

Krzysztof Buta¹, Zuzanna Kloc-Połukord²

Uniwersytet Mikołaja Kopernika – Koło Naukowe Logistyki LOGITOR

Elektrownia jądrowa w Polsce – wybrane wyzwania logistyczne

A nuclear power plant in Poland – selected logistical challenges

Synopsis. Polski sektor energetyczny wymaga transformacji energetycznej, w związku z czym polski rząd planuje budowę elektrowni jądrowej. Według założeń w 2033 roku zostanie uruchomiony pierwszy blok elektrowni jądrowej na Pomorzu w lokalizacji Lubiatowo-Kopalino. Zanim to nastąpi, realizatorzy inwestycji będą musieli zmierzyć się z różnymi trudnościami. Celem artykułu było zidentyfikowanie wybranych wyzwań logistycznych, które mogą wystąpić przy budowie elektrowni jądrowej w Polsce. W odniesieniu do przyjętego celu rozpoznano takie problemy jak: lokalizacja elektrowni, zaopatrzenie w paliwo jądrowe, składowanie odpadów promieniotwórczych oraz usługi dodatkowe w logistyce na podstawie analizy literatury, a także metody badania źródeł wtórnych.

Słowa kluczowe: energia, odpady niebezpieczne, gospodarka odpadami, energia jądrowa, reforma energetyczna

Abstract. The energy sector in Poland requires an energy transition, and as a result, the government of Poland is planning to build a nuclear power plant. According to the assumptions, the first unit of the nuclear power plant in Pomerania at the Lubiatowo-Kopalino location will be put into operation in 2033. Before this happens, those responsible for the project will have to face various difficulties. The purpose of the article was to identify selected logistical challenges that may occur during the construction of a nuclear power plant in Poland. With regard to the adopted goal, such problems as the location of the power plant, nuclear fuel supply, nuclear waste storage, and ancillary services in logistics were recognized based on the analysis of the literature, as well as methods of desk research.

Keywords: energy, hazardous waste, waste management, nuclear energy, energy reform

JEL kody: O130, Q420, Q480

¹ Krzysztof Buta – Uniwersytet Mikołaja Kopernika – Koło Naukowe Logistyki LOGITOR, e-mail: krzysztofbuta2.0@gmail.com

² Zuzanna Kloc-Połukord – Uniwersytet Mikołaja Kopernika – Koło Naukowe Logistyki LOGITO, e-mail: 2kp2zkp@gmail.com

Wstęp

Polska branża energetyczna od lat zмага się z wieloma problemami. Głównym z nich jest oparcie energetyki na węglu. Według analiz środowiskowego *think tanku* Ember w 2030 roku ponad połowa energii elektrycznej w Polsce będzie wytwarzana z węgla, w tym prawie 70% z paliw kopalnych. Ponadto, Polska będzie odpowiadać za ponad 40% całkowitej produkcji energii elektrycznej z węgla w Unii Europejskiej (UE), co uplasuje polską sieć energetyczną jako najbardziej szkodliwą w UE [NECP Factsheet]. Polska energetyka węglowa jest niewydolna ze względu na wzrost kosztów wydobycia i spadek konkurencyjności wydobywanego węgla w stosunku do tańszego surowca na rynkach zagranicznych [Michalak i Szyja 2022]. Transformacja energetyczna jest konieczna ze względu na rosnące koszty energii, zmniejszające się zasoby węgla w kraju i braki w jego dostawach.

Zmiany w polskim sektorze energetycznym wymuszają także wydarzenia polityczne. Rada Europejska w grudniu 2019 roku zobowiązała kraje UE do dokonania znacznych zmian gospodarczych, w tym transformacji energetycznej, w ramach Europejskiego Zielonego Ładu do 2050 roku [Cire.pl]. Kolejnym znaczącym wydarzeniem była inwazja Rosji na Ukrainę w lutym 2022 roku, co skłoniło prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej do podpisania w kwietniu tego samego roku ustawy o szczególnych rozwiązaniach w zakresie przeciwdziałania agresji na Ukrainę oraz służących ochronie bezpieczeństwa narodowego. Na jej mocy zakazano importu węgla i koks z Rosji i Białorusi do Polski oraz tranzytu tych surowców przez terytorium naszego kraju [Ministerstwo Finansów 2020]. Za sprawą proekologicznych wymogów unijnych polski rząd ponownie stanął przed dylematem budowy elektrowni jądrowej. W październiku 2020 roku Rada Ministrów przyjęła uchwałę w sprawie aktualizacji „Programu polskiej energetyki jądrowej”, który zakłada budowę dwóch elektrowni jądrowych, w każdej po 3 reaktory o łącznej mocy 6–9 GWe. Uruchomienie reaktorów jest planowane od 2033 roku. Ostatni reaktor zostanie oddany do eksploatacji w 2043 roku [Ministerstwo Klimatu i Środowiska 2020]. Inwestycja ta jest jednym z głównych celów „Polityki energetycznej Polski do 2040 roku”, zatwierdzonej przez Radę Ministrów w lutym 2021 roku i jednocześnie sprzyja uniezależnieniu się od dostaw surowców z Rosji [Ministerstwo Klimatu i Środowiska 2021].

Na pomyślną realizację inwestycji składać się będzie m.in. logistyka całego przedsięwzięcia. Aby utrzymać istniejące i planowane obiekty w sektorze energetycznym, kluczowe jest wydajne korzystanie z dostępnych zasobów ludzkich, infrastruktury i sprzętu [DHL]. Wobec tego należy rozważyć, jakie trudności mogą pojawić się w trakcie budowy pierwszej w Polsce elektrowni jądrowej. Opracowanie stanowi podstawę do dyskusji zarówno dla przedstawicieli świata nauki, jaki i praktyki.

Cel i metodyka badań

Celem artykułu było zidentyfikowanie wybranych wyzwań logistycznych inwestycji, jaką jest wybudowanie elektrowni jądrowej w Polsce. Tak postawionemu celowi towarzyszą następujące pytania badawcze:

1. Jakie czynniki decydują o optymalnej lokalizacji elektrowni jądrowej?
2. Skąd będzie sprowadzany uran do Polski?
3. Gdzie będą unieszkodliwiane odpady promieniotwórcze?
4. Na jakie trudności mogą natrafić podmioty wykonawcze w czasie realizacji inwestycji?

W pracy przyjęto metodę przeglądu literatury i analizy źródeł wtórnych, w tym dokumentów, raportów i publikacji ze stron urzędowych i prasowych udostępnionych w serwisach Internetowych.

Lokalizacja elektrowni jądrowej

Wybór lokalizacji dla wybudowania elektrowni jądrowej powinien być poprzedzony zarówno dogłębными analizami determinant stymulujących, jak i ograniczających planowaną inwestycję. Przyszły obiekt będzie bowiem istotnie oddziaływał na otoczenie, a jego niewłaściwe zlokalizowanie może skutkować takimi problemami jak: niepotrzebne koszty transportu, trudności z zaopatrzeniem w surowce i utrata przewagi konkurencyjnej, czy katastrofy ekologiczne [Erdodań i Kaya 2016]. W związku z tym szczególną uwagę należy zwrócić na następujące kryteria:

- dostępność zasobów wodnych,
- dostępność systemów transportowych,
- odległość od skupisk ludności.

Przykładem spełniającym wskazane warunki jest elektrownia jądrowa Forsmark w Szwecji. Eksploatacja elektrowni jądrowej wymaga wykorzystania dużej ilości wody do chłodzenia reaktorów, dlatego tego typu obiekty lokalizuje się w pobliżu dużych zbiorników wodnych [Shahi i in. 2018]. Mniej wydajnym rozwiązaniem jest chłodzenie wodą z rzeki lub jeziora, w których temperatura wody pierwotnej jest ograniczona [Kubowski 2010]. Bliskość basenu Biotest w elektrowni jądrowej Forsmark do Morza Bałtyckiego jest istotnym aspektem związanym z dostępem do zasobów wody, które są niezbędne do procesu chłodzenia reaktorów jądrowych. W praktyce oznacza to, że elektrownia ma dostęp do dużych ilości wody morskiej, która jest używana do utrzymania optymalnej temperatury w reaktorach [Sandström 1985].

Pod względem logistycznym szczególną rolę odgrywa kryterium dostępności systemów transportowych. Zlokalizowanie elektrowni jądrowej w Forsmark blisko Morza Bałtyckiego najpierw było korzystne w kontekście dostarczenia dużych gabarytowo urządzeń podczas budowy i montażu obiektu, a następnie w trakcie jego eksploatacji umożliwiło transport świeżego i wypalonego paliwa [Jeziński 2004].

Odległość od skupisk ludności jest istotnym czynnikiem wpływającym na lokalizację elektrowni jądrowej ze względu na ochronę społeczeństwa przed możliwymi zagrożeniami na skutek awarii [Wang i in. 2018]. Ze względów bezpieczeństwa elektrownia powinna znajdować się na obszarach słabo zaludnionych [Shahi i in. 2018]. Forsmark to wioska, gdzie żyje niecałe 60 mieszkańców, a elektrownia jądrowa została wybudowana poza jej obszarem [Jesper 2022].

Zaopatrzenie w paliwo jądrowe

Wprawdzie elektrownia jądrowa w Polsce będzie funkcjonować dopiero od 2033 roku, to już należy pomyśleć o niezbędnych składnikach potrzebnych do jej funkcjonowania, np. o paliwie do reaktorów. W tym zakresie Polska ma kilka możliwości do rozważenia. Pierwszą z nich jest wydobywanie uranu na terenie kraju i produkcja paliwa. Alternatywnym działaniem może być importowanie paliwa jądrowego do

Polski. O tym, jak ważny jest dobór dostawców technologii reaktora i paliwa, świadczy przykład byłej ukraińsko-rosyjskiej współpracy. Pierwotnie reaktory jądrowe WWER-1000 konstrukcji rosyjskiej na Ukrainie były zaopatrywane w paliwo z Rosatomu, czyli spółki pochodzącej z Rosji. Ze względów politycznych już od 2005 roku rozpoczęła się dywersyfikacja dostaw paliwa jądrowego. Wymiana paliwa następuje w cyklach, dlatego proces ten był rozłożony w czasie [ZPP 2023]. Miejsce Rosjan w ukraińskiej energetyce zajęły Stany Zjednoczone, a Westinghouse zaczął dostarczać Ukrainie paliwo jądrowe. Ze względu na rosyjską inwazję na Ukrainę w lutym 2022 roku umocniła się współpraca z Ukrainą z Stanami Zjednoczonymi Ameryki Północnej. W czerwcu 2022 roku podpisano umowę na dostawy całego paliwa dla ukraińskiej infrastruktury jądrowej (15 reaktorów). Ponadto przystąpiono do prac nad rozbudową istniejących reaktorów z wykorzystaniem amerykańskich komponentów [PISM 2023].

Składowanie odpadów promieniotwórczych

Złożoność problemu, jakim jest składowanie odpadów promieniotwórczych, uwiadacznia sytuacja w Niemczech, gdzie zakończono eksploatację ostatnich reaktorów atomowych. Niemcy nie wybrały jeszcze miejsca na bezpieczne składowanie odpadów, w szczególności zużytego paliwa nuklearnego.

Prawo wymaga, aby odpady promieniotwórcze były przechowywane w podziemnych składowiskach, gdzie będą bezpieczne przez tysiąclecia. Przez długi czas niemieccy politycy liczyli, że składowisko zostanie utworzone na terenie gminy Gorleben na wschodzie landu Dolna Saksonia. Nieczynna kopalnia soli w Gorleben została wyznaczona na tę lokalizację ponad czterdzieści lat temu, ale ostatecznie została zamknięta z powodu nieodpowiednich warunków geologicznych. Wybór lokalizacji przez lata był przyczyną protestów. Źródłem krytyki był także brak konsultacji społecznych w sprawie tej decyzji [Thurau 2023].

W latach 1995–2011 przeprowadzono trzynaście transportów wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych, co ponownie wywołało protesty kilku tysięcy osób. Przypadek Gorleben skłonił do przyjęcia trzech zasad w procesie wyboru lokalizacji składowisk odpadów promieniotwórczych. Mając na uwadze podjęcie racjonalnej i sprawiedliwej dla społeczności decyzji, należy dokonać przeglądu wszystkich regionów kraju i znanych koncepcji stałego składowania. Zasada przejrzystości uwzględnia konsultacje społeczne na każdym etapie procesu i obserwację prac przez niezależną komisję społeczną. Z kolei kryterium naukowe ustanowiono nadrzędnym czynnikiem, które ma zapewnić wybór lokalizacji na podstawie obiektywnych czynników związanych z warunkami geologicznymi, zapewniając pełne bezpieczeństwo. Ponadto lokalizacja musi być asejsmiczna, niepodatna na powodzie i stabilna geologicznie przez ostatnie trzydzieści milionów lat [Kędzierski 2020]. Co więcej, aby odzyskać zaufanie, w 2013 roku wprowadzono w Niemczech ustawę o poszukiwaniu i wyborze składowiska odpadów nuklearnych, a następnie powołano komisję ekspercką, która w 2016 roku przedstawiła plan poszukiwania składowiska [Singh 2020].

Obecnie w Niemczech wysokoaktywne odpady promieniotwórcze są przechowywane w szesnastu tymczasowych składowiskach, tzw. centralnych magazynach tymczasowego składowania, a także w wyłączonych elektrowniach jądrowych. W byłej kopalni

rud żelaza Konrad w Salzgitter w Dolnej Saksonii wydzielono miejsce na odpady nisko- i średnioaktywne. Obiekt ma zostać ukończony w 2027 roku, a jego maksymalna pojemność wyniesie 303 000 m³. Dodatkowy problem stanowi kopalnia Asse II w Dolnej Saksonii, gdzie w latach 1976–1978 składowano bębny i beczki zawierające odpady nisko- i średnioaktywne. Każdego dnia wpływa tam 12 000 litrów wody, którą należy wypompować, więc do 2033 roku planuje się wydobycie składowanych odpadów. Zamknięcie kopalni Asse II jest przewidziane najwcześniej w 2050 roku, ale nadal nie określono dokładnego planu działań [Di Nucci i Brunnengräber 2023].

Podobna sytuacja dotyczy byłej kopalni soli Morsleben, gdzie przechowywane są również odpady nisko- i średnioaktywne ze względu na niewłaściwe warunki geologiczne dla trwałego składowania. W 1997 roku podjęto decyzję o zaprzestaniu składowania odpadów promieniotwórczych w Morsleben, a składowisko ma być ostatecznie zamknięte i zabezpieczone. Rozpoczęta w 2005 roku procedura w celu uzyskania pozwolenia na zamknięcie zakładu nie została jeszcze zakończona [NEA 2016].

Usługi dodatkowe w logistyce

Poza kwestiami dotyczącymi transportu, dostawy surowców i składowania odpadów równie ważne są usługi dodane związane z logistyką. Ich istotę obrazuje budowa trzeciego reaktora w elektrowni jądrowej w Olkiluoto w Finlandii. Stanowi ona także przykład inwestycji w elektrownię jądrową, której czas realizacji znacznie się wydłużył i koszty istotnie wzrosły. Elektrownia Olkiluoto w Eurajoki to jedna z dwóch siłowni jądrowych w Finlandii [Yle.fi].

W 2002 roku parlament Finlandii zatwierdził projekt budowy piątego reaktora jądrowego w kraju, który miał powstać w elektrowni Olkiluoto. Z uwagi na koszty operacyjne wybrano jednostkę EPR francuskiej firmy Framatome ANP o mocy 1600 MW. Z kolei spółka Siemens odpowiadała za dostawę turbin i generatorów. W grudniu 2003 roku podpisano kontrakt z konsorcjum firm Areva NP i Siemens. Dwa lata później rozpoczęto budowę, a na 2009 roku zaplanowano uruchomienie bloku. Ze względu na brak odpowiednich kwalifikacji konsorcjum Areva-Siemens zlecało zadania podwykonawcom, którzy często popełniali błędy. Jednocześnie utrudniło to stronie fińskiej kontrolę ich pracy i monitorowanie kwestii bezpieczeństwa. Przeszkodą były również bariery językowe [Ruuska i in. 2011]. Na budowie pojawiało się wiele trudności, np. pękły zawory bezpieczeństwa ciśnieniowego, wykryto wadliwe elementy w awaryjnych generatorach oraz niepokojące drgania w przewodzie wyrównawczym ciśnienia [Kucharczyk i Vanttinen 2020].

Problemy na budowie dotyczyły nie tylko jakości materiałów, ale także braków kadrowych (specjaliści z dawnych budów byli już na emeryturach), zarządzania i współpracy z dostawcami. Fińska Agencja ds. Bezpieczeństwa Radiacyjnego i Jądrowego (STUK) w czasie budowy często zgłaszała zastrzeżenia do przedsięwzięcia. Dopiero w marcu 2019 roku przyznano koncesję na trzeci blok, a STUK zgodził się na załadunek paliwa w marcu 2021 roku. Uruchomienie reaktora było przekładane ze względu na prace remontowe i inspekcję turbin. Kolejne przesunięcia rozpoczęcia eksploatacji w 2022 roku były usprawiedliwiane problemami w realizacji inwestycji. Trzeci reaktor w elektrowni jądrowej w Olkiluoto w Finlandii został uruchomiony 13 lat po planowanym terminie i tym samym jest najdłużej budowanym blokiem jądrowym w Europie [Kwinta 2021].

Zakładano, że Olkiluoto 3 będzie niedrogą inwestycją o wartości 3 mld EUR i ukończoną już w 2009 roku. Liczne przeszkody i opóźnienie realizacji przedsięwzięcia o 13 lat spowodowały wzrost kosztów do około 11–13 mld EUR. Nad finalizacją projektu pracowało ponad 1,5 tys. specjalistów [Kucharczyk i Vanttinen 2020]. Elektrownia Olkiluoto będzie dostarczać około 30% energii dla kraju (z czego 14% generowane przez trzeci reaktor); [Stachura 2021].

Dyskusja na temat przyszłej budowy elektrowni jądrowej w Polsce

Przedstawione problemy związane z funkcjonowaniem elektrowni jądrowej służyły identyfikacji i zasygnalizowaniu możliwych wyzwań, które mogą czekać Polskę w realizacji podobnego przedsięwzięcia. Zlokalizowanie szwedzkiej elektrowni jądrowej Forsmark blisko Morza Bałtyckiego spełniło kryteria dostępności zasobów wodnych i systemów transportowych. Wykorzystanie przez Polskę wód Bałtyku zwiększy efektywność pracy elektrowni, ale będzie wymagać użycia materiałów odpornych na korozję, co wpłynąć może na wzrost kosztów budowy. W przypadku położenia z dala od zbiorników wodnych wiązałoby się z koniecznością budowy dodatkowej infrastruktury np. chłodni kominowych [Fabisiak i in. 2011]. Z kolei lokalizacja elektrowni w pobliżu węzłów transportowych z zachowaniem bezpiecznej odległości umożliwi przewóz elementów konstrukcyjnych potrzebnych do budowy obiektu, a później paliwa jądrowego i odpadów radioaktywnych. W przypadku Szwecji czynnikiem sprzyjającym określonej lokalizacji elektrowni jądrowej była niska gęstość zaludnienia. Przy powierzchni 450 km² liczba ludności w tym kraju jest w przybliżeniu czterokrotnie mniejsza niż w Polsce [Sokołowski i Mazgaj 2014].

W kontekście zaopatrzenia w paliwo jądrowe istnieją dwa rozwiązania. Obecnie w Polsce nie funkcjonuje kopalnia uranu i tym bardziej nie produkuje się prętów paliwowych wypełnionych pastylkami uranowymi [Wiech 2022]. W latach 1947–1967 w kraju wydobywano uran, a w latach 1967–1971 produkowano koncentrat uranowy. Po 1989 roku nie prowadzono poszukiwań nowych złóż uranu, ale obecnie przygotowywane są projekty badawcze, np. w Sudetach i na Mierzei Wiślanej. Polskie zasoby uranu ocenia się na około 100 tys. ton, z czego zidentyfikowane zasoby wynoszą około 7 tys. ton [Strzelecki i Wołkiewicz 2019]. Zawartość uranu w rudzie uranowej w polskich złożach mieści się w przedziale od 250 do 1100 ppm (*parts per million*, czyli „części na milion” – w tym przypadku gramów na tonę). Planowana w Polsce elektrownia atomowa ma mieć dwa lub trzy reaktory o łącznej mocy co najmniej 3000 MW. Wykorzystanie w niej zidentyfikowanych krajowych zasobów uranu pozwoliłoby na produkcję energii przez około 56 lat [Ministerstwo Klimatu i Środowiska b.d.].

Mniej złożonym rozwiązaniem będzie importowanie paliwa jądrowego do Polski. Zgodnie z umowami obowiązującymi przy budowie pierwszej w Polsce elektrowni jądrowej za dostawę paliwa jądrowego odpowiadać będzie dostawca technologii reaktora. W tym przypadku budową elektrowni na Pomorzu zajmie się współwłaściciel wybranego przez rząd dostawcy technologii, czyli kanadyjskie przedsiębiorstwo Cameco, które jest liderem w produkcji paliwa uranowego z około 20-procentowym udziałem w światowym rynku [Kacprzak 2022]. W tej sytuacji w polskiej elektrowni najpewniej używany będzie atom z Kanady. Kolejnymi dużymi producentami uranu są Kazachstan, Namibia i Aus-

tralia [Wiech 2022], co wskazuje na brak geograficznej koncentracji. Ponadto wśród największych producentów znajdują się kraje o stabilnej sytuacji politycznej, z którymi Polska ma dobre relacje. To oznacza, że uran nie będzie wykorzystywany jako narzędzie polityczne do nacisków na inne państwa, tak jak w przypadku np. paliw kopalnych. W początkowej fazie będzie zatem można sprowadzać uran do polskiej elektrowni. Jednak jeśli rząd zdecyduje się na pozyskiwanie uranu z istniejących złóż, będzie można uniezależnić się od innych państw, co jednocześnie pozwoli na ograniczenie kosztów związanych ze sprowadzaniem tego surowca.

Poważne wyzwanie będzie stanowić składowanie odpadów promieniotwórczych z elektrowni. Przy czym od dawna w Polsce powstają takie odpady w szpitalach, klinikach i innych instytucjach wykorzystujących techniki izotopowe [Fabisiak i in. 2011]. Sprawę komplikuje planowane zamknięcie od 2030 roku Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie, które działa od 1961 roku i nie będzie w stanie przechowywać więcej odpadów z przyszłych elektrowni [M.P. 2020 poz. 1070]. Pomimo deklaracji, że do 2023 roku zostanie wybrana lokalizacja nowego składowiska powierzchniowego odpadów promieniotwórczych, problem lokalizacji tego obiektu jest wciąż aktualny. Na podstawie przykładu z Niemiec można stwierdzić, że wybór odpowiedniego miejsca na odpady będzie wymagał powołania komisji ekspertów, dokładnych badań potencjalnych lokalizacji i konsultacji społecznych, które mogą stanowić istotne utrudnienie. Wiele trudności sprawia zlokalizowanie magazynów tymczasowego składowania, lecz bardziej wymagającym wyzwaniem będzie później znalezienie miejsca na stałe składowisko.

Kontrola jakości materiałów, współpraca z dostawcami, zarządzanie, ale także braki kadrowe miały istotny wpływ na czas trwania i koszty fińskiej inwestycji. Jej przykład stanowi przestrożę przed zbyt optymistycznym planowaniem i ukazuje potencjalne trudności na różnych etapach budowy. Konsorcjum AREVA-Siemens kierowało się bardziej kryterium ceny niż doświadczeniem i możliwościami technicznymi. Wobec tego zaistniała konieczność częstszego kontrolowania dostawców. W tabeli 1 porównano główne założenia inwestycji w reaktor jądrowy w Polsce i w Finlandii z uwzględnieniem obecnego stanu.

Tabela 1. Porównanie inwestycji w reaktor jądrowy w Polsce i w Finlandii
Table 1. Comparison of investment in a nuclear reactor in Poland and Finland.

Budowa pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce na Pomorzu	Budowa trzeciego reaktora w elektrowni jądrowej w Olkiluoto w Finlandii
Start budowy pierwszego reaktora jest planowany w 2026 roku, a jego uruchomienie w 2033 roku	Budowa reaktora rozpoczęła się w 2005 roku, a na 2009 roku zaplanowano uruchomienie bloku. Reaktor uruchomiono z 13-letnim opóźnieniem
Obecnie nieznane koszty budowy pierwszego reaktora	Zakładano koszty inwestycji na poziomie 3 mld EUR, które z czasem wzrosły do ok. 11–13 mld EUR
Nierozwinięty sektor jądrowy: Polska ma tylko reaktor badawczy MARIA w Otwocku-Świerku, planowane zamknięcie od 2030 roku jedyne w Polsce składowiska odpadów radioaktywnych w Róźnie, brak nowej lokalizacji na składowisko	Rozwinięty sektor jądrowy: istnieją dwie elektrownie jądrowe, składowisko wypalonego paliwa jądrowego Onkalo jest w trakcie budowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Plachta 2017, Kucharczyk i Vanttinen 2020, Kwinta 2021, Wandas 2022, DGP 2023].

Z dokonanych analiz wynika, że problem budowy elektrowni jądrowych jest dużym ale jednocześnie koniecznym wyzwaniem dla polityki energetycznej. Głównym ograniczeniem zrealizowanych badań było bazowanie na analizie źródeł wtórnych. Kierunkiem dalszych eksploracji powinny być źródła pierwotne, w tym m.in. przeprowadzenie wywiadów z ekspertami sektora jądrowego.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione przykłady pokazują, że wybudowanie elektrowni jądrowej w Polsce jest bardzo dużą i skomplikowaną inwestycją, która w przyszłości może przynieść wymagać rozwiązania wielu problemów. W ramach realizacji celu zostały przedstawione wybrane przykłady elektrowni jądrowych. Przedstawione problemy takich inwestycji są dość trudne i złożone należy jednak mieć je na uwadze przy planowaniu budowy elektrowni jądrowej.

Wybór optymalnej lokalizacji elektrowni jądrowej powinien być poprzedzony kompleksową analizą środowiska naturalnego, otoczenia społecznego i technologicznego, aby zapewnić bezpieczeństwo podczas całego cyklu życia elektrowni. W przypadku zaopatrzenia w paliwo jądrowe Polska ma dwie możliwości. Może sama zacząć je produkować z dostępnych na terenie kraju złóż uranu. Jednak wymaga to kolejnych inwestycji. Drugim rozwiązaniem, wstępnie przyjętym przez polski rząd, jest korzystanie z dostaw paliwa jądrowego od dostawcy technologii reaktora.

Najbardziej kluczowym ze wszystkich wyzwań takiej inwestycji może okazać się składowanie odpadów radioaktywnych. Na potrzeby właściwej obsługi elektrowni, wszelkie działania powinny być sprawnie i spójnie zaplanowane. Niezbędna zatem będzie infrastruktura spełniająca wymogi bezpieczeństwa. Nie można pominąć również kwestii samego usługodawcy, który niewątpliwie musi mieć wiedzę, umiejętności i wykwalifikowaną kadrę do obsługi tak wymagającego zlecenia.

Dla zapewnienia korzyści dla społeczeństwa np. w postaci niższych kosztów energii, etapy budowy elektrowni jądrowej muszą być właściwie zintegrowane. Bez odpowiednio wybranych usługodawców i dostępnej infrastruktury, prace mogą się znacznie opóźnić, co wpłynęłoby negatywnie na efektywność i finalne koszty inwestycji.

Bibliografia

- Cire.pl, 2020: Neutralność klimatyczna Polski do 2050 roku – czy nam się to opłaca?, [źródło elektroniczne] <https://www.cire.pl/artykuly/opinie/155217-neutralnosc-klimatyczna-polski-do-2050-roku-czy-nam-sie-to-oplaca> [dostęp: 16.03.2023].
- DGP, 2023: Sasin: Koszty elektrowni jądrowej budowanej z Koreańczykami mogą sięgać 100 mld zł, *Dziennik Gazeta Prawna*, [źródło elektroniczne] <https://serwisy.gazetaprawna.pl/energetyka/artykuly/8677028,koszty-elektrowni-jadrowej-budowanej-z-koreanczykami.html> [dostęp: 15.03.2023].
- DHL, [źródło elektroniczne] <https://www.dhl.com/pl-pl/home/branza-sektory/energetyczna.html> [dostęp: 05.05.2023].

- Di Nucci, M. R., Brunnengräber, A., 2023: The Long Road Towards the Soft Nuclear Repository State: Nuclear Waste Governance in Germany, [źródło elektroniczne] <https://library.oapen.org/viewer/web/viewer.html?file=/bitstream/handle/20.500.12657/62421/978-3-658-40496-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [dostęp: 21.09.2023].
- Erdodaň M., Kaya I., 2016: A combined fuzzy approach to determine the best region for a nuclear power plant in Turkey. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1568494615007279?via%3Dihub> [dostęp: 21.06.2023].
- Fabisiak J., Kupiński J., Michalak J., Nowik H., 2011: Kryteria wyboru lokalizacji elektrowni jądrowej w Polsce, [źródło elektroniczne] <https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/transport-i-spedycja/item/81699-kryteria-wyboru-lokalizacji-elektrowni-jadrowej-w-polsce> [dostęp: 21.06.2023].
- Fabisiak J., Kupiński J., Michalak J., Nowik H., 2011: Problem odpadów promieniotwórczych w kontekście przyszłej elektrowni jądrowej zlokalizowanej w pasie nadmorskim. <https://www.logistyka.net.pl/bank-wiedzy/item/81448-problem-odpadow-promieniotwórczych-w-kontekscie-przyszlej-elektrowni-jadrowej-zlokalizowanej-w-pasie-nadmorskim> [dostęp: 15.03.2023].
- Jesper, 2022: Forsmark, Uppland – Exploring Sweden, Biveros.com, [źródło elektroniczne] <https://biveros.com/forsmark/> [dostęp: 23.09.2023].
- Jezierski G., 2004: Energetyka jądrowa w Szwecji. Najlepsza w surowym klimacie. <https://www.cire.pl/pliki/2/szwecja.pdf> [dostęp: 23.09.2023].
- Kacprzak I., 2022: Gram uranu jak trzy tony węgla, Rzeczpospolita, [źródło elektroniczne] <https://energia.rp.pl/atom/art37561701-gram-uranu-jak-trzy-tony-wegla> [dostęp: 20.06.2023].
- Kędzierski M., 2020: Tainted by Gorleben. The issue of radioactive waste storage in Germany. https://www.osw.waw.pl/sites/default/files/Commentary_360.pdf [dostęp: 21.09.2023].
- Kubowski J., 2010: Uwarunkowania lokalizacji elektrowni jądrowych, [źródło elektroniczne] <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPS1-0040-0038> [dostęp: 21.06.2023].
- Kucharczyk M., Vanttinen P., 2020: Finlandia: Niekończąca się historia trzeciego reaktora w Olkiluoto, [źródło elektroniczne] <https://www.euractiv.pl/section/energia-i-srodowisko/news/finlandia-atom-energia-atomowa-elektrownia-jadrowa-olkiluoto/> [dostęp: 15.03.2023].
- Kwinta W. 2021: Finlandia: po latach opóźnień uruchomiono reaktor w elektrowni Olkiluoto, [źródło elektroniczne] <https://inzynieria.com/energetyka/wiadomosci/63170,finlandia-po-latach-opoznien-uruchomiono-reaktor-w-elektrowni-olkiluoto> [dostęp: 12.03.2023].
- Michalak D., Szyja P., 2022: Szanse i bariery rozwoju energetyki jądrowej w Polsce w kontekście skutków emisji pyłów PM10 i PM2,5, [źródło elektroniczne] <https://212.191.64.21/handle/11089/44501> [dostęp: 15.03.2023].
- Ministerstwo Finansów, 2020: Embargo na import węgla z Rosji z podpisem Prezydenta, [źródło elektroniczne] <https://www.gov.pl/web/finanse/embargo-na-import-wegla-z-rosji-z-podpisem-prezydenta> [dostęp: 16.03.2023].
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2020: Program polskiej energetyki jądrowej – wersja z 2020 r. [źródło elektroniczne] <https://www.gov.pl/web/polski-atom/program-polskiej-energetyki-jadrowej-2020-r> [dostęp: 16.03.2023].
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2021: Polityka energetyczna Polski do 2040 r., [źródło elektroniczne] <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski> [dostęp: 16.03.2023].

- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, b.d.: Na ile lat wystarczy polskiego uranu? [źródło elektroniczne] <https://www.gov.pl/web/polski-atom/na-ile-lat-wystarczy-polskiego-uranu> [dostęp: 15.02.2023].
- NEA, 2016: Radioactive waste management programmes in oecd/nea member countries, [źródło elektroniczne] https://www.oecd-nea.org/rwm/profiles/germany_profile.pdf [dostęp: 21.09.2023].
- NECP Factsheet (Poland), Wizja czy podział?, [źródło elektroniczne] <https://ember-climate.org/app/uploads/2022/02/NECP-Factsheet-Poland-wersja-polska.pdf> [dostęp: 16.06.2023].
- PISM, 2023: Odwrot UE od rosyjskiej energetyki jądrowej, [źródło elektroniczne] <https://www.pism.pl/publikacje/odwrot-ue-od-rosyjskiej-energetyki-jadrowej> [dostęp: 23.09.2023].
- Plachta K., 2017: Prof. Jerzy Niewodniczański: Tylko atom może zastąpić węgiel, [źródło elektroniczne] <https://www.rp.pl/kraj/art10283541-prof-jerzy-niewodniczanski-tylko-atom-moze-zastapic-wegiel> [dostęp: 05.05.2023].
- Ruuska, I., Ahola, T., Artto, K., Locatelli, G., & Mancini, M., 2011: A new governance approach for multi-firm projects: Lessons from Olkiluoto 3 and Flamanville 3 nuclear power plant projects, [źródło elektroniczne] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786310001341> [dostęp: 20.09.2023].
- Sandström, U., 1985: The occurrence of waterfowl in the biotest basin at the Forsmark nuclear power plant, [źródło elektroniczne] https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:19088469 [dostęp: 23.09.2023].
- Shahi E., Sadat Alavipoor F., Karimi S., 2018: The development of nuclear power plants by means of modified model of Fuzzy DEMATEL and GIS in Bushehr, [źródło elektroniczne]. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117314429?casa_token=iPEed9Vv6psAAAAA:8fokpVYa23B4F6orcK0a7Ac0-iB6AQsCV9TdX3T7HDF-YMc4V-GIARozt6DpBZwjHjAeSgJgmW8 [dostęp: 21.06.2023].
- Singh G., 2020: Germany's nuclear waste problem might show us what the future looks like, [źródło elektroniczne] <https://www.fairplanet.org/editors-pick/germanys-nuclear-waste-problem-might-show-us-what-the-future-looks-like/> [dostęp: 21.09.2023].
- Sokołowski Ł., Mazgaj P., 2014: Przegląd szwedzkiego przemysłu jądrowego. <https://issuu.com/cosiw/docs/13> [dostęp: 23.09.2023].
- Stachura J., 2021: Finlandia uruchomiła reaktor elektrowni jądrowej po 13 latach opóźnienia, [źródło elektroniczne] <https://biznesalert.pl/finlandia-uruchomila-reaktor-elektrowni-jadrowej-po-13-latach-opoznienia/> [dostęp: 05.04.2023].
- Strzelecki R., Wołkiewicz S., 2019: Historia badań pierwiastków promieniotwórczych w PIG, [źródło elektroniczne], <https://www.pgi.gov.pl/jubileusz/publikacje/7015-historia-badan-pierwiastkow-promieniotworczych-w-pig-1/file.html> [dostęp: 18.06.2023].
- Thurau J., 2023: What now for Germany's remaining nuclear waste?, [źródło elektroniczne] <https://www.dw.com/en/nuclear-phaseout-germanys-remaining-nuclear-waste/a-65420338> [dostęp: 21.09.2023].
- Uchwała nr 154 Rady Ministrów z dnia 21 października 2020 r. w sprawie aktualizacji "Krajowego planu postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym" [M.P. 2020 poz. 1070].
- Wandas M., 2022: Już wiadomo: elektrownie atomowe zbudujemy z Koreą i USA. A gdzie, kiedy i za ile?, [źródło elektroniczne] <https://oko.press/elektrownia-atomowa-usa-korea> [dostęp: 11.03.2023].

- Wang, C.-N.; Su, C.-C.; Nguyen, V.T., 2018: Nuclear Power Plant Location Selection in Vietnam under Fuzzy Environment Conditions, [źródło elektroniczne], <https://www.mdpi.com/2073-8994/10/11/548> [dostęp:21.06.2023].
- Wiech J., 2022: Skąd Polska weźmie paliwo do elektrowni jądrowych?, [źródło elektroniczne] <https://energetyka24.com/atom/analizy-i-komentarze/skad-polska-wezmie-paliwo-do-elektrowni-jadrowych-analiza> [dostęp:14.05.2023].
- Yle.fi, 2019: Olkiluoto 3 reactor delayed yet again, now 12 years behind schedule, [źródło elektroniczne] <https://yle.fi/a/3-11128489> [dostęp: 20.09.2023].
- ZPP, 2023: Energetyka jądrowa – doświadczenia Ukrainy dla Polski, [źródło elektroniczne] <https://zpp.net.pl/energetyka-jadrowa-doswiadczenia-ukrainy-dla-polski/> [dostęp: 23.09.2023].