepło odpowiada swoimi parametrami zapotrzebowaniem wielu dziedzin przemysłu, np. przemysłu chemicznego, petrochemii i przemysłu papierniczego, a także w innych<sup>13</sup>.

<sup>7</sup> Ministerstwo Energetyki, *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce*.

<sup>8</sup> A. Boettcher i in., *Projekt GOSPOSTRATEG-HTR: Rezultaty Projektu*.

<sup>9</sup> Narodowe Centrum Badań Jądrowych, *Nowoczesne paliwo jądrowe typu TRISO*, czerwiec 2023, <https://www.ncbj.gov.pl/aktualnosci/paliwo-triso-paliwo-z-wlasna-obudowa-bezpieczenstwa> [dostęp: 17.01.2025].

<sup>10</sup> Tamże.

<sup>11</sup> Tamże.

<sup>12</sup> Tamże.

<sup>13</sup> Tamże.

### 3. SMR-y redukują ryzyko niewydolności systemu gospodarczego

Energetyczna stopa zwrotu (ang. *Energy Return on Investment*, EROI) jest miarą, która umożliwia porównywanie różnych technologii wytwarzania energii pod kątem, w jakim stopniu użyta energia na wejściu wytwarza energię na wyjściu elektrowni<sup>14</sup> i oblicza się według następującego wzoru:

$$EROI = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

gdzie:

$E_{out}$  oznacza energię użyteczną, jaką oddaje jednostka wytwórcza (elektrownia) przez cały czas okresu jej eksploatacji.

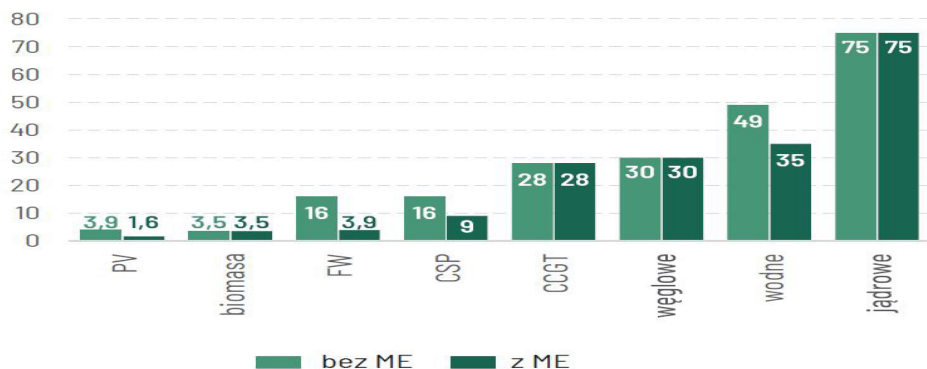
$E_{in}$  oznacza energię użyteczną, jaka jest konieczna, aby można było zbudować i eksploatować źródło wytwarzające energię o wielkości  $E_{out}$ . Zaangażowanie energetyczne na wejściu obejmuje koszty wydobycia paliwa i innych potrzebnych kopalin, koszty przetwarzania kopalin, magazynowanie i inne niezbędne nakłady energetyczne<sup>15</sup>.

Na Rysunku 2 porównano EROI dla różnych technologii produkcji energii. Najwyższy wskaźnik EROI posiadają duże elektrownie jądrowe na poziomie ok. 75, zaś według profesora Waclawa Gudowskiego dla SMR-ów typu HTGR wskaźnik ten może wynieść nawet kilkaset. Najniższy wskaźnik EROI wykazują panele PV, biomasa i FW, dla których wskaźnik EROI wynosi ok. 3,5. Wskaźniki EROI nawet dla elektrowni węglowych (EW) i gazowych (EG) oraz wodnych są ok. 10 razy wyższe. W tym kontekście wskaźnik EROI wskazuje na nieopłacalność technologii FV i FW.

<sup>14</sup> M. Chorowski, Z. Malecha, *Granice implementacji technologii energetycznych postulowanych przez europejski zielony ład*, w: *Drapieżny zielony (nie)ład, ekspertyza*, red. A. Bartoszewicz, Wydawnictwo NSZZ Solidarność & Tysol sp. z o.o., 2024, s. 90; D. Weißbach, F. Herrmann, G. Ruprecht i in., *Energy intensities, EROI (Energy Returned on Invested), for electric energy sources*, „EPJ Web of Conferences” 2018, t. 189, s. 16; D. Weißbach, G. Ruprecht, A. Huke i in., *Energy intensities, EROIs (Energy Returned on Invested), and energy payback times of electricity generating power plants*, „Energy” 2013, t. 52, s. 210-221.

<sup>15</sup> M. Chorowski, Z. Malecha, *Granice implementacji technologii energetycznych...*, s. 90; D. Weißbach, F. Herrmann, G. Ruprecht i in., *Energy intensities, EROI...*, s. 16; D. Weißbach, G. Ruprecht, A. Huke i in., *Energy intensities, EROIs...*, s. 210-221.





Legenda: PV – panele fotowoltaiczne, FW – lądowe farmy wiatrowe o wysokim współczynniku wykorzystania mocy, CSP – elektrownie skoncentrowanej energii słonecznej, CCGT – elektrownia gazowo-parowa, ME – magazyn energii.

Rysunek 2. Wartość EROI dla różnych technologii wytwarzania energii [źródło: M. Chorowski, Z. Malecha, *Granice implementacji technologii energetycznych...*, s. 91].

Wskaźnik EROI ma istotne implikacje w praktyce, a jego poziom wskazuje na wydolność lub niewydolność systemu gospodarczego. Dla wskaźników EROI powyżej 10 nie ma ryzyka niewydolności systemu gospodarczego, zaś poniżej 10, a w szczególności w okolicach 5, dochodzi do silnej niewydolności systemu gospodarczego<sup>16</sup> prowadząc do silnego kryzysu w związku z deficytem energii, którego nie można zatrzymać przez kilka lat, a odwrót od takiej sytuacji będzie bardzo trudny.

Wysoki udział FV i FW w strukturze produkcji energii (ang. *Green Growth*, GG) jest bardzo niebezpieczny dla niewydolności systemu gospodarczego, jak i przerw w dostawie energii. Znane są ambicje niektórych osób w polskim rządzie, a także innych w Europie, którzy chcą, aby GG w niedługim czasie osiągnął poziom nawet 90%. GG na poziomie ok. 75% może spowodować, że za ok. 10 lat system gospodarczy w Polsce i Europie będzie niewydolny, pogarszając tym samym potencjał gospodarczy Europy, który obecnie już coraz bardziej zostaje w tyle w stosunku do USA.

Wysoki poziom GG i deficyt mocy powodują także ryzyko długich przerw w dostawie prądu<sup>17</sup>, co, jak podaje prof. Mielczarski, wynika z informacji według danych Ministerstwa Klimatu i Środowiska. W długiej perspektywie

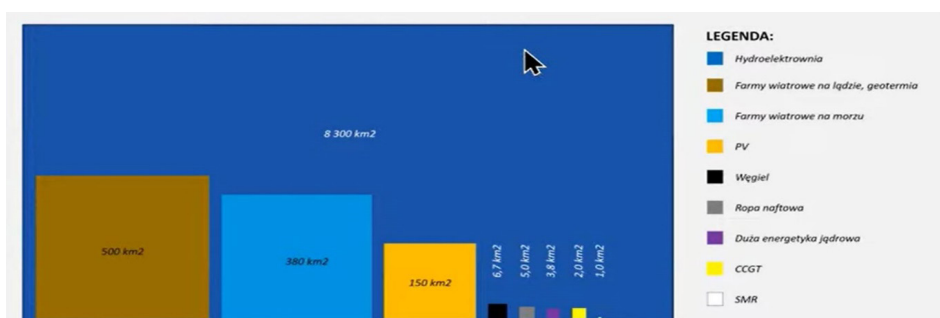
<sup>16</sup> M. Chorowski, Z. Malecha, *Granice implementacji technologii energetycznych...*, s. 92.

<sup>17</sup> W. Mielczarski, *Polityka i Energetyka. Wpływ rewolucji energetycznej na politykę krajową i międzynarodową*, Konferencja – *Energetyczna Rewolucja: Skutki Społeczne i Polityczne*, Stowarzyszenie Instytut Gospodarki Narodowej, 14 października 2024, s. 18.

przerwy dostaw mogą średnio wynosić ok. 3 miesięcy w roku, co w przypadku braku możliwości zakupu energii za granicą byłoby katastrofą dla polskiej gospodarki. Jednak, możliwość importu energii przełoży się na istotnie wyższe ceny, co z kolei wpłynie na mniejszą dynamikę wzrostu PKB i istotne pogorszenie salda bilansu handlowego Polski.

#### 4. Koszty utraconych korzyści przy inwestycjach PV i FW

Instalacja SMR-ów wymaga znacznie mniejszych powierzchni gruntu niż PV i FW, co zaprezentowano na Rysunku 3. SMR-y są także znacznie dłużej eksploatowane, co stanowi ich przewagę wobec PV i FW. Zwykle, przy porównywaniu efektywności inwestycji w elektrownie nie uwzględnia się tych czynników, co prowadzi do błędnych wniosków, gdyż wartość gruntu, która jest bardzo wysoka dla FV i FW, obniża EROI dla tych technologii.



Rysunek 3. Powierzchnia wymagana dla różnych technologii produkcji energii w porównaniu do SMR-ów [źródło: D. Weißbach, G. Ruprecht, A. Huke i in., *Energy intensities, EROIs...*, s. 210-221].

Okres eksploatacji dla SMR-ów wynosi od 60-80 lat, zaś dla FV i FW ok. 20, co powoduje, że dla technologii GG trzeba ponieść nakłady ok. czterokrotnie wyższe w porównywalnym okresie eksploatacji, a także w związku z dużymi gabarytami PV i wiatraków powstają bardzo wysokie koszty przy ich utylizacji. Z ekonomicznego punktu widzenia duże powierzchnie pod PV i FW stanowią koszt utraconych korzyści, tzn., że budując w podobnej lokalizacji SMR-y, które zajmują mikroskopowe powierzchnie uzyskujemy do dyspozycji nieruchomości, które byłyby zajęte przez PV lub FW i w związku z tym nieruchomości takie mogą generować wartość z innej inwestycji poza produkcją energii. Większa liczba odtwarzania aktywów PV i FW w odniesieniu do okresu eksploatacji SMR-ów, a także większe koszty utylizacji paneli fotowoltaicznych i wiatraków to także koszty utraconych korzyści, które przemawiają na rzecz lepszej ekonomiki SMR-ów.

## 5. Wpływ kosztów centralizacji gospodarki UE na energetykę

Obecny model transformacji energetycznej w UE, który także mocno determinuje polski sektor energetyczny, istotnie pomija lub ogranicza ekonomiczne aspekty i swobodę postępu technologicznego bazującego na zasadzie wolnej konkurencji, co umożliwiałoby produkcję energii po jak najniższych kosztach. Ograniczanie takiej swobody prowadzi do uniformu i monopolizacji, w którym wymusza się dominację FV i FW. Takie działanie jest wynikiem dominacji ideologicznej dążącej do budowy superpaństwa UE w oparciu o niebezpiecznie groźną koncepcję Spinellego, co prowadzi do odebrania narodom swobody kształtowania ich własnej gospodarki i ekonomii. Ten wątek dotyczy ryzyka politycznego, który nie był, nie jest i nie będzie pomijany przez racjonalnie funkcjonujący biznesy i podmioty gospodarcze. Robert Schuman, twórca wspaniałego dzieła ekonomicznego Wspólnoty Węgla i Stali oraz Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej, jako znakomity ekonomista i prawnik przestrzegał w 1962 r. przed powrotem do centralizacji gospodarki w Europie przewidując, że zwolennicy Spinellego kiedyś podejmą takie działania. „Moja idea nie polega na tym, aby połączyć kraje w celu stworzenia superpaństwa. Nasze kraje europejskie są historyczną rzeczywistością. Z psychologicznego punktu widzenia byłoby to niemożliwe i nierozsądne, aby się ich pozbyć. Ich różnorodność jest dobrą rzeczą i nie ma sensu, aby je usuwać lub dokonywać zrównywania lub unifikacji” (Robert Schuman)<sup>18</sup>.

Ryzyko polityczne, w którym zastępuje się prawa ekonomii ideologią jest czymś groźniejszym, niż np. niestabilność systemu podatkowego albo ryzyko zmiany władzy w procesach demokratycznego wyboru, ponieważ bezpośrednio ingeruje i narzuca, co dany podmiot gospodarczy lub gospodarstwo domowe, w zakresie źródła energii, ma produkować lub używać. Dążenie do takiego centralistycznego modelu UE ma symptomy systemu nakazowo-rozdzielczego, który komunizm sowiecki narzucił państwom Europy środkowo-wschodniej i ostatecznie zbankrutował. Robert Schuman doskonale rozumiał, że charakter wspólnotowy w ekonomii będzie przekształcał się w równomierny rozwój siły wszystkich podmiotów w gospodarce i wszystkich narodów w Europie. Dana gospodarka jako zbiór elementów jest silna wówczas, gdy jej wszystkie podmioty maksymalizują potencjał ekonomiczny we współpracy i układaniu równych relacji handlowych, a nie dominacji jednych nad drugimi.

Wspomniane ryzyko polityczne w postaci ideologicznego wdrażania modelu transformacji energetycznej prowadzi do wysokich kosztów, których

<sup>18</sup> Tamże.

Polska nie uniesie, a nawet Niemcy temu nie sprostają. Według eksperta ds. energii, Andre Thess, koszt transformacji energetycznej w Niemczech to ok. 10000 mld EUR, podczas gdy PKB Niemiec w 2024 r. wyniosło zaledwie 4600 mld EUR. Niemcy musiałyby wydawać rocznie ok. 10% PKB na neutralność klimatyczną przez następne 20 lat. Taka sytuacja w Niemczech powoduje, że zaufanie niemieckich przedsiębiorców do polityki klimatycznej spadło do najniższego poziomu, gdyż ok. 30% firm rozważa przeniesienie swoich biznesów za granicę. Tu należy przypomnieć, że Europa odpowiada zaledwie w 8% za emisję globalnego CO<sub>2</sub>. Dowodem chaosu z powodu dominacji ideologii było zamknięcie w Niemczech wszystkich elektrowni jądrowych, mimo że nie emitowały CO<sub>2</sub>, a obecnie z braku mocy w systemie energetycznym otworzono szereg kopalń węgla i elektrowni węglowych, aby się z tej zapaści wydobyć. To wszystko wskazuje na irracjonalność Zielonego Ładu, czyli tzw. *Green Deal* (GD), mimo to rząd Niemiec nadal deklaruje osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2045 r.

Kontynuacja zielonego ładu poprzez podatek za emisję CO<sub>2</sub> nałożony na inne obszary gospodarki i gospodarstwa domowe tzw. ETS2 spowoduje, że koszt renowacji budynków w Polsce wybudowanych do 2002 r. będzie wynosił ok. 1000 mld zł. Średnio ok. 200 tys. zł. do 300 tys. zł. na jeden budynek, co zmuszałoby właścicieli domów do zaciągnięcia kredytu, na który ich nie stać. Potężne obciążenia gospodarstw domowych, mikro i małych przedsiębiorstw podatkiem za emisję CO<sub>2</sub> w obrocie transportowym i użytkowanie samochodów doprowadzi do masowych bankructw i zmniejszenia obrotu gospodarczego. Tzw. zielony ład w powiązaniu z bezcłowym otwarciem rynku dla Ameryki Południowej zniszczy Polski i europejski sektor rolniczy oraz przemysł rolno-spożywczy, co zredukuje potencjał kapitałowy podmiotów i gospodarstw domowych oraz pośrednio zredukuje potencjał kapitałowy całej gospodarki do finansowania transformacji energetycznej. Według francuskiego Instytutu Rousseau i polskiego Ministerstwa Finansów koszt dekarbonizacji w Polsce w latach 2024-2050 wyniosłby 2400 mld Euro, co oznacza obecnie ok. 10 000 mld zł. Szacowane na 2025 r. nominalne PKB Polski wynosi ok. 3500 mld zł, a zatem koszty dekarbonizacji do 2050 r. byłyby trzykrotnie wyższe niż roczny PKB, co oznacza, że należałoby na ten cel rocznie przeznaczyć ok. 400 mld zł, co wydaje się nierealne. W tym kontekście staje się bardzo ważne kształtowanie modelu gospodarczego w taki sposób, aby generował on jak najwyższe zyski i oszczędności, co oznacza, że polityka gospodarcza Polski powinna zadbać o rozwój kapitałowy gospodarstw domowych, które są zawsze podstawowym źródłem kapitału w gospodarce.

**Wykres 3.** Porównanie szacowanego kosztu dekarbonizacji Polski w latach 2024–2050 z wartością dotacji unijnych netto (po odjęciu polskiej składki do UE), jakie Polska otrzymała w latach 2004–2023 (w mld EUR)



Rysunek 4. Porównanie kosztów dekarbonizacji z otrzymanymi środkami netto z UE [źródło: T. Cukiernik, *Katastrofa europejskiego zielonego ład, w: Drapieżny zielony (nie)ład...*, s. 119].

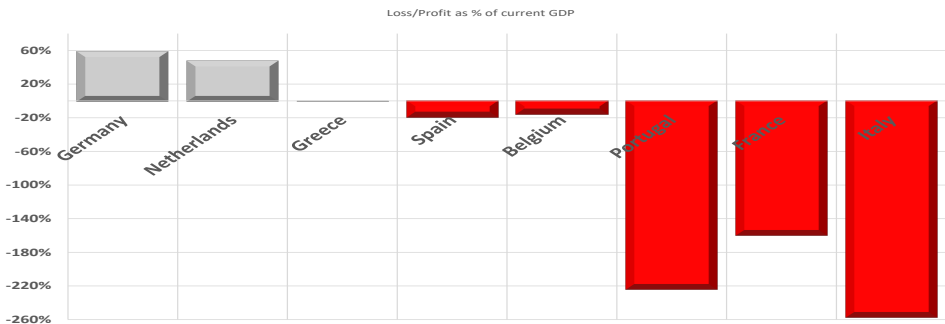
Na Rysunku 4 przedstawiono porównanie kosztów dekarbonizacji szacowanych do wydania w okresie 2024-2050 na kwotę 2400 mld Euro z otrzymanymi środkami netto z UE w kwocie 161,5 mld Euro w okresie 2004-2023.

## 6. Podatek za emisję CO<sub>2</sub> i euro osłabieniem dla gospodarki UE

Dane z Eurostatu dotyczące trendu spadku emisji CO<sub>2</sub> wskazują, że zero emisyjność mogłaby zostać osiągnięta za 100 lat, zaś niektórzy ideolodzy w UE – wbrew realiom – chcą tego dokonać już za 25 lat. Podatek za emisję CO<sub>2</sub> powoduje w Polsce zwiększenie kosztów produkcji prądu o 60%. W tym kontekście wdrażanie SMR-ów jako nieemisyjnych źródeł energii, wydaje się oczywiste. W okresie 2008-2020 podatek za CO<sub>2</sub> wynosił ok. 10 euro za tonę CO<sub>2</sub>. W dalszej kolejności w październiku 2021 r. zaobserwowano anormalny skok, o prawie 10-krotny wzrost cen ETS do poziomu ok. 100 Euro za tonę CO<sub>2</sub>, co było skutkiem pewnych działań politycznych i spekulacyjnych ignorujących prawa ekonomii. W ekonomii podatek dotyczący zanieczyszczenia rzeki lub otoczenia powinien być ekwiwalentem strat ponoszonych przez środowisko lub społeczność lokalną. W takiej sytuacji szacuje się koszty, jakie ponosi środowisko i wyznacza się podatek jako przynajmniej ekwiwalent takich kosztów. Powstaje pytanie, czy w październiku 2021 r. doszło do gwałtownego wzrostu emisji CO<sub>2</sub> uzasadniającego wzrostu kosztów zanieczyszczeń? Oczywiście, że nie. Obciążenie obywateli takimi nieuzasadnionymi podatkami prowadzi do drenowania budżetów domowych dekapitalizując potencjał do finansowania zdrowej transformacji energetycznej. Ubożenie gospodarstw domowych wskutek takich ekonomicznie nieuzasadnionych tzw.

podatków „janosikowych” powoduje redukowanie źródeł kapitału i oszczędności potrzebnych na inwestycje w energetyce.

Konsekwencją niewłaściwego modelu transformacji energetycznej, rosnącego ryzyka politycznego wskutek budowy superpaństwa i wprowadzenia waluty Euro, dla Unii Europejskiej jest dekapitalizacja gospodarki w relacji do USA, co jeszcze bardziej redukuje potencjał do finansowania transformacji energetycznej. Obecny model gospodarczy UE nie daje także możliwości konwergencji potencjałów gospodarczych poszczególnych państw, a narzucona transformacja energetyczna ten stan jeszcze bardziej pogłębia. W 2010 r. PKB UE bez Wielkiej Brytanii wyniosło 12 Trylionów USD, podczas gdy PKB USA było równe 15 Trylionów USD. Wówczas iloraz PKB UE do PKB USA wyniósł 81%, a w 2024 r. zmniejszył się do 65%, tak więc UE stale się cofa w stosunku do USA, ale także w stosunku do Chin i Indii. Dla porządku trzeba podać, że w 2024 r., PKB UE wyniosło 19 Trylionów USD, zaś PKB USA osiągnęło poziom 29 Trylionów USD. Gospodarka UE zostaje coraz bardziej w tyle w stosunku do USA, chociaż w 2010 r. UE miała plany, aby za 10 lat, czyli w 2020 r. przewyższyć PKB USA, a tymczasem dzieje się odwrotnie.



Rysunek 5. Bilans strat dla UE wskutek wprowadzenia Euro, opracowanie własne na podstawie [źródło: Centres for European Policy (CEP) (2019), *Euro Impact on Economics, 20 Years of the Euro: Winners and Losers*, Freiburg, Germany, 2019, <https://www.cep.eu/eu-topics/details/20-years-of-the-euro-winners-and-losers.html> (dostęp: 17.01.2025)].

Wprowadzenie wspólnej waluty Euro jest kolejnym negatywnym przykładem tworzenia uniformu w modelu gospodarczym UE, co jest wynikiem dążenia do superpaństwa, prowadząc do potężnych strat w ubytku PKB dla Włoch, Portugalii i Francji w okresie 20 lat od wprowadzenia Euro, dochodzących do kilku rocznej produkcji całego kraju. Jedynymi wygranymi byli Niemcy. Bilans końcowy jest jednak dla całej UE negatywny, gdyż PKB UE mogło być wyższe strat, jakie poniosły Portugalia, Francja i Włochy razem.



Na Rysunku 5. przedstawiono bilans poważnych strat dla UE wskutek wprowadzenia Euro.

## 7. Ekonomiczna ocena inwestycji wysokotemperaturowych SMR

Antycypowane koszty produkcji energii z SMR-ów są niższe niż z paneli fotowoltaicznych (PV) oraz farm wiatrowych (FW).

Technologia	Koszty bez ETS (PLN/MWh)	Koszty z ETS (PLN/MWh)
Brunatny	225	535
Kamienny	352	610
Gaz	450	450
Wiatr	754	754
PV	819	819
Inne OZE	530	530
Inne elektrownie	470	470

Rysunek 6. Koszty produkcji energii elektrycznej dla poszczególnych źródeł [źródło: W. Mielczarski, *Europejski zielony ład – koszty bezpośrednie dla gospodarki i społeczeństwa*, w: *Drapieżny zielony (nie)ład...*, s. 78].

Na Rysunku 6 przedstawiono koszty produkcji energii elektrycznej dla poszczególnych źródeł, z czego wynika, że koszty produkcji energii z PV i FW bez ETS (ang. *Emissions Trading System*, ETS), czyli podatku za emisję dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), są kilkakrotnie wyższe od kosztów produkcji z węgla. W związku z tym ekspansja zastępowania produkcji energii z węgla przez PV i FW nie ma sensu ekonomicznego i w takiej sytuacji należy promować SMR-y HTGR, gdyż one będą produkować tańszą energię, będąc jednocześnie stabilnym źródłem w przeciwieństwie do PV i FW.

W Tabeli 1 zaprezentowano oszacowanie przedziałów wartości LCOE metodą symulacji Monte Carlo (SMC) dla piętnastu typów reaktorów SMR<sup>19</sup>. Istotnym wnioskiem z tej tabeli jest fakt, że reaktory HTR oferują najniższą wartość średnią LCOE przy jednocześnie najniższym odchyleniu standardowym, co może świadczyć o dużej przewidywalności czynników kształtujących ekonomikę SMR-ów typu HTR.

<sup>19</sup> B. Steigerwald, J. Weibezahn i in., *Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies*.



Summary statistics for LCOE simulations using the Roulstone estimation in USD<sub>2020</sub>/MWh.

Project	mean	std	min	q25	median	q75	max
BWRX-300	230	54	129	188	224	266	400
UK SMR	222	40	145	190	218	250	343
SMR-160	273	99	107	198	254	332	614
SMART	329	140	108	221	300	412	826
NuScale	414	187	133	267	371	524	1.088
RITM 200M	506	258	141	301	441	656	1.451
ACPR 50S	619	336	162	347	532	824	1.830
KLT-40S	672	376	169	368	572	901	2.042
CAREM	732	428	172	385	614	991	2.304
EM2	116	20	81	99	116	133	161
HTR-PM	136	22	94	117	134	153	193
PBMR-400	139	26	88	118	137	158	216
ARC-100	1.217	530	405	805	1.101	1.530	3.100
CEFR	3.484	2.244	733	1.648	2.805	4.861	11.662
4S	5.222	3.946	758	2.031	3.906	7.519	20.178

Tabela 1. Oszacowanie przedziałów wartości LCOE metodą SMC w modelu teoretycznym [źródło: B. Steigerwald, J. Weibezahn i in., *Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies*].

Analiza wyników symulacji NPV metodą SMC wskazuje, że dla prawie wszystkich z badanych reaktorów typu SMR wartości NPV były ujemne w podejściu teoretycznym i prawie zawsze ujemne przy symulacji dla przypadku producenta<sup>20</sup>. Wynik NPV dla reaktora z wodą pod ciśnieniem, którym jest amerykański reaktor NuScale, daje nieznacznie dodatnie wartości z medianą 0,3 mln USD/MWe, ale z zakresem między kwartylowym od -0,3 do 1,2 mln USD/MWe. Tylko reaktor wysokotemperaturowy PBMR-400 z Południowej Afryki wykazuje w pełni dodatnią NPV w przedziale między kwartylami od 1,5 do 2,9 mln USD/MWe i medianą 2,1 mln USD/MWe. Ta koncepcja wykazała największą różnicę między kosztami szacowanymi a kosztami reklamowanymi przez producenta wśród wszystkich typów HTR.

## Podsumowanie

Przedstawione dane faktograficzne dotyczące nieefektywności ekonomicznej obecnego modelu transformacji energetycznej w UE opartej na PV i FW, deficyt źródeł finansowania takiej transformacji energetycznej, rosnący negatywny dystans UE do PKB USA i Chin oraz na tym tle znakomity potencjał technologiczny, inżynierski i naukowy oraz dobre parametry w ocenie efektywności ekonomicznej SMR-ów, a szczególnie wysokotemperaturowych, a także dużo niższej ceny energii oferowanej przez SMR-y w stosunku do PV i FW utwierdzają w przekonaniu, że SMR-y powinny stać się strategicznym filarem ekonomicznej transformacji energetycznej.

<sup>20</sup> A. Mikulski, *Energetyka Jądrowa...*, s. 13-18.

W oparciu o prezentowane badania można stwierdzić, że reaktory typu HTR, do których należy polski reaktor POLA, wykazują najkorzystniejsze wartości LCOE, EROI, NPV zarówno z perspektywy producenta, jak i odbiorcy energii. Reaktory HTR posiadają także wiele zalet i przewag nad innymi technologiami reaktorów jądrowych z perspektywy następujących charakterystyk: zapotrzebowania w gospodarce na wysokie temperatury w procesach przemysłowych, zapotrzebowania w ciepłownictwie, elastyczności w doborze lokalizacji, czasu budowy, modułowości, standaryzacji konstrukcji i szybkości zawierania kontraktów handlowych.

Ocenę ekonomiczno-finansowo-efektywnościową inwestycji w SMR-y należy uzupełnić o zsynchronizowane działania i badania w zakresie tworzenia odpowiednich modeli finansowania inwestycji, modeli zarządzania w ogóle, w tym zarządzania różnymi rodzajami ryzyka oraz zaangażowania podmiotów gospodarczych i gospodarstw domowych w struktury właścicielskie SMR-ów, co umożliwi pozyskiwanie przez odbiorców energii po jak najniższych cenach, a w dalszej perspektywie będzie istotnie zwiększać rozwój gospodarczy i wzrost PKB oraz PKB *per capita* w sposób równomierny dla każdego podmiotu w Polsce lub innych państwach.

## Bibliografia

- Boettcher A. i in., *Projekt GOSPOSTRATEG-HTR: Rezultaty Projektu*, „Postępy Techniki Jądrowej” 66 (2023), z. 1, s. 9-19.
- Centres for European Policy (CEP) (2019), *Euro Impact on Economics, 20 Years of the Euro: Winners and Losers*, Freiburg, Germany, 2019, <https://www.cep.eu/eu-topics/details/20-years-of-the-euro-winners-and-losers.html> [dostęp: 17.01.2025].
- Chorowski M., Malecha Z., *Granice implementacji technologii energetycznych postulowanych przez europejski zielony ład*, w: *Drapieżny zielony (nie)ład, ekspertyza*, red. A. Bartoszewicz, Wydawnictwo NSZZ Solidarność & Tysol sp. z o.o., 2024, s. 88-104.
- Cukiernik T., *Katastrofa europejskiego zielonego ładu*, w: *Drapieżny zielony (nie)ład, ekspertyza*, red. A. Bartoszewicz, Wydawnictwo NSZZ Solidarność & Tysol sp. z o.o., 2024, s. 88-104.
- Mielczarski W., *Europejski zielony ład – koszty bezpośrednie dla gospodarki i społeczeństwa*, w: *Drapieżny zielony (nie)ład, ekspertyza*, red. A. Bartoszewicz, Wydawnictwo NSZZ Solidarność & Tysol sp. z o.o., 2024, s. 74-87.
- Mielczarski W., *Polityka i Energetyka Wpływ rewolucji energetycznej na politykę krajową i międzynarodową*, *Konferencja – Energetyczna Rewolucja: Skutki Społeczne*

- i Polityczne*, Stowarzyszenie Instytut Gospodarki Narodowej, 14 października 2024.
- Mikulski A., *Energetyka Jądrowa na Świecie i w Polsce w latach 2023-2024*, „Postępy Techniki Jądrowej” 67 (2024), z. 4, s. 13-18.
- Ministerstwo Energetyki, *Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce*, Warszawa, wrzesień 2017, <https://www.gov.pl/web/klimat/wysokotemperaturowe-reaktory-jadrowe-chlodzone-gazem-htgr> [dostęp: 17.01.2025].
- Narodowe Centrum Badań Jądrowych, *Nowoczesne paliwo jądrowe typu TRISO*, czerwiec 2023, <https://www.ncbj.gov.pl/aktualnosci/paliwo-triso-paliwo-z-wlasna-obudowa-bezpieczenstwa> [dostęp: 17.01.2025].
- Steigerwald B., Weibezahn J. i in., *Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies: A model-based analysis of small modular reactors*, „Energy” 281 (2023), 128204, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128204>
- Weißbach D., Herrmann F., Ruprecht G. i in., *Energy intensities, EROI (Energy Returned on Invested), for electric energy sources*, „EPJ Web of Conferences” 2018, t. 189, s. 16.
- Weißbach D., Ruprecht G., Huke A. i in., *Energy intensities, EROIs (Energy Returned on Invested), and energy payback times of electricity generating power plants*, „Energy” 2013, t. 52, s. 210-221.



## **Prof. Yochanan Shachmurove**

Department of Economics and Business at The City College and Graduate School of the City University of New York, Stany Zjednoczone

Kolegium Nauk Ekonomicznych i Zarządzania Szkoły Głównej Mikołaja Kopernika, Polska

e-mail: yshachmurove@ccny.cuny.edu; ys4624@nyu.edu

ORCID: 0000-0002-0236-6474

# **Małe reaktory modułowe (SMR)\***

## **Wprowadzenie**

W ciągu ostatniej dekady dyskusje na temat technologii jądrowych odeszły od konwencjonalnych elektrowni wielkoskalowych na rzecz małych reaktorów modułowych (SMR). Powstaje pytanie, czy decydenci polityczni i interesariusze przemysłu jądrowego mogą ominąć konwencjonalną ścieżkę technologiczną na rzecz SMR, które obiecują korzyści, takie jak niższe koszty budowy, większe bezpieczeństwo i możliwość dostosowania do rosnącego zapotrzebowania na energię. W niniejszym opracowaniu zebrano dane z międzynarodowych baz danych i literatury ekonomicznej w celu oceny aktualnych trendów i perspektyw w zakresie wytwarzania energii jądrowej.

## **1. Metodologia**

W analizie wykorzystano dane pochodzące z IAEA i bazy danych PRIS, która zawiera szczegółowe statystyki dotyczące eksploatacji, zawieszenia i budowy reaktorów. Przykładowo, dane te wskazują, że obecnie działa 417 reaktorów jądrowych, 23 reaktory są zawieszono, a 65 reaktorów jest w budowie<sup>1</sup>. Ponadto dokonano przeglądu 32 artykułów z literatury ekonomicznej na temat SMR, aby zrozumieć wydajność, skalowalność i wyzwania ekonomiczne związane z różnymi technologiami reaktorów. Tendencje ilościowe, takie jak mediana czasu budowy i rozkład wieku reaktorów, są oceniane wraz z analizą nowych projektów reaktorów i inicjatyw politycznych.

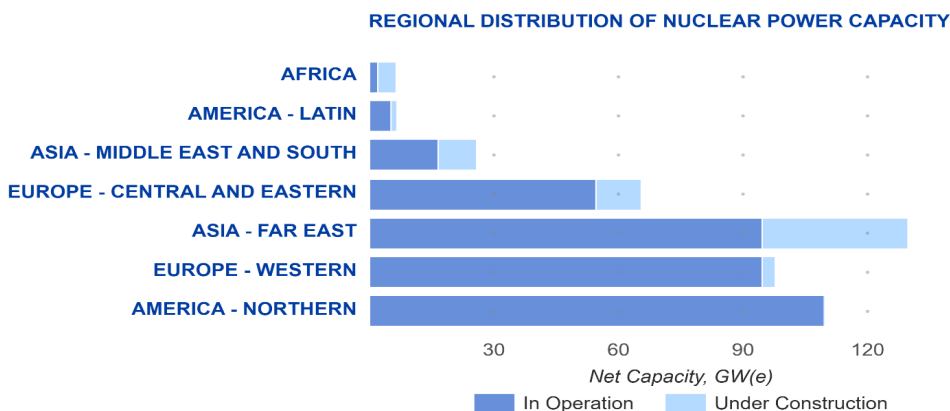
---

\* Klasyfikacja JEL: Q42, Q48, L94, O33, H54

<sup>1</sup> Power Reactor Information System, *The Database on Nuclear Power Reactors*, <https://pris.iaea.org/pris> [dostęp: 19.01.2025].

## 2. Globalny status reaktorów jądrowych

Obecny krajobraz jądrowy obejmuje 417 działających reaktorów i 23 reaktory w zawieszeniu. Według stanu na styczeń 2025 r. w 15 krajach budowanych jest obecnie około 65 reaktorów energetycznych<sup>2</sup>. Kraje takie jak Niemcy przyjęły politykę stopniowego wycofywania się z energii jądrowej, co znalazło odzwierciedlenie w zamknięciu produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych (Rysunek 1).



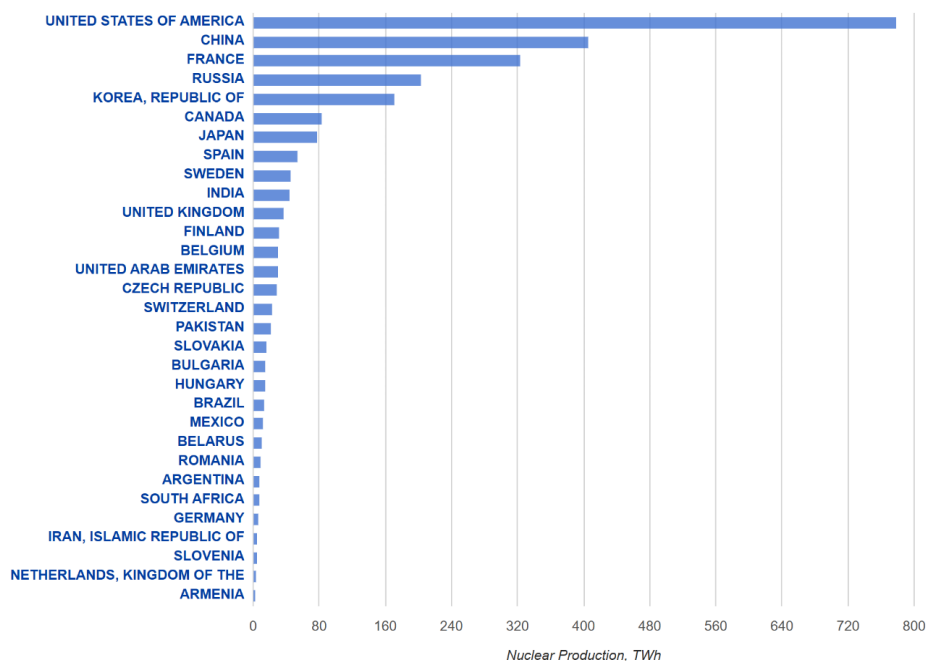
Rysunek 1. Regionalny rozkład mocy elektrowni jądrowych [źródło: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, 2024].

### 2.1. Rozkład regionalny i udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej

Regionalny rozkład mocy elektrowni jądrowych ujawnia kontrastujące ze sobą dane. Przykładowo, Francja pozyskuje około 70% energii elektrycznej z energii jądrowej ze względu na swoją długoletnią politykę opartą na bezpieczeństwie energetycznym. Udział energii jądrowej w Niemczech wynosił jednak tylko około 1% w 2023 r., a produkcja energii elektrycznej brutto w elektrowniach jądrowych spadła ze szczytowego poziomu 167 terawatogodzin w 2006 r. do 7,2 w 2023 r. Stany Zjednoczone – największy producent energii jądrowej na świecie – odpowiadają za około 30% światowej produkcji energii jądrowej, a ich reaktory jądrowe wytwarzają 18% całkowitej produkcji energii elektrycznej<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> World Nuclear Association, *Plans For New Reactors Worldwide* (23.01.2025), <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide> [dostęp: 19.01.2025].

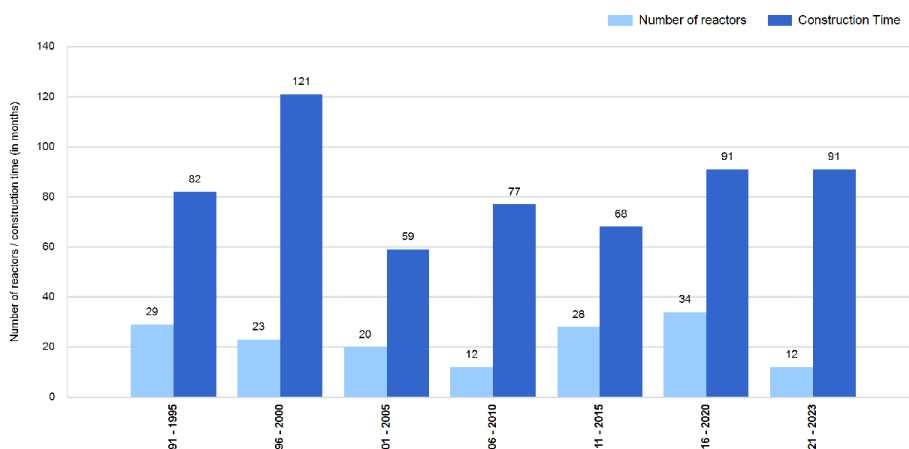
<sup>3</sup> P. Ghosh, *Nuclear Power 101*, NRDC, 05.01.2022, [www.nrdc.org/stories/nuclear-power-101](http://www.nrdc.org/stories/nuclear-power-101) [dostęp: 19.01.2025].



Rysunek 2. Udział energii jądrowej w produkcji energii elektrycznej w 2023 r. [źródło: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, 2023].

## 2.2. Trendy w budowie i wiek reaktorów jądrowych

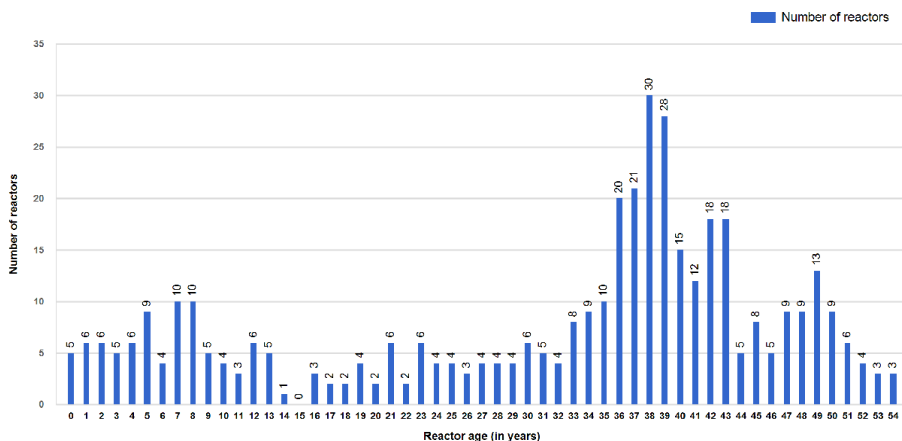
Dane historyczne wskazują, że mediana czasu budowy elektrowni jądrowych wzrosła z 82 miesięcy (1991-1995) do 91 miesięcy w latach 2021-2023 (Rysunek 3).



Rysunek 3. Mediana czasu budowy na świecie w miesiącach na dzień 31 grudnia 2023 r. [źródło: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, 2023].



Pod względem wieku działających reaktorów przeważają starsze obiekty, a większość z nich działa w przedziale wiekowym od 36 do 43 lat.



Rysunek 4. Liczba działających reaktorów według wieku na dzień 31 grudnia 2023 r. [źródło: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, 2023].

### 2.3. Budowa reaktorów i nowe projekty

Według stanu na styczeń 2025 r. w budowie znajdowało się 61 reaktorów w 13 krajach, z czego 29 w Chinach, w tym cztery realizowane przez Rosję (WNISR, 2025). Obiekty jądrowe są również budowane przez Rosję – sześć w jej własnym kraju, dwa w Bangladeszu, cztery w Egipcie, cztery w Indiach, jeden w Iranie i cztery w Turcji (WNISR, 2025). Na przykład Egipt zainicjował budowę swojej pierwszej elektrowni jądrowej w 2021 r. Będzie ona zlokalizowana około 320 kilometrów na północny zachód od Kairu. Kontrakty na budowę i finansowanie elektrowni jądrowej zostały podpisane przez Rosję w 2015 r., a pierwszy reaktor ma rozpocząć działalność komercyjną w 2026 r.<sup>4</sup>

Rosyjska Państwowa Korporacja Energii Atomowej, Rosatom, zobowiązała się również do dostarczania rosyjskiego paliwa jądrowego przez cały cykl życia elektrowni – przez 60 lat<sup>5</sup>. Rosatom pomoże egipskim partnerom w szkoleniu personelu i konserwacji elektrowni przez pierwsze 10 lat jej eksploatacji<sup>6</sup>.

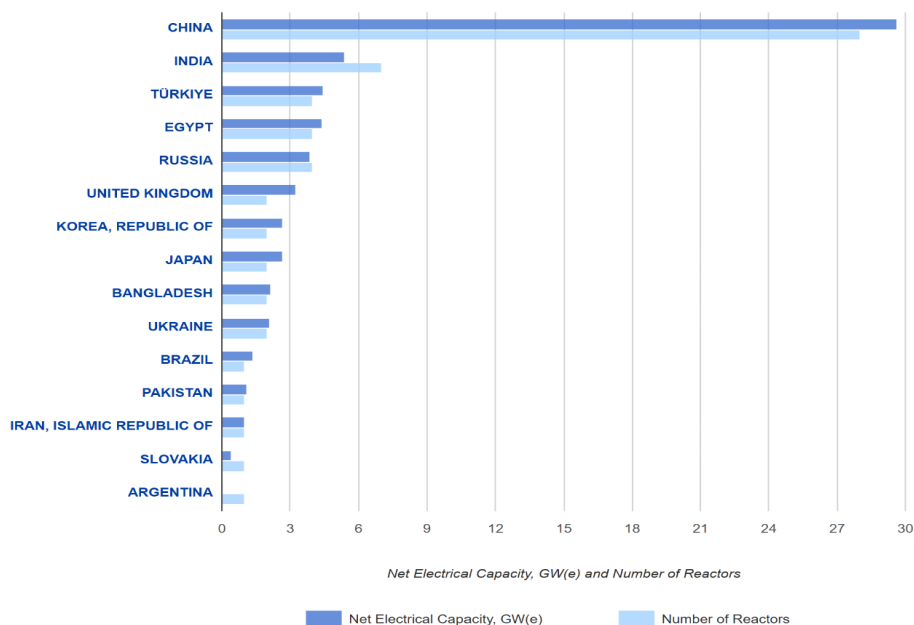
<sup>4</sup> S. Shay, *The Egypt-Russia Nuclear Deal*, IPS Publications, Nov. 2015, [https://web.archive.org/web/20180911002505/http://www.herzliyaconference.org/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/Egypt\\_nuclear\\_plant2015\(1\).pdf](https://web.archive.org/web/20180911002505/http://www.herzliyaconference.org/_Uploads/dbsAttachedFiles/Egypt_nuclear_plant2015(1).pdf) [dostęp: 19.01.2025].

<sup>5</sup> *Sisi and Putin Witness Signing of Agreement to Launch Egypt's First-Ever Nuclear Power Plant*, Ahram Online, 11.12.2017, <https://english.ahram.org.eg/NewsParis/285171.aspx> [dostęp: 19.01.2025].

<sup>6</sup> *Construction Permit Issued for First Egyptian Unit*, World Nuclear News, 30.06.2022, [www.world-nuclear-news.org/Articles/Construction-permit-issued-for-first-egyptian-unit](http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Construction-permit-issued-for-first-egyptian-unit) [dostęp: 19.01.2025].

Po podpisaniu umowy prezydenci Egiptu i Rosji potwierdzili, że są zdecydowani przestrzegać międzynarodowych konwencji zakazujących rozprzestrzeniania broni jądrowej i elektrowni jądrowych, a także pozyskiwać najnowsze i najbezpieczniejsze technologie energii jądrowej.

Niedawno w Stanach Zjednoczonych elektrownia jądrowa w Georgii rozpoczęła działalność komercyjną w 2024 r., stając się największym wytwórcą czystej energii w USA<sup>7</sup>. Rysunek 5 przedstawia liczbę reaktorów jądrowych w budowie na całym świecie według stanu na lipiec 2024 r., w podziale na kraje.

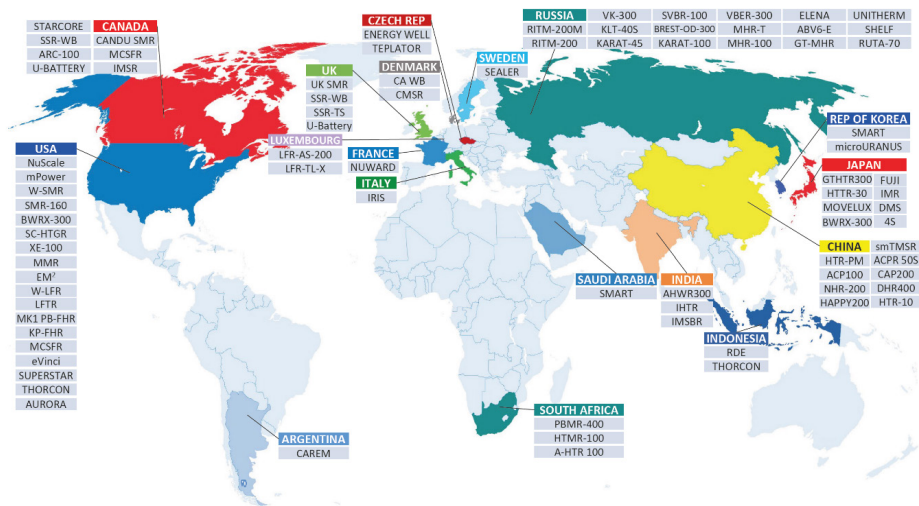


Rysunek 5. Liczba reaktorów jądrowych w budowie na całym świecie według stanu na lipiec 2024 r., w podziale na kraje [źródło: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, 2024].

### 3. Rozwój technologii małych reaktorów modułowych i globalne mapowanie

Globalna mapa technologii małych reaktorów modułowych (SMR) na 2021 r. pokazuje, że kraje na wielu kontynentach, w tym Republika Południowej Afryki i kilka krajów europejskich, są aktywnie zaangażowane w projektowanie i planowanie SMR-ów.

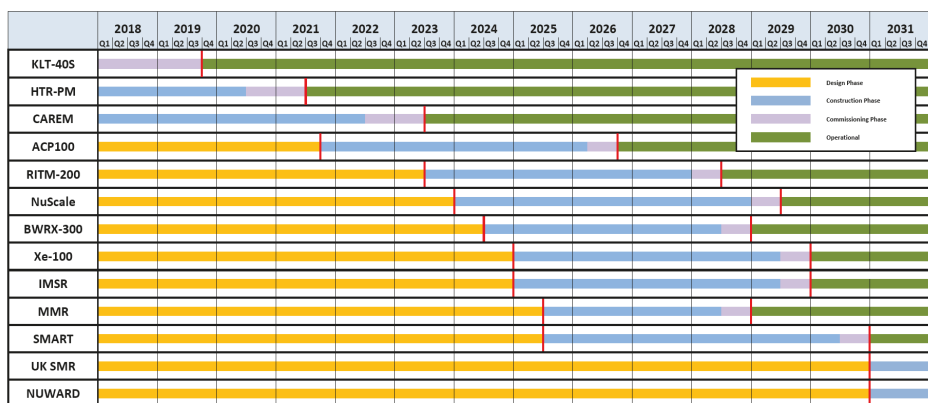
<sup>7</sup> *Plant Vogtle*, Southern Nuclear, 2024, [www.southernnuclear.com/our-plants/plant-vogtle.html](http://www.southernnuclear.com/our-plants/plant-vogtle.html) [dostęp: 19.01.2025].



Rysunek 6. Mapa rozwoju technologii małych reaktorów modułowych (SMR) na świecie, 2021 r. [źródło: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, 2021].

### 3.1. Rozwój polityki i nowe technologie

Postęp w fazie projektowania, budowy, rozruchu i eksploatacji projektów reaktorów jądrowych jest widoczny na całym świecie. Wiele krajów pozostaje w fazie projektowania – tendencja ta ma trwać do 2031 r. (Rysunek 7). Faza ta stanowi istotny okres, w którym przeprowadzane są studia wykonalności, analizy bezpieczeństwa i przeglądy regulacyjne.



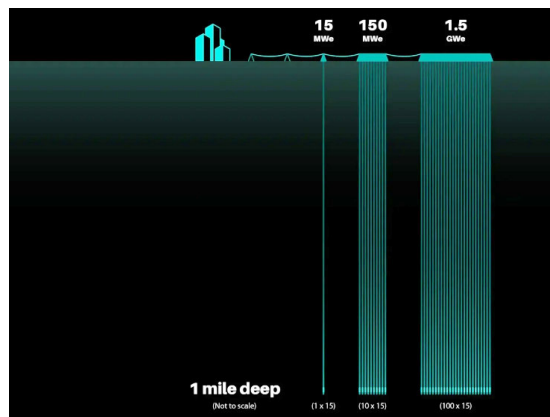
Rysunek 7. Harmonogram wdrażania projektów SMR do 2031 r. [źródło: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, 2021].

### 3.2. Inicjatywy w zakresie energii jądrowej

Ostatnie wydarzenia polityczne w Polsce stanowią przykład rosnącego wsparcia publicznego i rządowego dla energetyki jądrowej. W styczniu 2025 r. polski rząd zatwierdził inwestycję o wartości 14,7 mld USD w pierwszą elektrownię jądrową. Struktura finansowa tego projektu obejmuje komponent kapitałowy stanowiący około 30% całkowitej wartości inwestycji. Państwowa Polska Grupa Energetyczna została wyznaczona do nadzorowania budowy reaktora o mocy 3,75 GW na wybrzeżu Bałtyku. Ponadto, zgodnie z decyzją rządu z 7 stycznia 2025 r., inicjatywa ta ma być realizowana we współpracy zarówno z amerykańską firmą Westinghouse Electric, jak i niemiecką firmą Bechtel Group. Projekt ma zostać ukończony do 2036 r.<sup>8</sup>

### 3.3. Wdrożenie technologii małych reaktorów modułowych

W odpowiedzi na rosnące globalne zapotrzebowanie na obliczenia o dużej gęstości, napędzane przez centra danych i aplikacje sztucznej inteligencji, pojawia się nowa technologia jądrowa. Amerykańskie korporacje, we współpracy z liderami technologicznymi, takimi jak Google, opracowują koncepcję zwaną reaktorami Deep Fission (głębokiego rozszczepienia) polegającą na umieszczeniu małych reaktorów modułowych (SMR) na głębokości jednej mili pod ziemią w celu zasilania centrów danych (Rysunek 8).



Rysunek 8. Schemat małego podziemnego reaktora jądrowego Deep Fission [źródło: *Deep Fission's Underground SMR Using Borehole Technology*, Deep Fission, Inc, 31.01.2025, <https://deepfission.com/our-solution/> [dostęp: 19.01.2025].

<sup>8</sup> M. Martewicz, *Poland Backs \$14.7 Billion in Funding for Nation's First Nuclear Power Plant as EU Probes Project*, BNN Bloomberg, 07.01.2025, [www.bnnbloomberg.ca/investing/2025/01/07/poland-backs-147-billion-in-funding-for-nations-first-nuclear-power-plant-as-eu-probes-project/](http://www.bnnbloomberg.ca/investing/2025/01/07/poland-backs-147-billion-in-funding-for-nations-first-nuclear-power-plant-as-eu-probes-project/) [dostęp: 19.01.2025].

Takie rozwiązanie wykorzystuje stabilność geologiczną występującą na dużych głębokościach, aby zminimalizować potrzebę stosowania rozległych naziemnych konstrukcji betonowych, co poprawia bezpieczeństwo. Konstrukcja reaktora wykorzystuje 30-calowe otwory, co umożliwi kompaktowe instalacje, znacznie zmniejszając koszty i wpływ na środowisko. Deep Fission twierdzi, że umożliwi klientom zamawianie dyskretnych niestandardowych konfiguracji w celu zaspokojenia różnorodnych potrzeb użytkowników docelowych<sup>9</sup>. Jest to szczególnie ważne dla dużych miast i baz wojskowych, a także do zasilania hiperskalowych centrów danych i obiektów użyteczności publicznej.

### 3.4. Przegląd literatury ekonomicznej na temat małych reaktorów modułowych

Przegląd literatury ekonomicznej ujawnia wąski zakres prac poświęconych reaktorom SMR. Zaledwie 32 artykuły poruszają aspekty ekonomiczne spoza podstawowych dziedzin technicznych fizyki, chemii i specjalistycznej inżynierii jądrowej. Najnowsze badanie z 2024 r., wykorzystujące bazę danych Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC), analizuje przyszłe scenariusze energetyczne poprzez ocenę trzech technologii reaktorów: tradycyjnych reaktorów lekkowodnych o wysokiej wydajności, SMR-ów i reaktorów nie chłodzonych lekką wodą. W badaniu stwierdzono, że żadna z proponowanych technologii reaktorów nie spełnia obecnie wymogów skalowalności niezbędnych do szybkiej dekarbonizacji, ze względu na ograniczenia ekonomiczne i dostępności zasobów<sup>10</sup>.

S. Thomas i in.<sup>11</sup> kwestionują komercyjną gotowość reaktorów SMR, zauważając, że reaktory te pozostają w dużej mierze niesprawdzone i stoją w obliczu wyzwań związanych z solidnością łańcucha dostaw i wycofaniem z eksploatacji. Jego analiza, obejmująca 540 reaktorów w 18 krajach, które mają zostać wycofane z eksploatacji do 2047 r., zwraca uwagę na rosnącą dominację Rosji na światowym rynku eksportu reaktorów. Trend ten jest dodatkowo widoczny na przykładzie ostatnich zamówień z Indii.

<sup>9</sup> Deep Fission's *Underground SMR Using Borehole Technology*.

<sup>10</sup> F. Bose i in., *Questioning Nuclear Scale-Up Propositions: Availability and Economic Prospects of Light Water, Small Modular and Advanced Reactor Technologies*, „Energy Research & Social Science” 110 (2024), s. 103448, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103448>

<sup>11</sup> S. Thomas i in., *Prospects for Small Modular Reactors in the UK & Worldwide*, Nuclear Consulting Group, Nuclear Free Local Authorities, 2019, [www.nuclearpolicy.info/wp/wp-content/uploads/2019/07/Prospects-for-SMRs-report-2.pdf](http://www.nuclearpolicy.info/wp/wp-content/uploads/2019/07/Prospects-for-SMRs-report-2.pdf) [dostęp: 19.01.2025].

Z kolei D.H. Bernstein i in.<sup>12</sup> wykorzystują empiryczną metodę prawdopodobieństwa Bayesa do modelowania ekonomii skali, wydajności technicznej i zmian technologicznych w amerykańskim sektorze wytwarzania energii jądrowej. Ich wyniki wskazują na trend malejących korzyści skali, co sugeruje, że małe reaktory są bardziej wydajne niż ich większe odpowiedniki. Z kolei M. Chepeliev i in.<sup>13</sup> skupiają się na Ukrainie, wskazując, że reaktory SMR oferują przewagę konkurencyjną, taką jak wyższe współczynniki dostępności, w porównaniu z konwencjonalnymi reaktorami wielkoskalowymi. Tym samym badania te wspierają strategiczny zwrot w stronę wdrożenia SMR na niektórych rynkach.

V. Nian i in.<sup>14</sup> przedstawiają praktyczne zalecenia dla przedsiębiorstw użyteczności publicznej i decydentów w Azji Południowo-Wschodniej. Badanie wspiera integrację SMR z przyszłymi miksami energetycznymi. T.S. Carless i in.<sup>15</sup> stosują bayesowskie sieci przekonań do oceny rozprzestrzeniania broni jądrowej i zagrożeń bezpieczeństwa na rynkach wschodzących. W badaniu tym wskazano Turcję i Arabię Saudyjską jako kraje o podwyższonym ryzyku przekierowania materiałów jądrowych do celów niecywilnych. W ocenie wpływu przeprowadzonej przez K. Hanna i in.<sup>16</sup> porównano niskoemisyjną produkcję energii z wiatru, słońca, małej elektrowni wodnej i reaktorów SMR, wykorzystując kanadyjskie założenia ramowe. Analiza ta ujawnia znaczące luki badawcze dotyczące szerszego społecznego, politycznego i środowiskowego wpływu reaktorów SMR.

## Wnioski

Mapa drogowa technologii małych reaktorów modułowych opiera się na literaturze ekonomicznej, innowacyjnych projektach i inicjatywach politycznych. W niniejszym dokumencie stwierdzono, że małe reaktory modułowe stanowią obiecującą alternatywę dla konwencjonalnych reaktorów jądrowych. Małe reaktory modułowe wpisują się we współczesne perspektywy w branży

<sup>12</sup> D.H. Bernstein, Ch.F. Parmeter, M.G. Tsionas, *On the Performance of the United States Nuclear Power Sector: A Bayesian Approach*, „Energy Economics” 125 (2023), <https://10.1016/j.eneco.2023.106884>

<sup>13</sup> M. Chepeliev i in., *What is the Future of Nuclear Power in Ukraine? The Role of War, Techno-Economic Drivers, and Safety Considerations*, „Energy Policy” 178 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113612>

<sup>14</sup> V. Nian i in., *Accelerating Safe Small Modular Reactor Development in Southeast Asia*, „Utilities Policy” 74 (2022), 101330, <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101330>

<sup>15</sup> T.S. Carless, K. Redus, R. Dryden, *Estimating Nuclear Proliferation and Security Risks in Emerging Markets Using Bayesian Belief Networks*, „Energy Policy” 159 (2021), 112549, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112549>

<sup>16</sup> K. Hanna, E. McGuigan, B. Noble i in., *An Analysis of the State of Impact Assessment Research for Low Carbon Power Production: Building a Better Understanding of Information and Knowledge Gaps*, „Energy Research & Social Science” 50 (2019), s. 116-128, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.10.017>

energetyki jądrowej, ponieważ promują szybką dekarbonizację i zwiększone bezpieczeństwo. Niemniej jednak istnieją wyzwania związane z ich opłacalnością ekonomiczną, dojrzałością techniczną i implikacjami geopolitycznymi, takimi jak standaryzacja. Przyszłe badania powinny uwzględniać te wyzwania, aby ułatwić szersze przyjęcie SMR jako bezpiecznych, zrównoważonych i niskoemisyjnych systemów energetycznych.

### Bibliografia

- Bernstein D.H., Parmeter Ch.F., Tsionas M.G., *On the Performance of the United States Nuclear Power Sector: A Bayesian Approach*, „Energy Economics” 125 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106884>
- Bose F. i in., *Questioning Nuclear Scale-Up Propositions: Availability and Economic Prospects of Light Water, Small Modular and Advanced Reactor Technologies*, „Energy Research & Social Science” 110 (2024), s. 103448, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103448>
- Carless T.S., Redus K., Dryden R., *Estimating Nuclear Proliferation and Security Risks in Emerging Markets Using Bayesian Belief Networks*, „Energy Policy” 159 (2021), 112549, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112549>
- Chepeliev M. i in., *What is the Future of Nuclear Power in Ukraine? The Role of War, Techno-Economic Drivers, and Safety Considerations*, „Energy Policy” 178 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113612>
- Construction Permit Issued for First Egyptian Unit*, World Nuclear News, 30.06.2022, [www.world-nuclear-news.org/Articles/Construction-permit-issued-for-first-Egyptian-unit](http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Construction-permit-issued-for-first-Egyptian-unit) [dostęp: 19.01.2025].
- Deep Fission's Underground SMR Using Borehole Technology*, Deep Fission, Inc, 31.01.2025, <https://deepfission.com/our-solution/> [dostęp: 19.01.2025].
- Ghosh P., *Nuclear Power 101*, NRDC, 05.01.2022, [www.nrdc.org/stories/nuclear-power-101](http://www.nrdc.org/stories/nuclear-power-101) [dostęp: 19.01.2025].
- Martewicz M., *Poland Backs \$14.7 Billion in Funding for Nation's First Nuclear Power Plant as EU Probes Project*, BNN Bloomberg, 07.01.2025, [www.bnnbloomberg.ca/investing/2025/01/07/poland-backs-147-billion-in-funding-for-nations-first-nuclear-power-plant-as-eu-probes-project/](http://www.bnnbloomberg.ca/investing/2025/01/07/poland-backs-147-billion-in-funding-for-nations-first-nuclear-power-plant-as-eu-probes-project/) [dostęp: 19.01.2025].
- Nian V. i in., *Accelerating Safe Small Modular Reactor Development in Southeast Asia*, „Utilities Policy” 74 (2022), 101330, <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101330>
- Plant Vogtle*, Southern Nuclear, 2024, [www.southernnuclear.com/our-plants/plant-vogtle.html](http://www.southernnuclear.com/our-plants/plant-vogtle.html) [dostęp: 19.01.2025].
- Power Reactor Information System, *The Database on Nuclear Power Reactors*, <https://pris.iaea.org/pris> [dostęp: 19.01.2025].



- 
- Shay S., *The Egypt-Russia Nuclear Deal*, IPS Publications, Nov. 2015, [https://web.archive.org/web/20180911002505/http://www.herzliyaconference.org/\\_Uploads/dbsAttachedFiles/Egypt\\_nuclear\\_plant2015\(1\).pdf](https://web.archive.org/web/20180911002505/http://www.herzliyaconference.org/_Uploads/dbsAttachedFiles/Egypt_nuclear_plant2015(1).pdf) [dostęp: 19.01.2025].
- Sisi and Putin Witness Signing of Agreement to Launch Egypt's First-Ever Nuclear Power Plant*, Ahram Online, 11.12.2017, <https://english.ahram.org.eg/NewsParis/285171.aspx> [dostęp: 19.01.2025].
- Thomas S. i in., *Prospects for Small Modular Reactors in the UK & Worldwide*, Nuclear Consulting Group, Nuclear Free Local Authorities, 2019, [www.nuclearpolicy.info/wp-content/uploads/2019/07/Prospects-for-SMRs-report-2.pdf](http://www.nuclearpolicy.info/wp-content/uploads/2019/07/Prospects-for-SMRs-report-2.pdf) [dostęp: 19.01.2025].
- World Nuclear Association, *Plans For New Reactors Worldwide* (23.01.2025), <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide> [dostęp: 19.01.2025].



**Dr Renata Anna Stefaniuk**

Szkoła Główna Mikołaja Kopernika, Polska

e-mail: stefaniukrenataanna@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9197-924X

## **Rady nadzorcze wobec wyzwań inwestycji strategicznych spółek Skarbu Państwa na przykładzie małych reaktorów jądrowych**

### **Wprowadzenie**

W artykule scharakteryzowane zostaną Małe Reaktory Atomowe (SMR) jako strategiczne inwestycje, którymi zajmują się również organy nadzorcze. Rady nadzorcze oraz zarządy spółek z udziałem Skarbu Państwa ponoszą kluczową odpowiedzialność za wdrożenie tych inwestycji w praktyce, pełniąc istotną rolę w formułowaniu oraz realizacji strategii inwestycyjnych<sup>1</sup>.

### **1. Rola rady nadzorczej**

Rady nadzorcze spółek z udziałem Skarbu Państwa odgrywają kluczową, choć pośrednią rolę, we wdrażaniu inwestycji w praktyce. Rady nadzorcze pełnią istotne funkcje zarówno w formułowaniu strategii inwestycyjnych, jak i w ich realizacji, angażując się w działania kontrolne oraz doradcze<sup>2</sup>.

Do podstawowych zadań rad nadzorczych należy zapewnienie zgodności inwestycji z celami strategicznymi, zasadami ładu korporacyjnego oraz interesem publicznym. Przeprowadziłam dwie sesje badań ilościowych. Pierwsza z nich miała miejsce na przełomie 2020 i 2021 r., kiedy zbadałam 100 członków rad nadzorczych i zarządów. Badanie powtórzyłam w styczniu i lutym 2023 r., aby potwierdzić wcześniejsze wyniki, które okazały się wyjątkowo pozytywne z punktu widzenia zaangażowania nadzoru w realizację swoich obowiązków w spółce.

---

<sup>1</sup> J. Jeżak, *Efektywność Rad Nadzorczych w spółkach z udziałem Skarbu Państwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2022.

<sup>2</sup> K. Bieluk, *Czy rada nadzorcza spółki powinna powołać komitety?* 2023, Blog Bieluk.pl; Moore Polska, *Rada Nadzorcza – 6 kluczowych tematów*, 2023.

W tej drugiej sesji badawczej uczestniczyło 311 osób pełniących funkcje w zarządach i radach nadzorczych.

## 2. Wyniki Badań

Wyniki powyższych badań wykazały, że najskuteczniejszym środkiem perswazji ze strony rad nadzorczych jest doradztwo, co potwierdziło niemal 40% ankietowanych. Kiedy zapytałam, w jakiej sferze funkcjonowania spółki najbardziej istotna jest potrzeba doradztwa ze strony rady nadzorczej, zdecydowanie na pierwszym miejscu ankietowani wskazywali obszar finansowy, a tuż za nim obszar strategii inwestycyjnej. Aż 92% uczestników badania potwierdziło, że rady nadzorcze aktywnie angażują się w formułowanie planów strategii inwestycyjnych spółek.

## 3. Zgodność z regulacjami

Wracając jednak do kwestii strategii inwestycyjnych, takich jak SMR-y, rady nadzorcze pełnią rolę strażnika procesu formułowania, realizacji i podsumowania wszystkich inwestycji. Muszą ocenić zasadność planowanych przedsięwzięć, co oznacza zapewnienie ich zgodności z celami strategicznymi, regulacjami oraz polityką energetyczną kraju, a także gwarantować przejrzystość działań zarządu oraz ochronę interesów publicznych.

## 4. Teoria agencji

W kontekście teorii *corporate governance* najpopularniejsza jest teoria agencji, w której agentem jest zarząd, a pryncypałem właściciel. Założeniem tej teorii jest to, że agent działa na rzecz własnej użyteczności<sup>3</sup>. Istnieje wiele powodów, dla których ta dynamika ma miejsce, jednak najbardziej znaczący z nich, to częsta zmiana składu zarządu w spółkach z udziałem Skarbu Państwa. W związku z tym, zarządy często koncentrują się na osiągnięciu własnych korzyści, aby szybciej się wykazać, co może służyć jako sposób na zapewnienie sobie dłuższego zatrudnienia w danej spółce. Alternatywnie, mogą chcieć zaznaczyć swoją obecność na rynku, aby uzyskać intratne funkcje po zakończeniu swojej współpracy z daną spółką.

Rola rady nadzorczej polega na zapewnieniu, że zarząd działa w sposób przejrzysty i dba o interesy właścicieli. Ponadto, jednym z kluczowych zadań rady nadzorczej jest monitorowanie realizacji inwestycji, co obejmuje ocenę, czy przedsięwzięcia są prowadzone zgodnie z harmonogramem i założonym

---

<sup>3</sup> *Nadzór korporacyjny*, [https://mfiles.pl/pl/index.php/Nadz%C3%B3r\\_korporacyjny](https://mfiles.pl/pl/index.php/Nadz%C3%B3r_korporacyjny) [dostęp: 22.03.2025].

budżetem. Ważne jest także, aby sprawdzano, czy prowadzona działalność jest zgodna z polityką energetyczną oraz z aktualnymi trendami, takimi jak redukcja emisji CO<sub>2</sub>.

Aby rada nadzorcza mogła efektywnie angażować się w realizację inwestycji, musi dysponować odpowiednią wiedzą. Efektywność rady nadzorczej jest kluczowa w tym procesie. Prof. J. Jeżak określił efektywność rad nadzorczych m.in. jako zależną od stopnia profesjonalizacji ich członków.

Wyniki moich badań wskazują, że najlepsze rady nadzorcze składają się z członków o zróżnicowanych kompetencjach. Najbardziej istotne umiejętności w kontekście funkcjonowania rad nadzorczych dotyczą finansów, prawa oraz branży, w której działa spółka. Cechy osobowościowe, takie jak umiejętność łagodzenia konfliktów czy komunikatywność, a także wiedza merytoryczna i praktyczna w zakresie zarządzania, okazały się mniej istotne.



Rysunek 1.

W moich badaniach nie sprawdzałam procentowego składu rad nadzorczych w ujęciu zawodów w nich zasiadających. Z obserwacji wiem, że w radach i zarządach przeważają prawnicy, nad finansistami i inżynierami.

Z mojego punktu widzenia obecność przedstawicieli pracowników w radach nadzorczych ma charakter ambiwalentny. Z jednej strony może stanowić wartość dodaną dla nadzoru korporacyjnego, dostarczając członkom rady nadzorczej unikalnej perspektywy oraz bezpośredniego dostępu do nastrojów i oczekiwań załogi. Tacy przedstawiciele mogą również odegrać istotną rolę w budowaniu zaufania i komunikacji wewnątrz organizacji, przyczyniając się do stabilizacji sytuacji wewnętrznej i ograniczenia eskalacji konfliktów. Z drugiej strony, istnieje ryzyko, że reprezentując interesy pracownicze,

mogą koncentrować się przede wszystkim na postulatach płacowych i społecznych, co – przy braku odpowiedniego wyważenia celów – może prowadzić do napięć między interesem firmy a oczekiwaniami pracowników. Faktem jest, że bardzo wielu członków zarządu sprzeciwia się przedstawicielom pracowników w gronie rad nadzorczych z obawy przed zakłócaniem obrad wynikającej z reprezentacji wyłącznie interesów pracowników, a nie spółki.

Niezwykle ważne jest także, aby zarówno zarząd, jak i rada nadzorcza współpracowały z instytucjami naukowymi, co niestety jest często zaniedbywane, a co również potwierdzają wyniki moich badań. Dlaczego ta współpraca jest tak istotna? Przede wszystkim umożliwia przeprowadzanie analiz technologicznych, które wspierają wybór odpowiednich dostawców technologii oraz ocenę ryzyk związanych z kwestiami bezpieczeństwa. Pozwala również na identyfikację potencjalnych problemów regulacyjnych, określenie konkretnych kosztów operacyjnych oraz wykorzystanie wiedzy badaczy do budowania przewagi konkurencyjnej.

3. Wykorzystanie wiedzy instytucji badawczych do budowy przewagi konkurencyjnej technologii energetycznych.

**SZKOŁA GŁÓWNA MIKOŁAJA KOPERNIKA | SGMK**

**W ramach współpracy z instytucjami naukowymi oraz innymi podmiotami posiadającymi doświadczenie w SMR możliwe jest:**

**01** Przeprowadzanie analiz technologicznych, które pomogą w wyborze odpowiedniego dostawcy technologii.

**02** Ocena ryzyk związanych z wdrożeniem, takich jak:

- kwestie bezpieczeństwa,
- potencjalne problemy regulacyjne,
- koszty operacyjne.

**03** Wykorzystanie wiedzy instytucji badawczych do budowy przewagi konkurencyjnej spółki w sektorze nowoczesnych technologii energetycznych.

Rysunek 2.

## 5. Propozycje rekomendacji

Przechodząc do formułowania rekomendacji warto zauważyć, że na temat nadzoru organu kontrolnego, jakim jest rada nadzorcza, można mówić naprawdę wiele. Kluczowym i sprawdzonym rozwiązaniem mogłoby być utworzenie komitetu do spraw inwestycji. W spółkach z udziałem Skarbu Państwa rady nadzorcze oraz zarządy zazwyczaj składają się z kilku do kilkunastu członków.

Takie komitety mogłyby koncentrować się na analizie raportów zarządu dotyczących postępów w realizacji inwestycji oraz konsultacjach z ekspertami. Warto

przypomnieć, że w 2022 r. wprowadzono nowelizację ustawy *Kodeks spółek handlowych*<sup>4</sup>, która zagwarantowała radzie nadzorczej możliwość korzystania z wiedzy ekspertów bez konieczności uzyskania zgody zarządu, jak to miało miejsce wcześniej. Chociaż rady nadzorcze muszą przestrzegać pewnych ograniczeń, takich jak budżetowe, ich zakres działania stał się teraz znacznie szerszy.

Taki komitet wspierałby zarząd w podejmowaniu decyzji w mniejszym gronie oraz w zakresie raportowania postępów realizacji inwestycji, zgodnie z międzynarodowymi standardami ładu korporacyjnego. Kluczowe znaczenie ma fakt, że takie działania przyczyniają się do zwiększenia zaufania inwestorów i interesariuszy do prowadzonych inwestycji.

Dobłą praktyką jest także budowanie platformy współpracy między spółkami z udziałem Skarbu Państwa a agencjami rządowymi. Celem tej współpracy jest harmonizacja działań strategicznych oraz zarządzanie akceptacją społeczną, co jest niezwykle istotne z perspektywy realizacji projektów, ponieważ interesariusze z punktu widzenia realizacji inwestycji są bardzo istotni.

## 6. Konsultacje społeczne

Prowadzenie konsultacji społecznych oraz edukacja społeczności, w której spółka funkcjonuje, są niezwykle istotne. Praktyka działalności tych spółek pokazuje, że wspieranie zarządów i podejmowanie działań edukacyjnych ze strony rad nadzorczych stanowi dobrą praktykę.

**SZKOŁA GŁÓWNA MIKOŁAJA KOPERNIKA | SGMK**

**Rady nadzorcze muszą pełnić aktywną rolę w identyfikacji i zarządzaniu ryzykami regulacyjnymi i społecznymi, które obejmują:**

**01**

Ocenę ryzyk związanych z pozyskaniem pozwoleń:

- Monitorować działania zarządu zmierzające do pozyskania wszystkich niezbędnych zgód.
- Egzekwować przestrzeganie wymagań regulacyjnych oraz ścisłą współpracę z odpowiednimi organami państwowymi.
- Analizować raporty o stanie zgodności projektu z obowiązującymi przepisami.

**02**

Akceptację społeczną dla projektów SMR. Rady nadzorcze muszą nadzorować działania zarządu w zakresie:

- Prowadzenia konsultacji społecznych w lokalizacjach, gdzie planowane są inwestycje w SMR.
- Komunikacji z interesariuszami, w tym społecznościami lokalnymi, w celu wyjaśnienia korzyści i minimalizacji obaw.
- Wdrożenia działań edukacyjnych i informacyjnych dotyczących bezpieczeństwa technologii SMR.

Rysunek 3.

<sup>4</sup> Ustawa z dnia 15 września 2000 r. *Kodeks spółek handlowych*, Dz. U. Nr 94, poz. 1037 z późn. zm.



Taki model powinien być wdrażany na co dzień. W rzeczywistości jednak nie zawsze tak jest, choć zdecydowanie takie podejście ułatwia współpracę. Wymaga to jednak, aby również zarząd sygnalizował potrzebę wsparcia. Doradztwo rad nadzorczych jest pozytywnie postrzegane z perspektywy zarządu.

## Podsumowanie

Badania wykazują, że doradztwo ze strony rad nadzorczych jest ważnym narzędziem perswazji w procesie podejmowania decyzji. Zdecydowana większość uczestników badania potwierdziła ich aktywne zaangażowanie w formułowanie planów strategicznych, co podkreśla ich wpływ na proces decyzyjny.

W kontekście budowy SMR, kluczowe jest, by rady nadzorcze dysponowały odpowiednią wiedzą i kompetencjami, co może znacząco wpłynąć na sukces inwestycji. Rekomendacje dotyczące utworzenia komitetu do spraw inwestycji oraz zwiększenia współpracy z instytucjami naukowymi przyczyniłyby się do wzmocnienia procesu decyzyjnego. Potrzeba przeprowadzania konsultacji społecznych również podkreśla znaczenie transparentności i zaufania wobec inwestycji interesariuszy spółki.

W efekcie, odpowiednia struktura rad nadzorczych oraz ich zaangażowanie w proces podejmowania decyzji są kluczowe dla skutecznej i odpowiedzialnej realizacji projektów budowy strategicznych projektów jak Małe Reaktory Atomowe.

## Bibliografia

- Bieluk K., *Czy rada nadzorcza spółki powinna powołać komitety?* 2023, Blog Bieluk.pl
- Jeżak J., *Efektywność Rad Nadzorczych w spółkach z udziałem Skarbu Państwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2022.
- Moore Polska, *Rada Nadzorcza – 6 kluczowych tematów*, 2023.
- Nadzór korporacyjny*, [https://mfiles.pl/pl/index.php/Nadz%C3%B3r\\_korporacyjny](https://mfiles.pl/pl/index.php/Nadz%C3%B3r_korporacyjny) [dostęp: 22.03.2025].
- „*Polityka energetyczna Polski do 2040 r.*” przyjęta przez Radę Ministrów, <https://www.pgi.gov.pl/aktualnosci/display/12799-polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-przyjeta-przez-rade-ministrow.html> [dostęp: 22.03.2025].
- Samul K., Strupczewski A., Wrochna G., *Małe Reaktory Modułowe SMR*, Narodowe Centrum Badań Jądrowych 2013.

SMR – czym są i jak działają, małe reaktory modułowe?, <https://www.wprost.pl/tematy/10498654/smr-czym-sa-i-jak-dzialaja-male-reaktory-modulowe.html> [dostęp: 22.03.2025].

*Modular Reactors (SMRs)*, <https://www.world-nuclear.org> [dostęp: 22.03.2025].

Ustawa z dnia 15 września 2000 r. *Kodeks spółek handlowych*, Dz. U. Nr 94, poz. 1037 z późn. zm.



**Mgr Paweł Turowski**

Polska

e-mail: turowski2222@gmail.com

ORCID: 0009-0006-5037-175X

## **Otoczenie polityczne i regulacyjne rozwoju reaktorów (SMR) w ujęciu geoeconomicznym**

Pozwolę sobie przedstawić potencjalne szanse rozwoju technologii małych reaktorów modułowych (SMR) w specyficznym ujęciu – analizując ich funkcjonowanie na poziomie globalnym, regionalnym i lokalnym. Dzięki takiemu podejściu będziemy mogli ocenić, czy technologia SMR oraz energetyka jądrowa mają szanse rozwoju, jakie napotykają zagrożenia i wyzwania, oraz w jaki sposób te wyzwania są identyfikowane w kontekście Polski.

W celu zrozumienia sytuacji na poziomie krajowym, należy w pierwszej kolejności przyjrzeć się szerszemu kontekstowi globalnemu i regionalnemu. Tylko w ten sposób będziemy w stanie precyzyjnie określić perspektywy i nisze, w których technologia SMR mogłaby znaleźć zastosowanie. Należy pamiętać, że wszystko, co dzieje się w energetyce, jest ściśle powiązane z polityką. Technologie nie rozwijają się w próżni – wymagają systemu wsparcia, regulacji, przyzwolenia politycznego i często subsydiów.

W dzisiejszych realiach żadna technologia energetyczna nie jest w stanie funkcjonować wyłącznie w oparciu o rachunek ekonomiczny, ponieważ koszty wytwarzania energii są często niższe niż koszty inwestycyjne. Dlatego też niezbędne jest stworzenie skomplikowanego systemu wsparcia finansowego, który umożliwi rozwój i wdrożenie nowych rozwiązań.

Jeśli mówimy o SMR-ach, warto w skrócie przypomnieć, skąd się wzięły. Pomysł na nie pojawił się około 2009 r., gdy administracja prezydenta Baracka Obamy postanowiła zmodernizować wyspy energetyczne na Alasce. Wówczas zdecydowano o zaadoptowaniu technologii reaktorów, które od dziesięcioleci sprawdzały się w zastosowaniach militarnych, np. na okrętach podwodnych czy lotniskowcach. Chodziło o to, by przenieść te reaktory na ląd, zainstalować je w miejsce starych bloków węglowych i w ten sposób zmodernizować infrastrukturę energetyczną.

Takie rozwiązanie pozwala uniknąć około jednej trzeciej dodatkowych kosztów związanych z budową tradycyjnych elektrowni jądrowych. Stara elektrownia węglowa ma już bowiem gotowe przyłączenia do sieci elektroenergetycznej, więc zastąpienie bloku węglowego reaktorem znacznie obniża koszty inwestycyjne. W efekcie każdy megawat energii z SMR może być nawet o jedną trzecią tańszy niż w przypadku dużych reaktorów.

W tym ujęciu SMR-y są technologią przełomową, która ma ogromny potencjał, pod warunkiem, że wyjdzie poza fazę koncepcyjną i osiągnie dojrzałość.

Moja teza badawcza polega na zbadaniu, jak ład ekonomiczny oraz wynikające z niego polityki przemysłowe na poziomie globalnym (z inicjatywy Stanów Zjednoczonych), regionalnym (Unia Europejska) i lokalnym wpływają na szanse rozwoju technologii SMR. Po 1991 r., wraz z końcem zimnej wojny, Stany Zjednoczone rozpoczęły projekt unilateralny, oparty na zasadach geoekonomii. Edward Luttwak, jeden z czołowych strategów prezydenta Ronalda Reagana, zaproponował, by utrzymać dominację USA poprzez kształtowanie ładów ekonomicznych, które zapewniają przewagę komparatywnie ich twórcom.

Model ten został zainspirowany porozumieniem z Bretton Woods, które ukształtowało globalny system finansowy po II wojnie światowej. Geoekonomia, łącząca geopolitykę i ekonomię, to długofalowa strategia osiągania celów geostrategicznych przy użyciu narzędzi ekonomicznych. Jej nadrzędnym celem jest zdobycie władzy relacyjnej i strukturalnej w relacjach międzynarodowych, co osiąga się poprzez politykę wzrostu i akumulację kapitału, zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym. W Europie głównymi aktorami geoekonomii są państwa narodowe, które rywalizują lub współpracują ze sobą, a najsilniejsi gracze mają możliwość kształtowania ładów na swoją korzyść.

Jak wspominałem, cała ta mechanika została opracowana przez Edwarda Luttwaka i opiera się na stosowaniu reguł, które wymuszają system norm, kar lub sankcji wobec innych państw. W tym kontekście Polska jako państwo funkcjonujące w określonej rzeczywistości geoekonomicznej, podlega oddziaływaniu dwóch głównych struktur. Pierwsza z nich jest generowana przez najsilniejsze unilateralne państwo na świecie, czyli Stany Zjednoczone, a druga – w pewnym stopniu moderowana przez Stany Zjednoczone – to struktura Unii Europejskiej.

W Unii Europejskiej znaczna część polityk związanych z sektorem energetycznym jest kształtowana pod wpływem modeli wypracowanych w Republice Federalnej Niemiec. Następnie przeprowadzane jest uwspólnotowanie tych modeli, i ich rozprzestrzenienie się za pomocą narzędzi i instrumentów dostępnych w rękach Komisji Europejskiej.

Na marginesie tych rozważań warto zastanowić się, gdzie tkwi źródło potęgi w XXI w. Interesujący dokument na ten temat powstał w listopadzie 2024 r., przygotowany przez jedną z agend ONZ. Autorzy dokumentu analizowali szeroko pojęte polityki przemysłowe, próbując zidentyfikować kluczowe narzędzia i instrumenty, które mogą stać się motorami wzrostu w obecnym stuleciu.

Wśród kluczowych motorów wzrostu w XXI w. zidentyfikowano: energię i zieloną transformację, sztuczną inteligencję (AI) oraz cyfryzację systemów produkcji, rekonfigurację globalnych łańcuchów wartości i zmiany demograficzne na świecie. Jeśli przyjrzymy się, jak te obszary są obsługiwane przez główne potęgi – Stany Zjednoczone, Europę i Polskę – można zauważyć, kto odgrywa wiodącą rolę w poszczególnych dziedzinach.

W przypadku energii i zielonej transformacji liderami są Niemcy, Unia Europejska, Chiny i Stany Zjednoczone. To one przodują w produkcji technologii odnawialnych źródeł energii i rozwoju zielonego przemysłu. Jeśli chodzi o sztuczną inteligencję i cyfryzację produkcji, Stany Zjednoczone są niekwestionowanym liderem, podczas gdy Chiny pozostają daleko w tyle, a Europa praktycznie nie rozpoczęła jeszcze poważnych działań w tym obszarze.

Rekonfiguracja globalnych łańcuchów wartości to obszar, w który angażują się wszyscy główni gracze – Stany Zjednoczone, Niemcy, Francja, Włochy, Wielka Brytania i inne kraje, które potrafią korzystać z narzędzi otwartej gospodarki.

W kwestii zmian demograficznych Stany Zjednoczone postrzegają je jako mniej istotny problem, ponieważ lewicowi demokraci zakładają, że rozwój sztucznej inteligencji, robotyki i przyspieszenie technologiczne skompensują ewentualne deficyty demograficzne.

Warto również przyrzeć się największym firmom na świecie pod względem kapitalizacji rynkowej. W pierwszej dziesiątce dominują firmy amerykańskie, z wyjątkiem dwóch: Saudi Aramco (pozycja szósta) i TSMC tajwańskiego producenta półprzewodników (pozycja dziewiąta). Wartości kapitalizacji tych firm są imponujące: Apple – 3,6 biliona dolarów, Nvidia – 3,3 biliona, Microsoft – 3,1 biliona, Alphabet (Google) – 2,3 biliona, Amazon – 2,3 biliona, Meta (Facebook) – 1,5 biliona.

Tesla również znajduje się w tym gronie, ale nie ze względu na produkcję samochodów, lecz dlatego, że jest postrzegana jako narzędzie do budowy potęgi w obszarze pojazdów autonomicznych. Wartość Tesli nie wynika z umiejętności produkcji karoserii czy montażu akumulatorów, ale z całego systemu sztucznej inteligencji (AI), który prawdopodobnie w perspektywie krótko- lub

średnioterminowej doprowadzi do stworzenia samochodów autonomicznych – czego inne podmioty nie są w stanie osiągnąć.

Jeśli przyjrzymy się tym wszystkim elementom, sytuacja staje się niezwykle interesująca. Całkowita kapitalizacja amerykańskich koncernów wynosi około 60 bilionów dolarów, z czego firmy związane ze sztuczną inteligencją mają łączną kapitalizację na poziomie 15,8 biliona dolarów. Co istotne, aż 15,5 bilionów z tej kwoty przypada na podmioty kontrolowane przez Stany Zjednoczone.

Warto zwrócić uwagę, że te narzędzia wzrostu rozwijają się w perspektywie zaledwie połowy pokolenia, czyli około 10 lat. Dla porównania, Apple, którego kapitalizacja wynosi 3,6 biliona dolarów, znacznie przewyższa wartość firm takich jak General Electric (225 miliardów dolarów), Lockheed Martin (105,5 miliardów) czy Boeing (135 miliardów). Firmy te budowały swoją potęgę przez dziesięciolecia, a nawet stulecia, podczas gdy Apple osiągnął swoją pozycję w stosunkowo krótkim czasie.

To, co przedstawiła agenda ONZ – United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) w tematyce produkcji przemysłowej, rzeczywiście wyznacza kluczowe obszary rozwoju. Jednak bogactwo i potęga są rozłożone nierównomiernie, z wyraźną koncentracją w Stanach Zjednoczonych. Wszystko, co związane z nowoczesnymi technologiami, tworzy gigantyczną przewagę dla tego unilateralnego państwa, co przekłada się na jego zdolność oddziaływania na cały świat.

Powstaje pytanie, czy ten proces będzie przyspieszał. Wydaje się, że tak, ponieważ do 2025 r. siedem kluczowych technologii przełomowych (*Emerging Disruptive Technologies* – EDT) osiągnie dojrzałość technologiczną. Są to: sztuczna inteligencja, zdolności obliczeniowe, systemy autonomiczne, technologie kwantowe, biotechnologia i udoskonalanie człowieka, technologie hipersoniczne oraz eksploracja przestrzeni kosmicznej. Te technologie zaczną rozwijać się w postępie wykładniczym, tworząc hybrydy poprzez łączenie rozwiązań z różnych obszarów. To z kolei przyniesie kolejne przyspieszenie wzrostu.

Można zatem założyć, że potęga nowych technologii związanych z EDT, zwłaszcza sztuczną inteligencją, wygenerowana w Stanach Zjednoczonych, będzie umacniała ich dominującą pozycję.

A jak wygląda koniec peletonu? Na przykład Republika Federalna Niemiec ma łączną kapitalizację wszystkich swoich firm na poziomie 2,3 biliona dolarów. Dla porównania, w Stanach Zjednoczonych w ciągu zaledwie połowy pokolenia powstały firmy o znacznie większej wartości niż te, które Niemcy budowały przez 130 lat. Przykładowo, Mercedes-Benz ma kapitalizację 55 miliardów



dolarów, BMW – 48 miliardów, a Volkswagen – 47 miliardów. Tymczasem Netflix jest wyceniany na 431 miliardów, Airbnb na 86 miliardów, a Booking na 162 miliardów dolarów.

Na końcu peletonu znajdują się tradycyjne modele gospodarcze, takie jak produkcja samochodów. Tesla, która łączy tradycyjną produkcję z nowoczesnymi technologiami, ma kapitalizację 1,2 biliona dolarów, podczas gdy Porsche – 56 miliardów, a Volkswagen – 47 miliardów. To pokazuje, jak stare technologie tracą na znaczeniu, co generuje poważne dylematy dla gospodarek opartych na tradycyjnych modelach przemysłowych.

Pojawia się zatem pytanie, czy kapitalizacja jest jedynym wskaźnikiem potęgi i czy skala produkcji ma znaczenie. Wszystko to prowadzi do szerszej refleksji na temat ładu energetycznego w Europie, który obecnie opiera się na dominacji odnawialnych źródeł energii. Czy ten model jest w stanie utrzymać się w obliczu zmieniającego się środowiska globalnego, czy też zostanie zmuszony do rekonfiguracji pod wpływem zewnętrznych sił?

Przedstawiam te elementy na poziomie globalnym, aby poddać je analizie i sprawdzić, jak mogą wpływać na przyszłość energetyki i gospodarki.

Czy skala produkcji ma znaczenie? Jeśli przyjrzymy się wpływowi sztucznej inteligencji (AI) na gospodarkę Stanów Zjednoczonych, okazuje się, że firmy związane z AI generują około 54% PKB Stanów Zjednoczonych za 2024 r. Jednocześnie wartość giełdowa tych firm jest równa 84% PKB Chin i aż 337% PKB Niemiec za ten sam okres.

Patrząc na nominalne wartości PKB, gospodarka Stanów Zjednoczonych wygenerowała 28,7 bilionów dolarów, Chin – 18,53 biliona, Niemiec – 4,59 biliona, Francji – 3,13 biliona, a Włoch – 2,33 biliona. Te liczby pokazują skalę wyzwania, przed którym stoją europejscy politycy i ekonomiści, próbujący stworzyć ład ekonomiczny zdolny konkurować z tempem narzuconym przez Stany Zjednoczone.

Warto wspomnieć o raporcie Mario Draghiego, który próbuje odpowiedzieć na pytanie, dlaczego w 2010 r. PKB Stanów Zjednoczonych i państw Unii Europejskiej było na podobnym poziomie (13 bilionów dolarów każdy), podczas gdy dziś Stany Zjednoczone osiągają 28 bilionów, a Europa pozostaje na poziomie 13 bilionów.

Moja hipoteza badawcza jest taka, że model rozwojowy zaproponowany w raporcie Draghiego jest niewystarczający, ponieważ nie uwzględnia głównych dynamik charakterystycznych dla unilateralnego mocarstwa, jakim są

Stany Zjednoczone. Narzędzia zaproponowane w tym raporcie prawdopodobnie nie doprowadzą do skutecznych rozwiązań.

Według raportu agendy ONZ z października, sytuacja wygląda niepokojąco. Prognozy na 2030 r. wskazują, że aż 45% światowej produkcji przemysłowej będzie obsługiwane przez Chiny. Dla porównania, w momencie przyjęcia Chin do WTO ich udział wynosił zaledwie 6%. Oznacza to, że jeśli ta prognoza się spełni to Chiny w ciągu 30 lat, czyli półtora pokolenia, staną się dominującym producentem przemysłowym na świecie.

Z perspektywy Stanów Zjednoczonych, mocarstwa stosującego unilateralne instrumenty polityczne, pojawia się poważny dylemat. Czy gigantyczna przewaga w dziedzinie sztucznej inteligencji i technologii przełomowych wystarczy, aby utrzymać globalną dominację, skoro obecne procesy nieuchronnie prowadzą do dezindustrializacji? Dezindustrializacja dotyczy nie tylko Stany Zjednoczone, ale także państwa europejskie. Przykładowo, udział Niemiec w światowej produkcji przemysłowej spadł z 8% w 2000 r. do prognozowanych 3% w 2030 r. To pokazuje, jak megatrendy wpływają na tradycyjne modele ekonomiczne.

Kluczowe pytania, które się pojawiają, dotyczą przyszłości Stanów Zjednoczonych i ich wpływu na Unię Europejską oraz pośrednio na Polskę:

1. Czy sztuczna inteligencja i technologie przełomowe (EDT) generujące przewagi komparatywne USA zapewnią im dominację w rywalizacji geoeconomicznej?
2. Czy dotychczasowe polityki przemysłowe, takie jak przenoszenie łańcuchów wartości i zielona transformacja, osłabiają zdolności przemysłowe Stanów Zjednoczonych?
3. Czy Stany Zjednoczone, w obliczu wyczerpywania się jednobiegunowego modelu świata, mogą utrzymać swoje twarde bezpieczeństwo, dominując w sztucznej inteligencji i technologiach przełomowych, jednocześnie akceptując dezindustrializację swojej gospodarki?
4. Czy transformacja energetyczna przyspiesza wzrost gospodarczy Chin?
5. Jeśli Stany Zjednoczone zdecydują się na powrót do paliw kopalnych, jak będą postrzegać transformację energetyczną w Unii Europejskiej – jako sojusznik wartości, wyzwanie, zagrożenie, czy będą wobec niej obojętne?

W świecie amerykańskich geopolityków i strategów narasta przekonanie, że model cywilizacyjny, w którym Stany Zjednoczone przeniosły produkcję przemysłową do Chin, może okazać się niefunkcjonalny w sytuacji, gdy ich dominacja militarna i globalny ład są kwestionowane. W obliczu fluktuacji i twardych zagrożeń odpowiedź wydaje się prosta.

Wcześniej realizowaliśmy te działania, ale teraz zmierzamy w kierunku modelu decouplingu, czyli stopniowego „rozwołu” z Chinami. Jak na to odpowiada Unia Europejska? Według kanclerza Scholza strategią UE jest de-risking, czyli redukcja ryzyka. Oznacza to, że Unia nie rezygnuje z kierunku współpracy z Chinami, zwłaszcza w obszarze transformacji energetycznej, która pozostaje kluczowym narzędziem realizacji celów gospodarczych. Jednocześnie dąży do minimalizacji zagrożeń związanych z tą współpracą.

Dla Stanów Zjednoczonych ten model wydaje się krytyczny. Możliwe, że obecna administracja podejmie działania w odmienny sposób niż poprzednia, co może znacząco wpłynąć na proces transformacji energetycznej. Dlaczego? Odpowiedź można znaleźć w slajdzie z filmu pt. „Nowa Geopolityka Ropy Naftowej” przedstawionego w cyklu „Good Times, Bad Times” na YouTube w sierpniu 2024 r. To wzorzec modelu idealnego z 2015 r., oparty o Porozumienie Paryskie zawarte pod auspicjami ONZ, w którym wszystkie państwa świata zobowiązały się do eliminacji paliw kopalnych i przejścia na odnawialne źródła energii.

W tym porozumieniu uczestniczą Kanada, Stany Zjednoczone, Unia Europejska, Rosja i Chiny. Wszyscy oni inwestują w nowe technologie, choć każdy z nich podąża nieco inną ścieżką.

W 2015 r., w ramach Porozumienia Paryskiego, świat podzielono na bogatych i biednych. Kraje rozwinięte, takie jak Kanada, Stany Zjednoczone, Unia Europejska, Rosja i Chiny, zobowiązały się do eliminacji paliw kopalnych i przejścia na odnawialne źródła energii. Jednocześnie tradycyjne modele energetyczne, oparte na węglu i innych paliwach kopalnych, zostały „wypchnięte” do krajów znajdujących się poniżej tego poziomu – od Meksyku w dół, przez Amerykę Południową. W ten sposób narzucono nowe normy i systemy wartości, co było stosunkowo łatwe w kontekście współpracy między agendą europejską a administracją prezydenta Obamy.

W 2019 r. Unia Europejska ogłosiła Europejski Zielony Ład – wielką transformację energetyczną. Jej rdzeniem są postanowienia Porozumienia Paryskiego, które zakładają eliminację dotychczasowych modeli energetycznych poprzez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i wymóg przygotowania przez wszystkie państwa planów redukcji emisji dwutlenku węgla.

Jeśli odłożymy na bok warstwę retoryki opartej na emocjach i altruizmie, wyłaniają się twarde narzędzia geoeconomiczne. Europejski Zielony Ład to nie tylko strategia na rzecz wzrostu, którego korzyści mają przewyższać koszty, ale także plan zmiany stylu życia, pracy, produkcji i konsumpcji. Ma on prowadzić do zdrowszego życia i bardziej innowacyjnych przedsiębiorstw.

W praktyce jednak za każdym razem mamy do czynienia z narzędziami służącymi budowie potęgi, tworzeniu nowych polityk przemysłowych i narzucaniu tych modeli innym zgodnie z logiką geoeconomiczną.

Wszyscy możemy włączyć się w ten proces i skorzystać z możliwości, które on stwarza. Dzięki szybkim i zdecydowanym działaniom gospodarka Unii Europejskiej ma szansę stać się światowym liderem. Na podstawie tych założeń w dokumentach planistycznych Unii, zwanych komunikatami (choć w rzeczywistości są to strategie), znajdują się precyzyjne szacunki. Według nich wartość światowych rynków energii odnawialnej do 2050 r. wyniesie 24 biliony euro, a rynków efektywności energetycznej – 33 biliony euro. Unia postrzega tę zmianę jako ogromną szansę dla gospodarek na całym świecie.

Jednak pojawia się pytanie: czy ten idealny model jest nadal aktualny? Wybudowaliśmy ład, kontrolujemy znaczną część świata, a główne potęgi grają w tej samej orkiestrze. Jednak obecnie prawdopodobnie mamy do czynienia z przesileniem. To przesilenie można opisać, obserwując deklaracje byłego prezydenta Trumpa, zarówno z czasów kampanii, jak i obecnych. Trump stanowczo twierdzi, że 10 bilionów dolarów przeznaczonych na transformację energetyczną to marnotrawstwo. Zapowiada, że zamiast tego przeznaczy te środki na budowę dróg w Stanach Zjednoczonych. Jego podejście jest proste: jeśli chcesz jeździć samochodem elektrycznym – to twoja decyzja. Jeśli wolisz auto na ropę – również twoja sprawa. Państwo nie będzie jednak wspierać tych technologii.

Jak zawsze w polityce, istnieje przepaść między deklaracjami a rzeczywistością. Niemniej jednak widać, że pewien proces został uruchomiony. Przykładem jest polityka wodorowa Stanów Zjednoczonych, realizowana poprzez politykę państwową opartą na ustawie *Inflation Reduction Act* – IRA, która odpowiada za inwestycje w wysokości 0,8 bln dolarów m.in. w nowe technologie odnawialne. To pokazuje, że ogromne środki finansowe są przeznaczane na przełomowe rozwiązania technologiczne.

Raport Mario Draghiego opierał się na założeniu, że Unia Europejska, a zwłaszcza jej najsilniejsze gospodarki, powinny skupić się na wewnętrznym mainstreamie Europy. Warto zauważyć, że dokument ten nie był konsultowany z takimi krajami, jak Polska czy inne państwa spoza głównego nurtu. Jego przygotowanie i moderowanie odbywało się w ścisłej współpracy z Republiką Federalną Niemiec, Republiką Włoską i Republiką Francuską. Innymi słowy, strategiczny kierunek, w którym ma zmierzać Unia Europejska, został zdefiniowany przez główne państwa, podczas gdy inne kraje nie były uwzględniane.

Powstaje pytanie, czy ten model jest do utrzymania w sytuacji, gdy globalny ład ulega zmianie. W idealnym scenariuszu, opracowanym przez

międzynarodową agencją o nazwie IRENA – *International Renewable Energy Agency* projekt na 2050 r. zakłada, że bioenergia zastąpi ropę i węgiel, a wodór, energia elektryczna, metanol i amoniak staną się głównymi źródłami energii. Ropa i paliwa kopalne mają praktycznie zniknąć. Jeśli spojrzymy na dane z 2020 r. i porównamy je z prognozami na 2050 r., widać, jak gigantyczny skok technologiczny i infrastrukturalny musiałyby nastąpić w ciągu zaledwie półtora pokolenia. To prawdziwa rewolucja.

W raporcie M. Draghiego kluczowymi narzędziami są dekarbonizacja, digitalizacja i przemysł zbrojeniowy. Jeśli jednak przyjrzymy się priorytetom widać, że największy nacisk położono na dekarbonizację, średni na digitalizację, a najmniejszy na przemysł zbrojeniowy. Ta logika wynika z analizy, ile środków można pozyskać z PKB poszczególnych państw na cele zbrojeniowe, a ile można zebrać od 440 milionów obywateli Unii Europejskiej poprzez codzienne opłaty za energię elektryczną czy systemy mobilności – niezależnie od tego, czy korzystają ze stacji benzynowych, wodorowych, czy ładowarek elektrycznych. Dlatego dekarbonizacja stała się kluczowym narzędziem i głównym pomysłem na przyszłość.

Digitalizacja to temat, który budzi frustrację. Jeśli nie podjęliśmy żadnych działań, nie przygotowaliśmy gruntu pod rozwój, to jak możemy konkurować z gospodarką Stanów Zjednoczonych, która jest już w pełnym rozpędzie i wkrótce zacznie łączyć dojrzałe technologie sztucznej inteligencji w hybrydowe rozwiązania?

Kolejne pytanie dotyczy czasu, który jest nieubłagany. Raport M. Draghiego powstał w specyficznym kontekście politycznym – w okresie, gdy władzę sprawowali demokraci, a kontynuacja wielkich polityk, takich jak transformacja energetyczna, była priorytetem. Ogromne środki finansowe były wówczas przeznaczane na rozwój i przełomowe technologie, co uznawano za jedyną słuszną drogę. W odpowiedzi na to Unia Europejska dąży do pewnego poziomu centralizacji, gromadząc środki od wszystkich państw członkowskich, aby następnie dystrybuować je wśród uprzywilejowanych podmiotów.

Chciałem pokazać Państwu, jak wygląda logika tzw. Niemieckiej Szkoły Historycznej w Unii Europejskiej. Gdy przyjrzymy się modelom ekonomicznym budowanym w Unii, można dostrzec nawiązania do XIX-wiecznego modelu wzrostu i rozwoju, który powstał w Cesarstwie Niemieckim. Choć nazwa „Niemiecka Szkoła Historyczna” może być myląca, bo nie ma bezpośredniego związku z historią, to w praktyce przypomina to system gospodarki planowanej, tyle że bardzo dobrze zorganizowany. Planiści łączą tu różne elementy, a jeśli coś nie idzie zgodnie z planem, konsekwencje są natychmiastowe.

Najlepszym przykładem tej logiki jest model rozwoju rynku wodoru. Unia Europejska planowała, że wodór będzie produkowany wyłącznie przez nowo budowane farmy wiatrowe na morzu. Dlaczego na morzu? Ponieważ Unia stawia na zrównoważony rozwój, a Niemcy unikają wewnętrznych przełomów, które mogłyby wywołać niezadowolenie społeczne i zagrozić pozycji dotychczasowych elit władzy. Dodatkowo, mając dobrze rozwinięty przemysł stoczniowy, elektrotechniczny, mechaniczny, stalowy i hutniczy, wypchnięcie tradycyjnych jednostek morskich i zastąpienie ich morskimi farmami wiatrowymi wydaje się idealnym rozwiązaniem. W ten sposób istniejące ciągi technologiczne, które dotychczas obsługiwały przemysł stoczniowy, mogą zostać zaadaptowane do nowych celów.

W efekcie tej logiki przyjęto założenie, że wodór będzie produkowany wyłącznie przez morskie farmy wiatrowe. Wykluczono energię atomową, fotowoltaikę oraz lądowe farmy wiatrowe. Skutkiem tej polityki jest wysoki koszt końcowy wodoru odnawialnego, który jest dodatkowo obwarowany systemem certyfikacji i normatywów. To pozwala na eliminowanie jednych producentów i premiowanie innych.

Amerykanie podchodzą do tego zupełnie inaczej. Uważają, że wodór odnawialny jest niekonkurencyjny, ale można to zmienić, inwestując ogromne środki. W ten sposób redukują koszty na każdym etapie – od elektrolizerów, przez turbiny, transport, magazynowanie, po dystrybucję. Na przykład w elektrolizerach, które obecnie mają małą moc, inwestują w zwiększenie ich wydajności. Efekt? W ciągu 10 lat koszt 1 kilograma wodoru odnawialnego ma spaść do 1 dolara.

Tymczasem w Unii Europejskiej taki koszt jest praktycznie nieosiągalny. Według prognoz, nawet do 2050 r. wodór będzie wymagał dofinansowania. Amerykańska administracja działa w sposób elastyczny – określa, ile środków trzeba zainwestować, aby osiągnąć cel w ciągu 10 lat. Unia Europejska nie pracuje w ten sposób, co sprawia, że jej modele są mniej funkcjonalne i nieelastyczne.

Pojawiają się zatem kolejne dylematy:

1. Czy głęboka transformacja energetyczna w Unii Europejskiej jest możliwa bez wsparcia ze strony Stanów Zjednoczonych, które są liderem globalnej gospodarki?
2. Czy proces ten może być kontynuowany bez korekt, zwłaszcza w sytuacji, gdy Stany Zjednoczone wracają do paliw kopalnych i redukują fundusze na zieloną transformację?
3. Czy odwrót USA od transformacji energetycznej wpłynie na przewagi komparatywne amerykańskiej gospodarki względem państw UE?



4. Czy ten proces osłabi, pozostanie obojętny, czy może nawet przyspieszy transformację energetyczną w Unii Europejskiej?

To są główne pytania, które można postawić, analizując obecne procesy i ich początki.

A jak to wygląda w Polsce? W najnowszym Krajowym Planie na rzecz Energii i Klimatu z października 2024 r., który określa, jak ma przebiegać transformacja energetyczna w Polsce, widać wyraźne zmiany. W poprzednim KPEiK zakładano, że w 2030 r. odnawialne źródła energii będą odpowiadać za 23% produkcji energii. Nowy dokument, przygotowany przez obecną koalicję, zakłada, że w 2030 r. będzie to 32%. Oznacza to wzrost o 50% w porównaniu z poprzednim planem.

Zaś w 2040 r. poprzedni dokument zakładał nieco poniżej 30% energii z OZE, podczas gdy nowy przewiduje 60%. To dwukrotny wzrost. Próbuje to mierzyć i analizować, aby sprawdzić, czy istnieje luka i miejsce na rozwój technologii SMR-ów, czy też jej nie ma.

W kształtowaniu polityki kluczowe są narzędzia takie jak prawo, administracja i sama polityka. To one wpływają na procesy technologiczne, czyli na to, co inżynierowie projektują. Bez tej nadbudowy system po prostu nie działa. Te narzędzia mogą zarówno uruchamiać, jak i hamować rozwój poszczególnych technologii.

Jeśli przyjrzymy się kosztom tych technologii, warto zwrócić uwagę, że nawet SMR-y są wyceniane na około 21 milionów złotych za megawat mocy za instalowanej. To nieco mniej niż koszt dużego atomu, który w 2023 r. wynosi 26 milionów, a w 2040 r. ma spaść do 21 milionów. Jednak najciekawsze jest porównanie SMR-ów z logiką obecnej transformacji energetycznej.

W poprzednim cyklu planistycznym zakładano, że Polska nie jest w stanie kwestionować łańcuchów na poziomie globalnym i regionalnym. Dlatego starano się optymalizować model rozwoju energetyki tak, aby rachunek końcowy dla gospodarki był jak najniższy. W uproszczeniu chodziło o to, aby zastąpić węgiel atomem. Jednak mały atom nie miał wielu zwolenników, ponieważ uważano, że technologia ta nie jest jeszcze wystarczająco dojrzała.

Warto jednak zwrócić uwagę na koszty. Wielkoskalowy reaktor jądrowy kosztuje 24-26 milionów za megawat, SMR-y – 21 milionów, a morskie farmy wiatrowe – między 11 a 14 milionów. Kluczowe jest jednak uwzględnienie czasu życia technologii. Wielkoskalowy reaktor jądrowy działa 60 lat, a mówi się o wydłużeniu tego okresu do 80-100 lat. Tymczasem farmy wiatrowe na morzu mają znacznie krótszy okres eksploatacji. Jeśli założymy, że farma



wiatrowa wymaga wymiany co 30 lat, to w ciągu 60 lat trzeba będzie ją wymienić dwa razy.

Dlatego przy liczeniu kosztów energii nie można patrzeć tylko na cenę jednego megawata mocy zainstalowanej, ale także na czas żywotności technologii. W przypadku SMR-ów nie ma jeszcze dokładnych danych na temat ich długości życia, ale można przypuszczać, że będzie porównywalna z wielkoskalowymi reaktorami. To sprawia, że przewagi SMR-ów są istotne.

Dlaczego jednak SMR-y nie zyskują popularności w Unii Europejskiej? Wracamy tu do logiki niemieckiej szkoły historycznej. Systemy regulacyjne w Unii są skonstruowane w taki sposób, że transformacja energetyczna, automatycznie narzuca obowiązki i limity produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Tymczasem każdy projekt związany z wielkoskalową energetyką jądrową wymaga długich uzgodnień z Komisją Europejską, w tym analizy, czy np. kontrakty różnicowe nie naruszają zasad konkurencyjności. Te same zasady nie są jednak stosowane w przypadku innych technologii, co prowadzi do nierównowagi.

Można postawić roboczą tezę, iż z opisanych wcześniej przyczyn koszt energii w państwach Unii Europejskiej będzie wysoki. Jeśli spojrzymy na statystyki, można wyciągnąć kilka podstawowych wniosków. Ład energetyczny w Unii opiera się na dominacji źródeł odnawialnych, a Polska powtarza te założenia. System oparty na OZE jest prawdopodobnie droższy niż ten oparty na energetyce jądrowej. W Polsce SMR-y i wielkoskalowa energetyka jądrowa pełnią rolę uzupełniającą – mają zapobiegać blackoutom i stabilizować system.

Rezygnacja z energetyki jądrowej jako podstawy systemu w Polsce i Unii Europejskiej prawdopodobnie generuje droższą energię niż u konkurentów. Jeśli na poziomie globalnym koalicja na rzecz transformacji energetycznej się rozpadnie, np. przez wycofanie się Stanów Zjednoczonych, Unia będzie zmuszona do wprowadzenia korekt. Wojny celne, przepływy kapitału czy ucieczka energochłonnych sektorów do USA staną się poważnym wyzwaniem dla europejskich gospodarek.

To może stworzyć szansę na szersze zastosowanie SMR-ów. Według Krajowego Planu na rzecz Energii i Klimatu (KPEiK), do 2040 r. w Polsce ma powstać 7 tys. MW mocy wytwórczej, z czego 3 750 MW ma pochodzić z elektrowni jądrowej w Choczewie. Jednak budowa dwóch dużych elektrowni jądrowych do 2040 r. wydaje się mało realna, co może oznaczać, że około 3 200 MW może przypaść na SMR-y.

---

SMR-y, po osiągnięciu dojrzałości technologicznej, mogą stać się bardziej atrakcyjne niż wielkoskalowa energetyka jądrowa. Dają one możliwość zastępowania bloków węglowych w elektrowniach, a także wykorzystania pary wodnej do procesów technologicznych lub ciepłownictwa, która to para jest odpadem w przypadku wielkoskalowych elektrowni. Ponadto, tempo budowy SMR-ów jest zbliżone do budowy farm offshore, a narzędzia regulacyjne, które wydłużają budowę dużych elektrowni jądrowych do 12-14 lat, tutaj nie mają zastosowania. SMR-y można stawiać szybko, reagując elastycznie na potrzeby rynku w perspektywie 3-5 lat. Mimo kosztów zbliżonych do wielkoskalowej energetyki jądrowej, SMR-y mają potencjał, by stać się atrakcyjnym rozwiązaniem.



Stowarzyszenie Absolwentów i Przyjaciół  
Wydziału Prawa Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego

Lublin 2025



Minister  
Nauki



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez  
Ministra Edukacji i Nauki w ramach Programu „Dokonała Nauka II”

