

RAPORT LISTOPAD 2020

ENERGETYKA JĄDROWA DLA POLSKI

PAWEŁ GAJDA
WOJCIECH GAŁOŚZ
URSZULA KUCZYŃSKA
ANNA PRZYBYSZEWSKA
ADAM RAJEWSKI
ŁUKASZ SAWICKI





INSTYTUT
SOBIESKIEGO

Instytut Sobieskiego
ul. Lipowa 1a lok. 20
00-316 Warszawa

PAWEŁ GAJDA, WOJCIECH GAŁOSZ, URSZULA KUCZYŃSKA
ANNA PRZYBYSZEWSKA, ADAM RAJEWSKI, ŁUKASZ SAWICKI

ENERGETYKA JĄDROWA DLA POLSKI



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Polskie Sieci
Elektroenergetyczne

Raport jest współfinansowany ze środków otrzymanych
z NIW-CRSO w ramach Programu PROO.



Narodowy Instytut Wolności
Centrum Rozwoju Społeczeństwa Obywatelskiego



Program Rozwoju
Organizacji
Obywatelskich
na lata 2018–2030

PROO

©Copyright by Instytut Sobieskiego 2020
ISBN 978-83-948806 -1-3

Projekt i produkcja: Piotr Perzyna
Okładka: Piotr Perzyna

 NOWEMEDIA24.PL

ENERGETYKA JĄDROWA DLĄ POLSKI

PAWEŁ GAJDA
WOJCIECH GAŁOSZ
URSZULA KUCZYŃSKA
ANNA PRZYBYSZEWSKA
ADAM RAJEWSKI
ŁUKASZ SAWICKI

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA MICHAŁA KURTYKI – MINISTRA KLIMATU I ŚRODOWISKA	6
PRZEDMOWA PROF. DR. HAB. SZYMONA MALINOWSKIEGO – FIZYKA ATMOSFERY I POPULARYZATORA WIEDZY NA TEMAT ZMIAN KLIMATU	8
REKOMENDACJE	11
1. WSTĘP	14
2. WSPÓŁCZESNA ENERGETYKA JĄDROWA	15
2.1. DOSTĘPNE NA RYNKU TECHNOLOGIE	15
2.2. BEZPIECZEŃSTWO ELEKTROWNI JĄDROWYCH	17
2.3. PRACA ELEKTROWNI JĄDROWEJ W SYSTEMIE ENERGETYCZNYM	19
2.4. POZYSKIWANIE PALIWA	22
2.5. POSTĘPOWANIE Z ODPADAMI	23
3. EKONOMICZNE ASPEKTY ENERGETYKI JĄDROWEJ	26
3.1. ZNACZENIE KOSZTU ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA GOSPODARKI	26
3.2. PEŁNY KOSZT ŹRÓDEŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ – PORÓWNANIE	27
3.3. WPŁYW ELEKTROWNI JĄDROWYCH NA GOSPODARKE	31
4. PERSPEKTYWA BIZNESOWA PPEJ	41
4.1. ŚRODOWISKO INWESTYCYJNE W PAŃSTWACH ZACHODNICH	41
4.2. MODELE BIZNESOWE DLA POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ	42
5. ODDZIAŁYWANIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH NA OTOCZENIE	45
5.1. OGÓLNIIE O ODDZIAŁYWANIACH	45
5.2. ODDZIAŁYWANIE W FAZIE WYDOBYCIA, PRZETWARZANIA I WZBOGACANIA	45
5.3. ODDZIAŁYWANIE W FAZIE EKSPLOATACJI ELEKTROWNI JĄDROWEJ	47
5.4. ODDZIAŁYWANIE W FAZIE SKŁADOWANIA	48
5.5. NATURALNY REAKTOR I SKŁADOWISKO W OKŁO	48
5.6. EFEKT SUBSTYTUCJI	49

6.	WPŁYW ENERGETYKI JĄDROWEJ NA SPOŁECZEŃSTWO	52
6.1.	ASPEKTY SPOŁECZNE WYKORZYSTANIA ENERGETYKI JĄDROWEJ	52
6.2.	STABILNOŚĆ I SPÓJNOŚĆ SPOŁECZNA	52
6.3.	ZDROWIE PUBLICZNE I WYKLUCZENIE TRANSPORTOWE	54
6.4.	STABILNOŚĆ I SPÓJNOŚĆ SPOŁECZNA W KONTEKŚCIE TZW. KOLAPSU	57
6.5.	ELEKTROWNIA JĄDROWA JAKO KOŁO ZAMACHOWE ROZWOJU REGIONU I LOKALNEJ SPOŁECZNOŚCI	57
6.6.	POPARCIE DLA ENERGETYKI JĄDROWEJ	59
6.7.	PRZECIWNICY ENERGETYKI JĄDROWEJ W POLSCE I NA ŚWIECIE	59
7.	BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE W KONTEKŚCIE ENERGII JĄDROWEJ	61
7.1.	WYMIAR EKOLOGICZNY I TECHNICZNY	61
7.2.	WYMIAR POLITYCZNY	62
7.3.	WYMIAR INSTYTUCJONALNY	64
7.4.	WYMIAR EKONOMICZNY	65
7.5.	ROLA ENERGETYKI JĄDROWEJ W TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ	66
8.	BIBLIOGRAFIA	68
9.	O AUTORACH	74



PRZEDMOWA MICHAŁA KURTYKI – MINISTRA KLIMATU I ŚRODOWISKA

Na całym świecie zużycie energii elektrycznej i zapotrzebowanie na nią wciąż wzrastają. Sprawia to, że nieunikniony jest dalszy, dynamiczny rozwój sektora elektroenergetycznego. Przyczyniając się do jego rozwoju nie możemy jednak zapomnieć o klimacie i środowisku, o naszej planecie, która jest naszym wspólnym domem. Wykorzystywanie paliw kopalnych do produkcji energii elektrycznej powoduje wzrost emisji gazów cieplarnianych i innych szkodliwych substancji wpływając negatywnie nie tylko na cały klimat, ale i na lokalną przyrodę. Biorąc odpowiedzialność za przyszłe pokolenia naszym obowiązkiem jest rozwijać te źródła energii, które są nisko- i zeromisyjne. Transformacja w kierunku energetyki niskoemisyjnej jest dosłownie palącą koniecznością – zdecydowana większość produkcji energii elektrycznej w Polsce wciąż opiera się na mocno wyeksploatowanych elektrowniach węglowych, dlatego trzeba znaleźć nowe źródło pozyskiwania energii. Chcąc działać odpowiedzialnie, ale także chcąc realizować cele zawarte w światowych i europejskich politykach klimatycznych, musimy przestawić naszą gospodarkę i energetykę na czyste źródła wytwarzania opierając ją na dwóch głównych filarach – odnawialnych źródłach energii oraz bezemisyjnej energetyce jądrowej.

Realizując transformację naszej energetyki musimy także pamiętać o bezpieczeństwie energetycznym, którego zasadniczą kwestią jest zapewnienie stałych, nieprzerwanych dostaw energii do naszych domów, firm i obiektów użyteczności publicznej. Oznacza to, że wyłączając coraz starsze elektrownie węglowe musimy je zastępować źródłami, które nie tylko są przyjazne środowisku, ale także gwarantują nam stałość dostaw energii bez względu na porę dnia i pogodę.

Elektrownie jądrowe wytwarzają czystą energię przez cały czas, niezależnie od warunków pogodowych. Paliwo jądrowe ładuje się do reaktora raz na półtora roku i można zgromadzić jego zapasy na terenie elektrowni nawet na kilkanaście lat. Jak pokazują ostatnie doświadczenia branży energetycznej są w stanie pracować nawet przez 80 lat. Dodatkowo instalacje te, w stosunku do wielkości produkowanej energii, zajmują bardzo mało miejsca i potrzebują niewielkich ilości materiałów, co sprawia że ich ślad środowiskowy, a więc skala oddziaływania na przyrodę jest niewielki w porównaniu do innych źródeł energii.

Z dużym zainteresowaniem przeczytałem niniejszy raport i bardzo dziękuję autorom za podjęty trud przedstawienia tak wielu zagadnień związanych z energią jądrową w tak kompleksowym ujęciu. Raport omawia zarówno kwestie ekonomiczne i społeczne, jak też dotyka niezwykle istotnych kwestii bezpieczeństwa i wpływu na środowisko. Wiedza na temat energetyki jądrowej jest kluczowa dla zrozumienia istoty tego źródła w systemie elektroenergetycznym oraz rozwianiu związanych z nią obaw. Wierzę, że niniejsza publikacja będzie istotnym wkładem w przekazywaniu tej wiedzy i zwiększaniu społecznej świadomości dotyczącej energetyki jądrowej. Serdecznie zachęcam Państwa do lektury. Zapewniam, że będzie to dobrze spożytkowany czas.

Minister Klimatu i Środowiska

Michał Kurtyka

PRZEDMOWA PROF. DR. HAB. SZYMONA MALINOWSKIEGO

– FIZYKA ATMOSFERY I POPULARYZATORA WIEDZY NA TEMAT ZMIAN KLIMATU

Z wielkim zainteresowaniem przeczytałem raport Instytutu Sobieskiego (IS) na temat energetyki jądrowej w Polsce, a ściślej mówiąc raport uzasadniający inwestycje w wielkoskalowe zawodowe elektrownie jądrowe najnowszej generacji. Nieco zakoczyła mnie propozycja napisania krótkiej przedmowy do Raportu. Nie jestem bowiem specjalistą od energetyki, ekonomiki produkcji energii i wielu innych zagadnień poruszanych w raporcie. Jestem specjalistą fizykiem atmosfery, który rozumie mechanizmy klimatyczne i niektóre podstawowe zagadnienia związane z reakcjami jądrowymi, energią, systemami złożonymi. W efekcie zgodziłem się napisać kilka słów, bo daje to okazję przedstawienia raportu IS w kontekście nie uwarunkowań polityczno-społeczno-gospodarczych (o czym w samym raporcie), ale narastającego zagrożenia globalnym ociepleniem i utratą bioróżnorodności.

Pozwolę sobie zacząć od zacytowania najważniejszych ustaleń nauki, podsumowanych w najnowszych Raportach Miedzyrządowego Panelu do spraw Zmiany Klimatu, szczególnie w **Specjalnym Raporcie IPCC dotyczącym ograniczenia globalnego ocieplenia klimatu o 1,5°C z roku 2018**, dodając skrotowe podsumowania wielu ważnych wniosków:

Szacuje się, że działalność ludzka spowodowała globalne ocieplenie o około 1,0°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej... Jeśli globalne ocieplenie będzie nadal postępowało w obecnym tempie, prawdopodobnie osiągnie 1,5°C między 2030 a 2052 r.

Trwające od epoki przedprzemysłowej do chwili obecnej ocieplenie, będące skutkiem emisji antropogenicznych, będzie zachodzić dalej przez stulecia a nawet tysiąclecia, a jego skutkiem będą dalsze długoterminowe zmiany w systemie klimatycznym, takie jak podnoszenie się poziomu morza i wynikające z niego konsekwencje.

Zagrożenia klimatyczne dla środowiska naturalnego i systemów antropogenicznych są w przypadku globalnego ocieplenia o 1,5°C wyższe niż obecnie, ale niższe niż przy ociepleniu o 2°C. Zagrożenia te zależą od wielkości i tempa ocieplenia, położenia geograficznego, poziomu rozwoju i podatności na zagrożenia, a także od wyboru i wdrożenia działań adaptacyjnych oraz opcji mitygacyjnych.

Przewiduje się, że każdy wzrost ocieplenia ponad 1,5°C będzie powodować **nieproporcjonalny do przyrostu temperatury wzrost negatywnych skutków ocieplenia**. Jeśli idzie o możliwości adaptacji do postępującej zmiany klimatu Raport IPCC donosi:

Granice zdolności adaptacyjnych można osiągnąć już przy ociepleniu o 1,5°C, a przy wyższych poziomach ocieplenia konsekwencje, zróżnicowane dla różnych sektorów i miejsc, będą wyraźniejsze zależnie od wrażliwości regionów, ekosystemów i zdrowia ludzkiego.

Co możemy zrobić, aby nie przekroczyć granic zdolności adaptacji? Nie będę tu snuł swoich własnych dywagacji, w tej kwestii cytowany raport IPCC daje jasną odpowiedź:

Ograniczenie globalnego ocieplenia wymaga ograniczenia globalnych skumulowanych antropogenicznych emisji CO₂ obejmujących okres od epoki przedprzemysłowej, tj. pozostania w granicach całkowitego budżetu węglowego.

Scenariusze ograniczające globalne ocieplenie do 1,5°C (...) wymagają szybkich i daleko idących transformacji w obszarach energii, wykorzystania terenu, miast i infrastruktury (w tym transportu i budynków) oraz systemów przemysłowych. Transformacje systemów są bezprecedensowe pod względem skali, choć niekoniecznie pod względem szybkości, i są związane ze znacznym ograniczeniem emisji we wszystkich sektorach, szerokim pakietem działań mitygacyjnych oraz znacznym wzrostem inwestycji w odpowiednich obszarach.

Opcje mitygacji adekwatne dla scenariuszy 1,5°C wiążą się z wieloma synergiami i kompromisami względem celów zrównoważonego rozwoju. Podczas gdy całkowita liczba możliwych synergii przekracza liczbę kompromisów, ich efekt netto będzie zależał od tempa i skali zmian, składu portfela działań mitygacyjnych oraz zarządzania transformacją.

Energia jądrowa (EJ) zwiększa swój udział w większości scenariuszy 1,5°C (...), choć w niektórych scenariuszach zarówno moc zainstalowana w elektrowniach jądrowych jak i udział EJ w produkcji energii maleją. W wielu scenariuszach i modelach rola energii jądrowej jest znacząco różna. Jedną z przyczyn tych różnic jest zależność przyszłego wykorzystania elektrowni jądrowych od ograniczeń związanych z preferencjami społecznymi przyjętymi w narracjach.

Co z tych doniesień nauki jest ważne dla nas i dla naszego kraju? Nasza energetyka charakteryzuje się jedną z najwyższych emisyjności w Europie i na świecie. Musimy podjąć szybki, zdecydowany i konsekwentny wysiłek dla dekarbonizacji energetyki i całej gospodarki. Dekarbonizacji, to znaczy zaprzestania spalania węgla zawartego w paliwach kopalnych (węgiel kamienny i brunatny, ropa naftowa i pochodne paliwa oraz gaz ziemny), a także węgla zawartego w biomasie. To ostatnie jest krytycznie ważne w świetle ostatniego raportu Międzyrządowej Naukowo-Politycznej Platformy o Bioróżnorodności i Usługach Ekosystemowych (IPBES) o zagrożeniu utratą bioróżnorodności.

Jakie środki dla szybkiej dekarbonizacji mamy? Przypomnijmy, że cała nasza działalność cywilizacyjna (gospodarcza i społeczna) wiąże się z wykorzystywaniem dostępnych w przyrodzie zasobów do wykonywania użytecznej pracy. Do tego potrzebny jest dostęp do źródeł energii. Musimy bardzo szybko, w ciągu najbliższych 30 lat zupełnie przestać korzystać ze źródeł energii związanych ze spalaniem węgla (carbon), i zastąpić je innymi. Powin-

niemy też zadbać o to, aby z jednostki energii pozyskiwanej z tych źródeł dostawać jak najwięcej użytecznej pracy. W praktyce znaczy to, że musimy jak najprędzej, w każdym aspekcie produkowania i wykorzystywania energii, przejść na źródła nieemisyjne (nie spalające węgla w dowolnej postaci), jednocześnie wkładając wielki wysiłek w efektywność energetyczną, gdyż marnotrawstwo energii wpływa niekorzystnie na bioróżnorodność i klimat.

I w tym kontekście należy przyjąć raport IS. Dotyczy on jednego z bardzo ważnych nieemisyjnych (ściślej niskoemisyjnych) źródeł energii – energetyki jądrowej – i zasadności jej rozwoju w warunkach polskich. Moim zdaniem to bardzo silny głos uzasadniający implementację takiej energetyki w Polsce. Czy jest to raport doskonały? Nie, ma swoje mankamenty. Merytoryczne i pozamerytoryczne. Jeśli idzie o te ostatnie, to nie jest raportem rządowym, przygotowanym przez szerokie spektrum specjalistów, najlepszych na jaki stać nasz kraj. Merytorycznie dotyczy tylko energetyki jądrowej, nie całego miksu energetycznego czy szerzej koniecznego kompleksu działań mitygacyjnych jakie nasz kraj musi podjąć w najbliższej przyszłości, a w zasadzie powinien podjąć już jakiś czas temu. Gorąco polecam wszystkim zainteresowanym zapoznanie się z tym raportem i wyciągnięcie wniosków. Na dziś, realistycznych, w oparciu o istniejące narzędzia i możliwości, bo decyzje w kwestii transformacji energetycznej, gospodarczej są już spóźnione w stosunku do wyzwań i potrzeb. A podejmować je trzeba, biorąc pod uwagę najważniejsze zasady zarządzania ryzykiem, uwzględniając w decyzjach zarówno możliwe dobre, jak i złe scenariusze.

REKOMENDACJE

Przedstawione poniżej Rekomendacje stanowią wynik z zagadnień poruszanych w Raporcie. Obejmują spostrzeżenia, wnioski i najważniejsze informacje dotyczące energetyki jądrowej.

1

Energetyka jądrowa to sprawdzone zeroemisyjne źródło energii, które powinno być wdrożone w Polsce.

W Polsce konieczne jest podjęcie decyzji o budowie nowych mocy wytwórczych opartych o technologie gwarantujące bezpieczeństwo i niezawodność dostaw energii. Energetyka jądrowa to dojrzała i sprawdzona technologia, która umożliwia dekarbonizację sektora elektroenergetycznego bez konieczności implementacji rewolucyjnych zmian w sposobie jego funkcjonowania. Oferowane dziś konstrukcje reaktorów lekkowodnych (ang. *Light Water Reactor*, LWR) dużej skali (umownie określane jako generacja III) stanowią ewolucyjne rozwinięcie rozwiązań stosowanych od wielu lat, co sprawia, że są one dopracowane i niezawodne. Jakkolwiek na rynku pojawiają się liczne propozycje odmiennych rozwiązań, zarówno w kontekście sposobu działania (np. reaktory wysokotemperaturowe – HTR, z ang. *High-Temperature Reactor*), jak i mocy (małe reaktory modułowe – SMR, z ang. *Small Modular Reactor*), technologie te nie są na dziś gotowe do wdrożenia na istotną skalę w energetyce zawodowej, co nie pozwala oprzeć o ich wykorzystanie aktualnie opracowywanych planów transformacji energetycznej.

2

Energetyka jądrowa to technologia bezpieczna

Zgromadzone od lat 50. ubiegłego wieku doświadczenie eksploatacyjne dowodzi, że energetyka jądrowa to jeden z najbezpieczniejszych sposobów produkcji energii elektrycznej. Dalsza poprawa bezpieczeństwa wciąż pozostaje priorytetem rozwoju technologii jądrowych, co znalazło odzwierciedlenie w aktualnie oferowanych konstrukcjach. Istotną rolę w zapewnianiu ciągłego bezpieczeństwa elektrowni jądrowych odgrywa transparentność branży i nadzór międzynarodowy. Ponadto przemysł jądrowy zapewnia pełen nadzór nad odpadami powstającymi we wszystkich etapach życia elektrowni oraz cyklu paliwowego (włączając wydobywanie i przerób uranu), co jest unikalnym podejściem na tle innych gałęzi gospodarki. Ponadto, dzięki niewielkiej objętości paliwa (co m.in. umożliwia jego magazynowanie na kilka lat do przodu) oraz elastyczności wyboru kierunku dostaw, pozytywnie wpływa m.in. na bezpieczeństwo energetyczne kraju.

3 Energetyka jądrowa jest niezbędna w realizacji neutralności klimatycznej przez Polskę

Polska powinna działać na rzecz osiągnięcia neutralności klimatycznej i adaptacji do zachodzących zmian regulacyjnych i wymogów środowiskowych.

Udział energetyki jądrowej w transformacji energetycznej gwarantuje niższy koszt przejścia do energetyki zeroemisyjnej i zapewnia skokowy przyrost stabilnej i zeroemisyjnej mocy w systemie, zapewniając jego skuteczną i głęboką dekarbonizację. Aby spełnić cele neutralności klimatycznej konieczne jest dalsze wykorzystanie energii jądrowej oraz jej dynamiczny rozwój.

4 Energetyka jądrowa korzystnie oddziałuje na gospodarkę

Można szacować, że realizacja w Polsce inwestycji opartej na budowie i eksploatacji elektrowni jądrowych o łącznej mocy od 6 do 9 GWe spowoduje utworzenie kilkudziesięciu tysięcy miejsc pracy, bezpośrednio i pośrednio, w zależności o tempa i ostatecznego zakresu PPEJ. Kolejne powstałe w wyniku pojawienia się nowej gałęzi przemysłu i zwiększenia wydatków konsumpcyjnych miejsca pracy, mogą podwoić te liczby. Badania wskazują, że atrakcyjne turystycznie regiony, w których jest zlokalizowana EJ, mogą czerpać z jej obecności na swoim terenie dodatkowe korzyści. Polska wdrażając program energetyki jądrowej miałaby szansę na ożywienie koniunkturalne i zbudowanie odporności gospodarki w przypadku wystąpienia w przyszłości podobnych kryzysów gospodarczych, jak ten zaistniały w związku z pandemią COVID-19.

5 Elektrownie jądrowe zapewniają tanią energię elektryczną

Oparcie transformacji polskiej energetyki na najtańszych źródłach energii, jakimi są elektrownie jądrowe, powinna być dla rządu sprawą priorytetową, a decyzje inwestycyjne powinny zapaść niezwłocznie. Każdy rok zwłoki generuje wymierne i znaczne straty gospodarcze, prowadzi do stopniowej likwidacji przemysłu i miejsc pracy, zwiększa ryzyko wystąpienia kryzysu społeczno-gospodarczego i osłabia obronność kraju. Powodem tego stanu rzeczy są szybko rosnące koszty energii dla odbiorców przemysłowych i postępująca utrata konkurencyjności polskich przedsiębiorstw na rynkach UE i światowych. Model biznesowy dla polskich elektrowni jądrowych musi być przemyślany, kompleksowy, akceptowalny i sprawiedliwy społecznie, ponieważ zdeterminuje rozwój Polski na następne 100 lat.

6 Poparcie społeczne dla energetyki jądrowej w Polsce jest stabilnie wysokie

Poparcie dla energetyki jądrowej w Polsce jest stabilnie wysokie, zarówno na poziomie całego państwa, jak i lokalnie. Polska opinia publiczna pozostaje czuła na argumenty ekonomiczne, bezpieczeństwa i niezależności energetycznej oraz na argument prestiżowy, związany z wdrożeniem energetyki jądrowej. Doświadczenia innych państw pokazują, że konsekwentna realizacja programów jądrowych przez rząd sprawia, że poparcie społeczne jeszcze wzrasta. W przypadku Polski oznacza to konieczność szybkiego podjęcia decyzji i konsekwentnej realizacji założeń. Jednocześnie potrzebne będą szerokie działania komunikacyjne ukierunkowane na rzetelne informowanie o korzyściach płynących z wykorzystania energetyki jądrowej.

7 Polski przemysł ma doświadczenie przy realizacji projektów jądrowych i skorzysta na rozwoju energetyki jądrowej w Polsce

Konieczne jest również jak najszybsze rozpoczęcie działań związanych z budową zaplecza technicznego dla nowej gałęzi przemysłu. W Polsce jest około 70 przedsiębiorstw, które mają kompetencje i świeżo nabyte doświadczenie z budowy obiektów jądrowych za granicą, a kilkaset kolejnych polskich firm jest w stanie takie kompetencje nabyć w krótkim czasie, w przypadku rozpoczęcia realizacji Programu polskiej energetyki jądrowej (dalej: PPEJ).

8 Model biznesowy dla polskiej energetyki jądrowej powinien uwzględniać zarówno interesy inwestorów jak i odbiorców energii.

Rząd powinien opracować nowy model biznesowy dla energetyki jądrowej, który będzie spełniał wszystkie wymienione niżej kryteria:

- pewność (stabilność) inwestycyjna i atrakcyjność dla inwestorów,
- gwarancja odbioru wyprodukowanej energii,
- gwarancja stałej ceny sprzedaży wyprodukowanej energii,
- zapewnienie niskich kosztów energii dla odbiorców i pewności dostaw,
- zgodność z prawodawstwem i strategiami unijnymi oraz możliwie duża odporność na ewentualne działania obstrukcyjne ze strony KE,
- łatwość i szybkość wdrożenia,
- kompleksowość i powtarzalność – możliwość zastosowania do całego PPEJ,
- minimalizacja obciążenia budżetu państwa i finansów publicznych,
- elastyczność,
- akceptowalność społeczna.

Przyjęty model powinien również wspomóc odbudowę polskiej gospodarki po kryzysie związanym z pandemią COVID-19. Powinien wspierać reindustrializację kraju i rozwój polskich przedsiębiorstw oraz w możliwie największym stopniu wykorzystywać polski kapitał, unikając nadmiernego zwiększania zadłużenia zagranicznego i pogłębiania deficytu handlowego.

1

WSTĘP

Dekarbonizacja i transformacja energetyczna Polski jest wyzwaniem na najbliższe dekady, które będzie wymagało zmiany podejścia w wielu aspektach: planistycznym, organizacji przedsiębiorstw, zapewnienia środków na realizację inwestycji, a przede wszystkim spójnej i zrównoważonej strategii, której głównym celem jest budowa nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki. Implementacja energetyki jądrowej w ramach synergii z OZE jest jedyną realną ścieżką, która umożliwi szybkie i sprawne osiągnięcie neutralności klimatycznej. Połowa krajów Unii Europejskiej (w tym Polska) wykorzystuje, lub ma zamiar rozwijać energetykę jądrową, w ramach szybszego i efektywnego programu dekarbonizacji. Na początku października 2020 r., Rada Ministrów przyjęła uchwałę w sprawie aktualizacji Programu polskiej energetyki jądrowej. Celem programu jest budowa oraz oddanie do eksploatacji elektrowni jądrowych, o łącznej mocy zainstalowanej od ok. 6 do ok. 9 GW. Niniejszy raport, podzielony na 6 części, odzwierciedla poszczególne aspekty wdrażania i funkcjonowania energetyki jądrowej, w tym odniesienie ich do warunków polskich.

W raporcie można znaleźć nawiązanie do dyskusji, czy energia jądrowa powinna być traktowana tak samo jak „brudne” technologie, czy też jest źródłem czystej energii, wywierającej znacznie mniejszą presję na środowisko. Niezrozumienie energetyki jądrowej, w tym związane z nią obawy, wynikają ze złożoności zagadnień, które jednocześnie poruszają wiele wątków – technicznych, ekonomicznych, politycznych, społecznych, środowiskowych i innych.

WSPÓŁCZESNA ENERGETYKA JĄDROWA

Paweł Gajda, Adam Rajewski

2

Energetyka jądrowa to najnowsza z technologii wykorzystywanych obecnie w energetyce zawodowej¹. Co do ogólnej zasady działania, elektrownie jądrowe powielają koncepcję konwencjonalnych elektrowni ciepłych, z tym że źródłem ciepła zamiast spalania paliw (reakcja chemiczna) jest tu reakcja rozszczepienia jądra atomowego. Dzięki temu, z funkcjonalnego punktu widzenia, elektrownie jądrowe są bardzo zbliżone do elektrowni konwencjonalnych, a ich wdrożenie na większą skalę nie wymaga dużych zmian w sposobie funkcjonowania systemu energetycznego.

Wszystkie dostępne dziś komercyjnie modele energetycznych reaktorów jądrowych powstały poprzez stopniowe, ewolucyjne ulepszenia reaktorów budowanych i eksploatowanych do dziś od lat 50 ubiegłego wieku. Głównymi obszarami tych usprawnień było wydłużenie projektowego czasu eksploatacji, poprawa efektywności wykorzystania paliwa, zwiększenie elastyczności pracy oraz ciągła poprawa bezpieczeństwa. Współczesne modele reaktorów energetycznych są określane jako III generacja², w odróżnieniu od generacji II – powszechnie dziś eksploatowanych jednostek budowanych w latach 70. i 80. Nie ma żadnych ścisłych kryteriów ww. podziału, a określenia te mają raczej charakter marketingowy – podkreślając większe zaawansowanie techniczne nowych projektów przy zachowaniu tej samej ogólnej zasady działania.

2.1. Dostępne na rynku technologie

W chwili obecnej, rynek nowych instalacji jądrowych zdominowany jest przez technologię reaktorów wodnych ciśnieniowych (PWR). Jest to technologia rozwijana od lat 50. XX wieku, początkowo opracowana przez firmę Westinghouse w USA, jednak stała się ona przedmiotem transferu do wielu innych krajów (Francji, Korei Południowej, Japonii i RFN), które zyskały zdolność do samodzielnego rozwoju własnych konstrukcji. Równolegle, analogiczne konstrukcje opracowano też w Związku Radzieckim. W chwili obecnej istnieje szereg dostawców nowoczesnych reaktorów tej klasy zdolnych do realizacji dostaw do krajów trzecich. Można wśród nich wymienić firmy CNNC/CGN (Chiny, reaktor Hualong 1), Framatome (Francja, reaktor EPR), KEPCO (Korea Płd., reaktor APR1400), Rosatom (Rosja, reaktory WWER-1200 i -1300) oraz We-

- 1 Choć panuje dość powszechny pogląd, że szereg rozwiązań energetycznych jest nowszych bądź nowocześniejszych, w rzeczywistości wszystkie oparte są o procesy i urządzenia wynalezione i opracowane wcześniej, choć w niektórych przypadkach ich rozpowszechnienie faktycznie nastąpiło w latach późniejszych.
- 2 Generacja III+ w odniesieniu do reaktorów o szczególnie rozbudowanych systemach bezpieczeństwa.

stinghouse (USA, reaktor AP1000). Oferowane konstrukcje stanowią ewolucyjne rozwinięcie wcześniejszych technologii i są to rozwiązania legitymujące się wysoką dojrzałością techniczną oraz bardzo wysokim poziomem bezpieczeństwa; spośród wymienionych powyżej reaktorów tylko WWER-1300 oraz Hualong 1 nie zostały jeszcze przekazane do eksploatacji (choć pierwsze jednostki znajdują się w budowie). **Wszystkie wymienione reaktory są przeznaczone dla bloków jądrowych o dużej mocy, klasy 1000-1700 MWe. To właśnie tę klasę konstrukcji wskazano w PPEJ jako wybraną do wdrażania energetyki jądrowej w Polsce.**

Przez wiele lat konkurencję dla technologii reaktorów ciśnieniowych, stanowiły reaktory wodne wrzące (z ang. Boiling Water Reactor, BWR), opracowane równoległe do technologii PWR przez amerykańską firmę General Electric. Także ta technologia stała się przedmiotem transferu do innych państw, w wyniku którego własne konstrukcje zostały opracowane i zrealizowane przez przedsiębiorstwa z Japonii, Szwecji i RFN. W chwili obecnej na rynku oferowane są one praktycznie tylko przez konsorcja firm General Electric oraz Hitachi³ (reaktory ABWR oraz ESBWR). Technologię tę można uznać za równie dojrzałą, co technologię reaktorów ciśnieniowych, jednak wskutek splotu niekorzystnych okoliczności (zanikanie przemysłu jądrowego w Szwecji i Niemczech, zawieszenie inwestycji w Japonii, USA, Wlk. Brytanii i na Tajwanie, gdzie wykorzystywano te konstrukcje lub planowano ich wykorzystanie) od wielu lat nie były one budowane. Podobnie jak w przypadku technologii PWR, będące przedmiotem realnej oferty handlowej reaktory BWR to konstrukcje przeznaczone dla bloków dużych, klasy 1500 MWe.

Obok wskazanych wyżej technologii PWR i BWR, istnieje szereg innych rozwiązań technicznych dla elektrowni jądrowych. Wśród realizowanych obecnie lub w niedawnej przeszłości można wymienić reaktory ciężkowodne (w Indiach), reaktory prędkie chłodzone ciekłym metalem (Rosja, Indie) oraz reaktory wysokotemperaturowe (Chiny). Żadna z tych technologii nie jest jednak obecnie oferowana na eksport, a dwie ostatnie należy wciąż traktować jako eksperymentalne. Nie jest zatem możliwe oparcie o takie konstrukcje strategii transformacji energetyki zawodowej w kraju takim jak Polska.

Osobną kategorią, cieszącą się w ostatnich latach sporym zainteresowaniem medialnym, są tzw. małe reaktory modułowe (z ang. *Small Modular Reactors*, SMR). Są to konstrukcje, które mają posłużyć do budowy relatywnie niewielkich bloków jądrowych o mocach 50-300 MWe, potencjalnie realizowanych w większych grupach (klastrach). Pojęcie SMR samo w sobie nie określa rodzaju reaktora, jednak większość konstrukcji projektowanych i rozwijanych przez potencjalnych dostawców reprezentuje technologię PWR. Do chwili obecnej nie uruchomiono jednak żadnej takiej instalacji, a w budowie znajdują się tylko dwa prototypy – argentyński CAREM25 oraz chiński HTR-PM (który jednocześnie jest reaktorem wysokotemperaturowym), oba zresztą z dużymi opóźnieniami. Żadna z tych konstrukcji nie jest aktualnie proponowana na eksport i nie stanowi docelowej konfiguracji. Przedmiotem intensywnej działalności marketingowej jest natomiast kilka innych konstrukcji, w szczególności amerykański NuScale, będący dziełem firmy o tej samej nazwie. Do chwili obecnej na budowę takich rozwiązań nie zdecydował się jednak w sposób wiążący żaden inwestor, a w przypadku jedynej inwestycji będącej na etapie zaawansowanych

3 W zależności od rynku i inwestycji występujące jako konsorcjum GE-Hitachi oraz Hitachi-GE

przygotowań – Carbon Free Power Project w amerykańskim stanie Idaho (reaktor *NuScale*) odnotowano już liczne opóźnienia harmonogramu oraz wzrosty kosztów. W październiku 2020 r. poinformowano o przyznaniu grantu rządowego na realizację tej instalacji, jednak ostateczna decyzja inwestycyjna jeszcze nie zapadła. W tej sytuacji nie jest możliwe precyzyjne określenie kiedy faktycznie będzie możliwa realizacja pierwszych instalacji tej klasy. Dodatkowo ich niewielka moc jednostkowa powoduje, że w celu uzyskania znaczącego efektu w skali kraju takiego jak Polska, konieczna byłaby budowa dużej liczby (dziesiątek albo i setek) reaktorów małej skali, co w przypadku konstrukcji prototypowej, o nieznanym jeszcze w praktyce czasie realizacji, uniemożliwia opracowanie realistycznego harmonogramu wdrożeń na dużą skalę. Stąd też technologia SMR nie może być dziś uznawana za rozwiązanie, o które można oprzeć dekarbonizację krajowej energetyki w horyzoncie najbliższych dekad. Koncepcja ta może w przyszłości stanowić interesujące uzupełnienie dla dużych reaktorów, więc warto śledzić jej rozwój.

2.2. Bezpieczeństwo elektrowni jądrowych

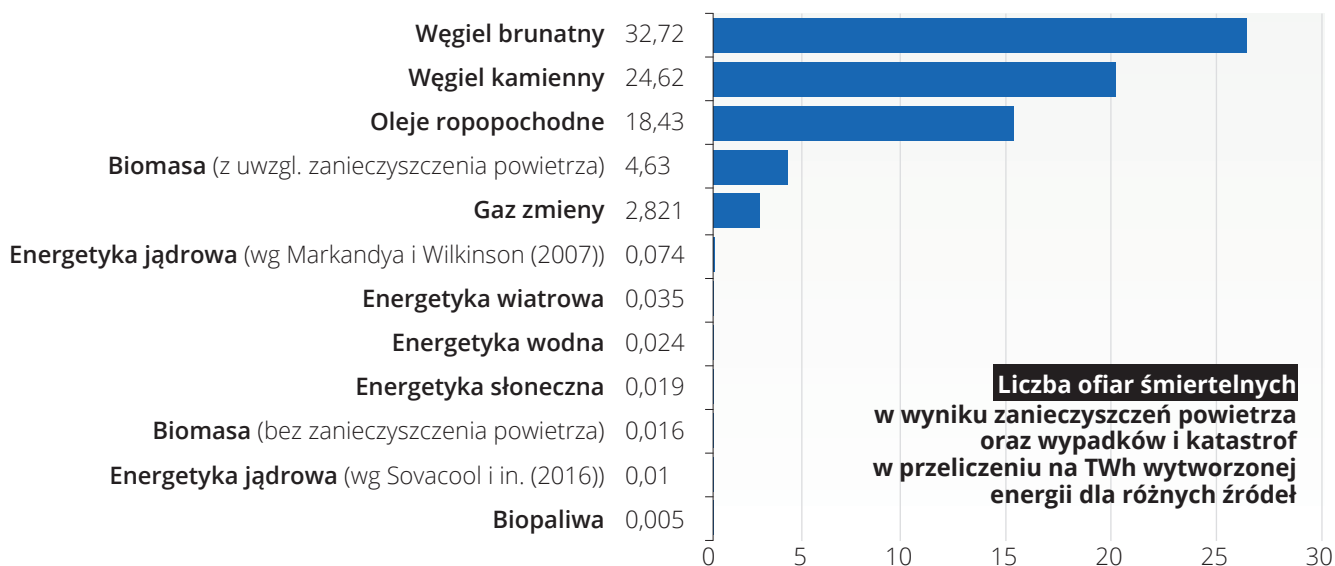
Najważniejsze funkcje bezpieczeństwa jakie musi zapewniać elektrownia jądrowa to:

- kontrola reakcji rozszczepienia,
- zapewnienie odpowiedniego chłodzenia rdzenia,
- separacja substancji promieniotwórczych od otoczenia.

Pierwszą z tych funkcji realizuje się poprzez zastosowanie urządzeń sterujących (prętów kontrolnych) mogących wygasić reakcje rozszczepienia oraz taką konstrukcją reaktora, aby w sytuacjach awaryjnych moc reakcji nie rosła, a spadała. Pod tym względem wszystkie reaktory LWR (PWR, BWR) są bezpieczne ze względu na prawa fizyki rządzące ich pracą. Jakikolwiek istotne zakłócenia w procesie chłodzenia reaktora prowadzą do jego samoczynnego wyłączenia, co fizycznie uniemożliwia zajście takiego zdarzenia, jakie miało miejsce w Czarnobylu.

Konieczność zapewnienia chłodzenia reaktora po wyłączeniu wynika ze zjawiska ciepła powyłączeniowego, czyli rozpadu w paliwie izotopów krótkożyciowych generujących ciepło. Zjawisko to z czasem samoczynnie zanika, ale powoduje konieczność odprowadzania ciepła z rdzenia nawet przez kilkadziesiąt godzin po wyłączeniu reaktora. Z tego powodu w reaktorach instaluje się dodatkowe układy chłodzenia wyposażone w niezależne źródła zasilania lub tak zwane układy pasywne – nie wymagające zasilania, oparte na naturalnych zjawiskach fizycznych np. konwekcji. Odpowiednie projekty takich systemów stanowią zabezpieczenie przed awarią taką, do jakiej doszło w Fukushima, gdzie pasywnych systemów wystarczających do schłodzenia wyłączonych nagle reaktorów nie było, a źródło zasilania systemów aktywnych nie było poprawnie zabezpieczone przed działaniem czynników zewnętrznych (zalaniem).

RYS. 1. **PORÓWNANIE LICZBY ZGONÓW PRZYPADAJĄCYCH NA JEDNOSTKĘ WYPRODUKOWANEJ ENERGII DLA RÓŻNYCH JEJ ŹRÓDEŁ**

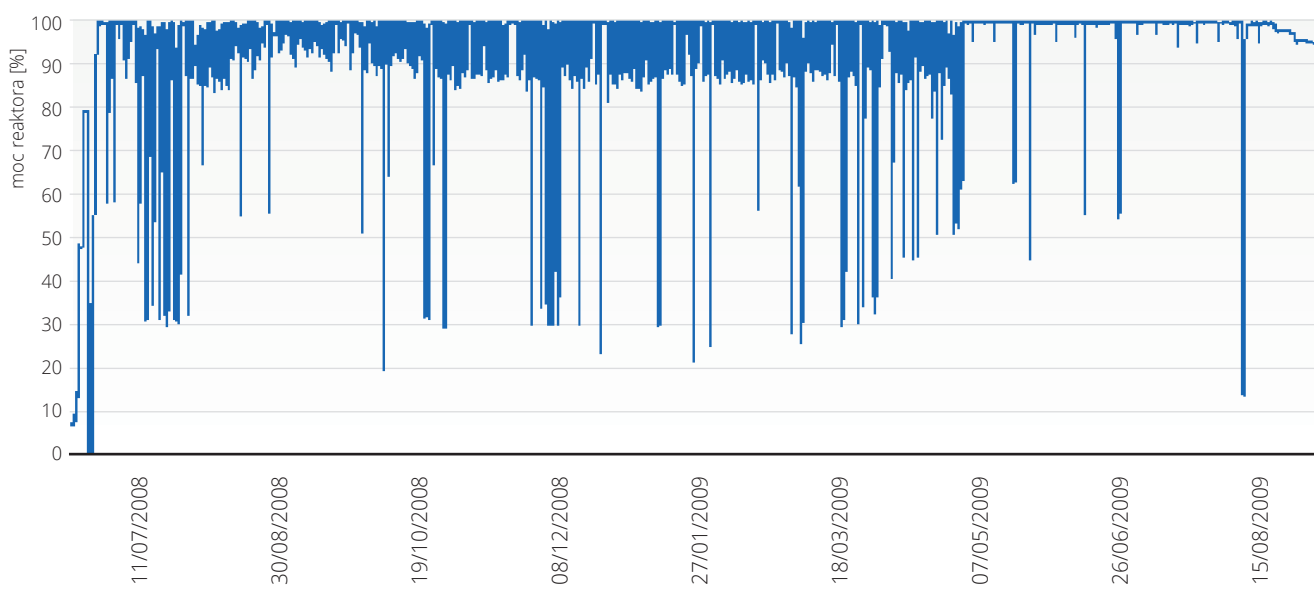


W reaktorze jądrowym wszystkie produkty rozszczepienia pozostają wewnątrz paliwa jądrowego (są szczelnie zamknięte w koszulkach paliwowych i usuwane z reaktora przy kolejnej kampanii paliwowej). W normalnych warunkach produkty rozszczepienia nie przedostają się do chłodziwa reaktora (np. woda), choć samo chłodziwo ulega aktywacji pod wpływem neutronów. Dlatego jest ono bez porównania mniejszym zagrożeniem radiologicznym, niż wypalone paliwo. Chłodziwo jest starannie separowane od otoczenia dzięki szczelności obiegu. Separacji dopełnia odpowiednia konstrukcja elektrowni zapewniająca obecność odpowiednio nieprzenikliwych barier pomiędzy wszelkimi substancjami promieniotwórczymi (odporne na zniszczenie w wyniku awarii, klęsk żywiołowych oraz celowej działalności ludzi), a obszarami dostępnymi dla ludzi oraz monitoring wszelkich ewentualnych uwolnień. W projektowaniu elementów związanych z bezpieczeństwem stosuje się zasadę redundancji (zwielokrotniania), aby w razie niezadziałania jednego z nich, jego funkcję mógł przejąć inny, identyczny układ, a także zasadę ochrony w głąb, w której w przypadku niezadziałania jednej warstwy ochrony zaczyna działać kolejna.

W projektowaniu nowoczesnych reaktorów jądrowych bezpieczeństwo jest najważniejsze. Porównując starsze jednostki z nowszymi można zauważyć tendencję do zwiększania redundancji układów bezpieczeństwa, szerszego stosowania pasywnych układów awaryjnego chłodzenia oraz zastosowania takich elementów jak pasywne reperyatory wodoru czy chwytacz rdzenia.

Dzięki temu ryzyko zajścia poważnych zdarzeń, takich jak stopienie paliwa czy znaczące uwolnienia substancji promieniotwórczych, jest o dwa rzędy wielkości mniejsze niż w przypadku starszych reaktorów (1). Należy przy tym podkreślić, że historyczne dane jasno pokazują, że energia jądrowa należy do najbezpieczniejszych źródeł energii. Wskaźnik liczby zgonów do ilości wyprodukowanej energii jest (2), a zbliżony do źródeł odnawialnych takich jak wiatr czy fotowoltaika (3).

RYS. 2. **PRZYKŁADOWY PRZEBIEG ZMIENNOŚCI MOCY W CIĄGU KAMPANII PALIWOWEJ JĄDROWEGO BLOKU ENERGETYCZNEGO EKSPLOATOWANEGO PRZEZ EDF (4)**



INSTYTUT
SOBIESKIEGO 

2.3. Praca elektrowni jądrowej w systemie energetycznym

Elektrownie jądrowe zasadniczo eksploatowane są w ramach systemów elektroenergetycznych do pokrywania obciążenia podstawowego, czyli tej części zapotrzebowania na energię elektryczną w systemie, która pozostaje stosunkowo niezmienna. Wiąże się to z wielomiesięczną ciągłą pracą z mocą bliską nominalnej. Jednak technika pozwala na pracę elektrowni jądrowych w szerokim zakresie obciążeń – jądrowy blok energetyczny jest w stanie świadczyć usługi systemowe na rzecz krajowego systemu przesyłowego np. w zakresie regulacji pierwotnej i wtórnej częstotliwości systemowej, a więc może uczestniczyć w procesie bieżącego bilansowania systemu. Jest to tym ważniejsze, że wiele innych zeroemisyjnych źródeł energii takiej zdolności nie posiada. Zdarza się, że elektrownie jądrowe pracują ze współczynnikami wykorzystania mocy zainstalowanej⁴ powyżej 90%⁵ – a czasami nawet, w ujęciu rocznym, powyżej 100% (co jest możliwe z uwagi z jednej strony na to, że w pewnych warunkach otoczenia moc osiągalna może przekroczyć znamionową, a z drugiej na upowszechnienie się 18-miesięcznych kampanii paliwowych, które pozwalają na ponad rok nieprzerwanej pracy)⁶.

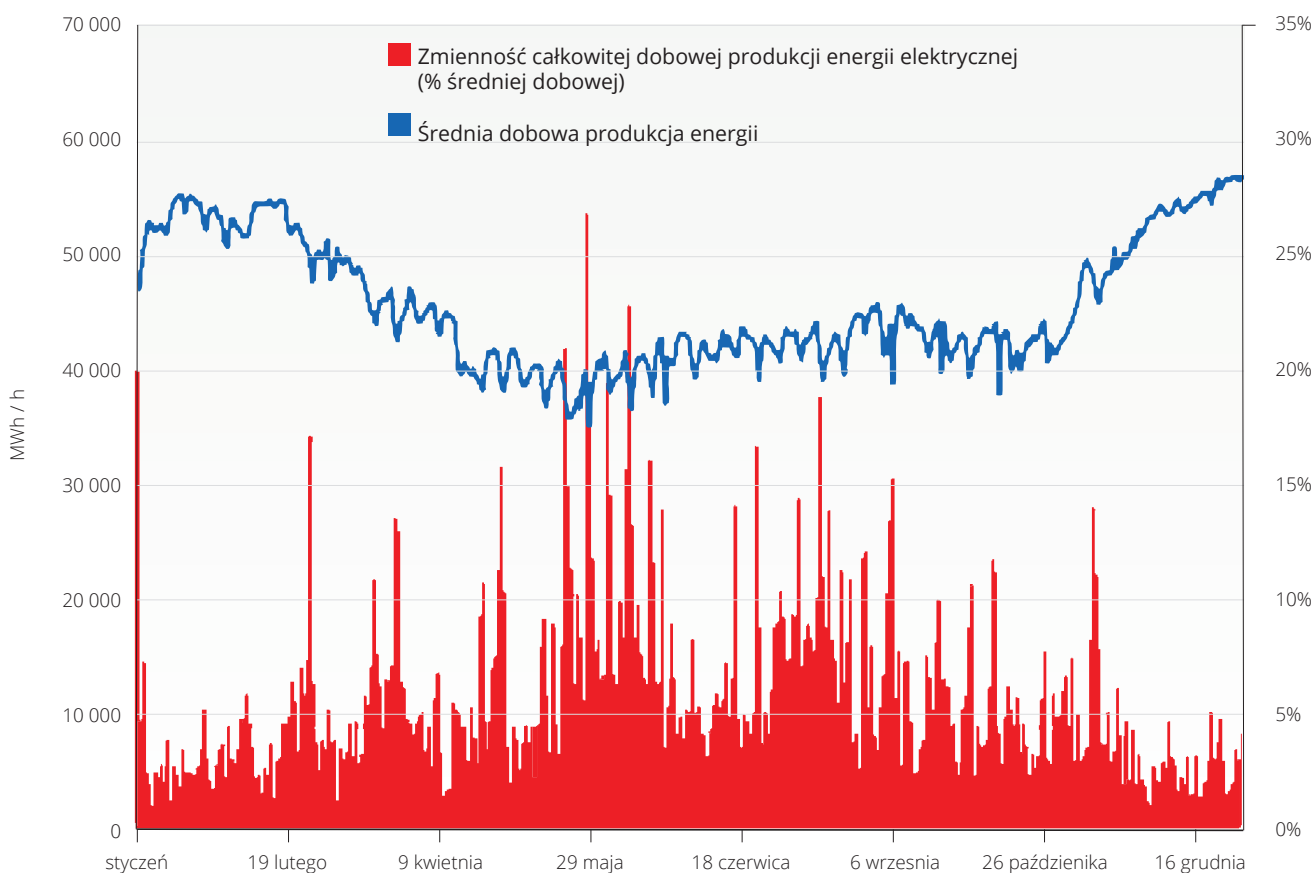
W systemach o dużym udziale energetyki jądrowej lub współpracy z innymi źródłami, które nie są w stanie w dowolnym momencie zredukować swojej mocy, wymusza się na elektrowni jądrowej pracę elastyczną. Przykładem jest Francja, w której energetyka jądrowa odpowiada za ok. 70% wytwarzanej energii elektrycznej, a w związku z powyższym bloki jądrowe często doświadczają pracy z obniżoną mocą. Typowy profil pracy przedstawia Rys. 2. Z kolei Rys. 3 przedstawia zmienność całkowitej dobowej produkcji energii elektrycznej we francuskich blokach jądrowych dla całego 2010 r.

4 Jest to stosunek rzeczywistej produkcji energii do teoretycznej produkcji, jaką uzyskaloby, gdyby blok pracował przez cały rok z mocą równą znamionowej.

5 Skumulowany współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej fińskiego bloku Olkiluoto-1 z lat 1978-2019 wynosi 92,5%. Dla siostrzanego Olkiluoto-2 jest to 93,0% (1980-2019), a dla niemieckiego Neckarwestheim-2 (1989-2019) 91,5%. (87)

6 Sytuacja taka zdarza się w blokach amerykańskich, które nie uczestniczą w regulacji systemu energetycznego, zarejestrowano ją np. w blokach Vermont Yankee (w 2006 roku), Braidwood-1 (2014) Braidwood-2 (2019), Browns Ferry-1 (2017, 2019), Palo Verde-1 (2009, 2015), Palo Verde-3 (2002) (87)

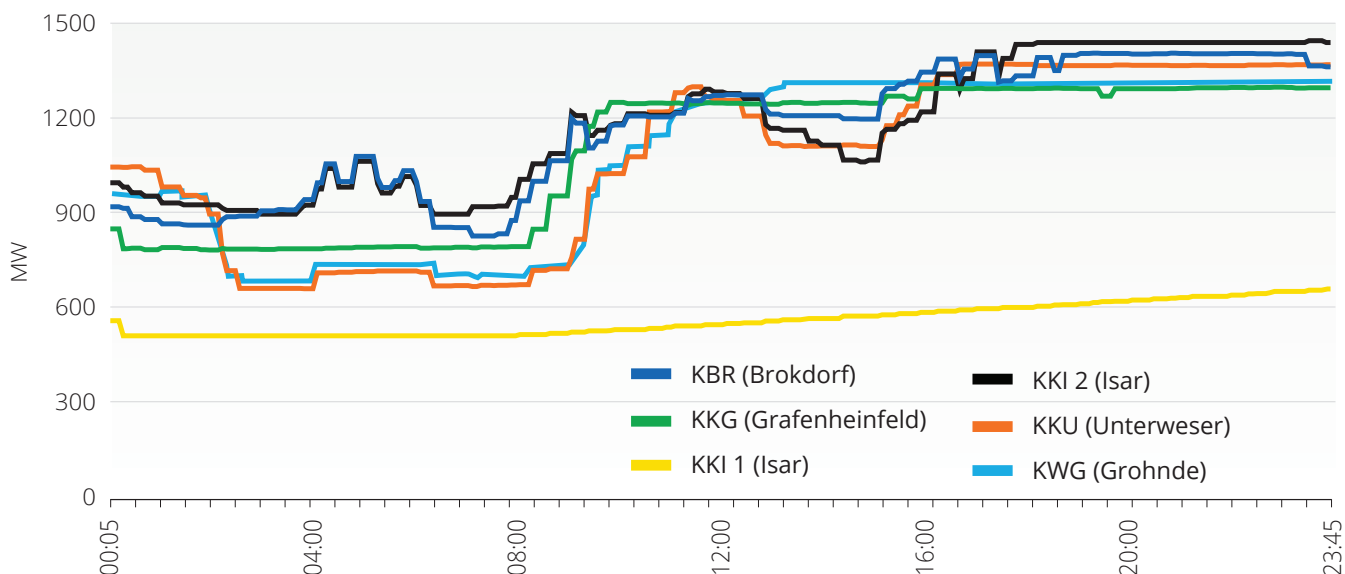
RYS. 3. **ZMIENNOŚĆ CAŁKOWITEJ DOBOWEJ PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ WE FRANCUSKICH BŁOKACH JĄDROWYCH DLA CAŁEGO ROKU 2010**
(5)



Również w Niemczech, w okresie w którym udział energetyki jądrowej był wyższy niż obecnie, czasowe obniżanie mocy bloków jądrowych było praktykowane. Na Rys. 4 przedstawiono przykład takiej sytuacji w ciągu wybranego dnia.

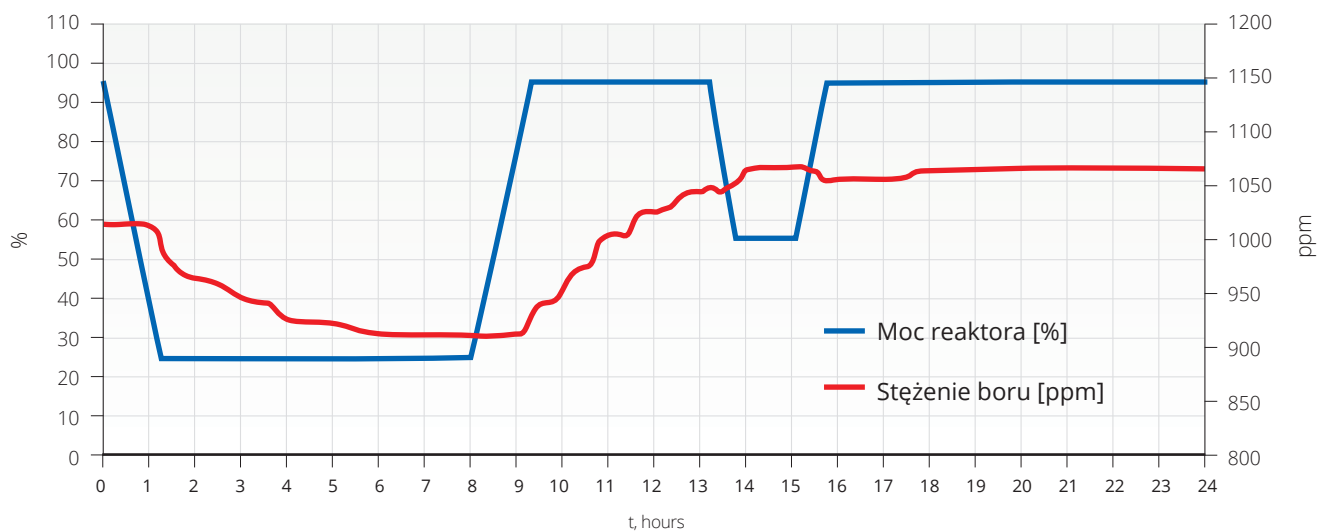
Współczesne konstrukcje bloków jądrowych są dostosowane do pracy regulacyjnej, czasami w bardzo szerokim zakresie – np. dla francuskich blokach z reaktorami N4 (cztery jednostki zbudowane w latach 90.) opracowano specjalny tryb pracy, umożliwiający okresowe obniżanie mocy nawet poniżej 30% wartości znamionowej (Rys. 5). Jest zatem w pełni możliwe dostosowywanie mocy wytwarzanej przez energetykę jądrową do bieżących potrzeb. Rozsądniejszym wyjściem może jednak być magazynowanie nadwyżek wyprodukowanej energii lub wykorzystanie ich do zeroemisyjnej produkcji paliw syntetycznych wykorzystywanych następnie w różnych sektorach gospodarki. Warunkiem jest rozwój odpowiednich technologii magazynowania i produkcji paliwa syntetycznych. Warto podkreślić, że stabilne zeroemisyjne moce wytwórcze, takie jak energetyka jądrowa, znacząco zmniejszają zapotrzebowanie na magazyny energii w porównaniu z systemami opartymi o zmienne źródła odnawialne (6).

RYS. 4. **PRZEBIEG ZMIENNOŚCI MOCY WYBRANYCH NIEMIECKICH JĄDROWYCH BŁOKÓW ENERGETYCZNYCH W SKALI DOBY (4)**



INSTYTUT
SOBIESKIEGO

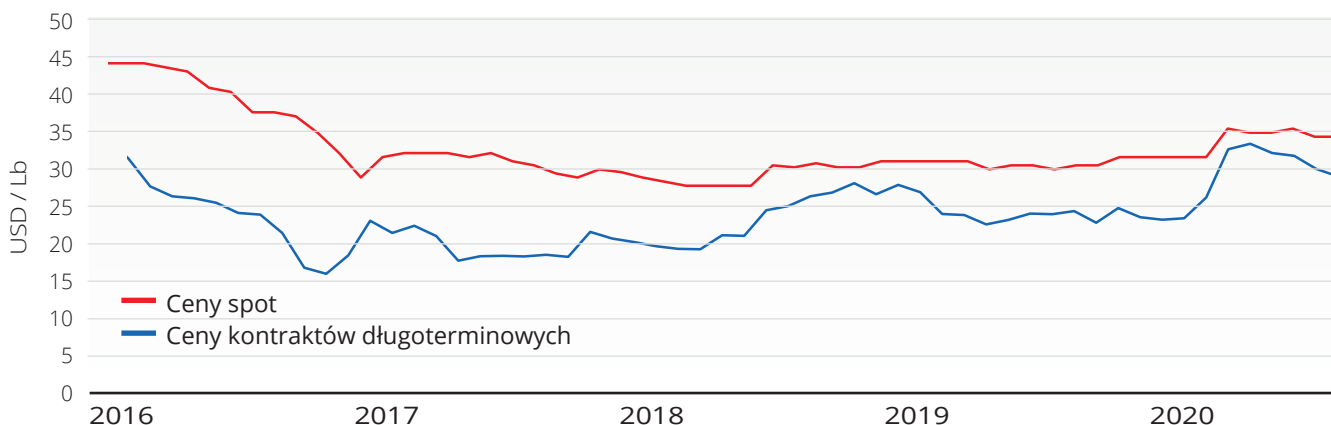
RYS. 5. **PRZYKŁAD PRACY REGULACYJNEJ FRANCUSKIEGO REAKTORA TYPU N4 (6)**



INSTYTUT
SOBIESKIEGO

W 2019 r. średni współczynnik wykorzystania mocy bloków jądrowych na całym świecie wyniósł 76,2%. (wliczając w to niepracujące od lat bloki japońskie – bez ich uwzględnienia wartość ta wynosi ok. 80%, co odpowiada poziomom rejestrowanym globalnie przed awarią w Fukushima).

RYS. 6. CENY SPOT I CENY KONTRAKTÓW DŁUGOTERMINOWYCH URANU (8)



2.4. Pozyskiwanie paliwa

Typowy reaktor LWR w trakcie pracy zawiera około 100-150 ton paliwa uranowego. Paliwo ma formę uranowych pastylek paliwowych umieszczanych w prętach paliwowych wykonanych ze stopu cyrkonu, które z kolei łączone są w kasety paliwowe – i w takiej formie trafiają do elektrowni⁷⁷. Wymianę paliwa wykonuje się najczęściej co 12 lub 18 miesięcy, ale w nowszych reaktorach cykl ten jest wydłużany nawet do 24 miesięcy. W trakcie postoju, gdy reaktor jest wyłączony, dokonuje się wymiany części kaset paliwowych na nowe (ok. 30 ton paliwa/rok) oraz zmiany pozycji pozostałych. **Świeże paliwo nie wymaga specjalnych warunków składowania, w związku z tym możliwe jest łatwe zgromadzenie nawet kilkuletniego zapasu paliwa na terenie elektrowni, co czyni taki obiekt niezależnym od chwilowych perturbacji na rynkach surowców energetycznych, a więc zwiększa bezpieczeństwo energetyczne państwa wykorzystującego technologię jądrową** (więcej na temat w rozdziale 10).

Podstawowym surowcem do produkcji paliwa jest ruda uranu. Choć uran jest pierwiastkiem dość powszechnie występującym w przyrodzie, to w przypadku złóż o niskiej jego zawartości wydobywanie jest nieopłacalne. W 2017 r. zidentyfikowane konwencjonalne zasoby o kosztach wydobywania do 130 USD/kgU wynosiły 6,142 mln ton oraz 7,989 mln ton dla kosztów do 260 USD/kgU (7). Przy zapotrzebowaniu utrzymującym się na obecnym poziomie ok. 60 tys. ton rocznie, zasoby te wystarczą na około 130 lat. Należy jednak zauważyć, że zasoby w obu tych kategoriach wzrosły w stosunku do 2015 r. o odpowiednio 7,4% i 4,5%. A od 2007 r. w kategorii do 130 USD/kgU zanotowano wzrost o 12,3% (7). Wynika to z szybszego odkrywania nowych zasobów uranu do ich wykorzystywania. Dlatego też nie należy się obawiać szybkiego wyczerpania konwencjonalnych złóż uranu. Ponadto, ceny uranu na globalnym rynku charakteryzuje duża stabilność wynikająca m.in. z dużej konkurencyjności rynku (Rys. 6). Wpływ na to ma również istnienie banku uranu IAEA LEU Bank (*International Atomic Energy Agency Low Enriched Uranium (LEU) Bank*), który zapewnia rezerwę krajom zrzeszonym w Międzynarodowej Agencji Energii Jądrowej. Procedury ułatwiające państwom członkowskim nabywanie paliwa jądrowego oraz materiałów do jego produkcji istnieją także w UE. Mechanizmy te (wynikające z Traktatu Euratom) mają charakter solidarnościowy i zapewniają nabywanie materiałów jądrowych nawet w sytuacjach potencjalnego zmniejszenia podaży na rynku dla wszystkich podmiotów w UE.

⁷⁷ Przykładowo w rdzeniu reaktora AP1000 znajduje się 157 kaset paliwowych, a rdzeń reaktora EPR posiada 241 kaset paliwowych, zawierają one po 264 (AP1000) lub 265 (EPR) prętów w układzie 17x17 oraz prowadnice dla prętów kontrolnych.

Możliwe jest również pozyskiwanie uranu z tzw. źródeł niekonwencjonalnych, np. z wody morskiej. Metody te, pomimo pozytywnego przetestowania na skalę laboratoryjną, nie mają jeszcze ekonomicznego uzasadnienia. Dla funkcjonowania elektrowni potrzebny jest nie sam uran, ale gotowe paliwo, którego produkcja obejmuje przeróbkę i wzbogacanie uranu oraz fabrykację samych elementów paliwowych. Największymi dostawcami paliwa są obecnie Framatome, Westinghouse, TVEL oraz Global Nuclear Fuel. Warto podkreślić, że poszczególni dostawcy mają zdolność produkcji paliwa dla różnych typów reaktorów, dzięki czemu operator elektrowni jądrowej ma możliwość zmiany kontrahenta w trakcie eksploatacji.

2.5. Postępowanie z odpadami

Elektrownie jądrowe, tak jak wszystkie inne instalacje energetyczne, oddziałują na środowisko naturalne (więcej na ten temat w rozdziale 8), a w trakcie ich pracy powstają odpady. W tym przypadku mamy do czynienia ze szczególnym promieniotwórczym charakterem części z nich. Można je ogólnie podzielić na dwie kategorie:

- wypalone paliwo jądrowe,
- inne substancje aktywowane w wyniku wpływu promieniowania neutronowego oraz materiały powierzchniowo skażone substancjami promieniotwórczymi.

Wypalone paliwo jest materiałem wymagającym szczególnego sposobu postępowania. Paliwo jądrowe, które podlegało wykorzystaniu w reaktorze jądrowym, zawiera szereg substancji silnie promieniotwórczych o różnym czasie połowicznego rozpadu. Są to z jednej strony produkty rozszczepienia izotopów uranu i plutonu, a z drugiej izotopy powstałe w wyniku oddziaływania promieniowania neutronowego, w tym tzw. transuranowce. Obie te grupy ulegają naturalnemu stopniowemu rozpadowi promieniotwórczemu, któremu towarzyszy emisja promieniowania jonizującego, początkowo bardzo intensywna, stanowiąca potencjalnie bardzo duże zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi w przypadku bezpośredniego narażenia. Intensywność promieniowania spada z czasem w miarę rozpadu izotopów promieniotwórczych. Ostatecznie aktywność wypalonego paliwa osiągnie wartości typowe dla świeżej, naturalnie występującej rudy uranu, jednak jest to proces długotrwały – zajmuje kilkaset tysięcy lat. Można uznać, że już znacznie wcześniej paliwo nie będzie stanowiło istotnego zagrożenia, lecz nie ma wątpliwości, że długoterminowe zabezpieczenie wypalonego paliwa jest niezbędne: 10 lat po wykorzystaniu moc dawki promieniowania na powierzchni paliwa przekracza 100 Sv/h, co w zestawieniu z dawką śmiertelną dla człowieka w przypadku jednorazowego narażenia na poziomie ok. 5 Sv jednoznacznie wskazuje na bezwzględną konieczność izolacji takiego materiału. Izolacja taka co do zasady jest bardzo prosta – wypalone paliwo otacza się barierą o odpowiedniej odporności na czynniki zewnętrzne i o niskiej przenikalności dla promieniowania.

W pierwszym okresie po wyładunku z reaktora wypalone paliwo poza promieniowaniem emituje także istotne ilości ciepła. Jest to wynik procesów rozpadu promieniotwórczego izotopów krótkożyjących. Paliwo jest w tym okresie przechowywane w specjalnych basenach zlokalizowanych na terenie elektrowni jądrowej. Baseny wypełnione są wodą, której kilkumetrowa warstwa stanowi osłonę przed promieniowaniem wystarczającą dla umożliwienia bezpiecznej pracy personelu przy brzegu basenu oraz dla zapewnienia odprowadzania ciepła wydzielonego przez wypalone paliwo. Po kilku lub kilkunastu latach przechowywania w basenie, paliwo jest przeładowywane

do pojemników suchych, szczelnych i o odpowiednio grubych ściankach. Takie pojemniki z wypalonym paliwem, przechowywane w czasowych scentralizowanych przechowalnikach lub na terenie samej elektrowni, nie stanowią żadnego zagrożenia dla otoczenia. Jest to jednak rozwiązanie o charakterze czasowym; może być z powodzeniem stosowane przez wiele dekad, ale docelowo odpady powinny trafić do ostatecznego składowiska, bezpośrednio lub za pośrednictwem zakładu przerobu wypalonego paliwa. Obecnie panuje konsensus, że ostatecznym miejscem składowania wysokoaktywnych odpadów jądrowych – całego paliwa lub wyizolowanych z niego frakcji – powinno być głębokie składowisko geologiczne. Odpady w takim składowisku zostaną zabezpieczone przed korozją i osadzone w betonie. Duża głębokość oraz położenie z dala od warstw wodonośnych mają stanowić zabezpieczenie przed przedostawaniem się wody do składowiska oraz zapewnić, by w mało prawdopodobnym przypadku przeniknięcia wilgoci, ewentualny transport izotopów w kierunku powierzchni trwał na tyle długo, że nie będą one stanowiły zagrożenia dla ludzi i przyrody. Dodatkowo warto zwrócić uwagę na fakt, że wskutek różnego czasu połowicznego rozpadu przechowywanych izotopów, po upływie ok. 500 lat większość aktywności skupiona jest w takich izotopach, które są dużo mniej podatne na potencjalne wydostanie się ze składowiska, co stanowi dodatkowe zabezpieczenie (9).

Mimo że sposób budowy składowisk ostatecznych co do zasady jest jasny, do tej pory większość krajów eksploatujących elektrownie jądrowe nie rozpoczęła jeszcze nawet budowy takich obiektów, a żadne składowisko nie zostało jeszcze uruchomione⁸. Najbliższe ukończenia jest fińskie składowisko Onkalo, które ma zostać przekazane do eksploatacji w 2023 r. Główną przyczyną jest odwlekanie decyzji politycznych w tym zakresie, które paradoksalnie ułatwione jest przez bezproblemowe przechowywanie wypalonego paliwa w obiektach średnioterminowych oraz niewielkie ilości tego paliwa. Na koniec 2013 r. przechowywane na całym świecie wysokoaktywne odpady promieniotwórcze miały łączną objętość 22 tys. m³. Wartość ta⁹ uwzględnia przy tym nie tylko wypalone paliwo, ale także odpady z instalacji badawczych i wojskowych, a także 4 tys. m³ odpadów powstałych w wyniku katastrofy czarnobylskiej¹⁰ (10). Warto odnotować, że objętość odpadów wysokoaktywnych można przy tym kilkakrotnie zmniejszyć poprzez zastosowanie procesu przerobu wypalonego paliwa. Proces ten pozwala na odzyskanie do powtórnego wykorzystania izotopów rozszczepialnych (uranu-235 oraz plutonu-239), a także separację składników długożyciowych i wysokoaktywnych. Choć obecnie niewiele krajów (np. Francja, Rosja) prowadzi rutynowo ten proces dla cywilnego paliwa jądrowego, to technologia ta jest w pełni dojrzała. Przewiduje się, że przerobowi poddane zostanie od 29 do 44% wykorzystanego do tej pory paliwa (w części krajów nie podjęto jeszcze decyzji)(10). Recykling wypalonego paliwa jest korzystny z punktu widzenia ochrony środowiska, zgodny z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz zmniejsza ilość i pozwala skrócić niezbędny czas składowania odpadów złożonych do składowiska głębokiego.

8 Od 1999 roku eksploatowane jest natomiast głębokie składowisko geologiczne wybranych odpadów długożyciowych z amerykańskich programów zbrojeniowych, Waste Isolation Pilot Plant w stanie Nowy Meksyk.

9 Objętość 22 tys. m³ odpowiada objętości węgla brunatnego wydobywanego w Polsce w ciągu 1,13 godziny albo objętości ropy naftowej wydobywanej w naszym kraju w ciągu około tygodnia. Gdyby odpady te umieścić na planie typowego boiska do piłki nożnej, grubość ich warstwy wyniosłaby około 3 metrów.

10 jak wyżej (przyp. 9)

Choć wypalone paliwo stanowi odpad zdecydowanie najtrudniejszy do składowania, ilościowo stanowi ono drobny ułamek całości odpadów generowanych przez elektrownie jądrowe. Lwia część odpadów to materiały ulegające aktywacji wskutek oddziaływania promieniowania neutronowego, w tym elementy konstrukcyjne samej instalacji, oraz różnego rodzaju materiały (np. narzędzia) mające kontakt z substancjami promieniotwórczymi, które mogły zostać przez nie skażone. W większości są to odpady o niskiej aktywności i krótkim czasie życia, niestawiające istotnego zagrożenia dla otoczenia. Postępowanie z nimi jest tożsame z postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi z innych obszarów działalności ludzkiej (przemysłowej, badawczej, medycznej) i polega na składowaniu do czasu obniżenia aktywności oraz spalaniu w kontrolowanych warunkach, w zależności od rodzaju materiału i aktywności lub zdeponowaniu w specjalnych szczelnych pojemnikach w celu dalszego umieszczenia na składowisku odpadów nisko- i średnioaktywnych (również na temat w rozdziale 8). Największa ilość odpadów tego rodzaju powstaje podczas rozbiórki elektrowni jądrowej. Stosowane są różne sposoby postępowania w zależności od priorytetów danego kraju lub operatora. Jeśli priorytetem jest szybkość rozbiórki, konieczne jest prowadzenie demontażu instalacji w warunkach dozoru radiologicznego i składowanie określonych wymontowanych elementów (np. stalowych). Inną metodą postępowania jest odroczenie faktycznej rozbiórki jądrowej części instalacji do czasu, gdy spora część materiałów, wskutek naturalnego rozpadu izotopów promieniotwórczych, przestanie być kwalifikowana jako odpad promieniotwórczy – takie postępowanie jest bowiem prostsze i mniej kosztowne. W odróżnieniu od odpadów wysokoaktywnych, odpady pozostałych typów mają w pełni wdrożone systemy składowania i utylizacji. Z końcem grudnia 2013 r. łączna ilość wytworzonych na świecie odpadów promieniotwórczych ze wszystkich rodzajów działalności ludzkiej (medyczna, przemysłowa, elektrowni jądrowych, itd.) była oceniana na ok. 35 mln m³, z czego 28,5 mln m³ było już zagospodarowane w sposób ostateczny. Około połowa z nich związana była z likwidacją obiektów jądrowych (nie tylko energetycznych). Całkowita objętość odpadów z aktualnie istniejącej energetyki jądrowej Unii Europejskiej w całym cyklu życia instalacji (czyli z uwzględnieniem dalszej planowanej eksploatacji i rozbiórki) szacowana jest na ok. 7 mln m³¹¹.

Koszty postępowania z odpadami są uwzględniane w kosztach produkcji energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych (więcej na ten temat w rozdziale 6). Dzieje się to najczęściej poprzez stworzenie specjalnego funduszu przeznaczonego na pokrycie kosztów rozbiórki elektrowni oraz składowania odpadów, do którego operatorzy elektrowni odprowadzają określoną część przychodów. **Energetyka jądrowa jest zatem unikalną branżą przemysłu, która zapewnia skuteczny nadzór nad odpadami powstającymi w całym cyklu życia elektrowni.**

11 Odpowiada to objętości węgla brunatnego wydobywanego w Polsce w ciągu 15 dni.

3

EKONOMICZNE ASPEKTY ENERGETYKI JĄDROWEJ

Łukasz Sawicki (3.1-3.2)

Anna Przybyszewska (3.3)

3.1. Znaczenie kosztu energii elektrycznej dla gospodarki

Energia elektryczna jest towarem o znaczeniu strategicznym, większym nawet niż ropa naftowa. W odróżnieniu od paliw płynnych nie można jej magazynować w większych ilościach. Brak dostaw energii elektrycznej na dużym obszarze oznacza niemal natychmiastowe i katastrofalne skutki (w przypadku paliw płynnych skutki są rozłożone w czasie i początkowo mniej dotkliwe). Znaczenie ma nie tylko sam fakt możliwości zasilania odbiorców, ale również koszty, wpływające na wszystkie dziedziny życia:

- poziom życia w gospodarstwach domowych – użytkowanie urządzeń RTV i AGD, dostawa wody i odbioru ścieków komunalnych, użytkowanie ogrzewania i klimatyzacji;
- ceny żywności – produkcja roślinna i zwierzęca, przechowywanie żywności w magazynach, chłodniach, chłodziarkach;
- ceny artykułów pierwszej potrzeby innych niż żywność (np. środki czystości i art. higieniczne) dostarczanych przez energochłonny przemysł chemiczny;
- ceny produktów przemysłowych (np. stal, cement, tworzywa sztuczne) i produktów finalnych (np. pojazdy, elektronika, budynki).

Wszystkie produkty i usługi, dobra materialne i niematerialne, powstają z mniejszym lub większym udziałem energii elektrycznej.

Brak energii lub jej ograniczone dostawy (tzw. stopnie zasilania) to jeden z najważniejszych elementów determinujących rozwój gospodarczy i społeczny. Jednak nie mniej ważnym są koszty energii. Jeśli koszty te są niskie, umożliwiają tanią produkcję, rozwój przedsiębiorstw i ich konkurowanie na rynku krajowym i zagranicznym, zwłaszcza energochłonnych sektorów przemysłu, a także zwiększają siłę nabywczą gospodarstw domowych, co dalej napędza popyt i/lub akumulację kapitału (wzrost posiadanych oszczędności). Jeśli koszty energii rosną, powodują wzrost kosztów funkcjonowania całej gospodarki, ubożenie społeczeństwa (w tym tzw. ubóstwo energetyczne) i stopniowo prowadzą do deindustrializacji kraju (likwidacji przemysłu). To pociąga za sobą ucieczkę kapitału, tj. inwestorów i większości podmiotów sektora finansowego, zmniejszenie aktywności w sektorze usług i stopniowo postępujący zanik działalności gospodarczej. Doprowadza to do spadku dochodów budżetowych. W efekcie dochodzi do kolejnych negatywnych zjawisk gospodarczych i społecznych, takich jak nasilenie emigracji ludności w wieku produkcyjnym, kryzysy społeczne, zmniejszenie transferów socjalnych (obniżenie świadczeń

emerytalno-rentowych i wypłat z programów socjalnych). Jest to trudna do zahamowania spirala kryzysu społeczno-gospodarczego. To zagrożenie już zaczęło się materializować pod postacią wyraźnej i szybko rosnących kosztów energii dla przedsiębiorstw, zwłaszcza przemysłu ciężkiego, który obecnie działa na granicy rentowności lub już poniżej, a w średnioterminowej i długoterminowej perspektywie może nie wytrzymać konkurencji ze strony przemysłu innych państw UE (np. Czechy, Węgry, Francja, Rumunia, Finlandia) oraz państw pozaunijnych, opierających swoją gospodarkę na niskich kosztach energii (głównie na energii jądrowej – Ukraina, częściowo Rosja, a wkrótce Białoruś i Turcja). Przedsiębiorstwa działające w branżach energochłonnych w Polsce w 2016 r. utrzymywały łącznie 1,3 mln miejsc pracy (11) (12) (13), co stanowiło prawie 10% zatrudnionych w polskiej gospodarce. Z branżą są również powiązane miejsca pracy w innych sektorach, np. finansach i usługach. Część zakładów realizuje produkcję na potrzeby wojska. Niektóre huty i odlewnie już zostały zlikwidowane (np. w Koninie, Stalowej Woli), a inne zapowiedziały likwidację w najbliższym czasie (np. huta i stalownia w Krakowie).

Biorąc powyższe pod uwagę, **zmiana modelu polskiej energetyki w kierunku oparcia go na najtańszym miksie energetycznym, którego istotną częścią są elektrownie jądrowe, powinna być dla rządu sprawą priorytetową, a decyzje inwestycyjne powinny zapaść niezwłocznie. Każdy rok zwłoki generuje wymierne i znaczne straty gospodarcze, zwiększa ryzyko wystąpienia kryzysu społeczno-gospodarczego i prowadzi do osłabienia obronności kraju.**

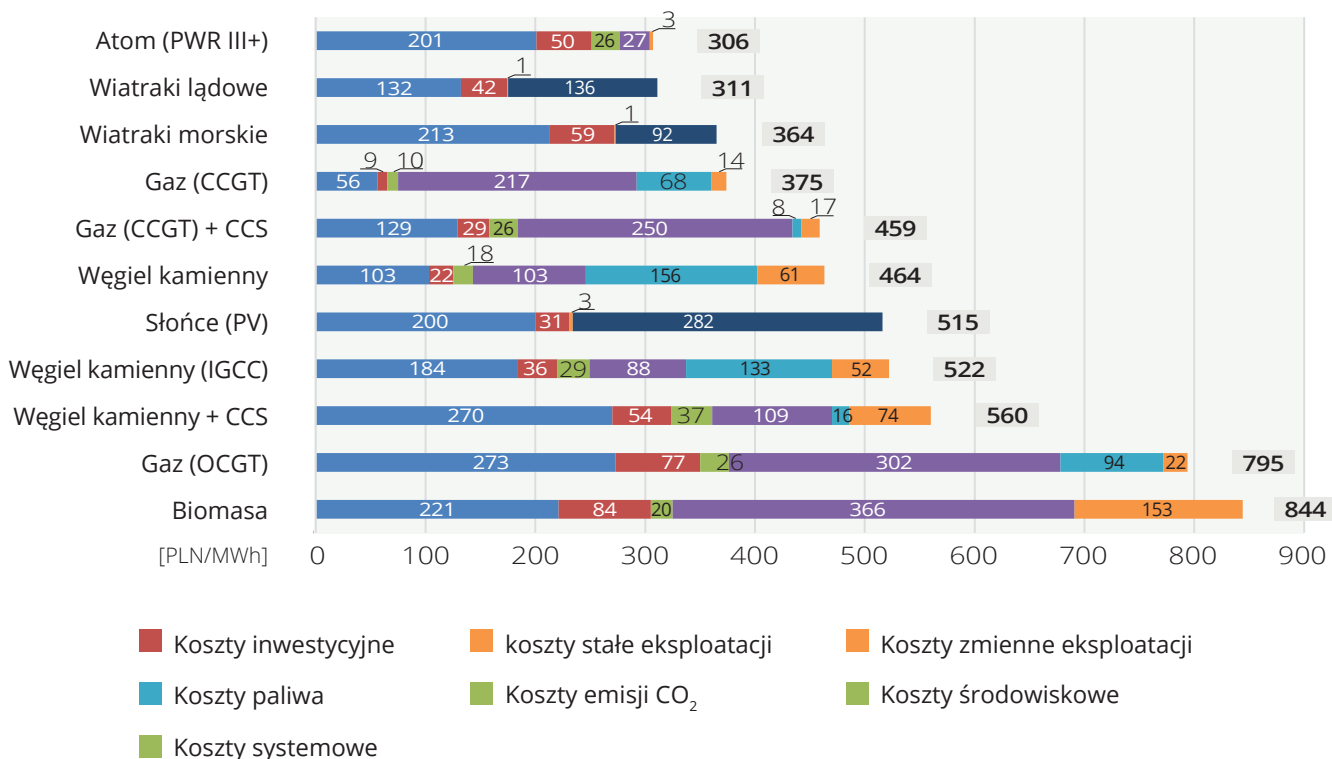
3.2. Pełny koszt źródeł energii elektrycznej – porównanie

Istnieje co najmniej kilkanaście metod porównywania kosztów produkcji energii z różnych źródeł z punktu widzenia państwa. Jeszcze 10-20 lat temu bardzo popularną była tzw. metoda LCOE (*Levelised Cost of Electricity*), która wyliczała jednostkowy uśredniony koszt produkcji energii rozłożony na cały okres eksploatacji danego typu elektrowni. Metoda LCOE dość dobrze oddawała realia tamtego okresu, kiedy udział niestabilnych OZE w systemach elektroenergetycznych był niewielki. Obecnie na całym świecie odchodzi się od jej stosowania, ponieważ nie oblicza ona łącznego kosztu dostaw energii do odbiorców i tym samym daje wyniki nie odzwierciedlające rzeczywistości, a często stojące w rażącej sprzeczności do niej. Metody częściowo uwzględniające pełny rachunek dla odbiorcy stosuje od kilku lat m.in. Międzynarodowa Agencja Energii OECD (IEA/OECD) i amerykański Departament Energii (US DoE).

W 2020 r. na potrzeby rządowe wykonano analizę porównawczą pełnego kosztu wytwarzania energii elektrycznej przez różne źródła (14). Badanie zostało przeprowadzone przy zastosowaniu metodyki kosztu całkowitego pozwalającej na uwzględnienie dodatkowych kosztów skojarzonych z wytwarzaniem energii elektrycznej, nie uwzględnianych przy standardowej ocenie inwestycji energetycznych (tj. metodyce LCOE), czyli tzw. kosztów zewnętrznych, na które składają się:

- koszty systemowe – rezerwa mocy, rozbudowa i utrzymanie sieci, bilansowanie,
- koszty środowiskowe – zdrowie, ekosystem,
- koszty makroekonomiczne – bezpieczeństwo, bilans import-eksport, zatrudnienie.

RYS. 7. ZESTAWIENIE KOSZTÓW WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W RÓŻNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII - ANALIZA BP I PSE NA ZLECENIE MK (14). WACC 6%, UDZIAŁ OZE 35%. WARTOŚCI ŁĄCZNE MOGĄ RÓŻNIĆ SIĘ OD SUMY SKŁADNIKÓW Z UWAGI NA ZAOKRĄGLENIA

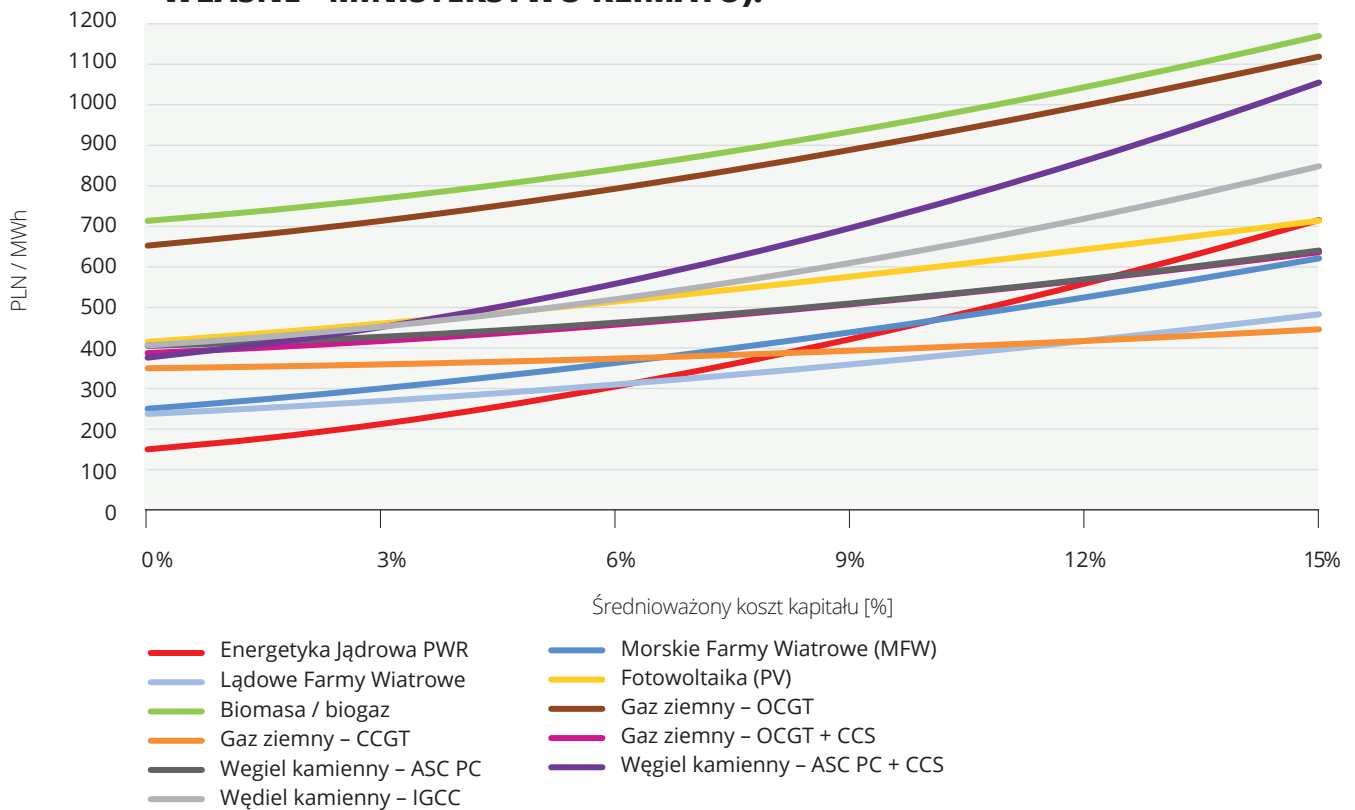


Koszty te ponoszą odbiorcy energii, ludzie i środowisko, ale nie są one wyceniane przez tzw. rynek energii, ani nie są uwzględniane przez inwestorów przy tworzeniu projektów nowych jednostek wytwórczych. Państwo (rząd), planując długoterminowy rozwój gospodarczy i społeczny, dążąc do dobrobytu obywateli i ważąc interesy wszystkich grup społecznych, powinno uwzględniać pełne koszty związane z wytwarzaniem energii, a nie patrzeć jedynie przez pryzmat krótkoterminowych korzyści wybranych inwestorów. Koszty zdrowotne i środowiskowe stanowią coraz większe wyzwanie i nie mogą być już pomijane w analizach.

Metodyka kosztu całkowitego przypisuje koszty zewnętrzne bezpośrednio do ich źródła, dążąc do sprawiedliwego rozdziału kosztu między inwestorów, odbiorców końcowych i pozostałych uczestników rynku energii. Pokazuje ona zatem, jakie są prawdziwe, pełne koszty produkcji energii przez poszczególne źródła wytwórcze.

Zastosowany model dobiera optymalny miks energetyczny z uwzględnieniem pełnych kosztów. Analiza zawiera 4 warianty (scenariusze) rozwoju miks energetyczny w Polsce do 2050 r., w tym dwa oparte o odgórny brak budowy elektrowni jądrowych. Celem takiego doboru wariantów było zbadanie wpływu rozwoju energetyki jądrowej na kształt i koszt miks energetyczny. Przeprowadzono również analizę wrażliwości kosztu całkowitego wytwarzania energii poszczególnych technologii energetycznych. Zbadano jak duży wpływ na koszty produkcji energii ma zmiana takich czynników jak koszty paliwa, koszty uprawnień do emisji CO₂, koszty kapitału, nakłady inwestycyjne, współczynnik wykorzystania mocy, wydłużenie czasu budowy.

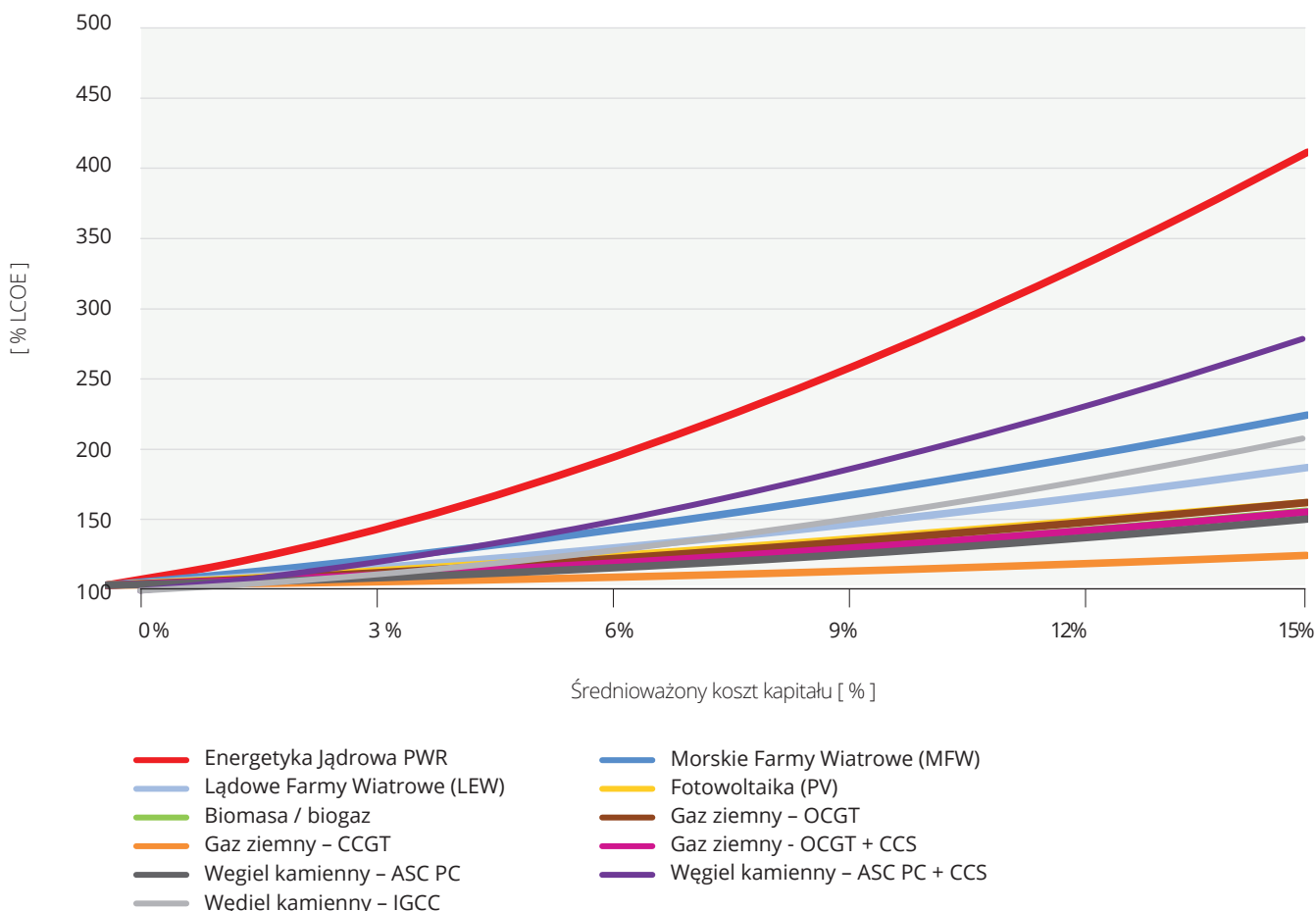
RYS. 8. **UŚREDNIONY KOSZT CAŁKOWITY WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ (ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE - MINISTERSTWO KLIMATU).**



Badania doprowadziły do 5 kluczowych wniosków:

- według rachunku całkowitych kosztów wytwarzania energii elektrycznej, przy zapewnieniu odpowiednich warunków rozwoju, elektrownie jądrowe są jednymi z najtańszych jednostek wytwórczych w perspektywie 2050 r.,
- w perspektywie 2045 r. optymalna wielkość mocy jądrowych będzie wynosić ok. 7,7 GWe netto, co oznacza udział energetyki w miksie (wytwarzanie) na poziomie 27%, rozszerzona perspektywa analizy wskazuje na opłacalność budowy ok. 10 GW netto EJ do 2050 r.,
- elektrownie jądrowe przyczyniają się do ograniczenia zapotrzebowania na gaz ziemny w sektorze elektroenergetycznym, minimalizując wpływ kapitału związany z importem surowca,
- koszty systemowe rosną wraz z rosnącym udziałem niestabilnych źródeł OZE w produkcji energii, znacząco zwiększając całkowity koszt wytwarzania energii w systemie; źródła dysponowane, takie jak elektrownie jądrowe, pozwalają ograniczyć generowanie tych kosztów, zapewniając bezpieczeństwo pracy systemu elektroenergetycznego,
- uśrednione koszty całkowite wytwarzania energii w 2020 r. wynoszą 352 zł/MWh. W 2045 r. najniższe będą w scenariuszu w którym EJ powstawać będzie drogą wolnej optymalizacji (334 zł/MWh), najwyższe zaś w scenariuszu bez EJ (358 zł/MWh). Wydłużona perspektywa modelu wskazuje na dalszy spadek kosztu całkowitego przy kontynuacji rozwoju EJ (317 PLN/MWh w 2050 r.)

RYS. 9. **UŚREDNIONY KOSZT CAŁKOWITY WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ (ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE - MINISTERSTWO KLIMATU).**



INSTYTUT SOBIESKIEGO  Źródło: opracowanie własne - Ministerstwo Klimatu

Analiza wrażliwości wykazała, że koszt kapitału jest czynnikiem najsilniej wpływającym na koszty wytwarzania energii w blokach jądrowych.

Biorąc powyższe pod uwagę, jednym z głównych zadań rządu na drodze do realizacji **Programu polskiej energetyki jądrowej, jest zapewnienie możliwie najtańszego finansowania budowy elektrowni jądrowych. To rząd ma największy wpływ na wiarygodność projektu, sprawność jego realizacji oraz gwarancje dla inwestorów (w tym gwarancje odbioru wyprodukowanej energii), a zatem na główne elementy tworzące „premię za ryzyko” i determinujące koszty kapitałowe.** W tym kontekście decyzja rządu o wykupie spółki PGE EJ1 przez Skarb Państwa i przejęciu pełnej odpowiedzialności za realizację inwestycji jest słuszna. Należy bowiem pamiętać, że grupa PGE jest notowana na Giełdzie Papierów Wartościowych, co oznacza, że musi odpowiednio wyceniać ryzyko inwestycyjne, które w przypadku inwestycji jądrowej jest wyższe niż w przypadku innych źródeł. Pozyskanie taniego kapitału jest osiągalne, nawet z ominięciem niekorzystnych dla EJ zasad taksonomii UE, gdyż nie ma ona zastosowania do podmiotów spoza Unii (przykładem mogą być agencje kredytów eksportowych z Japonii, Korei, USA itp.), ale nawet przy jej uwzględnieniu da się pozyskać niskooprocentowane środki krajowe z różnych źródeł. Jednak tani kapitał to tylko jeden z kilku kluczowych elementów przedsięwzięcia – o czym szerzej w rozdziale 7.

3.3. Wpływ elektrowni jądrowych na gospodarkę

Etap budowy

Energetyka jądrowa już na etapie budowy ma pozytywny i policzalny wpływ na gospodarkę. Najwięcej na realizacji inwestycji jądrowych, analogicznie do innych megaprojektów, zyskują sektory budowlany, elektromaszynowy, chemiczny i sektor usług finansowych (15) (16) (17) (18) (19). Potwierdza to np. Przypadek Korei Południowej. Państwo to jest wzorcowym przykładem wdrożenia energetyki jądrowej z sukcesem począwszy od etapu biorcy technologii aż do udanego eksportu własnych reaktorów (18) (20). Budowa jednego bloku jądrowego (mocy 1000 MWe) generuje łączną wartość produkcji (ang. *industrial output*) w różnych gałęziach przemysłu na poziomie 3,67 mld EUR. Poszczególne działy gospodarki uczestniczą w niej następująco: produkcja maszyn (21%), usługi finansowe i ubezpieczenia (13%), budownictwo (12%), elektronika (11%) oraz obsługa działalności gospodarczej (11%) (16). Przekładając te dane na warunki polskie prezentowane w Tab. 1 zestawienie można uznać za ostrożne, że efekty makroekonomiczne będą zdecydowanie większe, bowiem w Polsce planowana jest budowa 2 bloków w tej samej perspektywie czasowej o mocy 1-1,5 GWe każdy, a docelowo, wg PPEJ, wybudowanie 6-9 GWe, co oznacza budowę łącznie 4-8 bloków w zależności od wybranej technologii.

TAB. 1. **WARTOŚĆ PRODUKCJI ORAZ WARTOŚĆ DODANA W WYBRANYCH DZIAŁACH GOSPODARKI KOREI PŁD., DZIĘKI BUDOWIE (TJ. DZIĘKI PROCESOWI BUDOWLANEMU) JEDNEGO BLOKU JĄDROWEGO W OSTATNIM ROKU ANALIZY (2005) (MLD EUR2019) (16)**

Dział gospodarki	Wartość produkcji	Wartość dodana
Produkcja metali	0,26	0,05
Produkcja metalowych wyrobów gotowych	0,10	0,04
Produkcja maszyn i urządzeń	0,77	0,24
Produkcja urządzeń elektrycznych i elektronicznych	0,40	0,11
Budownictwo energetyczne	0,44	0,16
Transport i gospodarka magazynowa	0,08	0,04
Usługi finansowe i ubezpieczenia	0,49	0,35
Obsługa rynku nieruchomości	0,06	0,05
Obsługa działalności gospodarczej	0,42	0,24
Edukacja i nauka	0,05	0,04
Pozostałe działy	0,60	0,21
Łącznie	3,67	1,53

TAB. 2. **WSKAŹNIKI ZATRUDNIENIA PRZY POSZCZEGÓLNYCH ETAPACH BUDOWY EJ POJEDYNCZEGO BLOKU LWR 1000 MWE ORAZ ZAŁOŻENIU 2000 H/ROK (19)**

Etap	Zatrudnienie (osobo – lata)	Uśredniony czas
Budowa	12 000	10 lat
Eksploatacja	30 000	50 lat
Likwidacja	5000	10 lat
Zarządzanie odpadami jądrowymi	3000	40 lat
SUMA	50 000	
Pośrednie miejsca pracy (mnożnik pośrednich miejsc pracy = 1) Korea Płd. = 1,25 Francja = 0,912	50 000	



Bezpośrednie zatrudnienie przy budowie i eksploatacji komercyjnych elektrowni jądrowych obejmuje zarówno pracowników stałych, jak i podwykonawców usług zewnętrznych (personel ochrony, serwisanci z różnych branż, personel sprzątający itd.). Z kolei zatrudnienie pośrednie obejmuje personel zaangażowany w jądrowym łańcuchu dostaw (pośredni I rzędu) i dostarczanie produktów i usług do tego łańcucha (pośredni n rzędu). Wyróżnia się też tzw. indukowane miejsca pracy, generowane przez wyżej wymieniony personel poprzez zwiększone wydatki konsumpcyjne, co ma umiarkowany pozytywny wpływ na przemysł spożywczy, kosmetyczny, telekomunikacyjny, branżę hotelarską i gastronomiczną oraz transport. Większość z tych miejsc pracy powstaje w bliskim sąsiedztwie inwestycji. Szacunki dotyczące liczby pracowników pośrednich i indukowanych niezależnie od kraju są zbliżone.

Na podstawie realizowanych budów przyjmuje się, że 4 reaktory Westinghouse AP1000 budowane w Stanach Zjednoczonych wymagałyby łącznie 22 550 pracowników na placu budowy w pełnym wymiarze godzin rocznie (2000 h/rok). Średnia liczba bezpośrednich miejsc pracy w dowolnym roku w ciągu 10 lat budowy wynosi około 1 025 dla 1 000 MWe (netto) (19).

TAB. 3. **WPŁYW INWESTYCJI EJ W USA NA TWORZENIE MIEJSC PRACY POPRZECZ ŁAŃCUCH DOSTAW W CZASIE BUDOWY ELEKTROWNI (WPŁYW POŚREDNI - INDIRECT IMPACT) (3)**

Obszar inwestycji	Mnożnik
Budowa EJ	0,33
Produkcja głównych urządzeń	1,37



Szacunkowo, zapotrzebowanie na pracowników tylko na etapie budowy 2 pierwszych bloków, w oparciu o założenia PPEJ, to 1-1,2 tys. etatów, a w szczycie prac zapotrzebowanie to wzrasta nawet do 2,5-3 tys. pośrednich miejsc pracy. Łączna liczba będzie jednak większa, gdyż różni fachowcy są potrzebni z różnym natężeniem na poszczególnych etapach prac budowlanych i montażowych. Dodatkowo, na każdych 100 pracowników zatrudnionych przy budowie, wytworzą się dodatkowo 33 miejsca pracy w łańcuchu dostaw na potrzeby samej inwestycji oraz dodatkowe 137 miejsc pracy związanych z produkcją urządzeń, zarówno dla części jądrowej, jak i konwencjonalnej.

Można przyjąć, że polskie przedsiębiorstwa będą partycypować w tej części łańcucha dostaw na poziomie 50-70% w pierwszej fazie realizacji PPEJ (17). W efekcie można przyjąć, że będzie to skutkowało, po skorygowaniu, mnożnikiem 0,68-0,96 dla tych miejsc pracy w przemyśle. Docelowo można się spodziewać 5-6,8 tys. bezpośrednich i pośrednich miejsc pracy wynikające z budowy 1 GWe.

W tym miejscu warto odwołać się i do polskich doświadczeń. Budowa EJ „Żarnowiec” oraz EJ „Warta” miały generować średnio 2,5-2,9 miejsc pracy na budowany 1 MWe (18). Wprowadzenie postępu technologicznego i automatyzacja pracy od lat 80. ub. wieku przyczyniły się do zmniejszenia zaangażowania osób pracujących fizycznie, z drugiej jednak strony spowodowały wzrost zaangażowania osób pracujących umysłowo. Wskaźniki te mogą więc być mniejsze dla dwóch pierwszych bloków budowanych w Polsce, wciąż oscylując we wskazanym wcześniej przedziale dotyczącym zaangażowania podczas budowy 2 pierwszych bloków.

TAB. 4. **KREACJA MIEJSC PRACY – REAKTORY PWR W USA** (19)

Sektor przemysłu wg North American Industry Classification System	Koszty: Zatrudnienie EJ - bezpośrednie [tys. USD]	Koszty: Zatrudnienie EJ - inne [tys. USD]	Zatrudnienie w przemyśle w odniesieniu do zatrudnienia w EJ [podzielone przez 1000]	Płace roczne w sektorze [USD]	Zatrudnienie bezpośrednie	Zatrudnienie pośrednie I-ego rzędu	Zatrudnienie pośrednie i bezpośrednie
Przemysł ciężki i roboty budowlane NAICS 237	45 188	208 598	0,375%	56 915	794	782	1 576
Wyspecjalizowany handel NAICS 238	290 469	205 413	0,601%	44 856	6 476	1 235	7 711
Produkcja metali NAICS 33	18 679	40 431	0,146%	59 203	316	59	374
Produkcja gotowych wyrobów metalowych NAICS 3321	97 203	491 036	0,408%	48 758	1 994	2 006	3 999
Produkcja maszyn NAICS 333	127 332	645 959	0,262%	56 743	2 244	1 695	3 939
Produkcja komputerów i produktów elektronicznych NAICS 334	53 562	97 944	0,273%	73 431	729	268	997

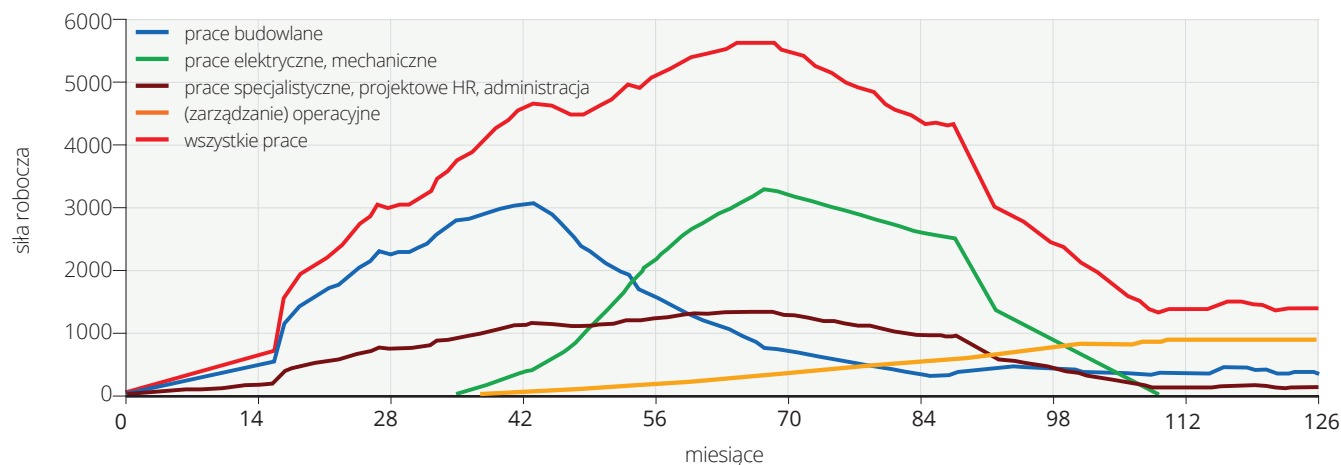
Sektor przemysłu wg North American Industry Classification System	Koszty: Zatrudnienie EJ - bezpośrednie [tys. USD]	Koszty: Zatrudnienie EJ - inne [tys. USD]	Zatrudnienie w przemyśle w odniesieniu do zatrudnienia w EJ [podzielone przez 1000]	Płace roczne w sektorze [USD]	Zatrudnienie bezpośrednie	Zatrudnienie pośrednie I-ego rzędu	Zatrudnienie pośrednie i bezpośrednie
Finanse i ubezpieczenia NAICS 52	0	149 261	0,166%	86 668	0	248	248
Usługi profesjonalne, naukowe i techniczne NAICS 541	0	727 253	0,554%	70 871	0	4 030	4 030
Zatrudnienie	853 302			61 405	13 896	10 577	24 473
Zatrudnienie/MWe					12,1	9,2	21,3
Mnożnik: (pierwsze zamówienie pośrednie)/bezpśrednie						0,761	

Prawidłowość tę potwierdzają analizy wykonywane w ramach brytyjskiego programu jądrowego (21), gdzie najbliższy polskiemu programowi jest wariant budowy 10 GWe mocy i udział krajowego przemysłu na ogólnym poziomie 44% dla pierwszych dwóch bloków i 63% dla kolejnych, które są realne do osiągnięcia. Oszacowano, że na etapie budowy będzie około 33 tys. miejsc pracy.

TAB. 5. **ODDZIAŁYWANIE PROGRAMU BUDOWY 10 GW MOCY JĄDROWYCH NA BRYTYJSKĄ GOSPODARKĘ W LATACH 2012-2030 (21)**

Rodzaj oddziaływania	Wartość produkcji sprzedanej (mld EUR ₂₀₁₉)	Wartość dodana brutto (mld EUR ₂₀₁₉)	Zatrudnienie (osobo -lata)
Bezpośrednie (<i>direct</i>)	25,482	11,196	106 200
Pośrednie (<i>indirect</i>)	20,076	9,009	121 400
Indukowane (<i>induced</i>)	14,156	7,207	104 900
Łączne (<i>total</i>)	59,586	27,412	332 500

Skalę prognozy potwierdzają nowsze analizy dotyczące budowy Hinkely Point C (3,2 GWe) w brytyjskim raporcie rządowym z 2018 r. (22), gdzie oczekuje się, że jedynie ta inwestycja wykreuje około 25 000 miejsc pracy w sektorach: budownictwa, inżynierii wodno-ładowej, instalacji elektrycznych, zarządzania projektami, obsługi administracyjno-księgowej, handlu, hotelarstwa i cateringu, logistyki, usług ochrony, itd.

RYS. 10. **PODSTAWOWE SEKTORY SIŁY ROBOCZEJ W TRAKCIE TRWANIA PROJEKTU JĄDROWEGO (22)**

INSTYTUT
SOBIESKIEGO 

W Polsce, jest około 70 przedsiębiorstw, które mają kompetencje i świeżo nabyte doświadczenie z budowy obiektów jądrowych za granicą (17), a kilkaset kolejnych polskich firm jest w stanie takie kompetencje nabyć w krótkim czasie, w przypadku rozpoczęcia realizacji PPEJ. Dodatkowo w niektórych obszarach, mimo ogólnie większego uprzemysłowienia Zjednoczonego Królestwa, nasze przedsiębiorstwa posiadają wyższe kompetencje niż przedsiębiorstwa brytyjskie, np. wytwarzamy elementy turbin parowych do EJ.

Każdy z pracowników zatrudnionych bezpośrednio przy budowie elektrowni jądrowej, przez swoje zwiększone wydatki konsumpcyjne przyczyni się do utworzenia kolejnych nowych miejsc pracy (84 na 100 pracowników) w branżach usługowych w regionie budowy.

TAB. 6. **EFEKTY MNOŻNIKOWE PRZY ZATRUDNIENIU NA BUDOWIE JEDNEGO BŁOKU JĄDROWEGO ORAZ W ZAKŁADACH PRODUKCYJNYCH, A TAKŻE DLA WARTOŚCI DODANEJ - INDUKOWANE ORAZ ŁĄCZNE (30)**

Obszar inwestycji	Mnożnik dla wpływu indukowanego		Mnożnik dla całkowitego wpływu (indukowany + pośredni)	
	Zatrudnienie	Wartość dodana	Zatrudnienie	Wartość dodana
Budowa	0,84	1,17	2,17	2,70
Produkcja materiałów i urządzeń	1,79	1,23	4,15	3,45
Ogółem (średnio)	1,36	1,20	3,27	3,11

INSTYTUT
SOBIESKIEGO 

Również realizacja innych megaprojektów energetycznych w ostatnich latach w Polsce potwierdza skalę zatrudnienia podczas budowy. Bloki węglowe 5 i 6 w Elektrowni Opole (PGE) o łącznej mocy 1800 MWe, realizowanej w latach 2014-2019, wymagały w szczycie prac zaangażowania około 5,5 tysięcy osób (23), przy zaangażowaniu polskich firm na poziomie 70%. Podobną skalę zaangażowania wymaga budowa elektrowni węglowej Nowe Jaworzno (TAURON) o mocy 910 MWe. W 2018 r. każdego dnia pracowało średnio 2190 osób. Maksymalnie, w jednym dniu na terenie budowy pracę wykonywało nawet do 3030 osób (24).

Bez względu na technologię i rodzaj inwestycji, zagraniczni wykonawcy preferują zatrudnianie lokalnych robotników i inżynierów, a także dobór lokalnych firm do podwykonawstwa ze względu na niższe koszty pracy i koszty logistyki. Dla prac budowlano-montażowych niewymagających specjalistycznej wiedzy i doświadczenia, związanych z wyspą konwencjonalną (turbinową), zdecydowaną większość ekip budowlanych będą stanowić pracownicy polskich przedsiębiorstw.

Etap eksploatacji

Niezależnie od pozytywnego wpływu energetyki jądrowej w wymiarze makroekonomicznym poprzez zapewnienie, przy odpowiednim modelu biznesowym, stabilnych i względnie niskich cen energii, eksploatacja elektrowni jądrowych jako dużych obiektów przemysłowych przynosi również korzyści mikroekonomiczne.

Podobnie, jak ma to miejsce na etapie budowy, kreacja nowych miejsc pracy w okresie eksploatacji jest również zauważalna. Tworzone są nie tylko miejsca pracy bezpośrednio związane z zapewnieniem zaplecza i usług dla elektrowni jądrowej (cykl paliwowy, naprawy i remonty, usługi doradztwa, badania, przetwarzanie danych, ubezpieczenia itp.), ale także indukowane dzięki zwiększonej sile nabywczej na poziomie lokalnym, na towary i usługi związane z codziennymi wydatkami konsumpcyjnymi.

W 2013 r. w komercyjnym przemyśle jądrowym w USA zatrudnionych było bezpośrednio 62 170 osób w elektrowniach ze 104 blokami jądrowymi. Na tak dużej próbie oszacowano statystyczne zatrudnienie z podziałem na wielkość bloków i wykonywane zajęcia.

TAB. 7. **ZATRUDNIENIE W EJ W USA, W ZALEŻNOŚCI OD LICZBY BLOKÓW** (25)

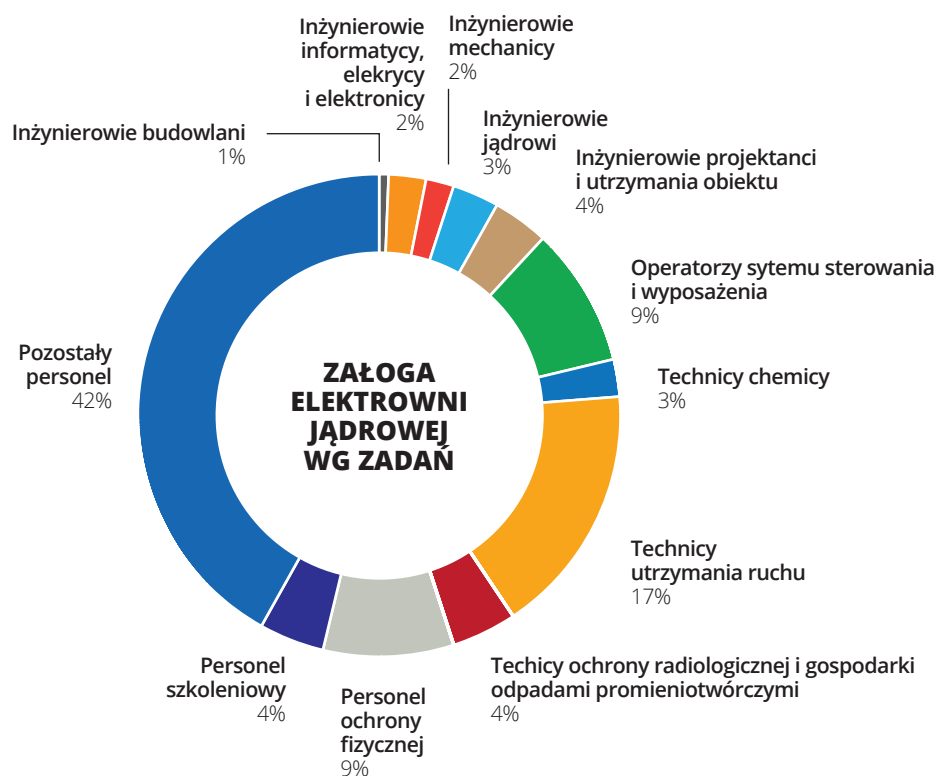
	1 Blok	2 Bloki	3 Bloki
	Zatrudnienie [osoby]		
Średnie	700	960	1640
Minimalne	460	640	1130
Maksymalne	1040	1520	2260

TAB. 8. **EFEKTY MNOŻNIKOWE EKSPLOATACJI JEDNEGO JĄDROWEGO BLOKU ENERGETYCZNEGO WG OXFORD ECONOMICS (WARUNKI AMERYKAŃSKIE)** (34)

	Pośredni (indirect)	Indukowany (induced)	Łączny
Miejsca pracy	0,17	0,62	1,79
Wartość dodana	0,13	0,30	1,42

W samej elektrowni zatrudnienie może znaleźć personel o szerokim wykształceniu, nie tylko ściśle jądrowym, ponieważ duża część urządzeń ma podobne przeznaczenie jak w elektrowniach konwencjonalnych lub innych dużych zakładach przemysłowych.

RYS. 11. **PODZIAŁ ZAŁOGI ELEKTROWNI JĄDROWEJ WG ZADAŃ** (18)



Według publikacji Oxford Economics z 2011 r. (19), eksploatacja 6 bloków jądrowych o łącznej mocy 6000 MWe, może wygenerować około 3200 bezpośrednich miejsc pracy w samych elektrowniach oraz 23 000 dalszych miejsc pracy w gospodarce. Wszystkie stanowiska pracy w polskich elektrowniach jądrowych będą docelowo obsadzone przez lokalną kadrę. Przez pierwszych kilka lat eksploatacji część załogi ruchowej może być zdublowana pracownikami zagranicznego dostawcy technologii, których zadaniem będzie wdrożenie polskiej załogi do pracy w nowym środowisku i zapoznanie ze specyfiką wszystkich urządzeń i obiektów (przyuczenie), co jest światową praktyką bez względu na rodzaj stosowanej technologii.

Powyższe liczby nie uwzględniają wykreowanych miejsc pracy przez operatora elektrowni w siedzibie właściciela, typowych jak dla spółek energetycznych oraz organizacji korporacyjnych – dodatkowe ok. 150-400 osób.

Docelowo, w oparciu o powyższe można oszacować, że eksploatacja tylko dwóch pierwszych bloków (2-3 GWe) będzie skutkowałą zaangażowaniem z eksploatacją i zarządzaniem elektrownią 0,9-1,2 tys. osób na każdy 1 GWe. Dodatkowo, zostaną wygenerowane w przemyśle związanym z zabezpieczeniem odpowiedniego zaplecza dla funkcjonowania elektrowni jądrowej (w tym postępowaniem z odpadami) około 0,15-0,21 tys. miejsc pracy przypadające na każdy 1 GWe mocy zainstalowanej. Z kolei indukowany wpływ można szacować na kolejne 0,5-0,8 tys. miejsc pracy. Szacunki dotyczące skali zatrudnienia potwierdzają obliczenia wykonane dla inwestycji Hinkley Point C. W fazie eksploatacji załoga elektrowni będzie liczyć 900 osób, w tym około połowy może pochodzić z naboru lokalnego (26). Inwestor chce zwiększać udział lokalnych pracowników przez wykształcenie na własne potrzeby techników w miejscowych szkołach – za pomocą programu stypendialnego, przeznaczając ok. 10 mln GBP w specjalne programy kształcenia w miejscowych college'ach, połączone z praktykami zawodowymi. Absolwenci będą mieć możliwość znalezienia pracy w innych elektrowniach jądrowych z uwagi na niewystarczającą podaż specjalistów do pracy w elektrowniach w Europie wynikającą z m.in. starzenia się społeczeństwa europejskiego, a w konsekwencji kadr. **Polska również po uruchomieniu PPEJ ma szansę na współpracę międzynarodową z dostawcą technologii w ramach szkolenia i przygotowania zaplecza kadrowego dla przyszłych obiektów jądrowych. Proces edukacyjny trwa kilka, kilkanaście lat i wymaga intensywnego ukierunkowanego rozwoju uczelni wyższych i instytucji badawczych, ale też szkół zawodowych, aby wypełnić zapotrzebowanie rynku na wykwalifikowanych pracowników fizycznych.**

Również na poziomie gospodarki regionalnej, pozytywny wpływ tak dużego obiektu jak elektrownia jądrowa będzie istotnie zauważalny. Przykładowo, najbogatszą gminą w Polsce jest Kleszczów w woj. łódzkim, w którym mieszczą się dwa wielkie zakłady przemysłowe: kopalnia węgla brunatnego i elektrownia na węgiel brunatny, które zapłaciły gminie w 2013 r. łącznie ok. 200 mln PLN z tytułu podatków i opłat lokalnych. Zarówno Kleszczów, jak i druga w kolejności najbogatsza gmina Polkowice (główny płatnik: kopalnia miedzi należąca do KGHM S.A.), przeznaczają wpływy z podatków między innymi na podniesienie standardu życia mieszkańców gminy.

Na budowie EJ najbardziej skorzystałyby gminy położone najbliżej elektrowni, czyli Krokowa i Gniewino, w nieco mniejszym zakresie miasto Wejherowo i pozostałe okoliczne gminy. Skala przychodów jest duża, nie zawiera jednak bezpośredniego dotowania inwestora lokalnej społeczności. EDF, w ramach rozwoju Hinkley Point C, przeznaczył 20 mln GBP na potrzeby lokalne (społeczne, gospodarcze, środowiskowe) (27). Należy założyć, że **budowa elektrowni jądrowych w Polsce będzie miała istotnie odczuwalny, pozytywny wpływ na gospodarkę lokalną m.in. dzięki inwestycjom sfinansowanym z podatków lub bezpośrednio przez inwestora**¹.

¹ W przypadku energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej przychody pochodzące z podatków dla danej gminy są niższe. Zasadniczą część podatku - od budowli, nakładana jest od powierzchni stykającej się z gruntem. Dla farm wiatrowych głównie jest to powierzchnia fundamentów turbin oraz budynków stacji trafo. W przypadku instalacji fotowoltaicznych posadowionych na gruncie podatek odprowadzany jest od systemów mocowania, które stanowią kilka procent powierzchni farmy(34). Sam proces inwestycyjny w zależności od wielkości instalacji PV i wiatrowych trwa 12-36 miesięcy, a eksploatacja 25 lat

TAB. 9. **ROCZNE DOCHODY PODATKOWE DLA JEDNOSTEK SAMORZĄDU TERYTORIALNEGO (JST) W FAZIE BUDOWY I EKSPLOATACJI POTENCJALNEJ NOWEJ ELEKTROWNI JĄDROWEJ ŻARNOWIEC (15)**

JST	Podatek (kwoty w PLN ₂₀₁₅)				Suma dochodów z podatków w fazie eksploatacji EJ
	Od nieruchomości (w tym redystrybucja)	CIT (tylko od EJ)	PIT		
			Faza budowy EJ	Faza eksploatacji EJ	
gmina Krokowa	192 350 450,00	17 261 452,45	8 922 312,00	1 784 462,40	211 396 364,85
gmina Władysławowo	38 470 090,00	-	4 639 602,24	927 920,45	39 398 010,45
gmina wiejska Puck	38 470 090,00	-	4 282 709,76	856 541,95	39 326 631,95
gmina Gniewino	38 470 090,00	-	8 922 312,00	1 784 462,40	40 254 552,40
gmina wiejska Wejherowo	38 470 090,00	-	3 568 924,80	713 784,96	39 183 874,96
miasto Wejherowo	-	-	5 353 387,20	1 070 677,44	1 070 677,44
gmina Choczewo	38 470 090,00	-	-	-	38 470 090,00
powiat pucki	-	3 601 495,30	4 649 400,00	929 880,00	4 531 375,30
powiat wejherowski	-	-	4 649 400,00	929 880,00	929 880,00
województwo pomorskie	-	36 014 952,96	1 451 520,00	290 304,00	36 305 256,96
SUMA					450 866 714,31

(Więcej na temat wpływu elektrowni jądrowej na odbiór społeczny i turystykę w rozdziale 9)

Wpływ na przemysł

Polska gospodarka może zyskać dzięki nowej gałęzi przemysłu i jej interakcjom z już istniejącymi. Jest to szczególnie ważne wobec wycofywania się przemysłu ciężkiego z Europy, a zwłaszcza wobec konieczności odbudowy i umacniania gospodarki osłabionej w wyniku pandemii COVID-19.

W tym miejscu warto ponownie wskazać na Koreę Południową jako wzorcowy przykład rozwoju przemysłu jądrowego. W momencie budowy pierwszej elektrowni jądrowej kraj miał niski stopień uprzemysłowienia i opierał się głównie na taniej sile roboczej – udział krajowych firm w budowie pierwszych 3 bloków był niewielki i sprowadzał się do przygotowania terenu i prac budowlanych w obiektach pomocniczych. Wraz ze stopniową industrializacją kraju i budową kolejnych bloków jądrowych, udział firm koreańskich zaczął się zwiększać, ale nadal obejmował on głównie prace budowlane przy niejądrowych częściach EJ – tutaj pojawia się analogia do stanu przygotowania Polski. Program przejmowania technologii zakończył się sukcesem, ponieważ wysoką samodzielność technologiczną (95%) osiągnięto w ciągu 16 lat od zakończenia budowy pierwszego bloku. Najnowszy reaktor APR+ (1500 MWe) wywodzący się z reaktorów Combustion Engineering (obecnie Westinghouse) jest już w większości oparty na technologiach koreańskich. Koreańscy inżynierowie i naukowcy od początku brali aktywny udział w budowie elektrowni, zdobywając wiedzę i doświadczenie. Dziś koreański przemysł jądrowy to ok. 600 przedsiębiorstw różnej wielkości, z których 250 specjalizuje się w produkcji materiałów i urządzeń do eksploatacji EJ, a pozostałych 350 uczestniczy głównie w pracach budowlano-montażowych. Standardy i wymagania jakości stosowane w przemyśle jądrowym zaczęto wykorzystywać także w innych branżach, co pociągnęło za sobą wzrost konkurencyjności całej gospodarki narodowej, głównie w produkcji metali, przemyśle stoczniowym oraz przemyśle ciężkim i maszynowym.

Realizacja PPEJ może pozytywnie wpłynąć na gospodarkę Polski, która częściowo wciąż jest oparta o przemysł ciężki. Niewątpliwymi atutami nowej gałęzi gospodarki będzie stabilizacja innych, ponieważ umowy na dostawy i usługi w przemyśle jądrowym są oparte o długoletnie kontrakty, co pozwala na zrównoważony rozwój firm różnych branż. Dodatkowo, wysokie standardy i transfer technologii przyspieszą transformację Polski w stronę nowoczesnego państwa, będąc również sygnałem stabilności i potencjału rozwoju dla inwestycji zagranicznych nie tylko w energetyce.

PERSPEKTYWA BIZNESOWA PPEJ

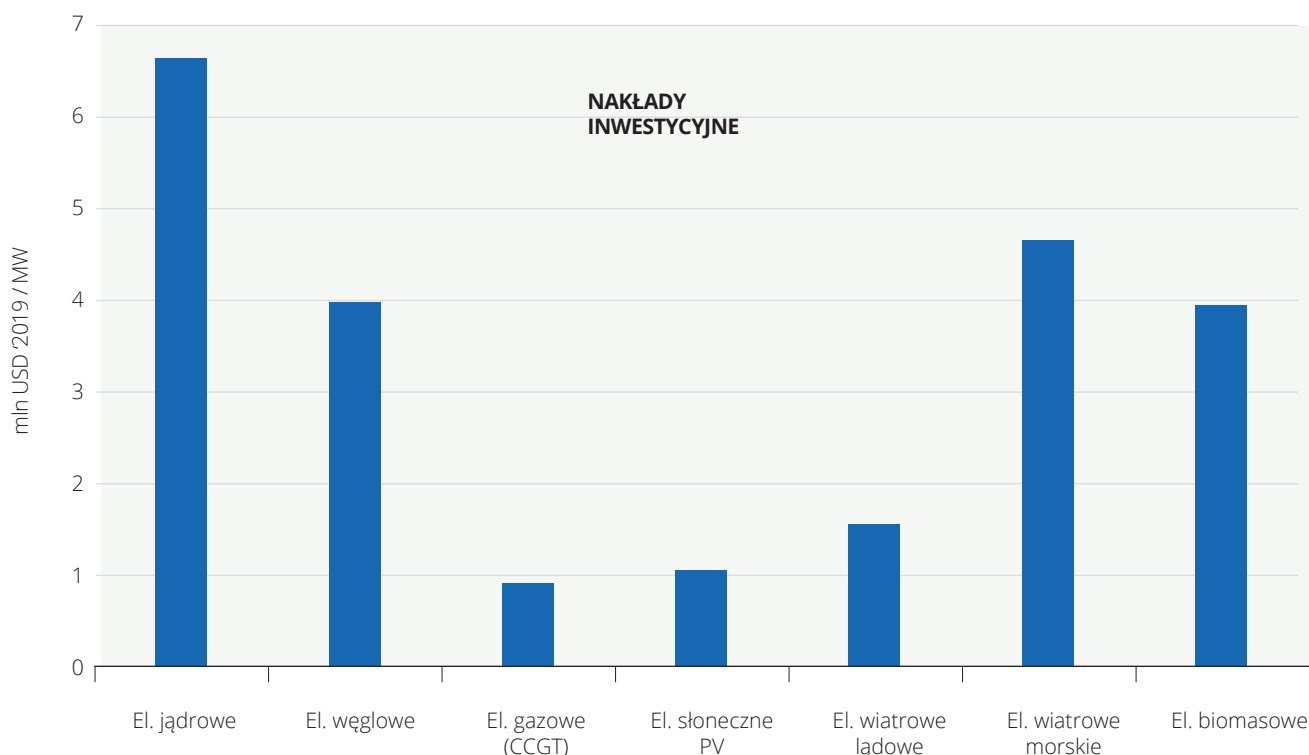
Łukasz Sawicki

4

4.1. Środowisko inwestycyjne w państwach zachodnich

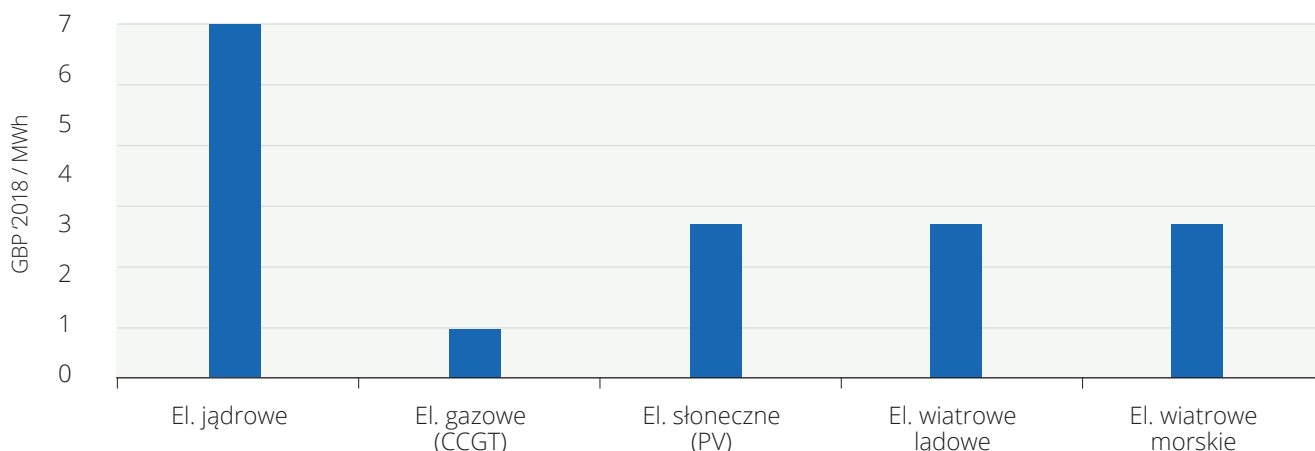
Elektrownie jądrowe, podobnie jak np. morskie farmy wiatrowe, charakteryzują się relatywnie wysokimi nakładami inwestycyjnymi, wysokimi kosztami stałymi eksploatacji i remontów (O&M), wysokim ryzykiem inwestycyjnym (długotrwała budowa, skomplikowane procedury administracyjne, ryzyko opóźnień i wzrostu kosztów budowy) i długim zwrotem z inwestycji.

RYS. 12. ŚREDNIE NAKŁADY INWESTYCYJNE (CAPEX) DLA RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W MLN USD DLA ROKU 2019 (WARUNKI AMERYKAŃSKIE) (28)



Wysokie są także koszty przygotowania projektu. Powyższe czynniki powodują, że wszystkie obecnie realizowane na świecie inwestycje jądrowe wymagają mniej lub bardziej aktywnego udziału państwa, podobnie zresztą jak ma to miejsce w przypadku OZE (programy pomocy publicznej), gazu ziemnego i „technologii przyszłości”, takich jak wodór.

RYS. 13. **PORÓWNANIE UDZIAŁU KOSZTÓW PRZYGOTOWANIA PROJEKTU W KOSZTACH PRODUKCJI ENERGII DLA RÓŻNYCH TYPÓW ELEKTROWNI. WARUNKI BRYTYJSKIE, CENY W GBP/MWH DLA 2018 R. (29), (30)**



INSTYTUT SOBIESKIEGO

Zrealizowane w przeszłości z sukcesem programy jądrowe większości państw zachodnioeuropejskich (Francja, Szwecja, Niemcy, Wielka Brytania, Belgia, Hiszpania, Włochy itd.) były efektem klarownej i stabilnej polityki energetycznej oraz rynków energii zapewniających bodźce dla inwestycji energetycznych. Dziś warunki rynkowe nie sprzyjają realizowaniu jakichkolwiek inwestycji nieposiadających gwarancji dla inwestorów, choć zakres tych gwarancji może być mniej lub bardziej jawny i szeroki. Państwa UE realizujące nowe inwestycje jądrowe podjęły decyzje o stworzeniu odpowiednich warunków dla realizacji tego typu projektów uzyskując każdorazowo akceptację Komisji Europejskiej (na zasadzie *“case-by-case”*). Każdy z tych mechanizmów jest jednak inny i dostosowany do warunków konkretnej inwestycji, co oznacza że **dla PPEJ nie ma w tej chwili uniwersalnego i pewnego rozwiązania w zakresie formuły biznesowej, zatem rząd powinien rozważyć opracowanie własnej koncepcji**, o czym szerzej w następnym podrozdziale.

4.2. Modele biznesowe dla polskiej energetyki jądrowej

Model biznesowy elektrowni jądrowych jest jednym z najważniejszych elementów inwestycji jądrowej, ponieważ nie tylko determinuje jej rentowność, ale także określa czy i w jakim stopniu niskie koszty produkcji energii w EJ przełożą się na rachunki odbiorców. Źle dobrany model może spowodować, że niskie nakłady inwestycyjne i niskie koszty kapitału co prawda umożliwią uzyskanie niskich kosztów produkcji energii w porównaniu do innych źródeł, ale nie spowoduje to obniżenia rachunków za prąd przedsiębiorstwom i gospodarstwom domowym, a może nawet spowodować ich podwyższenie.

W najnowszej wersji PPEJ nie określono jaki będzie pełny model biznesowy planowanych EJ, choć wskazano pewne elementy, m.in. współinwestora zagranicznego, który miałby kupić nie więcej niż 49% udziałów w spółce celowej. Nie określono charakteru tego inwestora – czy miałyby być to spółka energetyczna, fundusz inwestycyjny, czy inny podmiot. Wydaje się to dobrym posunięciem, gdyż zostawia rządowi duże pole manewru i wzmacnia jego pozycję negocjacyjną. Jednak niezależnie od typu inwestora, każdy z nich będzie prawdopodobnie wymagał zabezpieczeń i gwarancji ze strony państwa, w szczególności w zakresie gwarancji sprzedaży energii, w odniesieniu zarówno do jej ilości jak i ceny. Pozostałe elementy docelowego modelu będą musiały odpowiednio to uwzględnić.

Na świecie stosuje się wiele modeli biznesowych dla realizacji inwestycji jądrowych. Większość z nich składa się z kilku elementów:

- udział państwa (w mniejszym lub większym zakresie), podobnie jak przy OZE, energetyce węglowej i gazowej,
- określona struktura własnościowa inwestycji i źródła finansowania nakładów inwestycyjnych,
- gwarancja odbioru wyprodukowanej energii,
- gwarancja stałej ceny sprzedaży wyprodukowanej energii.

W przypadku OZE udział państwa polega na tworzeniu warunków dla inwestycji prywatnych i/lub spółek państwowych poprzez ustanowienie pierwszeństwa odbioru energii z OZE przez OSD (operator systemu dystrybucyjnego) i sprzedawców energii (spółki obrotu), ustanowienie stałych cen sprzedaży energii z OZE (*Feed-in-Tariff*) lub dopłat (*Feed-in-Premium*), a także przymusu zakupu energii z OZE. Dla inwestycji gazowych i węglowych rząd tworzy i gwarantuje mechanizmy mocowe np. rynek mocy, który służy głównie pokryciu kosztów stałych ponoszonych przez jednostki wytwórcze. W przypadku inwestycji jądrowych minimalny udział państwa to zapewnienie stabilnej i przewidywalnej długookresowej polityki energetycznej oraz stabilnych, transparentnych i niedyskryminujących ram prawnych dla rozwoju przemysłu jądrowego. Kolejne narzędzia wsparcia inwestycji to udział państwowych spółek, gwarancje i poręczenia kredytowe (w tym gwarancje polityczne i gwarancje dla kredytów eksportowych i ubezpieczeń), a następnie gwarancje dotyczące produkcji energii w EJ opisane wyżej. Zakres narzędzi może być znacznie szerszy.

Co do zasady, im większy udział państwa, tym niższe ryzyko inwestycyjne i niższe koszty produkcji energii, co ostatecznie powinno przełożyć się na korzyści dla obywateli. Nie jest to jednak tak oczywiste, ponieważ zależy to w dużym stopniu od przyjętego modelu biznesowego. Niskie koszty produkcji energii w EJ nie zawsze przekładają się na niskie rachunki za energię – niekiedy inwestor osiąga nadmierne zyski, co jest problemem również w innych branżach. Takie inwestycje spotykają się z krytyką społeczną i nie przysparzają energetyce jądrowej zwolenników. Dlatego **niezwykle ważne jest, aby modele biznesowe dla polskich EJ uwzględniały zarówno interesy inwestorów, jak i odbiorców energii**. Jak wspomniano w podrozdziale 6.3, rząd jest zobowiązany do wyważenia interesów wszystkich grup społecznych, zwłaszcza jeśli inwestycje jądrowe miałyby być wsparte pieniędzmi podatników (np. w formie gwarancji kredytowych). Dodatkowym wymaganiem w przypadku Polski jest **wymóg zgodności projektowanych modeli z prawodawstwem UE** (dyrektywy dotyczące rynku energii, konkurencyjności i innych istotnych obszarów) oraz długoterminowymi politykami, zwłaszcza polityką wobec sektora energetycznego, ponieważ polskie EJ będą eksploatowane w latach 2033 – 2143 (można spodziewać się nawet 100-letnich okresów eksploatacji, biorąc pod uwagę ostatnie doświadczenia innych krajów, w tym USA). Prognozowanie w tak długim horyzoncie czasu jest obarczone dużym błędem, niemniej jednak nie należy oczekiwać radykalnych zmian w obranych przez UE kierunkach rozwoju europejskiego sektora energetycznego.

Biorąc pod uwagę wcześniej wspomniany prowizoryczny charakter modeli stosowanych w ostatnich latach w UE, ich lokalną specyfikę, przewlekłość procedury uzyskiwania akceptacji Komisji Europejskiej, kontrowersje społeczne, a także nieperspektywiczny charakter większości modeli (np. biorąc pod uwagę kierunek podążania regulacji unijnych), rząd powinien opracować nowy model uwzględniający polskie i unijne uwarunkowania. **Model taki musi spełniać wszystkie wymienione niżej kryteria:**

- pewność (stabilność) inwestycyjna i atrakcyjność dla inwestorów,
- gwarancja odbioru wyprodukowanej energii,
- gwarancja stałej ceny sprzedaży wyprodukowanej energii,
- niskie koszty energii dla odbiorców i pewność dostaw (realne obniżenie "rachunków za prąd" w stosunku do ich obecnych poziomów),
- zgodność z prawodawstwem i strategiami unijnymi oraz możliwie duża odporność na ewentualne działania obstrukcyjne ze strony KE,
- łatwość i szybkość wdrożenia,
- kompleksowość i powtarzalność – możliwość zastosowania do całego PPEJ, a nie tylko pierwszej EJ, czy jednego bloku (bardzo istotne z punktu widzenia negocjacji z dostawcami technologii),
- minimalizacja obciążenia budżetu państwa i finansów publicznych (istotne m.in. z uwagi na kryzys gospodarczy spowodowany pandemią COVID-19),
- elastyczność,
- akceptowalność społeczna.

Pożądanym byłoby również, aby stworzony model przyczynił się do odbudowy polskiej gospodarki po kryzysie związanym z pandemią COVID-19 oraz realnie wspomagał reindustrializację kraju i rozwój polskich przedsiębiorstw. Zasadne wydaje się jak największe wykorzystanie polskiego kapitału i unikanie zwiększania zadłużenia zagranicznego i pogłębiania deficytu handlowego, choć część wydatków inwestycyjnych z pewnością będzie musiał pokryć import kluczowych urządzeń dla EJ.

Model biznesowy dla polskich EJ będzie jedną z najważniejszych decyzji gospodarczych rządu lat 20. obecnego wieku, będzie miał duży wpływ na większość działań polskiej gospodarki (więcej na ten temat w rozdziale 6) i zdeterminuje ich rozwój na najbliższe 100 lat. Jeśli zostanie dobrze skonstruowany, to nie tylko umożliwi realizację największego programu przemysłowego w Polsce po 1990 r., ale także uchroni kraj przed rozpoczynającym się kryzysem gospodarczo-społecznym, likwidacją dużej liczby miejsc pracy w Polsce, a następnie umożliwi szybki rozwój i sprostanie konkurencji przemysłowej (zarówno w branżach tradycyjnych, jak np. hutnictwo, cementownie, ale także w nowych, np. robotyka, IT) ze strony innych państw UE, a także państw spoza UE.

Decyzja rządu musi być starannie przemyślana i wyważona, ponieważ jej konsekwencje będą znacznie poważniejsze, niż tylko kwestia zbudowania lub niezbudowania EJ.

ODDZIAŁYWANIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH NA ŚRODOWISKO

Wojciech Gałusz

5

5.1. Ogólnie o oddziaływaniach.

Współczesna cywilizacja oparta jest na energii elektrycznej i coraz bardziej od niej uzależniona – musimy dostarczać energię niezależnie od pogody, czy pory dnia.

Praktycznie każde z ludzkich przedsięwzięć oddziałuje na środowisko – pośrednio, bezpośrednio i w sposób złożony. Nieraz jest to wpływ minimalny, widoczny dopiero w dłuższej perspektywie czasowej, innym razem – znaczący, widoczny od razu.

W przypadku większości inwestycji zazwyczaj określa się tylko oddziaływanie samego przedsięwzięcia: budując drogę mówi się o wpływie tej drogi, a nie o wytwórniach mas bitumicznych, budując tamę nie ocenia się wpływu zakładów wytwarzających cement, budując elektrownię węglową – ocenia się w postępowaniu środowiskowym sam zakład, bez kopalni, czy transportu, dzięki któremu dostarcza się węgiel.

Inaczej przyjęto się w dyskusjach publicznych w przypadku energetyki jądrowej. Tu drobiazgowo liczy się i zastanawia nad wpływem poszczególnych etapów pozyskania surowca energetycznego, budowy samej elektrowni, jej funkcjonowaniu oraz postępowaniu z odpadami.

Jest to podejście słuszne, natomiast warto mieć świadomość, że w podobny sposób powinny być oceniane również inne sposoby pozyskiwania energii. I tak na przykład, do produkcji elektrowni wiatrowych używa się cement, polimery, miedź, stal, pierwiastki ziem rzadkich, w ilościach większych niż w wypadku elektrowni jądrowej – przeliczając na tę samą ilość wyprodukowanej energii elektrycznej. Podobnie rzecz ma się w odniesieniu do elektrowni słonecznych.

5.2. Oddziaływanie w fazie wydobywania, przetwarzania i wzbogacania.

W Polsce eksploatacja rud uranu miała miejsce w latach 50. XX wieku. Stosunkowo niewielkie ilości rudy wydobywano na rzecz byłego Związku Radzieckiego. Obecnie w kraju, podobnie jak w całej Europie, nie wydobywa się już rud uranu jako kopaliny głównej. W 2017 r. została zamknięta ostatnia europejska kopalnia na terenie Czech (31).

Na świecie uran na potrzeby energetyki wydobywa się trzema metodami: odkrywkową, głębinową, oraz otworową, zwaną również metodą trawienia (ługowania) podziemnego.

W przypadku dwóch pierwszych metod, wydobycie uranu nie różni się od wydobycia innych minerałów. Głównym zagrożeniem są emisje pyłów zawierających substancje promieniotwórcze (głównie związki uranu) oraz towarzyszące minerały zawierające np. metale ciężkie. Na pyły najbardziej narażeni są pracownicy kopalni, dlatego stosuje się środki ochrony osobistej, a w miejscach wysokiej koncentracji rudy – w skrajnych przypadkach wydobycie odbywa się za pomocą zdalnie sterowanych urządzeń. W tych miejscach istotnym niebezpieczeństwem dla pracowników jest również promieniowanie gamma oraz radon – promieniotwórczy gaz szlachetny stale uwalniany się z wnętrza Ziemi, ale w złożach uranu i innych kopalni (m.in. fosforyty, węgiel, rudy metali nieżelaznych) występuje w znacząco wyższych stężeniach (32). Radon w różnych stężeniach obecny jest i w naszym otoczeniu. Migrując z wnętrza Ziemi pojawia się np. w piwnicach budynków.

Jako ochronę przed rozprzestrzenianiem się pyłów poza teren zakładu górniczego stosuje się różne metody. W trakcie eksploatacji w otoczeniu kopalni prowadzi się rutynowy monitoring powietrza, czy zanieczyszczenia powierzchni otaczającego terenu (33). Kolejny etap związany jest z kruszeniem rudy uranu, mieleniem i ługowaniem, w celu otrzymania uraninitu (minerał promieniotwórczy z gromady tlenków, stanowiący główne źródło otrzymywania uranu zawierający 86% U, radu, a także wielu innych pierwiastków) w zamkniętych przestrzeniach, ograniczając pylenie do minimum.

W przypadku metody otworowej, powierzchnia terenu zostaje zachowana w stanie nienaruszonym, natomiast przez odwierty tłoczono są do złoża płyny, m.in. nadtlenuk wodoru (czyli popularna „woda utleniona”), kwasy (np. kwas siarkowy), czy węglany (wodorowęglan sodu, węglan amonu lub rozpuszczony dwutlenek węgla), które rozpuszczają zawarte w złożu rudy uranu. Roztwór odpompowuje się kolejnym otworem i uzyskuje koncentrat do dalszej obróbki. W tym przypadku podstawowym zagrożeniem nie są zatłaczane związki chemiczne (te ulegają dość szybkiemu związaniu przez minerały zawarte w skałach), co ewentualny wyciek lub przesączanie się do wód gruntowych roztworu zawierającego wyługowane związki uranu. **Przy dobrze zaprojektowanych i realizowanych przedsięwzięciach tego typu, praktycznie nie dochodzi do znaczących uwolnień tych substancji.**

Pomimo, że jest to dominująca obecnie metoda pozyskania rud uranu, to rekultywacja tak wyeksploatowanych złóż jest trudna i – jako stosunkowo młoda technologia – wciąż rodzi pewne wyzwania. Wynikają one z wyśrubowanych norm środowiskowych, co oczywiście samo w sobie jest zjawiskiem pozytywnym i zgodne z założeniami idealnej rekultywacji. Na przykładzie Stanów Zjednoczonych – w wyniku rekultywacji konieczne jest uzyskanie jakości wody w złożu takiej samej, jak przed rozpoczęciem eksploatacji, co oznacza utrzymanie bardzo wysokich standardów środowiskowych i nawet niewielkie zmiany jakości wody w złożu nie pozwalają na zakończenie procesu pozyskiwania. Warto mieć świadomość, że nie są to unikalne problemy górnictwa uranowego, ale problemy całego sektora wydobywczego, który, równolegle do wydobywania węgla, ropy i gazu, w znacznej swej części pracuje również na potrzeby odnawialnych źródeł energii (34).

Warto też zauważyć, że część problemów z dawnymi, już zamkniętymi kopalniami, wynika z bardzo niskich norm środowiskowych oraz prymitywnych technologii stosowanych w czasach ich budowy, eksploatacji i zamykania (35).

Często w dyskusjach przedstawia się tereny po eksploatacji uranu jako całkowicie skażone, nie nadające się do zamieszkania. Aby zobaczyć, jak mogą wyglądać takie tereny po kilkudziesięciu latach od zakończenia eksploatacji, można pojechać choćby w polskie Sudety. W sztolniach pozostałych po eksploatacji uranu poprowadzone są szlaki turystyczne, w bezpośrednim ich otoczeniu rosną zdrowe rośliny, żyją zwierzęta, a poziom promieniowania w większości przypadków nie odbiega od promieniowania tła (36).

5.3. Oddziaływanie w fazie eksploatacji elektrowni jądrowej.

Elektrownie jądrowe w normalnych stanach eksploatacyjnych nie powodują zwiększenia promieniowania jonizującego. Badania prowadzone od lat w różnych lokalizacjach elektrowni jądrowych na świecie pokazują, że poziom promieniowania nie przekracza poziomu promieniowania tła (37).

Podstawowe oddziaływania elektrowni jądrowych jest podobne do innych elektrowni cieplnych. W przypadku pracy w układzie otwartym – praca zakładu wpływa na rzekę lub zbiornik wodny, z którego pobiera wodę. Należy tu podkreślić, że woda z części jądrowej (częściowo aktywowana przez procesy zachodzące w reaktorze) nigdy nie miesza się z wodą używaną do wytworzenia pary wodnej napędzającej turbinę, ani z wodą rzeczną (względnie morską). Dlatego podstawowe oddziaływanie elektrowni jądrowej chłodzonej wodą polega na oddziaływaniu cieplnym na rzekę, jezioro, czy akwen morski, z którego pobiera wodę i do którego oddaje czystą wodę podgrzaną. W przypadku każdej elektrowni cieplnej (np. węglowej) zagrożenie dla środowiska może być znaczące w przypadku mniejszych rzek, kiedy w czasie tzw. niżówki wody jest na tyle mało, że jej pobór zaburza przepływ rzeki, a oddawana woda podgrzana – w znaczący sposób podnosi temperaturę wody w rzece poniżej usytuowania elektrowni. Takie oddziaływanie wpływa negatywnie na organizmy zasiedlające wodę głównie poprzez zmniejszenie dostępności tlenu rozpuszczonego w wodzie. Warto jednak pamiętać, że już na etapie projektowania i procedury oceny oddziaływania na środowisko wybiera się takie lokalizacje i tak projektuje instalację, aby nie dochodziło do takich negatywnych zjawisk. W przypadku elektrowni położonych u wybrzeży morskich i korzystających z wody morskiej, zjawisko to najczęściej nie zachodzi, ze względu na rozmiar zbiornika wodnego (morza).

Elektrownia jądrowa to nie tylko blok energetyczny, ale również miejsce przechowywania materiałów promieniotwórczych i zużytego paliwa jądrowego. **Wybudowana w najbliższej przyszłości elektrownia jądrowa będzie spełniać wszystkie rygorystyczne wymagania, a jej oddziaływanie będzie nie większe niż obecnie eksploatowanych elektrowni jądrowych, lub nawet jeszcze mniejsze z uwagi na implementację nowoczesnego reaktora generacji III+ (więcej na temat w rozdziale 5).**

5.4. Oddziaływanie w fazie składowania.

W zależności od składu chemicznego i poziomu promieniotwórczości, materiały promieniotwórcze kategoryzuje się, a następnie przechowuje w odpowiedniego rodzaju składowiskach. Obecnie energetyka jądrowa całego świata produkuje rocznie około 10 000 m³ odpadów wysokoaktywnych (38). Warto porównać te dane z przykładową działalnością elektrowni Bełchatów. Jeden element systemu energetycznego jednego średniej wielkości kraju produkuje bowiem rocznie ponad 1 300 000 m³ samych popiołów.

Przeciwnicy energetyki jądrowej podnoszą często argumenty o rzekomo rozszczelniających się składowiskach, braku doświadczenia z tak długim przetrzymywaniem materiałów promieniotwórczych. Okazuje się jednak, że natura przeprowadziła już podobne eksperymenty, a my znamy ich wyniki i możemy oglądać je w Oklo w Gabonie (zob. niżej). Odpady nisko- i średnioaktywne można bezpiecznie składować w różnego rodzaju obiektach powierzchniowych. W Polsce mamy jedno takie składowisko - w miejscowości Różan nad Narwią. Zlokalizowano je w odpowiednio przygotowanym starym forcie. Składowisko pracuje od 1961 r. i jest stale monitorowane przez służby ochrony środowiska. Przez ten czas nie zaobserwowano podniesionego poziomu promieniowania w otoczeniu, ani w wodach przepływającej nieopodal Narwi. W tym zakresie jakość jej wód jest dokładnie taka sama powyżej składowiska, jak poniżej, i odpowiada poziomowi tła (naturalne promieniowanie środowiska, które nas otacza). Polska posiada doświadczenie w zarządzaniu odpadami promieniotwórczymi i będzie w stanie poradzić sobie z wyzwaniem związanym z zarządzaniem odpadami również w przypadku elektrowni jądrowych.

5.5. Naturalny reaktor i składowisko w Oklo.

Często w dyskusjach na temat energetyki jądrowej używa się argumentów przeciw, mówiąc o trwałym zanieczyszczeniu środowiska odpadami promieniotwórczymi, wyciekach, rozszczelniających się składowiskach, skażeniu zagrożającemu nie tylko człowiekowi, ale i całej przyrodzie, ciągnących się przez tysiące, a nawet miliony lat negatywnych skutkach. Kolejnym argumentem jest zanieczyszczenie pierwiastkami, które naturalnie nie występują, jak np. pluton, i że nie wiemy, jak będzie to wpływać na ekosystemy, jak będą rozprzestrzeniać się związki chemiczne zawierające te nowe, czy rzadkie pierwiastki.

Ciekawym przypadkiem, wskazującym co może dziać się z wypalonym paliwem z elektrowni jądrowych jest kopalnia uranu Oklo (Gabon, Afryka). W 1972 r. w trakcie eksploatacji, badając kolejne próbki rudy uranu okazało się, że w obrębie niektórych partii świeżo wydobytego materiału brakuje sporej ilości samego uranu, a pojawiają się inne pierwiastki, które nie powinny naturalnie występować w złożu. Zamiast typowej rudy, z części złoża wydobywano materiał przypominający zużyte paliwo z reaktora jądrowego. W wyniku dalszych badań ustalono, że tak jest w istocie.

W Oklo, w obrębie jednego złoża, w 16 strefach koncentracji rud uranu, odnaleziono pierwiastki i ich izotopy wskazujące na zachodzenie podobnych procesów fizycznych, jak w reaktorach zbudowanych przez człowieka. Na podstawie przeprowadzonych badań i symulacji stwierdzono, że w tym miejscu 2 miliardy lat temu powstały naturalne, samoregulujące się reaktory jądrowe. W ich obrębie, w wyniku reakcji łańcuchowej temperatura podnosiła się o kilkaset stopni, a obliczona moc (około 100 kW) odpowiada mocy małego reaktora badawczego. Reakcje

te zachodziły na przestrzeni kilkuset tysięcy lat, a całkowitą wydzieloną energię szacuje się na 1000 GWh. Najciekawsze jednak – z punktu widzenia składowania odpadów – działo się potem. Przez prawie 2 miliardy lat produkty rozpadu spoczywały w skałach piaskowcowych. Są to skały mocno porowate, penetrowane przez wodę. Przez cały ten długi okres migrację i rozpraszanie się substancji chemicznych, można wyliczyć w metrach. Jest to ważne świadectwo, że bezpieczne przechowywanie tego typu substancji jest możliwe, również w geologicznej skali czasu.

Dzięki temu jesteśmy w stanie ocenić jak w konkretnych warunkach zachowują się substancje promieniotwórcze pozostawione w górotworze, co pozwala projektować skuteczne składowiska o wielowiekowej trwałości.

5.6. Efekt substytucji

Znaczący, negatywny wpływ spalania paliw kopalnych na nasze środowisko i w konsekwencji na klimat powoduje, że odejście od paliw kopalnych (węgla, ropy, gazu) ale także od spalanej na wielką skalę biomasy drzewnej staje się palącą koniecznością, która znajduje odzwierciedlenie w działaniach wspólnoty międzynarodowej, w tym Unii Europejskiej. Jednak aby zachować obecny standard życia musimy posiadać wydajne, stabilne, nie emitujące gazów cieplarnianych, źródła energii – takie którymi zastąpimy te stosowane obecnie. W tym zakresie istnieją różne podejścia, począwszy od skrajnego promowania OZE (wizja systemu energetycznego opartego w 100% na OZE) po cały zakres systemów łączących źródła odnawialne z energetyką jądrową. Technologicznie nie istnieje niezgodność pomiędzy sektorem energetyki jądrowej, a sektorem OZE, oba sektory mogą razem wydajnie współpracować uzupełniając się nawzajem. Pomimo tego, przez zwolenników 100% OZE energetyka jądrowa jest odrzucana już na samym początku.

Jak więc wpływają obie formy produkcji energii na środowisko? Doskonale znany jest wpływ na ptaki oraz nietopierze. W przypadku elektrowni jądrowych, incydentalne kolizje ptaków odbywają się o przewody elektryczne oraz o ściany chłodni kominowych, czy innych budowli będących częścią zakładu energetycznego. W przypadku energetyki wiatrowej – zarówno dla pojedynczych turbin, jak i całych farm obserwuje się liczne kolizje ptaków i nietopierzy. Potwierdzono znaczący negatywny wpływ elektrowni wiatrowych na ptaki szponiaste (dawniej określane jako drapieżne, do których zaliczamy m.in. orły, jastrzębie, rybołowy), czy część ptaków wodno-błotnych (39).

Elektrownie wodne zawsze stanowią istotną przegrodę dzielącą ekosystemy rzeczne. Pomimo istnienia przepławek (konstrukcji umożliwiających wędrówkę ryb w górę rzeki), to dla znaczącej liczby organizmów wodnych stanowią barierę nie do pokonania. Kolejnym negatywnym efektem jest wpływ na rzekę poniżej zapory, poprzez zrzućanie pozbawionej tlenu wody z głębszych partii zbiornika i przez to – nieraz drastyczną – zmianę warunków życia w rzece poniżej. Najistotniejszym jest zaburzenie reżimu naturalnych wezbrań, co wpływa negatywnie na wiele gatunków zasiedlających rzeki (40).

Wydawałoby się, że najmniej destruktywnie na środowisko naturalne wpływa fotowoltaika, jednak jej słaba wydajność i praca tylko przez część doby powoduje, że trudno nawet rozważać ją jako zamiennik podstawowego źródła

dła dostarczającego energię elektryczną. Jej największe wady to zajmowanie potężnych obszarów pod stosunkowo mało wydajną produkcję energii elektrycznej oraz zużycie dużych ilości materiałów, niewspółmiernie do ilości produkowanej energii.

Kolejnym źródłem energii, które nadal jest oceniane jako odnawialne to biomasa. W większości przypadków oznacza to jednak drewno wykorzystywane do spalania w kotłach elektrowni, elektrociepłowni i ciepłowni. Drewno pozyskiwane z lasów, powoduje znaczącą utratę bioróżnorodności, a jego spalanie przyczynia się do dodatkowej emisji do atmosfery gazów cieplarnianych.

Szacuje się, że jeśli będzie utrzymana presja na niekontrolowany rozwój OZE, to w najbliższym czasie liczba obszarów chronionych zagrożonych przez tę formę energetyki może się zwiększyć o około 60%. Jeśli świat będzie kontynuował szybkie przechodzenie na samą energię odnawialną, obszary te zostaną narażone na coraz większą presję, aby umożliwić rozbudowę infrastruktury związanej z pozyskaniem energii (41).

Istotny jest również wpływ różnych typów źródeł energii na środowisko przez wykorzystanie dostępnych zasobów. Poniższe porównanie przedstawia, ile ton jakiego materiału jest wykorzystywane w danym typie elektrowni na wyprodukowanie jednej terawatogodziny energii elektrycznej. Wnioski nasuwają się same.

TAB. 10. **ZAKRES WYMAGAŃ MATERIAŁOWYCH DLA RÓŻNYCH PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ (42)**

Materiał (ton/TWh)	Węgiel	Kogeneracja gazowa	En. jądrowa (PWR)	Biomasa	E. wodna	En. wiatrowa	Fotowoltaika (ogniwa krzemowe)	Geotermia (wysokotemperaturowa, ORC)
Aluminium	3	1	0	6	0	35	680	100
Spoiva	0	0	0	0	0	0	3700	750
Beton	870	400	760	760	14000	8000	350	1100
Miedź	1	0	3	0	1	23	850	2
Szkło	0	0	0	0	0	92	2700	0
Żelazo	1	1	5	4	0	120	0	9
Ołów	0	0	2	0	0	0	0	0
Tworzywa sztuczne	0	0	0	0	0	190	210	0
Krzem	0	0	0	0	0	0	57	0
Stal	310	170	160	310	67	1800	7900	3300

Należy podkreślić, że powyższe rozważania dotyczą dużych systemów energetycznych, obejmujących całe państwo. W przypadku małych systemów (niewielka miejscowość) położonych w specyficznych warunkach (np. brak rozbudowanej sieci dystrybucyjnej) odnawialne źródła energii mogą być jedyną rozsądną alternatywą, niewpływającą negatywnie na klimat.

Podsumowując – energetyka jądrowa wpływa na przyrodę w stopniu nieporównywalnie mniejszym, niż wyobraża to sobie większość spośród nas. Jest to skomplikowana, wymagająca wielkiej staranności technologia, ale na tyle zaawansowana i bezpieczna, że stanowi rozsądną alternatywę dla obecnie stosowanych paliw kopalnych, a wobec zagrożeń zmian klimatu, w najbliższej przyszłości może być kluczowym czynnikiem pozwalającym zachować różnorodność życia na Ziemi, z jednoczesnym zachowaniem komfortu życia człowieka i dalszym rozwojem naszej cywilizacji.

6

**WPŁYW
ENERGETYKI JĄDROWEJ
NA SPOŁECZEŃSTWO***Urszula Kuczyńska***6.1. Aspekty społeczne wykorzystania energetyki jądrowej**

Aspekty społeczne wykorzystania energetyki jądrowej w krajowym miksie energetycznym daleko wykraczają poza kwestie ekonomiczno-gospodarcze. Dostęp do kluczowego zasobu, jakim jest dziś energia elektryczna, warunkuje dostęp do szeregu innych dóbr i usług: od bardzo podstawowych, związanych z przeżyciem, bytem, po możliwość uczestnictwa w życiu społeczno-gospodarczym i kulturze.

Do 2040 r. wg prognoz zużycie energii finalnej netto w Polsce wzrośnie. Dopiero wdrożenie dostępnych narzędzi efektywności energetycznej da możliwość osiągnięcia pewnego spadku tego zużycia (43). Polska potrzebuje głębokiej transformacji energetycznej, ale nie może powtórzyć błędów popełnionych przez naszych sąsiadów. Niemiecka Energiewende, wykorzystująca tylko jedną grupę technologii zeroemisyjnych – źródła OZE, nieproporcjonalnie obciążała jej kosztami gospodarstwa domowe o najniższych dochodach, prowadząc w tej grupie do spadku poparcia społecznego dla wdrażanych zmian (44). Tymczasem udział energii jądrowej w transformacji energetycznej gwarantuje niższy koszt przejścia do energetyki zeroemisyjnej (44) i zapewnia skokowy przyrost stabilnej i zeroemisyjnej mocy w systemie (45), dekarbonizując go najszybciej (46) (więcej na ten temat w rozdziale 6).

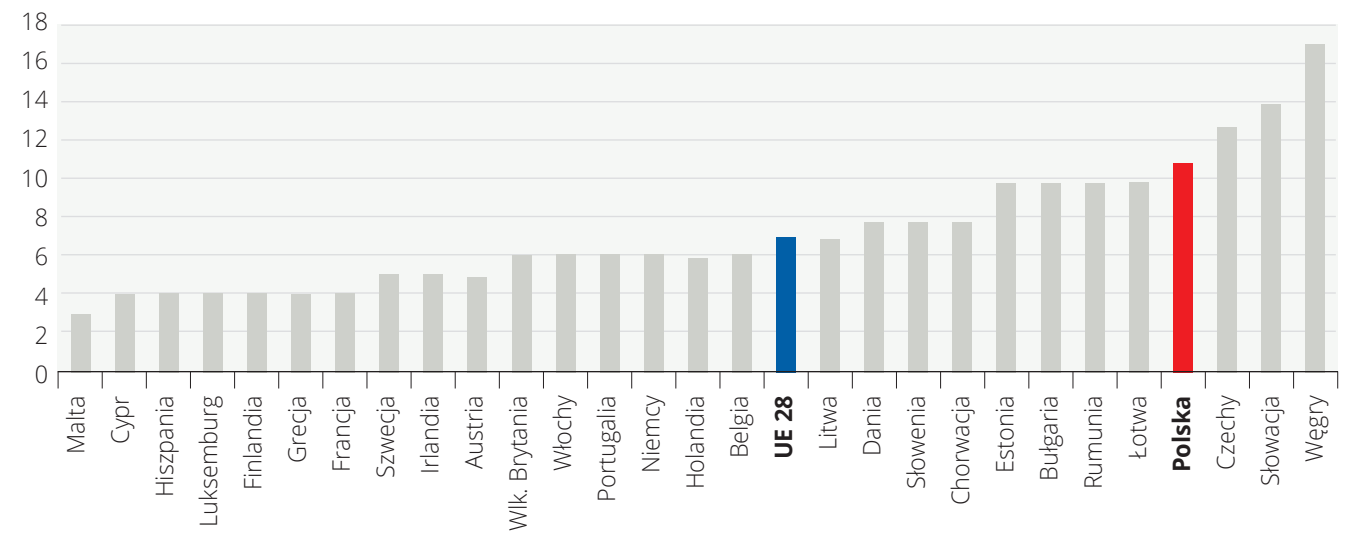
Na energetykę jądrową można patrzeć jak na narzędzie pomagające zapewnić utrzymanie stabilności społecznej i podnoszące spójność społeczną, a tym samym gwarantujące społeczną akceptację dla transformacji energetycznej.

6.2. Stabilność i spójność społeczna

Spójność społeczna to pojęcie wielowymiarowe. Jego istotą jest poprawa jakości życia w społeczeństwie, dzięki tworzeniu poczucia wspólnoty (47). Perspektywa spójności i stabilności społecznej wymaga aktywnego udziału struktur państwa w procesie gwarantowania powszechności dostępu do energii elektrycznej.

System opłat za emisje CO₂ do atmosfery stanowi kluczowy czynnik windujący cenę hurtową energii w Polsce do prawie najwyższego poziomu w UE (48). To wpływa na cenę energii elektrycznej dla odbiorców indywidualnych, a zatem i na ich zdolność nabywczą. Według danych GUS, w 2013 aż 12,2% wszystkich wydatków poniesionych przez gospodarstwa domowe były wydatkami na energię (49) – 2/3 z nich to koszty ogrzewania w sezonie jesienno-zimowym (50). Polskie gospodarstwa domowe są bardziej obciążone wydatkami na energię niż wynosi średnia w UE.

RYS. 14. **UDZIAŁ WYDATKÓW ENERGETYCZNYCH W WYDATKACH OGÓŁEM GOSPODARSTW DOMOWYCH W WYBRANYCH KRAJACH UE W 2010 ROKU [%]**

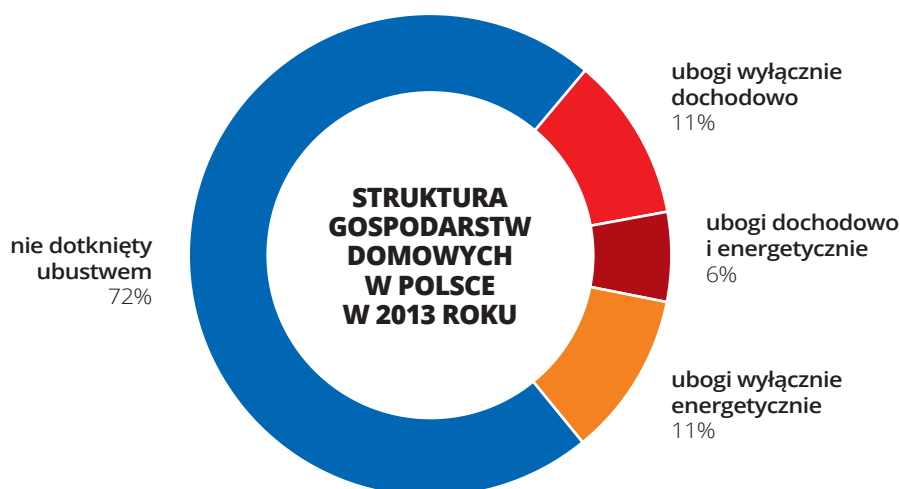


INSTYTUT SOBIESKIEGO

Według definicji absolutnej tzw. progu 13%, w 2013 r. ubogich energetycznie było aż 34% Polaków. Definicja relatywna LIHC (*Low-Income-High Cost*) zawężyła tę grupę do 17% populacji Polski, czyli ok. 6,4 miliona osób, głównie mieszkańców wsi i domów jednorodzinnych. Trudność w utrzymaniu komfortu termicznego w miejscu zamieszkania deklarowało jednak aż 28% Polaków. Ta trudność jest tylko w umiarkowanym stopniu skorelowana z ubóstwem dochodowym (51).

RYS. 15. **UBÓSTWO ENERGETYCZNE A DOCHODOWE (51)**

33% UBOGICH ENERGETYCZNIE (LIHC) TO UBODZY DOCHODOWO



INSTYTUT SOBIESKIEGO

Jak wskazuje raport Instytutu Badań Strukturalnych, do jesienno-zimowego szczytu zapotrzebowania na energię coraz częściej dołącza szczyt letni, związany z koniecznością chłodzenia pomieszczeń (57).

6.3. Zdrowie publiczne i wykluczenie transportowe

Z perspektywy stabilności i spójności społecznej można rozpatrywać również kwestię zdrowia publicznego i wykluczenia transportowego. Każde źródło energii wywiera wpływ na środowisko i żyjącego w nim człowieka. Wpływ na człowieka można rozpatrywać w trzech kategoriach: (A) liczby ofiar śmiertelnych katastrof i wypadków mających miejsce na całej długości łańcucha produkcji i dostaw dla danego źródła, (B) zanieczyszczenia powietrza generowanego przez źródło oraz (C) emitowanego dwutlenku węgla zwiększającego ryzyko zachodzenia niekontrolowanych zmian klimatu.

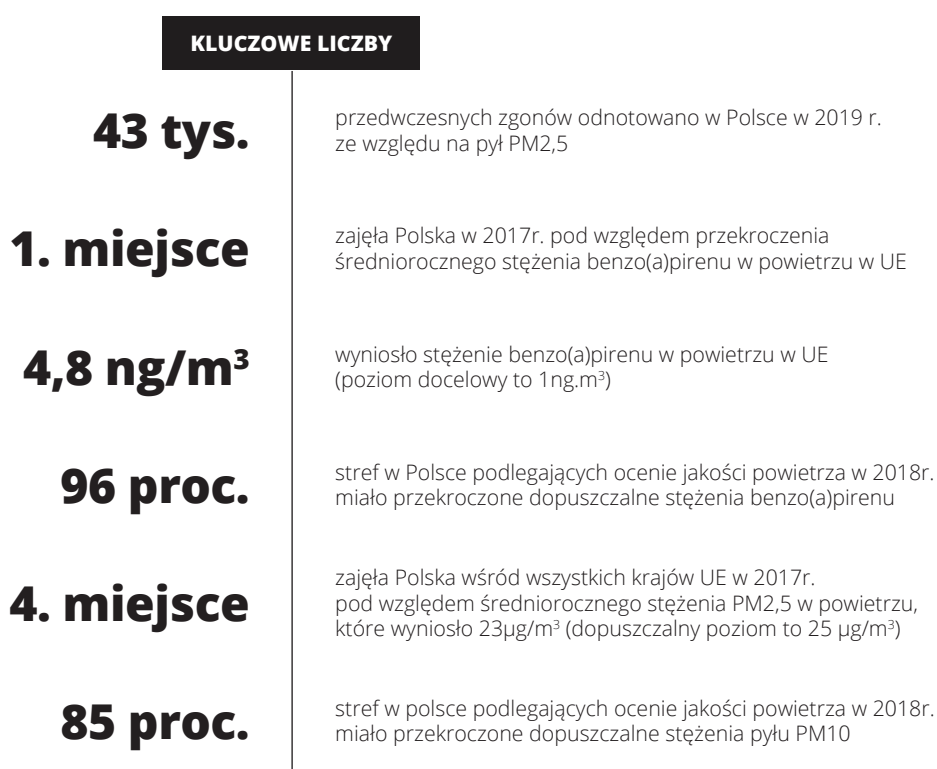
Bezpieczeństwo

Z analizy danych WHO (52) wynika, że energetyka jądrowa stanowi najbezpieczniejsze źródło energii (patrz: rozdz. 5.2), co potwierdzają rozliczne opracowania naukowe, w tym aktualizacja oszacowań wykonana w 2020 r. dla Statista.

TAB. 11. ŚMIERTELNOŚĆ W ZALEŻNOŚCI OD ŹRÓDŁA ENERGII (52)

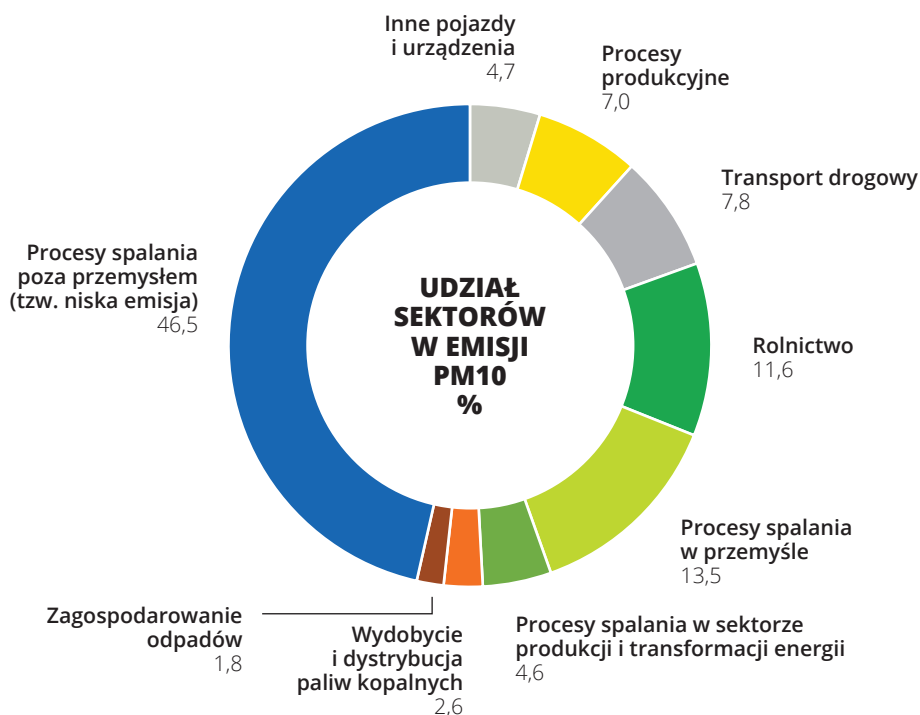
Źródło energii	Wskaźnik śmiertelności (zgon/ mld kWh)
Węgiel – średnia światowa	100 (50% światowej produkcji en. elektrycznej)
Węgiel – Chiny	160 (75% produkcji en. elektrycznej w Chinach)
Węgiel – USA	15 (44% produkcji en. elektrycznej w USA)
Ropa naftowa	36 (36% światowej produkcji energii, 8% światowej produkcji en. elektrycznej, nikt w USA)
Gaz ziemny	4 (20% światowej produkcji en. elektrycznej)
Biopaliwa/biomasa	24 (21% światowej produkcji energii)
Fotowoltaika (na dachu)	0,44 (<1% światowej produkcji en. elektrycznej)
Energetyka wiatrowa	0,15 (~ 1% światowej produkcji en. elektrycznej)
Energetyka wodna – średnia światowa	1,4 (15% światowej produkcji en. elektrycznej, 171 000 zgonów – katastrofa tamy Banqiao)
Energetyka jądrowa – średnia światowa	0,04 (17% światowej produkcji en. elektrycznej, wliczając w to katastrofę w Czarnobylu i awarię w Fukushima, nikt w USA)

Coraz więcej badań potwierdza katastrofalny wpływ zanieczyszczenia powietrza na zdrowie publiczne. Sam pył PM_{2,5} w 2019 r. przyczynił się w Polsce do 43 tysięcy przedwczesnych zgonów (53). Poziomy docelowe rakotwórczych benzo(a)pirenów przekraczane są w Polsce regularnie i wielokrotnie.

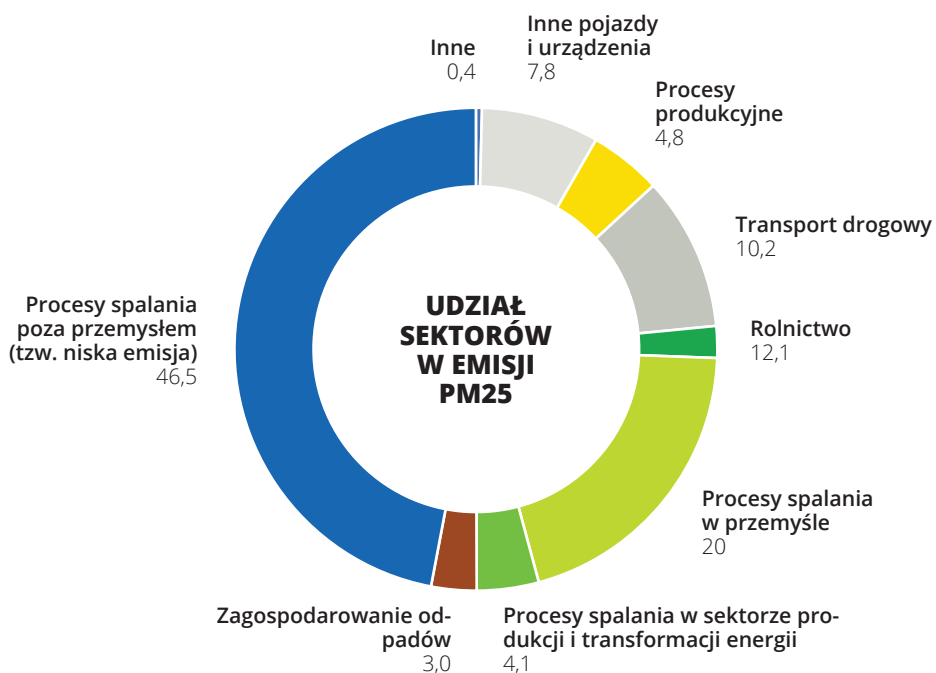
RYS. 16. **SMOG W POLSCE I JEGO KONSEKWENCJE** (53)

Polska negatywnie wyróżnia się pod względem jakości powietrza na tle innych krajów europejskich, ponosząc za to koszty szacowane na 111 mld PLN rocznie (53). To koszty w postaci dodatkowych zachorowań na choroby układu oddechowego i nerwowego a co za tym idzie – niższej produktywności i obciążenia systemu kosztami opieki zdrowotnej i świadczeń społecznych.

RYS. 17. **UDZIAŁ ISTOTNYCH SEKTORÓW W EMISJI PM10 W 2017 (W%) (53).**



RYS. 18. **UDZIAŁ ISTOTNYCH SEKTORÓW W EMISJI PM2,5 W POLSCE W 2017 (W%) (53)**



Skoro aż 84% emitowanego benzo(a)pirenu i 46% pyłów PM_{2,5} i PM₁₀ pochodzi z gospodarstw domowych (53), **to problem zanieczyszczeń powietrza powiązanych z ogrzewaniem jest jednym z przejawów ubóstwa energetycznego.** Dążenie do likwidacji tego zjawiska (niskiej emisji), m.in. poprzez rozszerzenie dostępu do tańszej elektryczności wykorzystywanej do ogrzewania pomieszczeń, będzie oznaczać postęp w walce z zanieczyszczeniem.

Emisje z transportu da się znacząco ograniczyć poprzez jego elektryfikację, w tym zwiększenie udziału transportu kolejowego w przewozie dóbr i towarów.

6.4. Stabilność i spójność społeczna w kontekście tzw. kolapsu

Fale skrajnych, zagrażających ludzkiemu życiu upałów zdarzają się dziś w Nowym Jorku 11 razy częściej niż w XIX wieku (54). Zmiany klimatu przynoszą rekordową suszę i wzrost cen żywności w Polsce, jak i powodzie stulecia w Chinach. Przyczyniły się do wydania przełomowego komunikatu Komitetu ds. Praw Człowieka przy ONZ, uznającego istnienie kategorii uchodźców klimatycznych, jako osób objętych ochroną międzynarodową (55).

Założeniem Porozumień Paryskich i celem, na który powołuje się Międzynarodowy Panel ds. Zmian Klimatu przy ONZ, jest utrzymanie globalnego ocieplenia na poziomie 1,5°C względem epoki przedprzemysłowej. Presja spowodowana zmianami klimatu wywierana na poszczególne społeczeństwa i całą ludzkość będzie rosła tym bardziej, im wyższy poziom osiągnie globalne ocieplenie.

Ostatnie badania nad ludzką niszą temperaturową pokazują, że brak działań w kierunku dekarbonizacji światowej gospodarki będzie dla 3,5 miliarda ludzi oznaczał konieczność migracji w inne części świata jeszcze przed 2070 rokiem (56).

Polska powinna działać na rzecz osiągnięcia neutralności klimatycznej i adaptacji do zachodzących zmian. Powinna też aktywnie włączyć się w działania wspólnoty międzynarodowej zmierzające do zatrzymania globalnego ocieplenia na poziomie 1,5 °C. oraz wspierać ludność z obszarów najbardziej zagrożonych we wdrażaniu narzędzi adaptacji, zmierzających do poprawy ich bytu. Częścią odpowiedzi powinna być energetyka jądrowa jako zeroemisyjne źródło energii elektrycznej, które w stopniu większym niż inne wspiera realizację zasady sprawiedliwości społecznej.

6.5. Elektrownia jądrowa jako koło zamachowe rozwoju regionu i lokalnej społeczności

Elektrownia jądrowa wpisuje się praktycznie na stałe w krajobraz miejsca, w którym powstaje.

Przeprowadzone przez amerykański NEI (Nuclear Energy Institute) oceny oddziaływania elektrowni jądrowych na gospodarkę Florydy i Teksasu wypadły na tyle pozytywnie, że ich obecność uznano za **stabilne, bo niezależne od koniunktury, koło zamachowe lokalnych gospodarek:** każdy dolar wypracowany bezpośrednio przez obiekty St. Lucie i Turkey Point na Florydzie przełożył się na 1,27 dolara wypracowanego przez gospodarki gmin lokalizacyjnych i 1,50 dolara wypracowanego przez gospodarkę stanową (57) (więcej na ten temat wpływu na gospodarkę w rozdziale 6).

Rozbudowa i poprawa stanu infrastruktury

Budowa obiektu jądrowego wymusza modernizację i rozwój infrastruktury w regionie. Budowa nigdy nie ukończonej Elektrowni Jądrowej Żarnowiec zmieniła profil tego rolniczego rejonu Kaszub. Poprowadzona na użytek inwestycji linia kolejowa 230A połączyła Żarnowiec z Trójmiastem ułatwiając mieszkańcom dostęp do edukacji i opieki zdrowotnej. Do 2002 r. działał Hotel Nadole, który – pierwotnie przeznaczony dla pracowników budowy – dał początek prężnie działającej branży turystycznej. Ze stworzonej na użytek budowy infrastruktury drogowej rejon Żarnowca korzysta do dziś.

Elementy potrzebne do realizacji inwestycji i jej późniejszego, sprawnego funkcjonowania różnią się zależnie od obiektu i jego usytuowania.

Przy okazji budowy czeskiej elektrowni jądrowej w Temelinie, powstały dwie dodatkowe oczyszczalnie ścieków rozwiązując realny problem środowiskowy i społeczny w regionie. Ich funkcjonowanie nadal wymieniane jest przez mieszkańców jako jedna z największych zalet działania elektrowni jądrowej w ich okolicy.

W Turcji konieczna okazała się rozbudowa sieci drogowej i doposażenie okolicznych szpitali tak, aby były w stanie obsłużyć większą ilość pacjentów (58). Wzmocnienie obsady lokalnych placówek opieki medycznej, wraz z modernizacją i rozbudową infrastruktury szpitalnej, przełożyło się na poprawę dostępu do usług ochrony zdrowia i stanu zdrowia publicznego w regionie.

Dobrym przykładem pozytywnego wpływu infrastruktury jądrowej na życie społeczne jest też Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie na Mazowszu. Z uwagi na jego działalność w gminie, mieszkańcy mają jedne z najniższych w Polsce opłat za wodę i ścieki a dzieci i młodzież co roku korzystają z darmowych, letnich wyjazdów wakacyjnych finansowanych z opłaty za funkcjonowanie KSOP.

Wpływ elektrowni jądrowych na turystykę

Obecność elektrowni jądrowej w atrakcyjnym turystycznie regionie nie zmniejsza jego atrakcyjności, może ją nawet podnieść. Jest to widoczne na przykładach elektrowni jądrowej Tihange w Belgii, położonej w pobliżu zabytkowego miasteczka Huy, i czeskiej elektrowni Temelin, usytuowanej w regionie o wysokich walorach historycznych i przyrodniczych. (więcej na temat wpływu elektrowni jądrowej na gospodarkę w rozdziale 6)

Współpraca ze społecznością lokalną i zaangażowanie w życie tej społeczności

Wspieranie przez operatora elektrowni projektów realizowanych przez samorządy oraz inicjatyw, z jakimi wychodzą społeczności, to istotna część funkcjonowania elektrowni jądrowych w otoczeniu społecznym. Ważne jest jednak również **stworzenie kanałów komunikacji, które dają społeczności wgląd w życie i funkcjonowanie obiektu, podnosząc jej poczucie sprawczości i bezpieczeństwa.**

W fińskim Olkiluoto przedstawiciele gminy tworzą wraz z przedstawicielami operatora komitet społeczny. Mieszkańcy są zapraszani do udziału w pomiarach czystości środowiska wokół elektrowni i poziomu promieniowania. Ich opinia jest w wielu sprawach wiążąca.

Przy węgierskiej elektrowni Paks działa założone przez 13 okolicznych gmin i operatora stowarzyszenie TEIT, które sprawuje społeczną kontrolę nad zakładem. Ma prawo wstępu na jego teren, prowadzi własną sieć monitoringu promieniowania i czystości wody. Stanowi pomost pomiędzy społeczeństwem węgierskim a elektrownią. Taki model współpracy sprawia, że **w sąsiedztwie obiektów poparcie społeczne notuje wyższe wskaźniki niż w skali kraju**. W okolicach czeskiej elektrowni Dukovany aż 90% respondentów popiera jej dalsze użytkowanie i obecność w regionie (58). Również polskie przepisy przewidują daleko idące uprawnienia lokalnej społeczności w zakresie kontroli realizacji inwestycji i funkcjonowania elektrowni jądrowej.

6.6. Poparcie dla energetyki jądrowej

Cykliczne sondaże pokazują, że rozwój energetyki jądrowej w Polsce ma wysokie poparcie społeczne. Według wyników badań z 2020 r., które w Polskim Programie Energetyki Jądrowej cytuje Ministerstwo Klimatu, **przychylnych energetyce jądrowej w Polsce jest 57% mieszkańców kraju**.

W rejonach potencjalnych lokalizacji liczba zwolenników budowy elektrowni jądrowej jest jeszcze wyższa i wynosi 71%.

90% respondentów zauważa potrzebę uruchomienia szerokiej kampanii informacyjnej na temat energetyki jądrowej. Dane Eurostatu pokazują, że **im lepiej społeczeństwo czuje się poinformowane w kwestii energetyki jądrowej, tym wyższy poziom poparcia dla jej działania w danym kraju (59)**. Również w Polsce **przychylność dla energetyki jądrowej może jeszcze wzrosnąć w wyniku przeprowadzenia działań edukacyjnych**.

FORATOM (z franc. Forum Atomique European, pozarządowa organizacja non-profit zrzeszająca europejskie podmioty związane z energetyką jądrową i przemysłem jądrowym) podkreśla niemożność wyciągnięcia „średniej europejskiej” poparcia dla energetyki jądrowej. To skutek głębokiej polaryzacji postaw i faktu, że na terenie kontynentu kraje pozytywnie nastawione do energetyki jądrowej (np. Finlandia – 61% poparcia, Czechy – 64%) sąsiadują z krajami otwarcie i ideowo mu wrogimi (np. Norwegia, Austria i Niemcy) (59).

6.7. Przeciwnicy energetyki jądrowej w Polsce i na świecie

Naturalnymi przeciwnikami energetyki jądrowej są górnicy, którzy widzą w niej jedyne źródło energii mogące realnie konkurować z węglem. W Australii środowiska związane z przemysłem wydobywczym wylobbowały zakaz rozwoju energetyki jądrowej (60). Przeciwno elektrowni jądrowej protestowali też polscy górnicy w Bełchatowie (61). Kwestia energetyki jądrowej polaryzuje ruchy na rzecz ochrony środowiska i klimatu. To dla nich sprawa tożsamościowa: zachodnie organizacje (np. Greenpeace) rodziły się w latach 70., angażując pokolenie, które dorastało w lęku przed globalnym, jądrowym konfliktem zbrojnym.

Protesty antyjądrowe do Polski dotarły po awarii elektrowni w Czarnobylu, torpedując budowę Elektrowni Jądrowej Żarnowiec. Członkowie Ruchu „Wolność i Pokój” organizowali akcje protestacyjne w całym kraju. Część z nich pozostaje aktywna w życiu publicznym i politycznym jako głośny, choć marginalny, głos sprzeciwu wobec budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

Aktywny sprzeciw wobec energetyki jądrowej, w tym na szczeblu unijnym, skupia się obecnie w pozycji politycznej Niemiec, Austrii i Luksemburga, gdzie w debacie energetycznej dominują głosy Europejskiej Partii Zieloni. Mimo, że energetyka jądrowa zapewnia dziś połowę niskoemisyjnej energii w UE a wiele państw członkowskich korzysta ze źródeł jądrowych i zamierza je rozwijać (62), Europejski Zielony Ład zaprojektowano zgodnie z logiką niemieckiej Energiewende, czyli wsparcia niedyspozycyjnych odnawialnych źródeł energii kosztem zeroemisyjnych źródeł pracujących w podstawie (63). Źródła OZE wymagają zainstalowania w systemie rezerwy, którą najczęściej jest gaz i nawet francuskie ministerstwo ds. zielonej transformacji, planując podniesienie udziału OZE w krajowym miksie opartym do tej pory o energetykę jądrową, szykuje się na zwiększenie zakupów tego surowca (64). Gaz ziemny już wkrótce popłynie z Rosji magistralą Nord Stream 2, stawiając Niemcy na uprzywilejowanej pozycji kraju, który zwalczając aktywnie energetykę jądrową jako stabilne źródło zeroemisyjnej energii tworzy rynek zbytu dla sprzedawanego i odsprzedawanego przez siebie błękitnego paliwa (65). Oparcie krajowego miksu energetycznego Polski o tylko jedną technologię zeroemisyjnej produkcji energii, czyli źródła OZE, może stworzyć więc realną groźbę utraty niezależności energetycznej i – co za tym idzie – bezpieczeństwa energetycznego.

Polska opinia publiczna pozostaje bardzo czuła na argumenty ekonomiczne, bezpieczeństwa i niezależności energetycznej oraz na argument prestiżowy, związany z potencjalnym wdrożeniem energetyki jądrowej. Wysiłek włożony w edukowanie i informowanie społeczeństwa o korzyściach płynących z energetyki jądrowej zapewni decyzji o budowie elektrowni jądrowej w Polsce stabilne i wysokie poparcie społeczne.

BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE W KONTEK- ŚCIE ENERGII JĄDROWEJ

Anna Przybyszewska

7

Obecnie istnieje kilka zbieżnych definicji dotyczących bezpieczeństwa energetycznego. Najpopularniejsza to taka, w której określa się je jako stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska. Ma ono kilka wymiarów, które można opisać jako (66):

- Wymiar ekologiczny, który uwzględnia dążenia do dostaw energii z zachowaniem norm ochrony środowiska, a także z ograniczeniem negatywnych skutków dla środowiska naturalnego.
- Wymiar techniczny, który opisuje stan infrastruktury wytwórczej i przesyłowej, sprawność obiektów energetycznych i systemu dystrybucji energii.
- Wymiar polityczny, silnie powiązany z polityką zagraniczną. Chodzi o zapewnienie i zaplanowanie inwestycji, które zapewnią ciągłość i niezawodność dostaw energii ze źródeł: węglowych, gazu, ropy naftowej, energii jądrowej i energii odnawialnej do odbiorców indywidualnych, komunalnych i przemysłowych, co może być niemożliwe do zrealizowania jedynie w oparciu o zasoby własne kraju. Wówczas kluczowa jest współpraca międzynarodowa na poziomie dostaw technologii, maszyn i urządzeń, paliw oraz specjalistycznych umów serwisowych.
- Wymiar instytucjonalny tworzony jest przez państwo i instytucje, których celem jest podejmowanie działań na rzecz umocnienia bezpieczeństwa energetycznego i implementacji jego zasad, pobudzanie otoczenia inwestycyjnego na rzecz wzmocnienia infrastruktury krytycznej, w tym budowy źródeł wytwórczych.
- Wymiar ekonomiczny, dążący do zapewnienia dostaw energii po konkurencyjnych kosztach i cenach akceptowalnych przez gospodarkę i społeczeństwo.

7.1. Wymiar ekologiczny i techniczny

W obliczu rosnącej emisji CO₂ i dążenia do osiągnięcia neutralności klimatycznej, a także deklaracji poprawy dostępu do nowoczesnych źródeł energii, Polska stoi przed koniecznością realizacji szerokiego programu inwestycji związanych z modernizacją lub zastąpieniem parku wyeksploatowanych już węglowych jednostek wytwórczych. Celem będzie nie tylko spełnienie konkluzji BAT

TAB. 12. **WOLUMEN MOCY WYTWÓRCZYCH CZTERECH NAJWIĘKSZYCH PRODU-CENTÓW ENERGII W 2017 ORAZ PLANOWANE ZMIANY W PERSPEKTYWIE DO 2032 R. [MW] (69)**

Grupa	Moc zainstalowana na koniec 2017	Planowane do wycofania do roku 2032	W budowie i planowane do roku 2032 (gaz+ węgiel)	Bilans
ENEA	6257	2095	(1000) ²	4162 (5162) ²
ENERGA (obec. grupa ORLEN)	1313	0	1050	2363
PGE	10766	2704	2290	10352
TAURON	4291	3385	1310	2216
Łącznie	22627	8184	4650(5650)²	19063(20093)²



(z ang. best available technology¹), ale i zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego. Jak wskazuje raport NIK (67) zaawansowany wiek bloków energetycznych oraz wysoki poziom emisji zanieczyszczeń wymaga wycofania części bloków z eksploatacji lub ich modernizacji. W perspektywie do 2035 może wystąpić ryzyko poważnego niedoboru wymaganej nadwyżki mocy, a następnie także niedoboru mocy, dostępnej w ramach krajowych zasobów wytwórczych (JWCD). Planowane wycofanie bloków o łącznej mocy 8 GWe spowoduje utrzymanie mocy wytwórczych na poziomie 19-20 GWe² tj. o 2,5-3,5 GWe mniej niż w 2017 r. W perspektywie kolejnych dekad prognozuje się wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, dlatego pogłębiający się spadek mocy, które są podstawą systemu elektroenergetycznego w Polsce, jest niepokojący. **Konieczne jest podjęcie decyzji o budowie nowych mocy wytwórczych.**

Oparcie systemu energetycznego w Polsce w 100% na pogodozależnych instalacjach OZE – energetyce wiatrowej i fotowoltaicznej, w perspektywie do 2050 r. nie jest możliwe. Zwiększanie zainstalowanej mocy źródeł PV (panele fotowoltaiczne) i FW (farmy wiatrowe) w nieskończoność, bez realnego zabezpieczenia w postaci magazynów energii (np. el. szczytowo-pompowych) lub bloków gazowych (pełniących rolę *back-up*), wpływa destabilizująco na pracę sieci elektroenergetycznej. Obecnie największy system magazynowania energii w bateriach (akumulatorach) to Hornsdale Power Reserve (68) w Australii, który może dostarczyć max. 193,5 MWh. W przypadku elektrowni szczytowo-pompowych maksymalna energia zgromadzona w polskich instalacjach to około 8 GWh, a dalszy potencjał rozwoju jest niewielki. **Pod względem gwarancji dostaw energii, budowa elektrowni jądrowych, opartych o najnowsze sprawdzone technologie, wydaje się najrozsądniejszym wyborem, który zabezpieczy przyszłe potrzeby na energię elektryczną.**

7.2. Wymiar polityczny

Kwestia samowystarczalności w zaopatrywanie się w źródła energii, uwzględniając wyżej wymienione wymiary jest bardzo ważna – tylko kilka państw na świecie jest w stanie osiągnąć prawdziwą niezależność energetyczną (69). Większość jednak, w tym Polska, musi kształtować swój zakres suwerenności energetycznej dywersyfikując kierunki importu energii. Ograniczenie wpływu portfela zagranicznych zakupów surowców na bezpieczeństwo ener-

1 17.08.2017 w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej opublikowana została decyzja wykonawcza Komisji Europejskiej ustanawiająca konkluzje BAT dla dużych obiektów energetycznego spalania (LCP) tj. o mocy większej lub równej 50 MW. Konkluzje zawierają podsumowanie najlepszych dostępnych technik – zamieszczone są opisy poszczególnych technik, dane pozwalające na ocenę ich przydatności, poziomy emisji, jakie wiążą się z najlepszymi dostępnymi technikami oraz powiązane z nimi poziomy konsumpcji. Wymagania dotyczą zarówno istniejących jak i nowych instalacji. W przypadku istniejących instalacji, możliwe było uzyskanie odstępstwa jeśli działanie na rzecz osiągnięcia granicznych wielkości emisyjnych wymaga poniesienia kosztów nieproporcjonalnych do możliwych korzyści dla środowiska.

2 W lutym 2020 Enea i Energa podjęły wspólną decyzję o zawieszeniu finansowania inwestycji Ostrołęka C - blok węglowy 1000 MWe. Obecnie trwają prace związane ze zmianą projektu z węglowego na gazowy, aranżowane przez PKN ORLEN - partner projektu, a także właściciel Energi.

getyczne polega na tzw. zintegrowanym podejściu – gwarancja stałych i wieloletnich dostaw nośników energii z państw, z którymi są nawiązane dobre relacje nierzadko wspierane przez wzajemną zależność ekonomiczną. Jednym ze sposobów jest integracja rynku energii z UE. W aspekcie zależności importowej chodzi przede wszystkim o poziom ryzyka jaki towarzyszy poszczególnym rodzajom dostaw w stosunku do konkretnego dostawcy czy też nośnika energii.

Polska, z uwagi na niewielkie zasoby własne gazu ziemnego i ropy, pokrywa zapotrzebowanie głównie surowcem importowanym. Silne uzależnienie Polski od dostaw gazu ziemnego z Rosji (import przez PGNiG na poziomie 60% w 2019 r.) (70) wymaga działań dywersyfikacyjnych. W tym celu już są i będą realizowane takie inwestycje jak: Baltic Pipe, rozbudowy terminalu LNG (z ang. *liquefied natural gas* – skroplony gaz ziemny), czy rozbudowy połączeń gazowych na południu kraju (71). Jednak finansowanie inwestycji gazowych w perspektywie kolejnych dwóch dekad jest mocno ograniczone. Europejski Bank Inwestycyjny od 2021 r. przestaje finansować przedsięwzięcia gazowe, przez ustalenie standardu emisyjności na poziomie 250 g CO₂/kWh (72). Przez to, finansowanie budowy nowych mocy bloków gazowo-parowych o emisyjności na poziomie 300-350 g CO₂/kWh nie będzie możliwe z wykorzystaniem preferencyjnych instrumentów finansowania i zmusi polskich inwestorów do szukania środków w bankach komercyjnych. Ponadto Europejski Zielony Ład, określany jako mapa drogowa Europy w zakresie transformacji ekologicznej, która powinna pomóc jej w ograniczeniu emisji CO₂, tworzeniu miejsc pracy i otwieraniu nowych możliwości, również nie sprzyja technologiom gazowym, ponieważ zakłada się odchodzenie od węglowodorowych paliw kopalnych. W celu wdrożenia tego planu, do 2030 r. państwa członkowskie UE powinny osiągnąć 40% redukcję emisji gazów cieplarnianych (w odniesieniu do 1990 r.). Uzgodniony w lipcu 2020 r. pakiet odbudowy oraz budżet unijny na lata 2021–2027, który ma pomóc w odbudowaniu się UE po pandemii COVID-19 oraz wesprzeć inwestycje w transformację ekologiczną i cyfrową, jest niewystarczający dla ambitnej transformacji energetycznej Polski. Nie zapewnia odpowiedniego otoczenia dla inwestycji gazowych (73).

W tym kontekście **rozwiązaniem powinien być zwrot w kierunku energetyki jądrowej**. Część państw członkowskich Unii Europejskiej ma świadomość, że aby spełnić cele neutralności klimatycznej konieczne jest podtrzymanie wykorzystania energii jądrowej. Inwestycje jądrowe są obecnie wykluczone z funduszy wspierających przedsięwzięcia zero- i niskoemisyjne, co stoi w sprzeczności ze zobowiązaniami Traktatu Euratom w zakresie promowania rozwoju sektora jądrowego w UE. Energetyka jądrowa zapewnia dostawy energii elektrycznej niezależnie od pogody, przy zerowej emisji w procesie wytwarzania energii na tak dużą skalę, a ślad węglowy (podejście “od kołyski po grób”), który wkrótce będzie uwzględniany w ocenie inwestycyjnej, jest wciąż niższy niż dla większości odnawialnych źródeł energii.

Polska nie posiada obecnie zasobów uranu, których wydobycie byłoby opłacalne (więcej na ten temat w rozdzia-

3 Emisje pośrednie ze współspalania opierają się na względnym udziale paliw w biomasie z upraw i pozostałości energetycznych (5–20%) oraz węgla (80–95%), a więc należy wziąć pod uwagę zawartość węgla w węglu i względny udział paliwa z biomasy. Z tej przyczyny każda instalacja charakteryzuje się

TAB. 13. **EMISJA CO₂ WYNIKAJĄCA Z WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ (PCO₂ eq/KWH) (74)**

Technologia	Bezpośrednia emisja Min/Mediana/ Max	Emisja wynikająca z budowy i łańcucha dostaw	Emisja metanu	Ślad węglowy w całym cyklu życia Min/Mediana/Max
Węgiel	670/760/870	9,6	47	740/ 820 /910
Gaz – kogeneracja	350/370/490	1,6	91	410/ 490 /650
Biomasa – współspalanie ³	n/a	-	-	620/ 740 /890
Geotermia	0	45	0	6/ 38 /79
En. wodna	0	19	88	1/ 24 /2200
En. jądrowa	0	18	0	3,7/ 12 /110
Fotowoltaika – na dachu	0	42	0	3,7/ 12 /110
Fotowoltaika – na gruncie	0	66	0	18/ 48 /180
En. wiatrowa – na lądzie	0	15	0	7,0/ 11 /56
En. wiatrowa – morska	0	17	0	8/ 12 /35

le 5). W przypadku budowy elektrowni jądrowej paliwo musiałyby być importowane. Zakłady wzbogacania uranu oraz produkcji paliwa znajdują się w krajach takich jak: Francja, Niemcy, Holandia, Belgia, Hiszpania, Wielka Brytania, Stany Zjednoczone. **Zgromadzenie rocznego zapasu paliwa dla bloku jądrowego opartego o LWR klasy 1000 MWe nie będzie problematyczne w ujęciu nie tylko technicznym⁴, ale też pod względem swobody zapewnienia ciągłości dostaw z uwagi na konkurencyjny rynek oraz dobre relacje z wyżej wymienionymi państwami.**

7.3. Wymiar instytucjonalny

Pandemia COVID-19, która wymusiła lock down wielu gospodarek, w tym Polski, skłania do ponownego przemyślenia znaczenia bezpieczeństwa energetycznego w sytuacjach wyjątkowych. Konsumpcja energii elektrycznej spadła w ostatnich miesiącach o około 7% (w stosunku do 2019 r. Polska zanotowała spadek na poziomie 5%, Włochy rekordowo 11,5%) (75). Od 1950 r. liczba ekstremalnie gorących dni się potroiła(76). Dodatkowo pandemia zmusiła znaczną część społeczeństwa do pracy zdalnej i jeszcze bardziej uzależniła gospodarkę europejską od energii elektrycznej i Internetu. To skłania do zastanowienia się nad bezpieczeństwem energetycznym w kontekście zapewnienia dostaw energii i paliw w sytuacji kryzysowej w kierunku rozwiązań bardziej odpornych, bezpiecznych, konku-

³ własną specyficzną emisją.

⁴ Bloki gazowo-parowe klasy 1000 MWe wymagają dostaw gazu na poziomie 1-1,3 mld m³ w ciągu roku, taką ilość jest w stanie pomieścić tylko jeden magazyn gazu w Polsce - PMG Wierzchowice (80). Z kolei zgromadzenie wyprodukowanej z OZE „zielonej energii”, z uwagi na stan dojrzałości metod magazynowania energii (w tym P2G i P2H), jest praktycznie niemożliwe na dużą skalę.

rencyjnych i zrównoważonych, a przede wszystkim kreujących wzrost gospodarczy na długie lata (więcej na ten temat w rozdziale 6). Zanotowany w ostatnich miesiącach znaczący wzrost udziału OZE w produkcji energii elektrycznej zbiegł się z redukcją jej wytwarzania w dysponowanych elektrowniach oraz przypadł na miesiące, gdzie energia fotowoltaiczna ma swój „sezon produkcji”.

Agencja Energii Jądrowej przy OECD (NEA) oraz Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) postulują włączenie inwestycji jądrowych w szerokie plany odbudowy i pobudzenia gospodarczego (77) (78). Przemawiają za tym następujące argumenty mające zastosowanie także w odniesieniu do polskich planów wdrożenia energetyki jądrowej:

- Elektrownie jądrowe dostarczają duże ilości zeroemisyjnej energii elektrycznej przy jednoczesnym długofalowym tworzeniu dużej liczby miejsc pracy o wysokiej wartości na poziomie lokalnym i krajowym oraz pozytywnie wpływają na pobudzenie w sferze badań i rozwoju;
- Elektrownie jądrowe wytwarzają energię elektryczną niezawodnie i przez całą dobę (więcej na ten temat w rozdziale 5), gwarantując dostawy nawet w obliczu konieczności radzenia sobie z globalnym kryzysem zdrowotnym, i utrzymując społeczną stabilność. Zapewniają elastyczną pracę – odpowiadają na bieżące obciążenie i uzupełniają dostawy z pogodozależnych OZE. Wobec pandemii COVID-19 w żadnej z elektrowni jądrowych nie doszło do ograniczenia działalności wytwórczej z powodu obaw o zdrowie personelu i konieczności zachowania dystansu społecznego. Standardowe procedury operacyjne elektrowni jądrowych były częściowo zbieżne z zaleceniami epidemiologicznymi, co chroni tego typu instalacje przed podobnymi zdarzeniami w przyszłości;
- Finansowanie projektów jądrowych może być barierą na rynkach, gdzie inwestorzy szukają zwrotu w krótkoterminowych inwestycjach takich jak OZE. Natomiast w okresie skoncentrowanym na ożywianiu gospodarki, wielkoskalowe i długoterminowe projekty infrastrukturalne wspierane przez państwo, takie jak budowa elektrowni jądrowej, pobudzają spójność społeczną (wysoka jakość życia, niwelowanie nierówności społecznych – więcej na ten temat w rozdziale 9) oraz rodzą efekt w postaci zachęty dla inwestorów szukających bezpieczniejszych lokat kapitału.

Polska wdrażając PPEJ ma szansę na ożywienie koniunkturalne i zbudowanie odporności gospodarki w przypadku wystąpienia podobnych kryzysów w przyszłości.

7.4. Wymiar ekonomiczny

Zeroemisyjny charakter energii jądrowej, pomimo oczywistych faktów, nadal jest dyskutowany w polityce większości krajów w zakresie czystej energii elektrycznej oraz w ramach finansowania zrównoważonych źródeł energii (79). Osiągnięcie celu neutralności klimatycznej i ograniczenie globalnego ocieplenia w zdecydowanej większości państw nie będzie możliwe tylko i wyłącznie w oparciu o energetykę wiatrową i fotowoltaiczną. PPEJ w strategicznym scenariuszu przedstawia zarówno istotny udział OZE, jak i energetyki jądrowej. Taki scenariusz zapewnia optymalny średnioroczny koszt zewnętrzny wytwarzania energii elektrycznej w krajowym systemie elektroenergetycznym i najbardziej ogranicza wzrost kosztów systemowych i środowiskowych (więcej na ten temat w rozdziale

6). W kilkudziesięcioletniej perspektywie, uruchomienie kolejnych bloków jądrowych przyczyni się do stabilizacji cen energii w Polsce.

7.5. Rola energetyki jądrowej w transformacji energetycznej

W maju 2019 r. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (ang. *International Energy Agency, IEA*) opublikowała swój raport, „Nuclear Power in a Clean Energy System”(80), w którym stwierdza, że bez istotnego wkładu ze strony energetyki jądrowej nie ma możliwości zrealizowania celów klimatycznych globalnego zrównoważonego rozwoju, przy zwiększeniu bezpieczeństwa dostaw energii. IAEA zakłada, że aby spełnić jej prognozę ponad 2-krotnego zwiększenia mocy zainstalowanej według scenariusza „optymistycznego” i w efekcie przyczynić się do ograniczenia zmian klimatycznych (81), należałoby realizować znaczące inwestycje w krajach z istniejącymi elektrowniami oraz dokonać dynamicznego wprowadzenia energetyki jądrowej w ponad 20 innych państwach, w tym w Polsce. W tym celu planowane jest budowa elektrowni jądrowych o łącznej mocy 6-9 GWe, dzięki którym możliwe jest osiągnięcie ambitnych celów redukcji emisji CO₂ i transformacja energetyki w stronę zrównoważonego i zeroemisyjnego mixu energetycznego (przewidywany udział energetyki jądrowej to ok. 20%).

Komisja Europejska zaproponowała zmianę obecnej ścieżki redukcji emisji w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. i odzwierciedlenie jej we wniosku dotyczącym Europejskiego prawa o klimacie. Przedstawiony ogólnounijny cel, zakłada redukcję emisji gazów cieplarnianych w całej gospodarce UE do 2030 r. w porównaniu z 1990 r. o co najmniej 55 %, z uwzględnieniem emisji i pochłaniania (82).

Zakładana jest znaczna redukcja emisji w wyniku: zamknięcia elektrowni węglowych i dekarbonizacji sektorów energochłonnych oraz intensywnej elektryfikacji transportu, rolnictwa i poprawy efektywności w budynkach. Szczególny nacisk położony jest na szeroko zakrojone inwestycje w OZE z pominięciem energetyki jądrowej oraz gazowej traktowanych jako technologie transformacyjne przez Polskę.

Intensywna dekarbonizacja jest konieczna do osiągnięcia nowych celów klimatycznych i ograniczenia efektu cieplarnianego. To jednak sektor energetyki będzie ponosił, co najmniej 40% planowanej redukcji. Pomimo deklarowanych ambitnych celów inwestycyjnych w OZE, głównych graczy sektora energetyki w Polsce – PGE, ORLEN, TAU-RON (83) (84) (85) pełna i szybka dekarbonizacja może nie być możliwa tylko w oparciu o OZE. Tempo dekarbonizacji energetyki powinno odzwierciedlać techniczne, organizacyjne i finansowe możliwości, każdego z Państw Członkowskich. Trzeba pamiętać, że zmieniając istotnie mix energetyczny w „zielonym” kierunku równolegle należy prowadzić inwestycje w zapewniające bezpieczeństwo dostaw i rezerwowanie OZE – np. w gaz ziemny. Wielkoskalowe magazyny energii (elektrycznej)(86) i energetyka wodorowa (87), które mają przyczynić się do bezpiecznego rezerwowania OZE, pomimo ambitnych planów ich wdrożenia pełną komercyjną dojrzałość i istotny udział w gospodarce neutralnej dla klimatu prawdopodobnie osiągną po 2030 r. **Do tego czasu, aby realizować zrównoważoną dekarbonizację, konieczne są inne inwestycje w zeroemisyjne źródła – energetykę jądrową, która może być rozwiązaniem dla szybkiej i efektywnej redukcji emisji CO₂.**

W kontekście zapowiadanych (82) również zmian w handlu emisjami (system ETS)⁵, konieczne jest jak najszybsze działania zmierzające do zmniejszania ponoszonych kosztów w tym zakresie. Choć miks energetyczny oparty na przeważającym udziale OZE i mniejszym udziale węgla i gazu mógłby być wystarczający do wypełnienia celów klimatycznych (przy założeniu, że nie zwiększy się ambicji wkrótce) to byłoby to kosztowne rozwiązanie (88). Bez względu na wdrażane programy efektywności energetycznej, konsumpcja energii elektrycznej w Polsce będzie rosła. Powodem będzie chociażby zakrojona na szeroką skalę w całej Europie i Polsce, transformacja cyfrowa i elektryfikacja transportu i ogrzewnictwa. **Nie jest zatem możliwe pogodzenie rozwoju Polski i wypełnienie celów polityki klimatycznej UE bez wdrożenia energetyki jądrowej.**

5 Europejski System Handlu Emisjami lub wspólnotowy rynek uprawnień do emisji dwutlenku węgla

8

BIBLIOGRAFIA

1. US Nuclear Regulatory Commission. *Risk Metrics for Operating New Reactors*. 2009. <https://www.nrc.gov/docs/ML0909/ML090910608.pdf>.
2. Markandya, Anil i Wilkinson, Paul. *Electricity generation and health*. 2007. strony 979-990, vol. 30. ISSUE 9591.
3. Sovacool, Benjamin K., Andersen, Rasmus i Sorensen, Steven. Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems. *Journal of Cleaner Production*. Volume 112, 2016, Tom Part 5, strony 3952-3965.
4. Lokhov, Alexey. *Nuclear Energy Agency*. 2011. NEA News 2011 – No. 29.2.
5. NUCLEAR ENERGY AGENCY. *Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plants*. 2011.
6. Sepulveda, Nestor A., Jenkins, Jesse D. i Sisternes de, Fernando J. The Role of Firm Low-Carbon Electricity Resources in Deep Decarbonization of Power Generation. *Joule*. 2018, Tom Vol. II, 11, strony 2403-2420.
7. Nuclear Energy Agency & International Atomic Energy Agency. *Uranium 2018: Resources, Production and Demand*. 2018. NEA No. 7413.
8. Cameco. Uranium Price. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.cameco.com/invest/markets/uranium-price>.
9. Hedin, Allan. *Spent nuclear fuel - how dangerous it is?* Sztokholm : Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, 1997. Technical Report 97-13.
10. International Atomic Energy Agency. *Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management*. 2018. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14.
11. Ministerstwo Energii. *Uzasadnienie do projektu Rozporządzenia Ministra Energii zmieniającego rozporządzenie w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną (projekt z dn. 31 lipca 2018 r.)*. 2018. str. 11.
12. wnp.pl. Przyszłość 1,3 mln Polaków pod znakiem zapytania. Wszystko przez drogi prąd. [Online] [Zacytowano: 21 08 2020.] <https://www.wnp.pl/wiadomosci/przyszlosc-1-3-mln-polakow-pod-znakiem-zapytania-wszystko-przez-drogi-prad,323421.html>.
13. —. Jerzy Kozicz, CMC Poland: przemysł energochłonny w Polsce ma potencjał wzrostu. [Online] [Zacytowano: 21 08 2020.] <https://www.wnp.pl/wiadomosci/316239.html>.
14. Biuro Obsługi Pełnomocnika Rządu do spraw Strategicznej Infrastruktury Energetycznej przy współpracy merytorycznej i analitycznej Polskich Sieci Elektroenergetycznych na zlecenie Ministerstwa Klimatu . *Załącznik nr 5 do „Programu polskiej energetyki jądrowej*. Ministerstwo Klimatu, 2020.
15. Departamentu Energii Jądrowej ME. *Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Korzyści na poziomie lokalnym*. 2017. <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/publikacja-wplyw-programu-jadrowego-na-polska-gospodarke-korzysci-na-pozymie-lokalnym-3>.
16. Departament Energii Jądrowej ME. *Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Korzyści dla gospodarki narodowej*. 2017. <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/publikacja-wplyw-programu-jadrowego-na-polska-gospodarke-korzysci-dla-gospodarki-narodowej-3>.
17. Departamentu Energii Jądrowej ME. *Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Udział polskiego przemysłu*. 2017. <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/publikacja-wplyw-programu-jadrowego-na-polska-gospodarke-udzial-polskiego-przemyslu-3>.
18. —. *Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Zatrudnienie*. 2017. <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/publikacja-wplyw-programu-jadrowego-na-polska-gospodarke-zatrudnienie-3>.
19. Nuclear Energy Agency & International Atomic Energy Agency. *Measuring Employment Generated by the Nuclear Power Sector*. 2018. No. 7204.

20. International Atomic Energy Agency. *Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea*. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2009. 09-14371.
21. Oxford Economics. *Economic Benefit of Improving the UK's Nuclear Supply Chain Capabilities*. 2013. <https://www.gov.uk/government/publications/economic-benefit-of-improving-the-uks-nuclear-supply-chain-capabilities>. BIS/13/633.
22. UK Department for Business, Innovation and Skills. *Hinkley Point C Wider Benefits Realisation Plan*. 2018. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/725960/HPC_Benefits_Realisation_Plan.pdf. ver. 3.
23. PGE zakończyła największą w Polsce megainwestycję energetyczną po 1989 roku. *PGE GiEK S.A.* [Online] [Zacytowano: 27 08 2020.] <https://elopole.pgegiiek.pl/Aktualnosci/pge-zakonczyła-najwieksza-w-polsce-megainwestycje-energetyczna-po-1989-roku>.
24. Nowe Jaworzno Grupa TAURON. [Online] [Zacytowano: 27 08 2020.] <https://www.nowejaworzno-grupatauron.pl/>.
25. Oxford Economics. *Economic, Employment and Environmental Benefits of Renewed U.S. Investment in Nuclear Energy*. 2008. <https://d2rpq8wtqka5kg.cloudfront.net/128895/open20080105120000.pdf?Expires=1601240580&Signature=X7hK7a~A1BZLrWBLkZTMkuw-xlxANQ13XTnpdjjH~r29eXYXme4fsxFz4YLFRat24AzLaKmeqLU0x8XCIRmbQHmALTBjUnwRAcBFQ0890tZnqPP4V730FCArF4qb2vGExx4GntqarjabsyDldGHbi3fj4QI7j>.
26. EDF. Hinkley Point C - Jobs & Training. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.edfenergy.com/energy/nuclear-new-build-projects/hinkley-point-c/jobs-and-training>.
27. —. Community Fund. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.edfenergy.com/energy/nuclear-new-build-projects/hinkley-point-c/local-community/being-part-of-the-community/community-fund>.
28. National Renewable Energy Laboratory, NREL. *Annual Technology Baseline*. U.S. Department of Energy, 2019.
29. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy. *Electricity generation costs*. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2016. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/566567/BEIS_Electricity_Generation_Cost_Report.pdf.
30. —. *Electricity generation costs*. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2020. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/911817/electricity-generation-cost-report-2020.pdf.
31. WNP.pl. *Czesi zamykają ostatnią kopalnię uranu w Europie*. [Online] [Zacytowano: 27 08 2020.] <https://www.wnp.pl/energetyka/czesi-zamykaja-ostatnia-kopalnie-uranu-w-europie,297008.html>.
32. Olszewski, Jerzy, Kacprzyk, Janusz i Kamiński, Zbigniew. Ocena narażenia radiacyjnego górników w wybranych kopalniach metali nieżelaznych na radon i produkty jego rozpadu. *Medycyna Pracy*. 2010, Tom 6, 61, strony 653-639.
33. Uranium Mining Overview. *World Nuclear Association*. [Online] [Zacytowano: 27 08 2020.] <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx>.
34. *Problem ochrony środowiska w górnictwie otworowym na przykładzie Kopalni i Zakładów Chemicznych Siarki „Siarkopol” S.A. - kopalnia „Osiek”*. Kowalik, Stanisław, Gajdowska, Maria i Herczakowska, Joanna. 2, 2009, Budownictwo Górnicze i Tunelowe, strony 23-27. ISSN 1234-5342.
35. Nuclear Energy Agency & International Atomic Energy Agency. *Uranium 2016: Resources, Production and Demand*. 2016. NEA No. 7301.
36. Krysiński, W. Pomiary hałdy po byłej kopalni uranu „Grzmiąca” w Grzmiącej, gm. Głuszycza woj. dolnośląskie. *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*. 2014, nr. 4, strony 15-21.

37. Lee, Ukjae, Lee, Chanki i Kim, Minji. Analysis of the influence of nuclear facilities on environmental radiation by monitoring the highest nuclear power plant density region. *Nuclear Engineering and Technology*. 2019, Tom 51, 6, strony 1626-1632.
38. Waste from Nuclear Power. [Online] [Zacytowano: 27 08 2020.] <https://web.archive.org/web/20200216080147/http://nuclearinfo.net/Nuclearpower/WebHomeWasteFromNuclearPower>.
39. Thaxter, Chris B., Buchanan, Graeme M. i Carr, Jamie. Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*. 2017.
40. Wawręty, Robert i Żelaziński, Janusz. *Zapory a powódzie*. Oświęcim - Kraków : Towarzystwo na Rzecz Ziemi & Polska Zielona Sieć, 2005. http://www.ratujmyrzeki.pl/dysk_KRR/biblioteka_koalicji/ZAPORY.pdf.
41. Rehbein, Jose A., Watson, James E. M. i Lane, Joe L. Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas. *Global Change Biology*. 26, 2020, 5, strony 3040-3051.
42. U.S. Department of Energy. *Quadrennial Technology Review: An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities*. September. U.S. Department of Energy, 2015. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/Quadrennial-Technology-Review-2015_0.pdf.
43. Ministerstwo Energii. *Polityka energetyczna Polski do 2040 r. – strategia rozwoju sektora paliwowo-energetycznego, Zał. 2 Wnioski z analiz prognostycznych*. 2019. projekt z 8.11.2019.
44. EU Energy Poverty. Energy Poverty in Germany – Highlights of a Beginning Debate. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.energypoverty.eu/news/energy-poverty-germany-highlights-beginning-debate>.
45. Partanen, Rauli i Korhonen, Janne M. *Klimatyczna ruletka: czy zwalczając energetykę jądrową, zagrażamy naszej przyszłości?* Fundacja Instytut Zrównoważonej Energetyki. Wydawnictwo, 2018. ISBN 8394425488.
46. Cao, Junji, Cohen, Armond i Hansen, James. China-U.S. cooperation to advance nuclear power. *Science*. Vol. 353, 2016, Tom Issue 6299, strony 547-548.
47. Jastrzębska, Ewa. Spójność społeczna w kontekście społecznej odpowiedzialności przedsiębiorstw. Definiowanie, pomiar i dobre praktyki biznesu. *OPTIMUM. ECONOMIC STUDIES*. 2018, Tom 88, 4.
48. EMBER. *Global Electricity Review*. 2020. <https://ember-climate.org/project/global-power-2020/>.
49. Główny Urząd Statystyczny. *Budżety gospodarstw domowych w 2013 r.* Warszawa : GUS, 2014. ISSN 0208-9793.
50. Owczarek, Dominik; Miazga, Agata;. *Ubóstwo energetyczne - definicja i charakterystyka społeczna grupy*. Instytut na Rzecz Ekorozwoju, 2015. ISBN: 978-83-89495-44-0.
51. Miazga, Agata i Owczarek, Dominik. *Dom zimny, dom ciemny – czyli ubóstwo energetyczne w Polsce*. IBS Working Paper, 2015. <https://ibs.org.pl/publications/dom-zimny-dom-ciemny-czyli-ubostwo-energetyczne-w-polsce/>.
52. Brook, Barry W., Alonso, Agustin i Meneley, Daniel A. Why nuclear energy is sustainable and has to be part of the energy mix. *Sustainable Materials and Technologies*. 1-2, 2014, strony 8-16.
53. Adamkiewicz, Łukasz i Matyasik, Natalia. *Smog w Polsce i jego konsekwencje*. Warszawa : Polski Instytut Ekonomiczny, 2019. ISBN 978-83-66306-59-2.
54. Raymond, Colin, Matthews, Tom i Horton, Radley M. The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance. *Science Advances*. Vol. 16, 2020, no. 19.
55. Human Rights Committee. *Views adopted by the Committee under article 5 (4) of the Optional Protocol, concerning communication*. The Office of the High Commissioner for Human Rights (UN Human Rights), 2015. https://tbinternet.ohchr.org/_layouts/15/treatybodyexternal/Download.aspx?symbolno=CCPR%2fC%2f127%2fD%2f2728%2f2016&Lang=en. No. 2728/2016.

56. Xu, Chi, i inni. Future of the human climate niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 117, 2020, No. 21, strony 11350-11355.
57. Nuclear Energy Institute. *The Economic Benefits of Texas' Nuclear Power Plants*. 2015. 202.739.8000.
58. KANCELARIA SENATU BIURO ANALIZ I DOKUMENTACJI Dział Analiz i Opracowań Tematycznych. *Stosunek lokalnych społeczności krajów europejskich do lokalizacji w ich sąsiedztwie elektrowni atomowych*. Senat RP, 2009. OT-575.
59. Foratom. What People Really Think about Nuclear Energy. *Energy Policy, Economy and Law*. Vol. 62, 2017, No. 3, strony 157-163. https://www.kernd.de/kernd-wAssets/docs/fachzeitschrift-atw/2017/atw2017_03_157_What_People_Really_Think.pdf.
60. Bradish, David. Australia's Big Coal Ad Against Nuclear Power. *NEI NUCLEAR NOTES*. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <http://neinuclearnotes.blogspot.com/2008/08/australias-big-coal-ad-against-nuclear.html>.
61. Radio Łódź. Związkowcy Kopalni i Elektrowni Bełchatów żądają koncesji i budowy odkrywki w Złoczewie. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.radiolodz.pl/posts/62389-zwiazkowcy-kopalni-i-elektrowni-belchatow-zadaja-koncesji-i-budowy-odkrywki-w-zloczewie>.
62. World Nuclear Association. Nuclear Power in the European Union. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx>.
63. Kuczyńska, Urszula. Europejski Zielony Ład do remontu. *biznesalert.pl*. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://biznesalert.pl/europejski-zielony-lad-atom-oze-energetyka-klimat/>.
64. Ministère de la Transition écologique. Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC). [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>.
65. Wiech, Jakub. *Energiewende. Nowe niemieckie imperium*. TS Wydawnictwo Tomasz Szukała, 2019. ISBN: 978-83-65960-13-9.
66. Sroka, Paweł. *Bezpieczeństwo energetyczne: między teorią a praktyką*. Elipsa, 2015. str. R.2. ISBN 978-83-8017-060-5.
67. Najwyższa Izba Kontroli. *Inwestycje w Moce Wytwórcze Energii Elektrycznej w Latach 2012–2018*. Warszawa : Najwyższa Izba Kontroli, 2019. Nr ewid. 26/2019/P/18/018/KGP.
68. Hornsdale Power Reserve-South Australia's Big Battery. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://hornsdalepowerreserve.com.au/>.
69. Radovanović, Mirjana, Filipović, Sanja i Pavlović, Dejan. Energy security measurement – A sustainable approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.68, 2017, Tom Pt. 2, strony 1020-1032.
70. PGNiG. Aktualności PGNiG: mniej gazu z Rosji, rośnie import LNG. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <http://pgnig.pl/aktualnosci/-/news-list/id/pgnig-mniej-gazu-z-rosji-rosnie-import-lng/newsGroupId/10184?changeYear=2020¤tPage=1>.
71. Ministerstwo Energii. *Polityka energetyczna Polski do 2040 r. – strategia rozwoju sektora paliwowo-energetycznego*. 2019. projekt z dn. 8.11.2019.
72. European Investment Bank. *EIB energy lending policy: Supporting the energy transformation*. 2019. <https://www.eib.org/en/publications/eib-energy-lending-policy.htm>.
73. Rada Europejska. Wyniki obrad: Nadzwyczajny szczyt Rady Europejskiej, 17–21 lipca 2020. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.consilium.europa.eu/pl/meetings/european-council/2020/07/17-21/>.
74. IPCC. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change - Annex III: Technology-specific cost and performance parameters*. Cambridge University Press, 2014. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.

75. Kolasa, Michał. Zużycie energii elektrycznej jako przybliżona miara aktywności gospodarczej (tydzień 32). *Grupa Polskiego Funduszu Rozwoju*. [Online] [Zacytowano: 15 08 2020.] <https://pfr.pl/analizy-ekonomiczne/zuzycie-energii-elektrycznej-jako-przyblizona-miara-aktywnosci-gospodarczej-tydzien-32.html>.
76. PAP - Nauka w Polsce. Badanie: Europa ogrzewa się szybciej, niż zakładano. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C78421%2Cbadanie-europa-ogrzewa-sie-szybciej-niz-zakladano.html>.
77. OECD Nuclear Energy Agency. Post Covid-19 Recovery Plan. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <http://www.oecd-nea.org/news/2020/covid-19/post-covid-19-recovery/index.html>.
78. International Energy Agency. The Covid-19 crisis is undermining nuclear power's important role in clean energy transitions. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.iea.org/commentaries/the-covid-19-crisis-is-undermining-nuclear-power-s-important-role-in-clean-energy-transitions>.
79. CIRE. URE: moc zainstalowana większych OZE sięgnęła w połowie roku 9,5 GW. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.cire.pl/item,202602,1,0,0,0,0,0,ure-moc-zainstalowana-wiekszych-oze-siegnela-w-polowie-roku-95-gw.html>.
80. International Energy Agency. *Nuclear Power in a Clean Energy System*. Paris : IEA, 2019. <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>.
81. International Atomic Energy Agency. *Climate Change and Nuclear Power*. IAEA, 2020. 978-92-0-115020-2.
82. Komisja Europejska. *KOMUNIKAT KOMISJI DO PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO, RADY, EUROPEJSKIEGO KOMITETU EKONOMICZNO-SPOŁECZNEGO I KOMITETU*. 2020. <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2020/PL/COM-2020-562-F1-PL-MAIN-PART-1.PDF>. COM(2020) 562 final.
83. PGE chce być w 100 proc. zielona. Jak to osiągnie zużywając węgiel? [Online] [Zacytowano: 16 09 2020.] <https://www.green-news.pl/1260-PGE-100-proc-zielona-oze>.
84. PKN ORLEN neutralny emisyjnie do 2050. [Online] [Zacytowano: 09 09 2020.] <https://www.orklen.pl/PL/BiuroPrasowe/Strony/PKN-ORLEN-neutralny-emisyjnie-do-2050.aspx>.
85. Finansowe porozumienie przyspieszy Zielony Zwrot TAURONA. [Online] [Zacytowano: 08 07 2020.] <https://media.tauron.pl/pr/537707/finansowe-porozumienie-przyspieszy-zielony-zwrot-taurona>.
86. European Commission. *Study on energy storage - contribution to the security of the electricity supply in Europe* Publications Office of the European Union,, 2020. ISBN 978-92-76-03377-6.
87. Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking. *Hydrogen Roadmap Europe*. Publications Office of the European Union, 2019. ISBN 978-92-9246-331-1 .
88. Ministerstwo Klimatu. *Program polskiej energetyki jądrowej*. Warszawa :, 2020. projekt z dn. 06.08.2020.
89. International Atomic Energy Agency. Power Reactor Information System. [Online] [Zacytowano: 02 08 2020.] <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>.
90. World Nuclear Association. *World Nuclear Performance Report*. 2019. Report No. 2019/007.
91. Nian, Victor. Technology perspectives from 1950 to 2100 and policy implications for the global nuclear power industry. *Progress in Nuclear Energy*. 105, 2018, strony 83-98.
92. Roh, Seungkook, Choi, Jae Young i Chang, Soon Heung. Modeling of nuclear power plant export competitiveness and its implications: The case of Korea. *Energy*. 166, 2019, strony 157-169.
93. Schneider, Mycle i Froggatt, Antony. The Current Status of the World Nuclear Industry. *The Technological and Economic Future of Nuclear Power*. 2019, strony 35-73.
94. National Skills Academy for Nuclear. About NSAN. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.nsan.co.uk/page/AboutNSAN>.

95. French Embassy in London. France-UK agreement signed for training in nuclear industry. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://uk.ambafrance.org/France-UK-agreement-signed-for-training-in-nuclear-industry>.
96. Główny Urząd Statystyczny. *Zatrudnienie i wynagrodzenia w gospodarce narodowej w 2016 r.* Warszawa : GUS, 2017. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/pracujacy-zatrudnieni-wynagrodzenia-koszty-pracy/zatrudnienie-i-wynagrodzenia-w-gospodarce-narodowej-w-2016-r-,1,25.html>. ISSN 1509-8443.
97. Statista. Global mortality rate by energy source 2012. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.statista.com/statistics/494425/death-rate-worldwide-by-energy-source/>.
98. World Nuclear News. Second US plant licensed for 80-year operation. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://world-nuclear-news.org/Articles/Second-US-plant-licensed-for-80-year-operation>.
99. PGE EJ1. Nastawienie mieszkańców gmin lokalizacyjnych do budowy elektrowni jądrowej. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://pgeej1.pl/Aktualnosci/nastawienie-mieszkanow-gmin-lokalizacyjnych-do-budowy-elektrowni-jadrowej2>.
100. Su, Weihua, Ye, Yujing i Zhang, Chonghui. Sustainable energy development in the major power-generating countries of the European Union: The Pinch Analysis,. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 256, 2020.
101. Kiegiel, Katarzyna i Zakrzewska-Kołodziej, Grażyna. Zasoby uranu w Polsce – możliwości pozyskiwania uranu ze źródeł niekonwencjonalnych. *Postępy Techniki Jądrowej*. VOL. 61, 2018, Tom Z.2, strony 17-22.
102. IAEA Low Enriched Uranium (LEU) Bank. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.iaea.org/topics/iaea-low-enriched-uranium-bank>.
103. World Nuclear Association. Nuclear Fuel Cycle Overview. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx>.
104. PGNiG. PGNiG Podziemne Magazyny Gazu. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <http://pgnig.pl/podziemne-magazyny-gazu>.
105. Blasio, Nicola de i Nephew, Richard. *The geopolitics of nuclear power and technology*. Columbia University - Center on Global Energy Policy, 2017. <https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/The%20Geopolitics%20of%20Nuclear%20Power%20and%20Technology%20033017.pdf>.
106. International Atomic Energy Agency. Safeguards legal framework. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.iaea.org/topics/safeguards-legal-framework>.
107. Relacje Dwustronne RP - Informator ekonomiczny. *Serwis Rzeczypospolitej Polskiej*. [Online] [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.gov.pl/relacje-dwustronne>.
108. International Renewable Energy Agency. *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2020*. IRENA, 2020. ISBN: 978-92-9260-266-6.
109. Stowarzyszenie Branży Fotowoltaiczne. *Polski rynek fotowoltaiczny w liczbach - dane 31.12.2019*. SBF, 2020. http://polskapv.pl/wp-content/uploads/2020/05/Raport_PV_2019_SBF.pdf.
110. Joint Research Centre - European Commission. *Employment in the Energy Sector -Status Report 2020*. Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-76-18206-1.
111. rp.pl. Elektrownie słoneczne bez podatku - wyrok NSA. [Online] Rzeczpospolita. [Zacytowano: 31 08 2020.] <https://www.rp.pl/Podatki-lokalne/304159994-Elektrownie-sloneczne-bez-podatku---wyrok-NSA.html>.

9

O AUTORACH

**PAWEŁ GAJDA**

pawel.gajda@ize.org.pl

Absolwent studiów magisterskich na Międzywydziałowej Szkole Energetyki AGH w Krakowie oraz studiów doktoranckich na Wydziale Energetyki i Paliw AGH, gdzie obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego. Ponadto jest członkiem zarządu fundacji Instytut Zrównoważonej Energetyki oraz Polskiego Towarzystwa Nukleonicy. Jest również przedstawicielem PTN w European Nuclear Society.

Naukowo zajmuje się głównie fizyką reaktorową, technologią reaktorów oraz niskoemisyjnymi systemami elektroenergetycznymi. Posiada 12-letnie doświadczenie w międzynarodowych projektach badawczych z zakresu nowych technologii reaktorowych, zwłaszcza układów podkrytycznych (ADS) oraz reaktorów wysokotemperaturowych (HTR). Pracował również jako ekspert Komisji Europejskiej do oceny projektów badawczych. Uczestniczył w stażach i szkoleniach organizowanych między innymi przez: Nuclear Technology and Education Center JAEA, Karlsruhe Institute of Technology, Saclay Nuclear Research Centre CEA.



WOJCIECH GAŁOSZ

wojciech.galosz@gmail.com

Aktywista klimatyczny, przyrodnik, specjalista w zakresie ochrony środowiska od lat zajmujący się zagadnieniami oddziaływania przedsięwzięć na środowisko. Autor i współautor licznych Raportów Oceny Oddziaływania na Środowisko, w tym z zakresu energetyki. Szczególną uwagę zwraca na ochronę bioróżnorodności w aspekcie wpływu gospodarki na naturalne i półnaturalne ekosystemy.



URSZULA KUCZYŃSKA

urszula_kuczynska@yahoo.fr

Absolwentka Instytutu Lingwistyki Stosowanej Uniwersytetu Warszawskiego, studiów podyplomowych w Kolegium Gospodarki Światowej warszawskiej SGH i studiów z zakresu języka i kultury Chin na Zhejiang University of Technology w Hangzhou.

Zawodowo zajmuje się komunikacją i edukacją, w tym z perspektywy antropologii społecznej. Aktywistka klimatyczna współdziałająca w ramach europejskiej sieci ekomodernistów, pracująca w nurcie ekologii pragmatycznej i teorii post wzrostu. Współautorka strategii działań, strategii komunikacji i dokumentów programowych z zakresu transformacji energetycznej i przeciwdziałania zmianom klimatu na użytek sektora pozarządowego i podmiotów politycznych.

W latach 2011-2019 związana z PGE EJ1 realizującym Polski Program Energetyki Jądrowej.



ANNA PRZYBYSZEWSKA

przybyszewskaanna@gmail.com

Project manager i specjalista doświadczony w pracy w międzynarodowych środowiskach z zakresu R&D energetyki, energetyki jądrowej oraz OZE. Zaanżelowana w development nowych mocy wytwórczych oraz zagadnienia związane z transformacją energetyczną.

Absolwentka Energetyki Jądrowej, na Wydziale Energetyki i Paliw, na Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie oraz studiów podyplomowych z zakresu OZE na Politechnice Warszawskiej.

Pracując dla NCBJ brała udział w projektach związanych z kogeneracją jądrową i innymi nienielektrycznym zastosowaniami energetyki jądrowej, a także spotkaniach na rzecz przygotowania wymagań dla obecnych i przyszłych generacji reaktorów jądrowych. Współautorka raportów opracowywanych w ramach: inicjatywy reaktora ALLEGRO, NC2-IR oraz HTR-PL. Uczestniczka międzynarodowych kursów: Training for foreign young researchers and engineers of Oarai Research and Development Center (2015) oraz Intercontinental Nuclear Institute (2016).

Autorka Raportu „Małe Modułowe Reaktory (SMR) dla Polski” we współpracy z Instytutem Sobieskiego.



ADAM RAJEWSKI

adam.rajewski@pw.edu.pl

Absolwent Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa. Od 11 lat jest pracownikiem Instytutu Techniki Ciepłej PW, gdzie zajmuje się zagadnieniami energetyki jądrowej, wysokosprawnej kogeneracji oraz niskoemisyjnych systemów energetycznych. Współtworzył raporty dotyczące zdolności polskiego przemysłu do uczestnictwa w realizacji obiektów energetyki jądrowej w ramach zadania badawczego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju a także w ramach analizy realizowanej na zlecenie Ministerstwa Gospodarki. W ramach swoich prac zajmuje się działalnością edukacyjną i popularyzatorską dotyczącą energetyki jądrowej. Poza działalnością badawczą i edukacyjną Adam pracuje także w przemyśle, gdzie zajmuje się urządzeniami dla energetyki gazowej oraz projektowaniem układów zasilania centrów przetwarzania danych.



ŁUKASZ SAWICKI

lukasz.sawicki@klimat.gov.pl

Główny Specjalista ds. strategii i analiz ekonomicznych sektora jądrowego, Departament Energii Jądrowej, Ministerstwo Klimatu i Środowiska.

Od 2006 roku związany z branżą jądrową, od 2010 roku zatrudniony w administracji rządowej, gdzie zajmował się przygotowaniem „Programu polskiej energetyki jądrowej” i jego aktualizacją. Specjalizuje się w strategiach rozwojowych przemysłu jądrowego na świecie oraz w problematyce ekonomii energetyki jądrowej.

Absolwent UMCS w Lublinie oraz Studium Edukacji Ekonomicznej prowadzonego przez Krajową Szkołę Administracji Publicznej we współpracy ze Szkołą Główną Handlową i Narodowym Bankiem Polskim. Autor i współautor ok. 20 publikacji na temat energetyki jądrowej, w tym w zakresie wpływu przemysłu jądrowego na gospodarkę oraz modeli biznesowych w energetyce jądrowej.

TWORZYMY IDEE DLA POLSKI



Instytut Sobieskiego

Lipowa 1a/20
00-316 Warszawa
tel.: 22 826 67 47

sobieski@sobieski.org.pl
www.sobieski.org.pl

ISBN 978-83-959697-1-3



Dekarbonizacja i transformacja energetyczna Polski jest wyzwaniem na najbliższe dekady, które będzie wymagało zmiany podejścia w wielu aspektach: planistycznym, organizacji przedsiębiorstw, zapewnienia środków na realizację inwestycji, a przede wszystkim spójnej i zrównoważonej strategii, której głównym celem jest budowa nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki. Implementacja energetyki jądrowej w ramach synergii z OZE jest jedyną realną ścieżką, która umożliwi szybkie i sprawne osiągnięcie neutralności klimatycznej. Połowa krajów Unii Europejskiej (w tym Polska) wykorzystuje, lub ma zamiar rozwijać energetykę jądrową, w ramach szybszego i efektywnego programu dekarbonizacji. Na początku października 2020 r., Rada Ministrów przyjęła uchwałę w sprawie aktualizacji Programu polskiej energetyki jądrowej. Celem programu jest budowa oraz oddanie do eksploatacji elektrowni jądrowych, o łącznej mocy zainstalowanej od ok. 6 do ok. 9 GW. Niniejszy raport, podzielony na 6 części, odzwierciedla poszczególne aspekty wdrażania i funkcjonowania energetyki jądrowej, w tym odniesienie ich do warunków polskich.

W raporcie można znaleźć nawiązanie do dyskusji, czy energia jądrowa powinna być traktowana tak samo jak „brudne” technologie, czy też jest źródłem czystej energii, wywierającej znacznie mniejszą presję na środowisko. Niezrozumienie energetyki jądrowej, w tym związane z nią obawy, wynikają ze złożoności zagadnień, które jednocześnie poruszają wiele wątków – technicznych, ekonomicznych, politycznych, społecznych, środowiskowych i innych.



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska



Polskie Sieci
Elektroenergetyczne

Raport jest współfinansowany ze środków otrzymanych z NIW-CRSO w ramach Programu PROO.



Narodowy Instytut Wolności
Centrum Rozwoju Społeczeństwa Obywatelskiego



Program Rozwoju
Organizacji
Obywatelskich
na lata 2018–2030

PROO