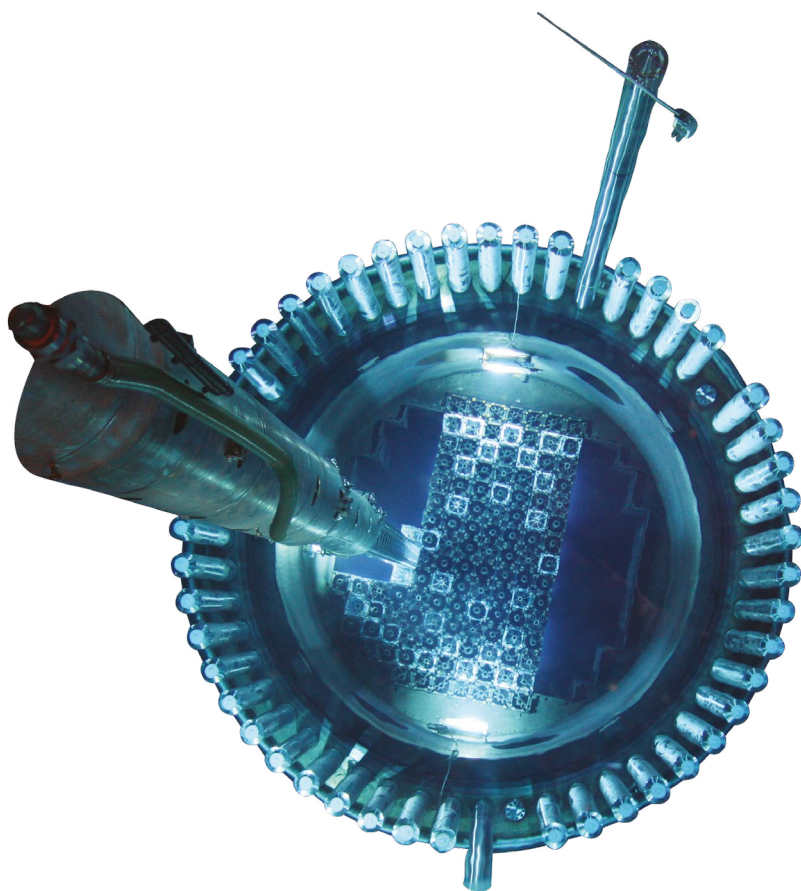


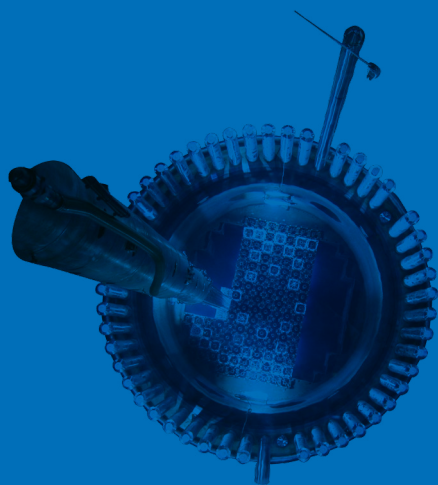
Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę

KORZYŚCI NA POZIOMIE GOSPODARKI NARODOWEJ

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ

ANALIZY I OPRACOWANIA





WNĘTRZE ZBIORNIKA CIŚNIENIOWEGO REAKTORA

Zbiornik ciśnieniowy reaktora zawiera rdzeń złożony z kaset paliwowych. W trakcie pracy elektrowni jądrowej paliwo jądrowe ulega podgrzaniu. Powstałą energię ciepłą odbiera krążąca w obiegu woda.

Wprowadzenie

Przemysł jądrowy to branża oparta na wiedzy, o wysokiej wartości dodanej, która wykorzystuje nowe technologie o szerokim zastosowaniu w gospodarce narodowej. Według klasyfikacji tzw. intensywności technologicznej, prowadzonej przez OECD, szeroko pojęty przemysł jądrowy należy umieścić do kategorii *Medium-high-technology industries*, a jeden z jego podsektorów (produkcja radiofarmaceutyków) w kategorii *High-technology industries*.¹

Jądrowe know-how jest efektem ponad 70 lat intensywnych badań naukowych, wdrożeń w przemyśle oraz doświadczeń eksploatacyjnych z ok. 35 państw świata (wszystkich z G8 i większości z OECD). Sektor jądrowy wpływa na inne gałęzie gospodarki, także te pozaprzemysłowe, jak sektor finansowo-ubezpieczeniowy. Wpływ przemysłu jądrowego na gospodarkę narodową to przede wszystkim:

- Wysoka wartość dodana i znaczny udział w PKB.
- Duża liczba miejsc pracy, w większości wymagających.
- Stabilizacja cen energii i utrzymanie niskich kosztów działalności biznesowej. Cena energii elektrycznej, podobnie jak ropy naftowej, bezpośrednio wpływa na wszystkie gałęzie gospodarki, a wzrost jej ceny powoduje wzrost kosztów produkcji i usług, będąc jedną z przyczyn nadmiernej inflacji.
- Stymulowanie prac badawczo-

-rozwojowych, zwłaszcza w dziedzinach zwłaszcza tych związanych z przemysłem ciężkim i inżynierią materiałową.

- Wzrost jakości produkcji i usług przemysłu poprzez wysokie standardy i wymogi jakościowe, zarówno dla materiałów (stal, beton, tworzywa sztuczne), urządzeń (pompy, zawory, turbiny, elektrownika), jak i procedur postępowania pracowników.

Wymienione oddziaływania zaobserwowano w państwach z działającymi elektrowniami jądrowymi (EJ). Trzy z tych państw: Korea Południowa, Stany Zjednoczone i Wielka Brytania zostały omówione w niniejszym raporcie. W Korei przemysł jądrowy ma 1,3% udział w tworzeniu PKB, co należy uznać za wartość wysoką, zważywszy bardzo duże uprzemysłowienie kraju. Korea w ciągu 17 lat z importera technologii jądrowych stała się ich eksporterem. Jest to efekt odpowiednio skonstruowanego i konsekwentnie realizowanego programu rozwoju przemysłu krajowego pod kątem energetyki jądrowej.

Elektrownie jądrowe, dzięki niewielkiemu zapotrzebowaniu na paliwo (w tym możliwości jego wieloletniego magazynowania) i stabilnej, przewidywalnej pracy, mają wymierny gospodarczo wpływ na bezpieczeństwo energetyczne kraju. Dzięki zlokalizowaniu ich nad morzem lub budowie zamkniętych

obiegów chłodzenia będą niemal całkowicie niezależne od warunków pogodowych, w tym również od upałów, jakie przyczyniły się do ograniczenia dostaw energii w sierpniu 2015 r. i spowodowały straty gospodarcze w wysokości ok. 0,5 mld PLN₂₀₁₅.² Z kolei brak emisji gazów cieplarnianych sprawia, że dwie planowane w Polsce EJ o mocy ok. 6000 MW netto pozwolą uniknąć kosztów zakupu uprawnień do emisji CO₂ w wysokości 5-7 mld PLN₂₀₁₅² rocznie.

Elektrownie jądrowe to nie tylko energia elektryczna. W kilku państwach europejskich jądrowe bloki energetyczne II i III generacji (reaktory lekkowodne o mocy 300-1700 MW) pracują w trybie częściowej kogeneracji, wytwarzając również ciepło użytkowe dla miejskich sieci ciepłowniczych czy zakładów przemysłowych. Następnie ciepło to można wykorzystać do produkcji chłodu. W Polsce pracuje już kilka instalacji produkujących tzw. wodę lodową z ciepła sieciowego, a scentralizowane chłodnictwo stopniowo staje się trendem rozwojowym wielu miast UE np. Sztokholmu, Uppsali, Helsinek i Berlina.

Reaktory energetyczne mogą dodatkowo produkować radioizotopy dla medycyny i przemysłu – praktykowane jest to m.in. w USA, Kanadzie, Korei Płd. i Chinach. Produkcja radioizotopów jest niezwykle rentowna, a rynek światowy

uważany jest za bardzo perspektywiczny. W Korei Płd. produkcja radioizotopów wnosi wkład do PKB na poziomie 0,66%.

Elektrownie jądrowe w niektórych krajach (m.in. w USA, Japonii) są wykorzystywane do zasilania instalacji odsalania wody morskiej. W obecnym stuleciu będzie miało to duże znaczenie gospodarcze ze względu na coraz większy deficyt wody użytkowej. Według danych Eurostatu, Polska zajmuje 24. miejsce wśród 27 państw UE pod względem zasobów wody słodkiej przypadającej na mieszkańca. Na przeciętnego mieszkańca Polski przypada ok. 1700 m³ odnawialnej wody słodkiej rocznie, podczas gdy w tak suchych krajach jak Grecja i Portugalia jest to 6500-7000 m³. Problem będzie się pogłębiał w kolejnych dekadach, w tym rów-

nież na Pomorzu, gdzie na skutek zmian klimatycznych roczne opady deszczu mogą zmniejszyć się nawet o 40%, powodując długotrwałe susze.

Przemysł jądrowy jest stymulatorem rozwoju wielu dziedzin nauki. Prace zlecane przez urząd dozoru jądrowego i operatora EJ instytutom badawczym, uczelniom wyższym i firmom dotyczą takich dziedzin jak fizyka jądrowa, chemia jądrowa, radiochemia, chemia polimerów, inżynieria materiałowa, informatyka, automatyka i robotyka, elektronika, ochrona środowiska, czy gospodarka wodno-sanitarna.

Ostatnim, ale nie mniej ważnym od innych, oddziaływaniem sektora jądrowego, jest „oddziaływanie fiskalne”. W niektórych krajach europejskich rentowność elektrowni jądrowych jest tak duża, że

rzędy obłożyły je bardzo wysokimi podatkami, mającymi różną formę, z których m.in. dotują odnawialne źródła energii (OZE) – na przykład w Niemczech, Belgii i Szwecji.

W niniejszym raporcie obliczono możliwą wielkość dochodów podatkowych budżetu państwa w przypadku budowy i eksploatacji dwóch EJ o łącznej mocy 6000 MW będą wynosiły ponad 420 mln PLN₂₀₁₅ rocznie (etap eksploatacji) przez ok. 80 lat lub dłużej. Podana liczba jest oczywiście efektem wielu założeń, ale z dużym prawdopodobieństwem oddaje skalę spodziewanych dochodów budżetowych.

Wpływ przemysłu jądrowego na miejsca pracy w gospodarce narodowej zostanie zaprezentowany w kolejnym raporcie Ministerstwa Energii.

1. www.oecd.org/sti/ind/48350231.pdf

2. Zażożono cenę uprawnień do emisji na poziomie 30 EUR/t (zgodnie z prognozą ARE

S.A. dla Ministerstwa Gospodarki z kwietnia 2013 r.) oraz kurs EUR na poziomie 4,30 PLN.

1.

Wpływ EJ na bezpieczeństwo energetyczne

Elektrownie jądrowe przyczynią się do istotnego zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Polski poprzez:

- Zapewnienie stabilnych i niezawodnych dostaw energii elektrycznej po racjonalnych kosztach, przy spełnieniu wymogów ochrony środowiska;
- Uniezależnienie polskiej elektroenergetyki od warunków pogodowych (susze, niski stan wód i ich wysoka temperatura), poprzez zlokalizowanie EJ blisko morza;
- Wyeliminowanie konieczności importu energii elektrycznej z rosyjskiej elektrowni jądrowej w Obwodzie Kaliningradzkim i/lub białoruskiej elektrowni jądrowej (EJ Ostrowiec);
- Wyeliminowanie konieczności dodatkowego importu rosyjskiego gazu, który mógłby stanowić paliwo dla alternatywnych dla polskich EJ elektrowni gazowych;
- Zwiększenie niezawodności zasilania północnych obszarów Polski, gdzie obecnie brakuje stabilnych dużych źródeł systemowych.

1.1 Koszty bezpieczeństwa energetycznego

Bezpieczeństwo energetyczne posiada wymierną wartość ekonomiczną, którą można obliczyć np. metodą kosztów alternatywnych, w tym zwłaszcza kosztów tzw. blackout-ów, czyli rozległych i dłu-

gotrwałych awarii systemu elektroenergetycznego, skutkujących brakiem dostaw energii do odbiorców. Dobrym przykładem jest lokalna awaria systemowa w aglomeracji szczecińskiej 8 kwietnia 2008 r., trwająca prawie dobę, która według raportu PSE spowodowała straty gospodarcze w wysokości 55,5 mln PLN₂₀₀₈ (67,02 mln PLN₂₀₁₅), natomiast koszt niedostarczonej energii elektrycznej wyniósł 63,485 - 95,407 mln PLN₂₀₀₈ (76,662 - 115,210 mln PLN₂₀₁₅).

Możliwe jest szacunkowe obliczenie kosztu dużej awarii zasilania (blackout) w oparciu o metodykę relacji PKB do wielkości zużycia energii elektrycznej³. Jeżeli przyjąć, że PKB nominalne Polski w 2015 roku wyniosło 1 780 984 mln PLN₂₀₁₅⁴, a zużycie energii elektrycznej ogółem w tym czasie osiągnęło poziom 161 438 GWh, to otrzymuje się (przybliżoną) wartość 11 032 PLN₂₀₁₅/MWh. Oznacza to, że brak dostaw energii elektrycznej na terenie całego kraju przez 1 miesiąc (30 dni) w 2015 roku spowodowałby szacunkowe straty ekonomiczne w wysokości ponad 146 mld PLN₂₀₁₅⁵.

Oprócz blackout-u możliwy jest również tzw. brownout, czyli ograniczenie dostaw energii do wybranych grup odbiorców. Taka sytuacja miała miejsce w sierpniu 2015 r., kiedy operator systemu przesyłowego PSE S.A. ogłosił

20-ty stopień zasilania. Jednym z powodów tej sytuacji była wysoka temperatura powietrza i wody, która spowodowała z jednej strony zwiększenie zużycia energii (i zapotrzebowanie na moc) na potrzeby klimatyzacji, a z drugiej strony obniżenie poziomu wody w rzekach i jeziorach oraz podgrzanie wody pobieranej do chłodzenia skraplaczy turbin w elektrowniach węglowych. Aby nie przekroczyć dopuszczalnych prawem limitów podgrzewania wody, elektrownie węglowe musiały ograniczyć swoją moc. W przypadku EJ zlokalizowanych nad morzem i wykorzystujących do chłodzenia wodę morską nie byłoby konieczności redukcji mocy. Łącznie z powodu stopni zasilania w sierpniu 2015 r. nie dostarczono 55 020 MWh energii elektrycznej. Strata PKB, jaką poniosła polska gospodarka z tego tytułu mogła wynieść:

- 607 mln PLN₂₀₁₅ (obliczenia własne autora metodą „PKB/zużycie energii”) lub
- 385 mln PLN₂₀₁₅ (obliczenia PSE)⁶ lub

Brak dostaw energii elektrycznej na terenie całego Polski przez 30 dni może spowodować straty gospodarcze w wysokości ponad 146 mld PLN₂₀₁₅.

• 425 mln PLN₂₀₁₅ (obliczenia firmy E&Y, przedstawione na Europejskim Kongresie Gospodarczym w Katowicach w maju 2016 r.)⁷.

Duża niezależność EJ od warunków pogodowych objawia się nie tylko poprzez niezaktóconą pracę w czasie letnich upałów, ale również poprzez ciągłą, niezawodną pracę w czasie zimowych zamieci. Podczas ciężkiej zimy w Stanach Zjednoczonych w okresie od grudnia 2013 r. do stycznia 2014 r. w ruchu było aż 97 ze 100 bloków jądrowych, z których 94 pracowały z mocą 90-100% i zasilaty grzejniki elektryczne w gospodarstwach domowych, pomimo silnych zamieci śnieżnych i mrozów przekraczających -20°C, a miejscami -30°C. Nie zarejestrowano żadnych awarii.

1.2

Niezawodność dostaw paliwa do elektrowni jądrowych

Światowe zasoby uranu są praktycznie niewyczerpalne, gdyż zależą one wyłącznie od ceny jaką operatorzy elektrowni jądrowych gotowi są płacić za uran. Uran jako surowiec

(koncentrat uranowy U_3O_8) stanowi 5% jednostkowego kosztu wytwarzania energii w elektrowniach jądrowych, a paliwo jądrowe jako całość – do 15%. Powoduje to, że koszt uranu ma znikomy wpływ na koszt energii produkowanej w EJ, a biorąc pod uwagę, że wzrost cen surowca uranowego powoduje zmiany klasyfikacji złóż w kierunku złóż przemysłowych, to wraz ze wzrostem cen uranu udostępniane są nowe złoża, dotychczas uważane za pozabilansowe.

Wszystkie konwencjonalne zasoby uranu przy wykorzystaniu reaktorów II i III generacji i otwartym cyklu paliwowym powinny wystarczyć na 300 lat. Zasoby paliw rozszczepialnych są jednak jeszcze większe jeśli weźmie się pod uwagę przerób wypalonego paliwa (wypalone paliwo jądrowe jest surowcem wtórnym podobnie jak szkło, metale, papier), wykorzystanie plutonu (w tym plutonu pochodzącego z rozmontowywanych głowic bojowych arsenałów rosyjskich i amerykańskich), wykorzystanie na większą skalę reaktorów powielających (FBR) oraz reaktorów IV generacji o zamkniętym cyklu paliwowym, niekonwencjonalnych zasobów uranu (np. z wody morskiej), a także toru jako materiału paliworodnego.



Elektrownie jądrowe ratują Ukrainę przed blackoutu

Obecna sytuacja na Ukrainie jest dobrym przykładem na to, jak wielkie znaczenie mają EJ dla zapewnienia ciągłości dostaw energii dla gospodarki. Gdy w połowie 2014 r. tzw. prorosyjscy separatyści zajęli kopalnie węgla w Zagłębiu Donieckim, większość ukraińskich elektrowni węglowych przestała pracować z powodu przerwania dostaw paliwa. Całkowitemu blackoutu i katastrofie gospodarczej zapobiegły cztery EJ z 15 reaktorami jądrowymi, które do tej pory wytwarzały prawie połowę energii elektrycznej w tym kraju. Elektrownie jądrowe miały zgromadzone zapasy paliwa na co najmniej rok, a po przerwaniu dostaw węgla z Doniecka, rząd Ukrainy podpisał nową umowę z amerykańską firmą Westinghouse na dostawę paliwa do wszystkich reaktorów do 2020 roku. Transport paliwa odbywa się kolejną przez tereny znajdujące się pod kontrolą rządu w Kijowie. Rząd planuje zbudowanie przy współpracy z firmami amerykańskimi dwóch kolejnych jądrowych bloków energetycznych, które zastąpią niepracujące elektrownie węglowe i zwiększą bezpieczeństwo energetyczne kraju.

3. Metodękę zaczerpnięto z publikacji prof. Józefa Paski z Politechniki Warszawskiej (Ekonomiczny wymiar bezpieczeństwa elektroenergetycznego i niezawodności zasilania, Paska J., „Rynek Energii” – nr 2/2013).

4. Szacunek wstępny GUS (<http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rachunki-narodowe/roczne-rachunki-narodowe/produkt-krajowy-brutto-w-2015-r-szacunek-wstepny,2,5.html>)

5. Profil zużycia energii w ciągu roku jest zmienny, dlatego uśredniono wartości i przyjęto jednakowe zużycie dla każdego okresu 30-dniowego.

6. www.wnp.pl/artykuly/nowe-moce-nowe-prady,262028_0_0_1_0.html

7. [http://budownictwo.wnp.pl/bez-trudnych-i-kosztownych-inwestycji-moze-do-blackoutu,273919_1_0_0.html](http://budownictwo.wnp.pl/bez-trudnych-i-kosztownych-inwestycji-moze-dojsc-do-blackoutu,273919_1_0_0.html)

Tabela 1.

Okres na jaki wystarczy uranu przy obecnej mocy elektrowni jądrowych z uwzględnieniem różnych kategorii zasobów i technologii (w latach)

Kategoria zasobów	Zidentyfikowane	Wszystkie konwencjonalne	Konwencjonalne i niekonwencjonalne, w tym fosforyty
Reaktory LWR /Obecny cykl otwarty	100	300	1 690
Prędkie reaktory powielające, recykling Pu	3 070	8 990	56 680
Prędkie reaktory powielające recykling uranu i aktynowców /cykl zamknięty	24 000	71 000	472 000

źródło: *Climate change and nuclear power. 2008 edition, International Atomic Energy Agency, Wiedeń 2009, s. 29.*

2.

Wpływ na emisje CO₂

Wymierną korzyścią z wprowadzenia energetyki jądrowej będzie zaoszczędzenie kosztów związanych z prawami do emisji CO₂. Dwie EJ o łącznej mocy ok. 6 GWe netto pozwolą uniknąć emisji 38-52 mln t CO₂ rocznie (zob. **Tabela 4.**)

Z analizy agencji McKinsey wykonanej dla Ministerstwa Gospodarki na potrzeby *Programu polskiej energetyki jądrowej* wynika, że elektrownie jądrowe są najbardziej efektywnym i najtańszym narzędziem redukcji emisji gazów cieplarnianych. Obrazuje to **Wykres 1.**

Drugim dokumentem wartym przywołania jest najnowszy raport IPCC (Międzypaństwowy Zespół do spraw Zmian Klimatu) pt. *Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change*. W rozdziale 7. *Energy Systems* autorzy porównują emisje gazów cieplarnianych z różnych źródeł energii w całym cyklu życia.

Z porównania tego wyniku jednoznacznie, że energetyka jądrowa charakteryzuje się bardzo niskimi emisjami i są to niemal wyłącznie emisje pośrednie, związane głównie z wydobyciem rudy uranu.

Energetyka jądrowa jest de facto jedynym źródłem energii, które w ogólnym bilansie przyczynia się do znaczącej redukcji emisji CO₂. Roli tej nie spełniają farmy wiatrowe i instalacje fotowoltaiczne, które rezerwowane są w większości państw źródłami emisyjnymi (elektrownie gazowe), a jedynie

w Szwecji i Szwajcarii źródłami bezemisyjnymi (elektrownie wodne przepływowe oraz szczytowo-pompowe). W Polsce rezerwowanie farm wiatrowych odbywa się głównie przy pomocy starych elektrowni węglowych o dużej emisji CO₂.

Z kolei nowoczesne wysokosprawne bloki węglowe charakteryzują się wskaźnikami emisji niewiele niższymi niż większość starych bloków, co obrazuje **Tabela 2.**

Najbardziej efektywne bloki (Jaworzno III 910 MW i Bełchatów-14) charakteryzują się emisją CO₂ niższą w stosunku do średniej (odpowiedniej dla ich paliwa) z roku bazowego 2005 o ok. 13-14%, podczas gdy podpisany przez polski rząd tzw. Drugi Pakiet Klimatyczny nakłada obowiązek redukcji o 43% (w sektorach ETS). Z kolei na wykresie nr 3 granatową i jasno niebieską linią zaznaczono wskaźniki emisyjności odpowiednio dla bloków na węgiel brunatny i na węgiel kamienny, które muszą być osiągnięte dla realizacji unijnego celu redukcji emisji CO₂ o 43% do 2030 roku. Poziomy te są, i do 2030 roku pozostaną, praktycznie nieosiągalne dla nowych bloków węglowych.

Z **wykresów nr 5 i 6** wynika, że uruchamianie nowych wysokosprawnych jednostek wytórczych (Pątnów II 474 MW, Łagisza-10 CFB 460 MW, Bełchatów-14 858 MW) nie miało zauważalnego wpływu na średnią emisyjność elektrowni

węglowych w Polsce, pomimo że jednostki te charakteryzują się niższymi wskaźnikami emisji CO₂ niż stare bloki z lat 60-tych i 70-tych.

Choć energetyka węglowa jest niezbędna dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego Polski, to jednak sama w sobie nie wystarczy do wypełnienia przez nasz kraj zobowiązań w zakresie ochrony klimatu i musi zostać wsparta przez energetykę jądrową.

Z drugiej strony, doświadczenia ostatnich 10-15 lat wskazują, że wdrażanie na coraz szerszą skalę Odnawialnych Źródeł Energii (głównie elektrowni wiatrowych i współspalania biomasy) przyniosło bardzo ograniczone efekty w zakresie redukcji emisyjności polskiego sektora elektroenergetycznego – w 2013 roku sektor ten wyemitował prawie tyle samo CO₂, co 11 lat wcześniej, a produkcja energii w kraju wzrosła w tym okresie niewiele.

Biorąc pod uwagę, że polska gospodarka będzie się nadal szybko rozwijać (wg prognoz Ministerstwa Finansów w średniorocznym tempie 1,5%) i zużywać coraz więcej energii, pomimo wdrażania programów efektywności energetycznej, zużycie energii również będzie coraz większe i pociągnie za sobą dalszy wzrost emisji gazów cieplarnianych. **Nie jest zatem możliwe osiągnięcie celów polityki klimatycznej UE bez budowy dużych mocy w elektrowniach jądrowych,** zwłaszcza że

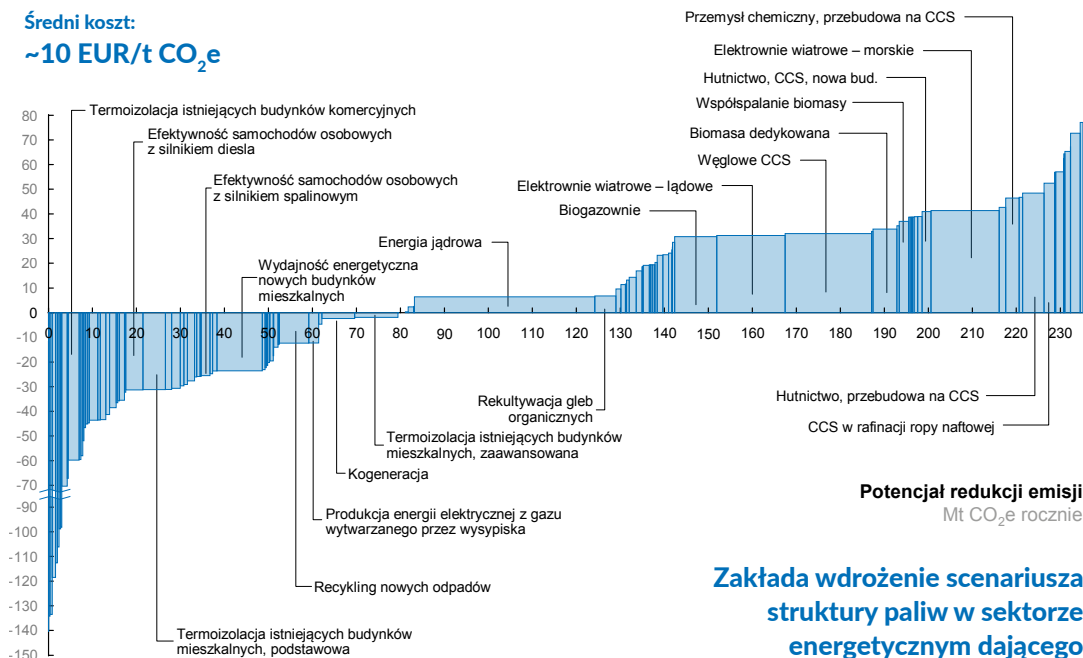
Wykres 1.

Krzywa kosztów redukcji emisji gazów cieplarnianych dla Polski w 2030 roku wg McKinsey&Company (wymieniono nazwy tylko metod redukcji emisji o największym potencjale)

Koszty redukcji emisji EUR/t CO₂e

Średni koszt:

~10 EUR/t CO₂e



Zakłada wdrożenie scenariusza struktury paliw w sektorze energetycznym dającego najwyższy potencjał

źródło: Ocena potencjału redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2030, McKinsey&Company, Warszawa 2010, s. 9

polityka Unii Europejskiej zmierza w kierunku wysokich celów redukcyjnych (do 95% w 2050 r.).

Elektrownie jądrowe jako źródło bezemisyjne przyczynią się znacząco do redukcji emisji CO₂ całego sektora i tym samym wypełnienia krajowych zobowiązań w zakresie polityki klimatycznej, niezależnie od wysokości celu redukcyjnego. W tabeli nr 4 obliczono ilość emisji CO₂ unikniętych dzięki eksploatacji dwóch EJ przewidzianych w *Pro-*

gramie polskiej energetyki jądrowej.

Obliczenia dokonano metodą alternatywnej produkcji tej samej ilości energii przez nowe bloki węglowe.

Z tabeli nr 4 wynika, że eksploatacja dwóch elektrowni jądrowych pozwoli uniknąć emisji 38 – 52 mln ton CO₂ rocznie w stosunku do alternatywnej budowy elektrowni węglowych. Oprócz tego, pozwoli także uniknąć emisji ok. 1500 ton metanu (CH₄) na rok.⁸ **Dzięki temu polski sektor energetyczny unik-**

nie kosztów na poziomie 4,946

– 6,823 mld PLN₂₀₁₅⁹ rocznie,

które ostatecznie obciążąby

całą gospodarkę. Oszczędności

na emisjach gazów cieplarnianych mogą być jeszcze większe, jeśli elektrownie jądrowe będą pracowały w trybie kogeneracyjnym lub trójgeneracyjnym i zastąpią część miejskich ciepłowni opalanych paliwami organicznymi.

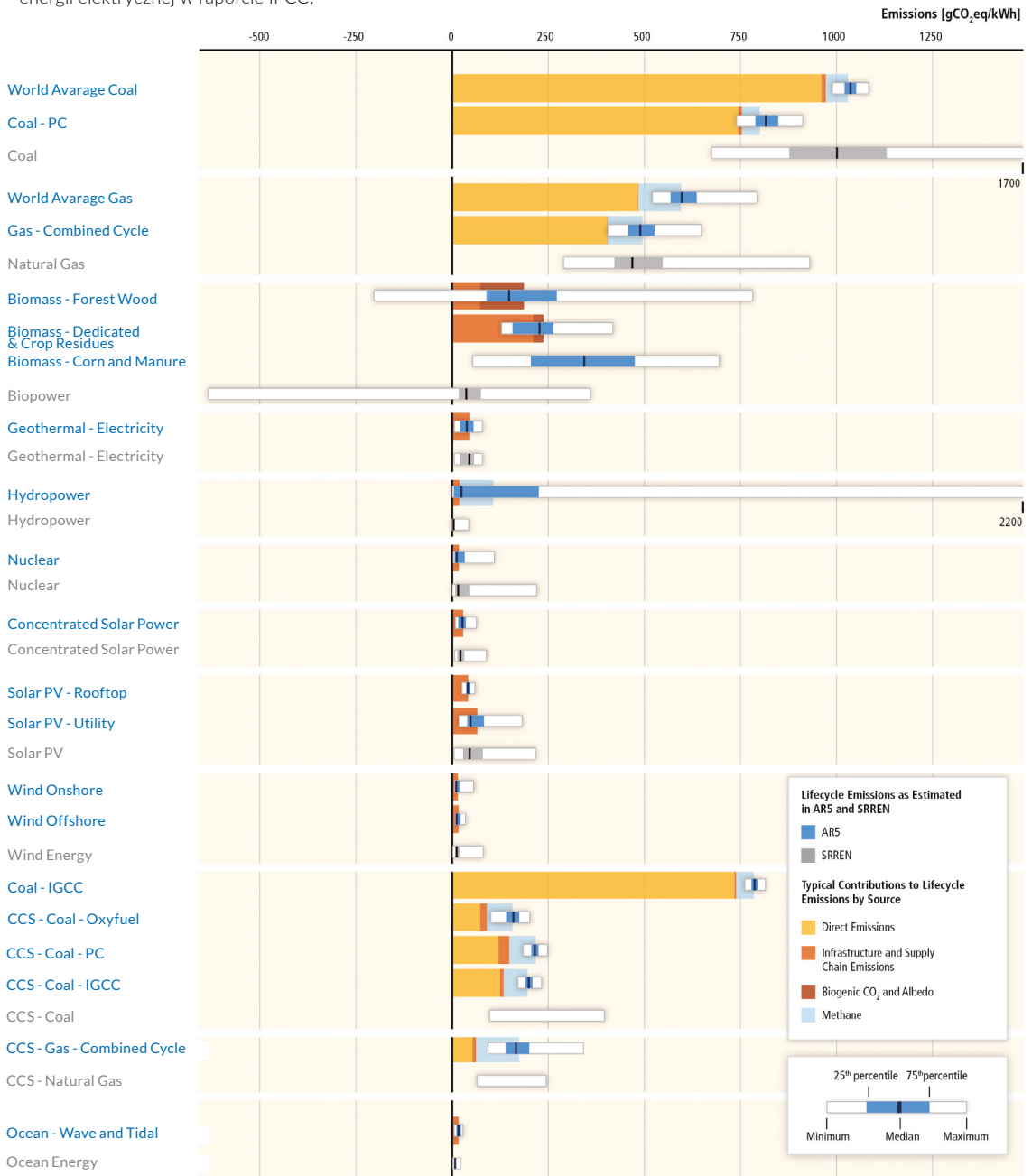
8. Przy założeniu wskaźnika średniej emisji w krajowej energetyce zawodowej na poziomie z 2014 r.

9. Założono cenę uprawnień do emisji na

poziomie 30 EUR/t (zgodnie z prognozą ARE S.A. dla Ministerstwa Gospodarki z kwietnia 2013 r.) oraz kurs EUR na poziomie 4,30 PLN.

Wykres 2.

Porównanie emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia dla różnych źródeł energii elektrycznej w raporcie IPCC.



ŹRÓDŁA: Bruckner T., I.A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Fungtamasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H.B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wiser, and X.

Zhang, 2014: Energy Systems. [w:] Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E.

Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Tabela 2.

Wskaźniki emisji CO₂ wybranych polskich elektrowni węglowych oraz pierwszych polskich EJ.

Elektrownia	Blok(i)	Moc zainstalowana lub osiągalna	Typ (paliwo)	Rok uruchomienia	CO ₂ (kg/MWh)
Turów	1 - 6	1499 MW	WB	1962-65	1075,00 ^A
Siersza	1 - 6	666 MW	WK	1962-70	876,36
Łągisza	5 - 7, 10	820 MW ^C	WK	1963-70	876,00
Łaziska	1 - 6	1155 MW	WK	1963-72	929,00
Ostrołęka B	1 - 3	647 MW	WK	1968-72	956,86 ^B
Kozienice	1 - 10	2919 MW ^C	WK	1972-79	839,00
Dolna Odra	1 - 8	1567 MW	WK	1974-77	846,59
Jaworzno III	1 - 6	1345 MW ^C	WK	1977-78	930,05
Połaniec	1 - 7	1606 MW	WK	1979-83	851,56
Bełchatów	1 - 12	4440 MW	WB	1981-88	1084,00
Opole	1 - 4	1492 MW	WK	1993-97	876,48
Pątnów II	9	474 MW	WB	2008	982,67
Łągisza CFB	10	460 MW	WK	2009	750,00
Bełchatów	14	858 MW	WB	2011	903,23
Kozienice	11	1075 MW	WK	(2017)	730,00
Opole	5 - 6	1800 MW	WK	(2018-19)	759,00
Jaworzno III	b.d.	910 MW	WK	(2018)	686,65
EWb średnio			WB	2014	1064,90
EWk średnio			WK	2014	789,90
Elektrownia jądrowa 1	1-2 lub 1-3	3400-3600 MW	EJ	-	000,00
Elektrownia jądrowa 2	1-2 lub 1-3	3400-3600 MW	EJ	-	000,00

A. wskaźnik szacunkowy, obliczony na podstawie informacji ze strony internetowej elektrowni (<http://www.elturow.pgegiek.pl/index.php/ochrona-srodowiska/ochrona-powietrza-atmosferycznego/>, dostęp: 2014-10-05) oraz prezentacji Gospodarka ubocznymi produktami spalania w PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., Szulc W., PGE GIEK S.A. 2013;

B. wskaźnik dla całego Zespołu Elektrowni Ostrołęka;
C. moc osiągalna; WK – węgiel kamienny; WB – węgiel brunatny; CFB – kocioł fluidalny cyrkulacyjny; EWb – elektrownie na węgiel brunatny; EWk – elektrownie i elektrociepłownie na węgiel kamienny

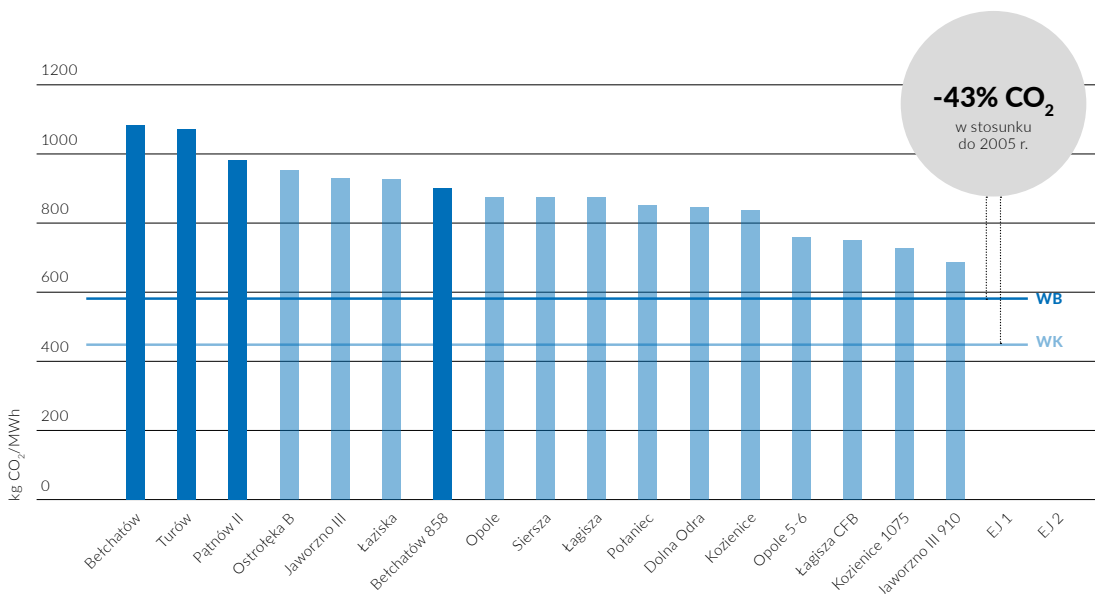
ŹRÓDŁA: TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Siersza w Trzebinii, Deklaracja środowiskowa za rok 2014, Kwiatkowski M., Dudzicz K., maj 2014, s. 8; PGE GIEK S.A., Deklaracja środowiskowa EMAS, Oddział Elektrownia Opole, wydanie VIII, 2015, s. 36; PGE GIEK S.A., Oddział Zespół Elektrowni Dolna Odra, Deklaracja środowiskowa EMAS, wydanie VIII, 2015, s. 34; Budowa bloków nr 5 i 6 w PGE Elektrowni Opole – Raport o oddziaływaniu

na środowisko – Aneks nr 2. Opis techniczny, Energoprojekt-Warszawa S.A., s. 91; Doświadczenia po trzech latach eksploatacji bloku 460 MW w Elektrowni Łągisza, [w:] „Energetyka”, nr 1/2013, wyd. SEP, s. 40; Raport o oddziaływaniu nowego bloku energetycznego w PKE S.A. Elektrownia Jaworzno III na środowisko, Wesołowski M., Szubert E., Steuer E., Drzozga K., Piłsz P., Katowice, czerwiec 2010, s. 54, 80; EMITOR 2014. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2015, s. 23; Projekt budowlany budowy bloku energetycznego 833 MW w BOT Elektrownia Bełchatów S.A. Z-398 Tom 3 – Raport o oddziaływaniu na środowisko, Zeszyt 01 – Opis techniczny, Energoprojekt-Katowice S.A., Katowice 2004, s. 25, 41-42; TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Jaworzno III w Jaworznie, Deklaracja środowiskowa za rok 2013, Błaszczak E., Wójcik J., Jaworzno, maj 2014, s. 17; TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Łaziska w Łaziskach Górnych, Deklaracja

środowiskowa za rok 2014, Łaziska Górne, maj 2015, s. 18; TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Łągisza w Będzinie, Deklaracja środowiskowa za rok 2014, Wajdat A., Będzin, maj 2015, s. 18; <https://elbelchatow.pgegiek.pl/index.php/technologie/wielkosci-emisji-zanieczyszczen/> (dostęp: 2016-05-29); <http://www.elturow.pgegiek.pl/index.php/ochrona-srodowiska/ochrona-powietrza-atmosferycznego/> (dostęp: 2016-05-29); <http://www.energoastroleka.pl/1546.xml> (dostęp: 2016-05-30); <http://www.gdfsuez-energia.pl/arttykul/738914/O-NAS/Ochrona-%C5%9Brodowiska/> (dostęp: 2016-05-30); <http://www.elturow.pgegiek.pl/index.php/ochrona-srodowiska/ochrona-powietrza-atmosferycznego/>; <http://zepak.com.pl/pl/o-firmie/struktura-paliv/elektrownia-patnow-ii.html> (dostęp: 2016-05-30); http://energetyka.wnp.pl/nowe-technologie-energetyczne-to-nie-science-fiction,223210_1_0_0.html (dostęp: 2016-05-30); <http://raportcsr.enea.pl/2014/pl/srodowisko/emisje> (dostęp: 2016-05-29)

Wykres 3.

Wskaźniki emisji CO₂ wybranych polskich elektrowni węglowych oraz planowanych elektrowni jądrowych na tle poziomów emisji (osobno dla węgla brunatnego i węgla kamiennego) wymaganych dla osiągnięcia celu redukcji o 43% (tzw. Drugi Pakiet Klimatyczny).



źródło: opracowanie własne na podstawie danych z tabeli nr 2.

Objaśnienia skrótów: WB – węgiel brunatny; WK – węgiel kamienny.

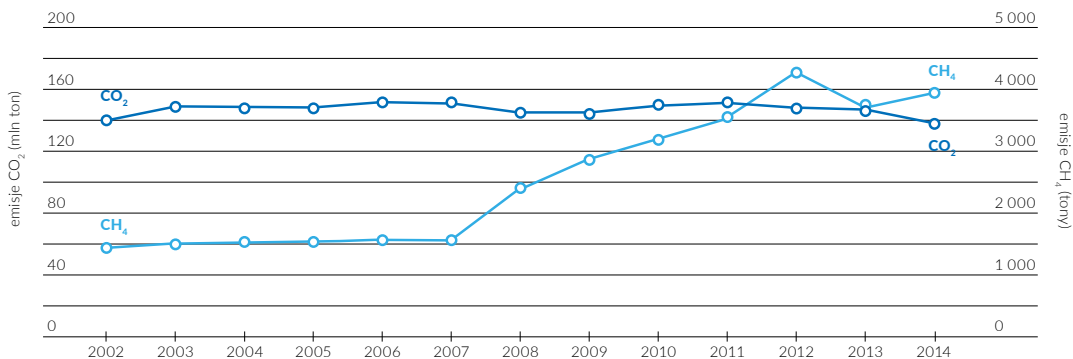
Tabela 3.

Wielkość redukcji emisji CO₂ nowych wysokosprawnych bloków na węgiel kamienny i brunatny w stosunku do starych bloków z lat 60-tych i 70-tych o najniższych emisjach (odpowiednio wg paliw Elektrownia Kozienice, Elektrownia Turów) i najwyższych emisjach (odpowiednio wg paliw Elektrownia Ostrołęka B, Elektrownia Bełchatów bloki 1-12) oraz w stosunku do krajowej średniej emisyjności elektrowni opalanych tym samym paliwem.

	Minimum	Maksimum	W stosunku do średniej obecnie (2014)	W stosunku do średniej roku bazowego (2005)
Opole-5 i -6	-9,5%	-20,7%	-3,9%	-5,2%
Kozienice-11	-13,0%	-23,7%	-7,6%	-8,8%
Jaworzno III 910 MW	-18,2%	-28,2%	-13,1%	-14,3%
Łągisza-10 CFB	-10,6%	-21,6%	-5,1%	-6,3%
Pątnów II	-8,6%	-9,3%	-7,7%	-5,5%
Bełchatów-14	-16,0%	-16,7%	-15,2%	-13,1%

Wykres 4.

Emisje gazów cieplarnianych w polskiej energetyce zawodowej w latach 2004-2014.



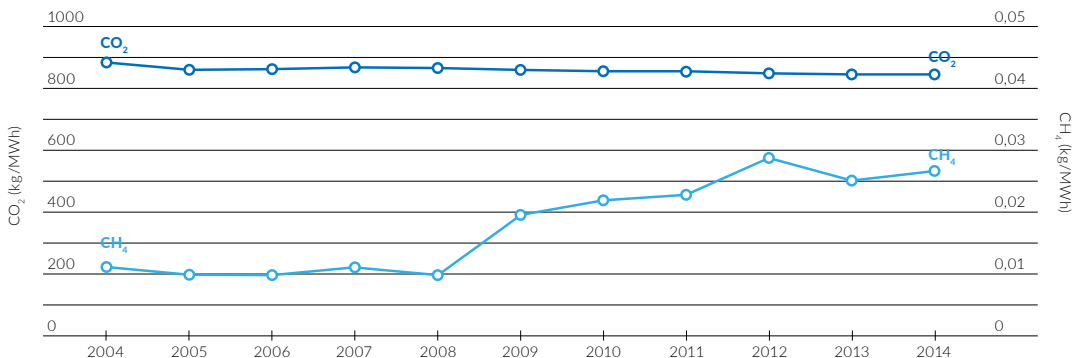
źródło: EMITOR 2014. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2015, s. 13; EMITOR 2013. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2014, s. 10; EMITOR 2012. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2006, s. 8, 11.

i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2013, s. 8; EMITOR 2011. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2012, s. 10; EMITOR 2007. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień

2008, s. 6; EMITOR 2006. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2007, s. 7, 10; EMITOR 2005. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2006, s. 8, 11.

Wykres 5.

Emisje jednostkowe gazów cieplarnianych w polskiej energetyce zawodowej (elektrownie i elektrociepłownie opalane węglem kamiennym, węglem brunatnym, gazem ziemnym i biomasą) w latach 2004-2014.



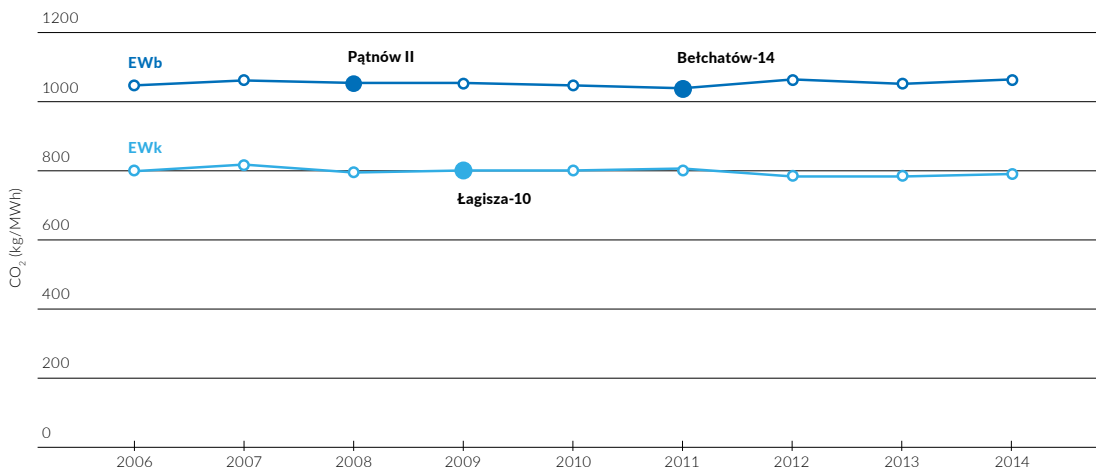
źródło: opracowanie własne na podstawie: EMITOR 2014. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2015, s. 21, 23; EMITOR 2013. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2014, s. 15-16; EMITOR 2012. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2013, s. 13-14; EMITOR 2011. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska

w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2012, s. 15-16; EMITOR 2010. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2011, s. 16-18; EMITOR 2009. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2010, s. 16-18; EMITOR 2008. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień

2009, s. 14-16; EMITOR 2007. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2008, s. 13-14; EMITOR 2006. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2007, s. 10, 13, 15; EMITOR 2005. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2006, s. 11, 14, 16.

Wykres 6.

Wskaźniki emisji CO₂ na 1 MWh energii elektrycznej w elektrowniach na węgiel brunatny (EWb) oraz elektrowniach i elektrociepłowniach na węgiel kamienny (EWk). Na wykresie zaznaczono momenty uruchomienia nowych wysoko-sprawnych jednostek wytwórczych na parametry nadkrytyczne.



źródło: opracowanie własne na podstawie: EMITOR 2014. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2014, s. 23; EMITOR 2013. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2013, s. 16; EMITOR 2012. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2012, s. 16; EMITOR 2010. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2010, s. 18; EMITOR 2009. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2009, s. 14.

niach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2013, s. 14; EMITOR 2011. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2012, s. 16; EMITOR 2010. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2011, s. 18; EMITOR 2009. Emisja Zanieczyszczeń

Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2010, s. 18; EMITOR 2008. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2009, s. 16; EMITOR 2007. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2008, s. 14.

Tabela 4.

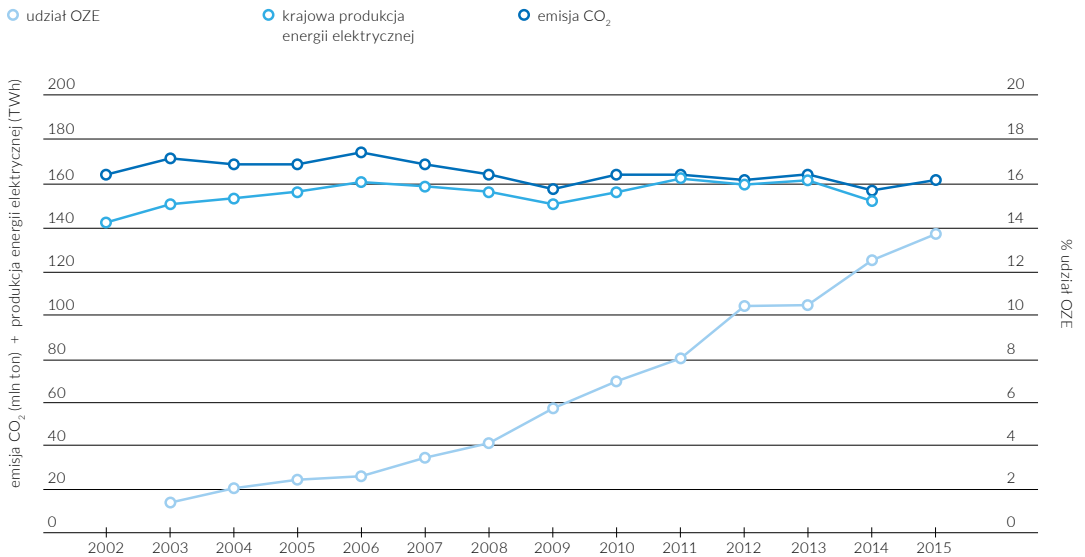
Wielkość emisji CO₂ unikniętych dzięki eksploatacji dwóch elektrowni jądrowych w odniesieniu do różnych wariantów technologicznych alternatywnej eksploatacji elektrowni węglowych. Do porównań wybrano węglowe bloki energetyczne o najniższych wskaźnikach emisji CO₂.

Wariant technologiczny elektrowni jądrowych		
Wariant technologiczny elektrowni węglowych	4 x 1700 MW (brutto) 54 802 560 MWh/rok	6 x 1200 MW (brutto) 58 026 240 MWh/rok
WK kociot pyłowy na parametry nadkrytyczne (Jaworzno III 910 MW)	37,630 mln ton/rok	39,844 mln ton/rok
WK kociot fluidalny cyrkulacyjny CFB (Łagisza-10)	41,102 mln ton/rok	43,520 mln ton/rok

źródło: obliczenia własne w oparciu o wskaźniki z tabeli nr 2.

Wykres 7.

Wykres 7. Udział OZE w strukturze produkcji energii elektrycznej w Polsce na tle emisji CO₂ przez sektor elektroenergetyczny w latach 2002-2015.



źródło: opracowanie własne na podstawie: „Sytuacja Techniczno-Ekonomiczna Sektora Elektroenergetycznego. IV kwartały 2015”, Biuletyn Kwartalny, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, marzec 2016, s. 8; „Sytuacja Techniczno-Ekonomiczna Sektora Elektroenergetycznego. IV kwartały 2014”, Biuletyn Kwartalny, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, marzec 2015, s. 6; „Sytuacja Techniczno-Ekono-

miczna Sektora Elektroenergetycznego. IV kwartały 2012”, Biuletyn Kwartalny, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, marzec 2013, s. 5; Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2016, tabele 1.A(a)s1 (załącznik w formacie .xls), KOBIZE, Warszawa, październik 2015 (<http://www.kobize.pl/pl/article/krajowa-inwentaryzacja-emisji/id/384/gazy-cieplarniane>); http://www.pse.pl/index.php?did=2870#t6_2.

Fot. 1.

PGE Elektrownia Bełchatów opalana węglem brunatnym, jeden z największych emitentów CO₂ w Europie (fot. Kamil Porembiński, CC BY-SA 2.0)



3.

Wpływ na poszczególne działy gospodarki na przykładzie Korei Południowej

3.1 Gospodarka Korei i sektor energetyczny

Korea Południowa jest przykładem silnej i innowacyjnej gospodarki opartej na wiedzy, za której wzrost odpowiada głównie przemysł ciężki, w tym przemysł jądrowy. Państwo, zamieszkałe przez 48 mln obywateli, znajduje się w pierwszej 15-tce światowych potęg gospodarczych (pod względem PKB).

Kraj posiada silnie rozwinięty sektor przemysłowy, który ma ponad 38% udziału w tworzeniu PKB (dla porównania w Polsce wynosi on 23%). Do wiodących gałęzi przemysłu należą: przemysł elektroniczny, petrochemiczny, motoryzacyjny, hutniczy, stoczniowy, maszynowy i budownictwo. Korea jest światowym liderem w produkcji półprzewodników, ekranów LED, LCD i plazmowych, elektroniki użytkowej takiej jak telewizory oraz telefony komórkowe. Sektor usług wytwarza 58,5% PKB.

Korea Południowa jest również jednym ze światowych liderów w energetyce jądrowej. Eksploatuje 25 reaktorów energetycznych o łącznej mocy zainstalowanej 25 GWe brutto (dla porównania: całkowita moc zainstalowana w polskich elektrowniach wynosi 37 GWe brutto), buduje 3 kolejne i planuje uruchomienie dalszych 6 w perspektywie 2027 roku (**Tabela 6**).

Struktura paliw stosowanych w energetyce jest zróżnicowana, podczas gdy w Polsce 84% energii elektrycznej pochodzi ze spalania węgla (kamiennego i brunatnego), w Korei udział tego paliwa wynosi 41%, a ponad 1/4 pochodzi z elektrowni jądrowych (ok. 140 TWh rocznie, prawie tyle samo, co cała produkcja energii elektrycznej w Polsce, czyli 160 TWh).

Państwo posiada własne zakłady produkcji zestawów paliwowych. Od podstaw stworzono biura konstrukcyjno-inżynierskie, które zaadaptowały zachodnie projekty reaktorów do koreańskich warunków, a następnie na ich podstawie opracowały własne projekty. Kraj stał się samowystarczalny technologicznie po 20 latach od uruchomienia pierwszej elektrowni jądrowej, a po kolejnych 10 latach zajął miejsce w wąskim gronie eksporterów reaktorów (szerzej o transferze technologii w podrozdziale 3.5.). Na potrzeby energetyki jądrowej rozbudowano przemysł ciężki, stoczniowy, elektromaszynowy i elektroniczny. Skorzystały również banki i firmy ubezpieczeniowe.

W latach 2005-2009 przeprowadzono bardzo rozległe i wnikliwe studium ekonomiczne nad wpływem szeroko pojętego przemysłu jądrowego na gospodarkę kraju. Wyniki opublikowała Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej w raporcie pt. *Nuclear Technology*

and Economic Development in the Republic of Korea (Wieder 2010). Autorzy opracowania podzielili gospodarkę na 35 działów. Po przeanalizowaniu wzajemnych powiązań między nimi (tzw. przepływy międzygałęziowe) stwierdzili, że budowa i eksploatacja elektrowni jądrowych oraz innych obiektów przemysłu jądrowego ma pozytywny wpływ na 30 z nich. Zestawienie tych działań zawiera **tabela nr 7**.

Obliczono, że wkład przemysłu jądrowego w PKB Korei w 2005 roku wyniósł 1,3%, przy czym największą wartość generuje eksploatacja elektrowni jądrowych.

3.2 Faza budowy

Budowa obiektów jądrowych w Korei (faza prac budowlano-montażowych wraz z przygotowaniem budowy i rozruchem obiektów) ma największy wpływ na sektor budowlany, elektromaszynowy, chemiczny oraz sektor usług finansowych i ubezpieczeń.

Największą wartość towarów i usług wytworzonych na potrzeby budowy obiektów jądrowych mają takie działy gospodarki jak:

- Produkcja maszyn i urządzeń (General machinery and equipment)
- Usługi finansowe i ubezpieczenia (Finance and insurance)
- Budownictwo energetyczne (Electric power plant construction)
- Obsługa działalności gospodar-

Tabela 5.

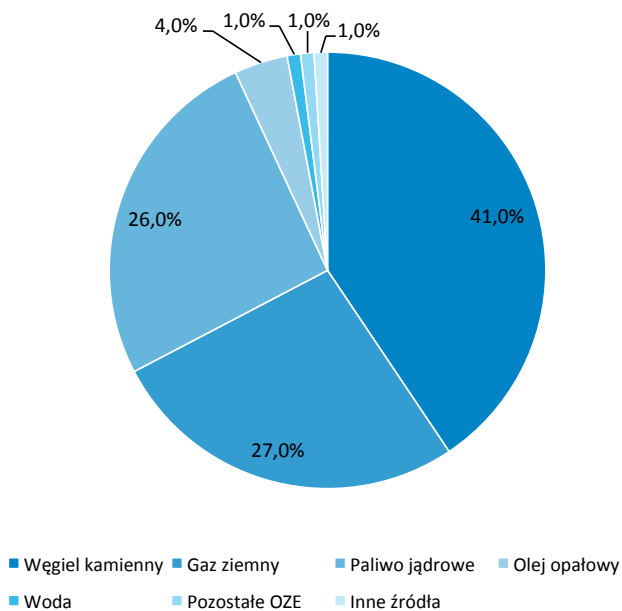
Porównanie PKB (w cenach bieżących, USD), PKB na mieszkańca i rocznego przyrostu PKB w Korei Południowej i w Polsce na przestrzeni lat 1980-2014.

Rok	Korea Południowa			Polska		
	PKB (mld USD)	PKB na mieszkańca (USD)	Roczny przyrost PKB (%)	PKB (mld USD)	PKB na mieszkańca (USD)	Roczny przyrost PKB (%)
1980	63,834	1 674	-1,5	-	-	-
1985	96,620	2 368	6,8	71,005	1 909	-
1990	263,777	6 153	9,2	64,550	1 694	-
1995	517,118	11 467	9,2	139,062	3 603	7,0
2000	533,384	11 347	8,5	171,276	4 454	4,3
2005	844,863	17 551	4,0	303,912	7 963	3,6
2010	1 014,890	20 540	6,3	469,782	12 303	3,9
2014	1 410,383	27 971	3,3	544,967	14 337	3,3

źródło: Bank Światowy (databank.worldbank.org) (dostęp: 2016-06-08)

Wykres 8.

Udział poszczególnych paliw w produkcji energii elektrycznej w Korei Południowej w 2013 r.



źródło: IEA Energy Statistics (<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?year=2013&country=KOREA&product=ElectricityandHeat>) (dostęp: 2016-06-09)

Tabela 6.

Jądrowe bloki energetyczne w Korei Południowej.

Nazwa bloku	Typ reaktora	Moc netto (MW)	Data uruchomienia
Kori-1	PWR (Westinghouse)	576	IV 1978
Wolsong-1	PHWR (Candu)	666	IV 1983
Kori-2	PWR (Westinghouse)	637	VII 1983
Kori-3	PWR (Westinghouse)	1007	IX 1985
Kori-4	PWR (Westinghouse)	1007	IV 1986
Yonggwang-1	PWR (Westinghouse)	953	VIII 1986
Yonggwang-2	PWR (Westinghouse)	947	VI 1987
Ulchin 1	PWR (Framatome)	945	IX 1988
Ulchin 2	PWR (Framatome)	942	IX 1989
Yonggwang 3	PWR (CE System 80)	997	XII 1995
Yonggwang 4	PWR (CE System 80)	994	III 1996
Wolsong 2	PHWR (Candu)	710	VII 1997
Wolsong 3	PHWR (Candu)	707	VII 1998
Ulchin 3	OPR-1000	994	VIII 1998
Wolsong 4	PHWR (Candu)	708	X 1999
Ulchin 4	OPR-1000	998	XII 1999
Yonggwang 5	OPR-1000	988	V 2002
Yonggwang 6	OPR-1000	996	XII 2002
Ulchin 5	OPR-1000	998	VII 2004
Ulchin 6	OPR-1000	997	IV 2005
Shin Kori 1	OPR-1000	999	II 2011
Shin Kori 2	OPR-1000	998	VII 2012
Shin Wolsong 1	OPR-1000	1000	VII 2012
Shin Wolsong 2	OPR-1000	1000	VII 2015
Shin Kori 3	APR-1400	1340	V 2016
Bloki w budowie			
Shin Kori 4	APR-1400	1340	II 2017
Shin Ulchin 1	APR-1400	1340	IV 2017
Shin Ulchin 2	APR-1400	1340	II 2018
Bloki planowane			
Shin Kori 5	APR-1400	1340	III 2021
Shin Kori 6	APR-1400	1340	III 2022
Shin Ulchin 3	APR-1400	1340	XII 2022
Shin Ulchin 4	APR-1400	1340	XII 2023
Cheonji 1	APR+	1440	XII 2026
Cheonji 2	APR+	1440	XII 2027
Shin Kori 7	APR+	1440	b.d.
Shin Kori 8	APR+	1440	b.d.

źródło: World Nuclear Association (<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/South-Korea/>) (dostęp: 2016-06-09)

Tabela 7.

Działy gospodarki, na które bezpośrednio wpływa sektor jądrowy na etapach budowy i eksploatacji EJ.

Kolorem czarnym zaznaczono działy, na które wpływa przemysł EJ, a niebieskim pozostałe.

Uwaga: tłumaczenie nazw oparte m.in. na PKD 2007. (klasyfikacja, zgodnie z normami ISIC, niektóre działy autorzy opracowania koreańskiego pogrupowali na potrzeby analizy, polskie nazewnictwo oparte w maksymalnym stopniu na PKD 2007).

Nr	Dział gospodarki
1	Rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo (Agriculture, forestry, and fisheries)
2	Górnictwo i wydobywanie (Mining and quarrying)
3	Produkcja artykułów spożywczych, napojów i wyrobów tytoniowych (Food, beverage and tobacco)
4	Produkcja wyrobów tekstylnych i skórzaných (Textile products & leather products)
5	Produkcja wyrobów z drewna i papieru (Wood and paper products)
6	Poligrafia i reprodukcja zapisanych nośników informacji (Printing, publishing and reproduction of recorded media)
7	Wytwarzanie i przetwarzanie koksu i produktów rafinacji ropy naftowej (Petroleum and coal products)
8	Produkcja chemikaliów i wyrobów chemicznych (Chemicals and allied products)
9	Produkcja chemikaliów pochodzenia nieorganicznego (Inorganic basic chemical products)
10	Produkcja wyrobów z mineralnych surowców niemetalicznych (Non-metallic mineral products)
11	Produkcja metali (Primary metal products)
12	Produkcja metalowych wyrobów gotowych (Fabricated metal products)
13	Produkcja maszyn i urządzeń (General machinery and equipment)
14	Produkcja urządzeń elektrycznych i elektronicznych (Electronic and other electric equipment)
15	Produkcja urządzeń precyzyjnych i pomiarowych (Precision instruments)
16	Produkcja pojazdów i sprzętu transportowego (Transportation equipment)
17	Produkcja mebli i wyrobów meblarskich (Furniture and other manufacturing products)
18	Hydroenergetyka (Water power generation)
19	Elektrownie kondensacyjne (Thermal power generation)
20	Energetyka jądrowa (Atomic power generation)
21	Wytwarzanie energii elektrycznej na potrzeby własne (Self-power generation)
22	Wytwarzanie/wydobywanie i zaopatrywanie w gaz i wodę (Gas and water supply)
23	Roboty budowlane, naprawy i konserwacja, z wyłączeniem poz. 24 (Repair construction)
24	Budownictwo energetyczne (Electric power plant construction)

25	Handel hurtowy i detaliczny, z wyłączeniem handlu pojazdami (Wholesale and retail trade)
26	Gastronomia i zakwaterowanie (Eating and drinking places, and hotels and other lodging places)
27	Transport i gospodarka magazynowa (Transportation and warehousing)
28	Telekomunikacja i nadawanie programów (Communications and broadcasting)
29	Usługi finansowe i ubezpieczenia (Finance and insurance)
30	Obsługa rynku nieruchomości (Real estate agencies and rental)
31	Obsługa działalności gospodarczej (Business service)
32	Administracja publiczna i obrona narodowa (Public administration and defence)
33	Edukacja i nauka (Educational and research services)
34	Opieka zdrowotna i pomoc społeczna (Medical and health services, and social welfare)
35	Zabezpieczenia społeczne (Social and other services)

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedź 2009, s. 35-36; Polska Klasyfikacja Działalności Gospodarczej 2007 (PKD 2007)

Tabela 8.

Sumaryczny wkład energetyki jądrowej w PKB Korei Południowej w 2005 roku.

Wskaźnik		mld EUR ₂₀₁₅
Wartość produkcji	Budowa	3,15
	Eksploracja	12,18
Wartość dodana	Budowa	1,31
	Eksploracja	8,05
PKB Korei Płd.		712,08
Wkład energetyki jądrowej w PKB		1,3%

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of

Korea, IAEA, Wiedź 2009, s. 43; [http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-](http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-south-korea.aspx)

[south-korea.aspx ; https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-krw.en.html](https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-krw.en.html)

Tabela 9.

Wpływ budowy EJ na poszczególne działy gospodarki.

Obszar inwestycji	Dział gospodarki
Pierwszy wsad paliwa jądrowego (<i>Initial fuel</i>)	Produkcja chemikaliów pochodzenia nieorganicznego
Inżynieria lądowa (budynki, obiekty infrastruktury) (<i>Building, structures</i>)	Budownictwo energetyczne
Maszyny, urządzenia i wyposażenie (<i>Machinery equipment</i>)	Produkcja maszyn i urządzeń, Produkcja urządzeń elektrycznych i elektronicznych
Projekt techniczny (<i>Architect/Engineering</i>)	Obsługa działalności gospodarczej
Obsługa kredytu (<i>Interest during construction</i>)	Usługi finansowe i ubezpieczenia
Koszty własne inwestora (<i>Owner's cost</i>)	Obsługa działalności gospodarczej, Produkcja mebli i wyrobów meblarskich, Usługi finansowe i ubezpieczenia

źródło: *Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea*, IAEA, Wiedeń 2009, s. 36

Fot. 2.

EJ Wolsong w Korei Południowej
(fot. Korea Wolsong NPP, CC BY-SA 2.0)



czej (Business service)

- Produkcja urządzeń elektrycznych i elektronicznych (Electronic and other electric equipment)

- Produkcja metali (Primary metal products)

Uruchomienie procesu inwestycyjnego dla elektrowni jądrowych stymuluje największy wzrost w sektorze przemysłu ciężkiego i sektorach powiązanych z finansami, bankowością i ubezpieczeniami.

Autorzy publikacji do analizy wybrali okres 1980-2005. Poniższe dane przedstawiają ostatni rok analizy, gdy w budowie był 1 blok energetyczny (a w zasadzie budowa była już ukończona, gdyż blok został podłączony do sieci 7 stycznia 2005 r.). Można więc ostrożnie założyć, że prezentowane liczby są niedoszacowane i w przypadku Polski efekty makroekonomiczne będą znacznie większe, zwłaszcza że budowa pierwszej polskiej EJ będzie z taktem oddawania kolejnego bloku równym 1-2 lata.

Z zaprezentowanych danych wynika, że największą wartość produkcji generuje dział „Produkcja maszyn i urządzeń” – 21%. Tuż po nim jest dział „Usługi finansowe i ubezpieczenia” (13%), co wynika m.in. z faktu, że inwestycje w duże obiekty energetyczne są bardzo kapitałochłonne, a w stosunku do elektrowni jądrowych istnieje również obowiązek wykupienia ubezpieczeń na duże kwoty. Na zamówieniach korzystają także branże związane z budownictwem (12%), produkcją elektroniki (11%) oraz działy klasyfikowane pod wspólną nazwą „Obsługa działalności gospodarczej” (12%).

W przypadku wartości dodanej wyraźnie dominuje sektor finansowo-ubezpieczeniowy, który wytwarza aż 23% wartości dodanej. Resztę stanowią głównie działy związane z przemysłem ciężkim, elektromaszynowym i budownictwem, a także branże znajdujące się w kategorii „Obsługa działalno-

ści gospodarczej”.

3.3 Faza eksploatacji

Eksploatacja obiektów energetyki jądrowej oddziałuje na gospodarkę co najmniej dwutorowo: poprzez utrzymywanie niskich średnich kosztów wytwarzania energii elektrycznej w krajowej energetyce oraz poprzez generowanie popytu na produkty i usługi innych działów produkcji przemysłowej.

3.3.1 Stabilizacja cen energii elektrycznej na rynku hurtowym

Elektrownie jądrowe w Korei, dzięki niskim jednostkowym kosztom wytwarzania energii elektrycznej, wpływają stabilizująco na ceny energii na rynku w długiej perspektywie. Są przeciwwagą dla drogich i niestabilnych źródeł odnawialnych (elektrownie wiatrowe i słoneczne) oraz importowanego gazu ziemnego.

W latach 1980-2005 cena energii na rynku koreańskim utrzymywała się na stałym poziomie, podczas gdy ceny towarów konsumpcyjnych wzrosły w tym okresie ponad 4-krotnie. Elektrownie jądrowe mające w ostatnich 15 latach udział w krajowej produkcji energii elektrycznej na poziomie 25-40%, i będąc jednocześnie najtańszymi jednostkami wytwórczymi, przyczyniły się do spowalniania wzrostu cen energii. Podczas gdy ceny towarów i usług konsumpcyjnych wzrosły w okresie 1981-2011 o 285%, ceny energii zaledwie o 27,8%.

3.3.2 Wpływ na rozwój poszczególnych działów gospodarki

Eksploatacja elektrowni jądrowych w Korei Południowej ma mniejszy lub większy wpływ na ponad 80% pozostałych działów gospodarki. Poniższe zestawienia odnoszą się do ostatniego roku analizy opublikowanej przez MAEA, czyli 2005.

W tym okresie w Korei eksploatowanych było 20 jądrowych bloków energetycznych.

3.4 Koszt zastąpienia energetyki jądrowej przez energetykę konwencjonalną

W cytowanej publikacji Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej oszacowano skutki dla gospodarki Korei w przypadku hipotetycznego zastąpienia elektrowni jądrowych elektrowniami konwencjonalnymi – węglowymi (na węgiel kamienny) lub gazowymi. Analizę przeprowadzono przy założeniu, że na miejscu wszystkich bloków jądrowych w poszczególnych latach byłyby budowane bloki węglowe i gazowe. Uwzględniono również krajowy sektor górnictwa węgla kamiennego.

Z przeprowadzonego porównania wynika, że budowa elektrowni jądrowych generuje o 33% większą wartość dodaną niż budowa elektrowni węglowej tej samej mocy, a w stosunku do elektrowni gazowej wskaźnik ten wynosi aż 285%.

Autorzy stwierdzają, że eksploatacja EJ generuje mniejszą produkcję w całej gospodarce niż eksploatacja elektrowni konwencjonalnych, co wynika z faktu, że elektrownie węglowe i gazowe zużywają bardzo duże ilości paliw, które również wymagają uruchomienia produkcji w innych sektorach. Jednak ze względu na import tych paliw brak jest tworzenia wartości dodanej i wkładu w PKB gospodarki Korei, dlatego eksploatacja elektrowni jądrowych, które mają bardzo niewielki udział importowanego paliwa w kosztach produkcji, daje większy wkład w PKB. Energetyka jądrowa jest technologią bardziej „wiedzołuchną”, wykorzystującą w większym stopniu zaawansowane technologie i know-how, podczas gdy energetyka węglowa i gazowa to technologie oparte na wykorzystaniu niskoprzetworzonych

Tabela 10.

Wartość produkcji oraz wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei, dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).

Dział gospodarki	Wartość produkcji (mld EUR2015)	Wartość dodana (mld EUR2015)
Produkcja metali	0,22	0,05
Produkcja metalowych wyrobów gotowych	0,09	0,03
Produkcja maszyn i urządzeń	0,66	0,20
Produkcja urządzeń elektrycznych i elektronicznych	0,34	0,10
Budownictwo energetyczne	0,37	0,13
Transport i gospodarka magazynowa	0,07	0,03
Usługi finansowe i ubezpieczenia	0,42	0,30
Obsługa rynku nieruchomości	0,06	0,04
Obsługa działalności gospodarczej	0,36	0,21

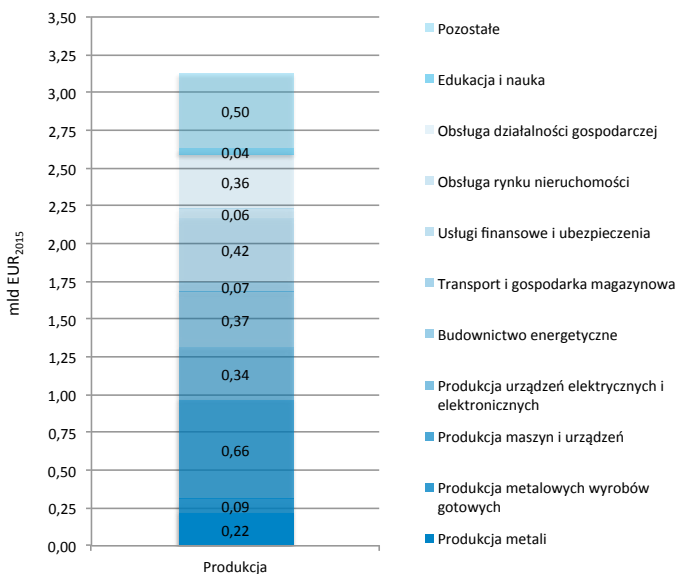
* wartość może być różna od sumy składników ze względu na zaokrąglenia

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the

Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009, s. 40; <http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/histor->

Wykres 9.

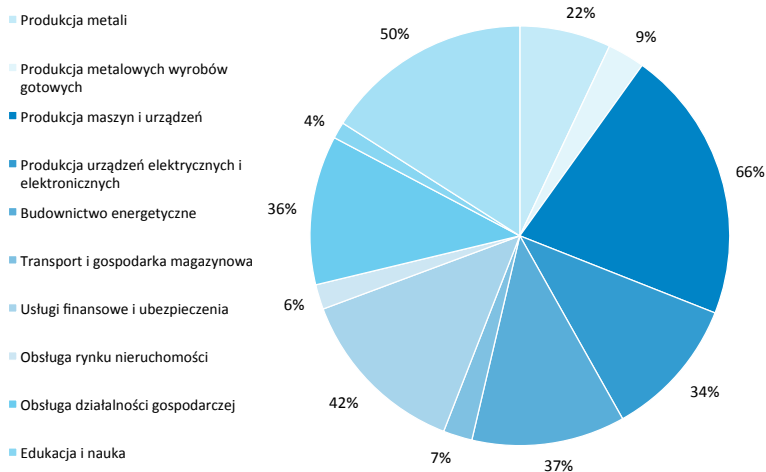
Wartość produkcji w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).



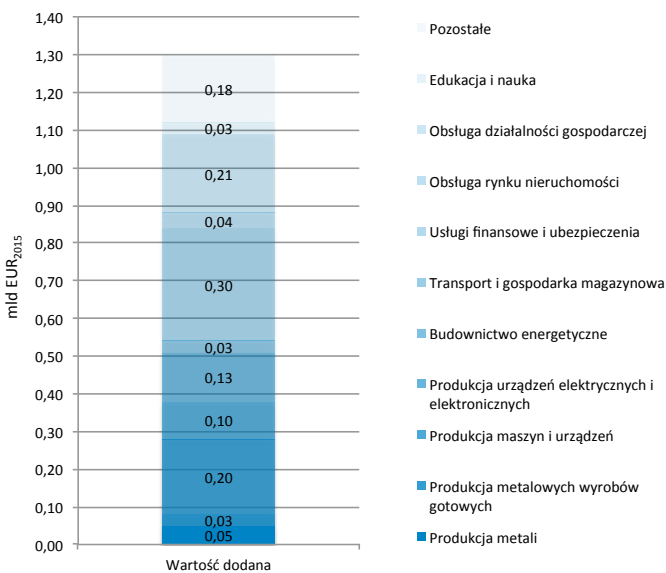
źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 10.

Wykres 10.

Udział produkcji w poszczególnych działach gospodarki Korei wytworzonej dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).



źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 10.



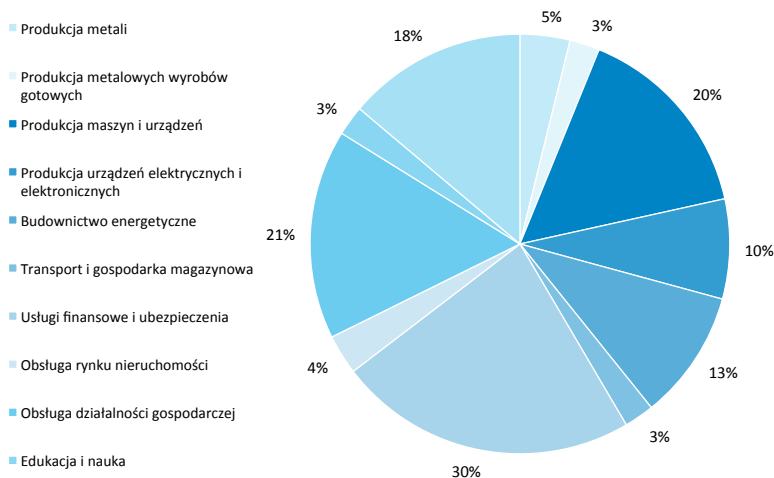
Wykres 11.

Wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).

źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 10.

Wykres 12.

Udział wartości dodanej w poszczególnych działach gospodarki Korei wytworzonej dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).

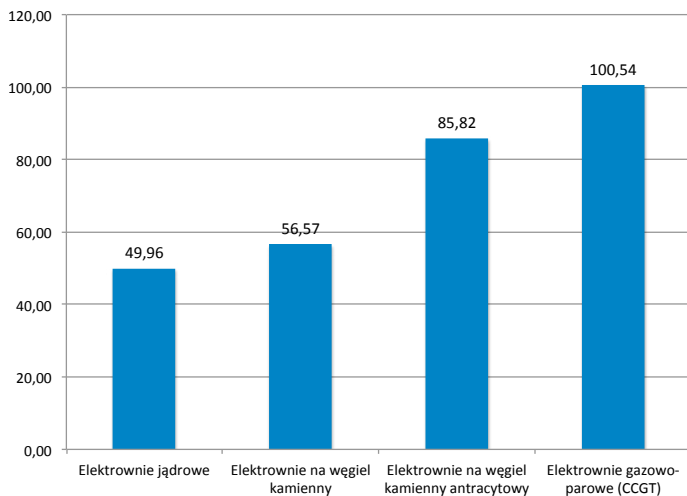


źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 10.

Wykres 13.

Porównanie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej z różnych typów elektrowni na rynku hurtowym w Korei Południowej w 2015 roku.

źródło: opracowanie własne na podstawie: Korean Electric Power Statistics Information System (EPSIS) (<https://epsis.kpx.or.kr>); Europejski Bank Centralny - kursy walut (<https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-krw.en.html>)



Wykres 14.

Porównanie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej z różnych typów elektrowni na rynku hurtowym w Korei Południowej w latach 2001-2015. Ceny bieżące w wonach koreańskich (KRW).

źródło: opracowanie własne na podstawie: Korean Electric Power Statistics Information System (EPSIS) (<https://epsis.kpx.or.kr>)

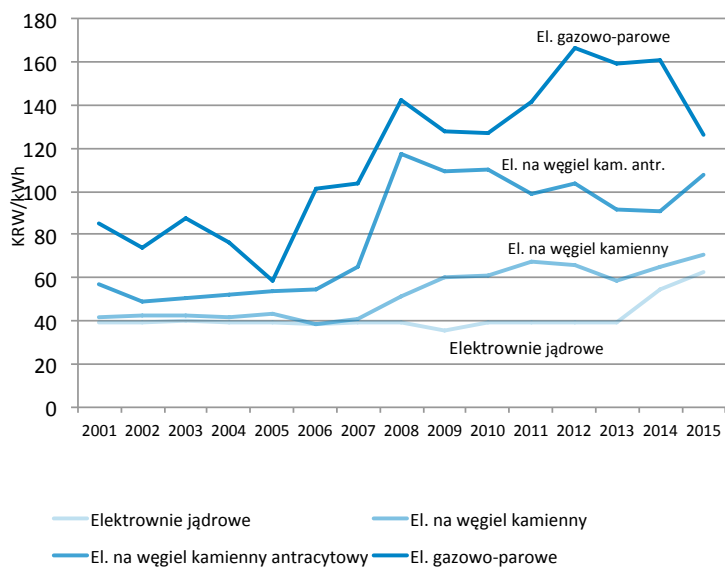


Tabela 11.

Wartość produkcji oraz wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei wytworzone dzięki eksploatacji 20 bloków jądrowych w 2005 roku.

Dział gospodarki	mld EUR ₂₀₁₅	
	Wartość produkcji	Wartość dodana
Produkcja chemikaliów pochodzenia nieorganicznego	0,36	0,10
Energetyka konwencjonalna	0,12	0,05
Energetyka jądrowa	8,72	6,49
Roboty budowlane, naprawy i konserwacja*	0,47	0,21
Transport i gospodarka magazynowa	0,12	0,05
Telekomunikacja i nadawanie programów	0,08	0,05
Usługi finansowe i ubezpieczenia	0,32	0,23
Obsługa rynku nieruchomości	0,07	0,05
Obsługa działalności gospodarczej	0,35	0,20

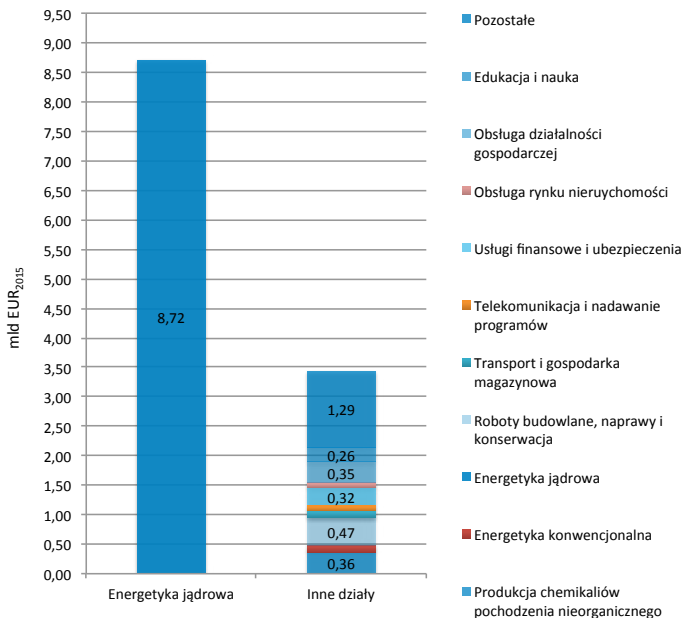
* z wyłączeniem budownictwa energetycznego
 ** wartość może być różna od sumy składników ze względu na zaokrąglenia

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009, s. 42; <http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-south-korea.aspx>; <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/>

www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-south-korea.aspx; <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/>

Wykres 15.

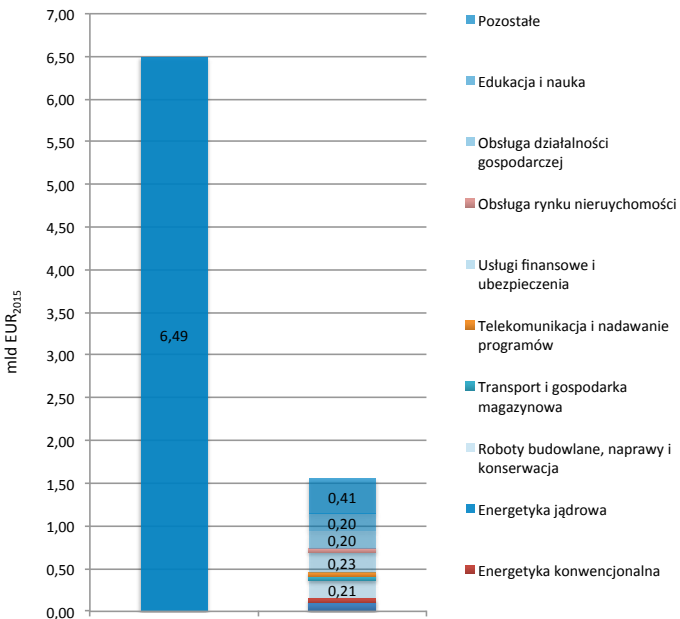
Wartość produkcji w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki eksploatacji 20 bloków jądrowych w 2005 roku.



źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 11.

Wykres 16.

Wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki eksploatacji 20 bloków jądrowych w 2005 roku.



źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli 11.

Tabela 12.

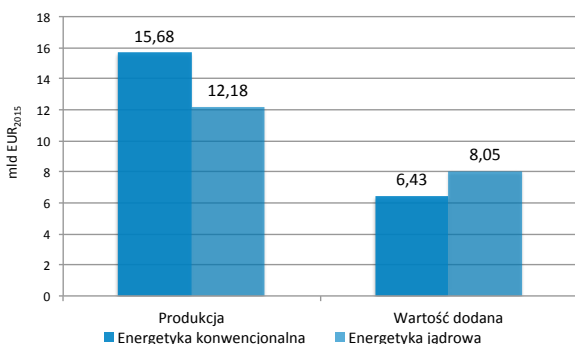
Zestawienie szacowanej wartości dodanej wytworzonej w 2005 roku w gospodarce Korei na skutek budowy 1 bloku energetycznego w alternatywnej technologii: w elektrowni na węgiel kamienny, elektrowni gazowej (gaz importowany w postaci skroplonej LNG) i elektrowni jądrowej.

Typ bloku energetycznego	mld EUR ₂₀₁₅
Węglowy (węgiel kamienny)	1,00
Gazowy (gaz ziemny LNG)	0,34

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009, s. 45; <http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-south-korea.aspx>; <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-krw.en.html>

Wykres 17.

Porównanie produkcji i wartości dodanej wygenerowanych dzięki eksploatacji EJ oraz dzięki alternatywnej eksploatacji elektrowni opalanych paliwami kopalnymi w 2005 r.



źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009, s. 48; <http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-south-korea.aspx>; <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-krw.en.html>

Tabela 13.

Porównanie wielkości wkładu energetyki jądrowej do PKB Korei Płd. z hipotetycznym wkładem energetyki konwencjonalnej w przypadku, gdyby zastąpiła ona energetykę jądrową w 2005 r.

Kategoria	mld EUR ₂₀₁₅
Łączna wartość dodana energetyki jądrowej	9,36
Łączna wartość dodana alternatywy w postaci energetyki konwencjonalnej (zastępującej EJ)	6,78 – 7,43
Różnica monetarna w wartości dodanej (wkład EJ netto)	1,93 – 2,58
PKB Korei	712,08
Przyrost netto PKB uzyskany dzięki budowie EJ zamiast elektrowni konwencjonalnych*	0,3% – 0,4%

*w oryginale: „Share of incremental nuclear value-added contribution to GDP”

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009, s. 48; <http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-south-korea.aspx>; <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-krw.en.html>

surowców energetycznych.

Ostatecznie gospodarka Korei znacznie bardziej zyskała na budowie i eksploatacji EJ, niż w przypadku gdyby ich miejsce zajęły elektrownie konwencjonalne. Autorzy obliczyli, że gdyby elektrownie jądrowe zostały zastąpione elektrowniami konwencjonalnymi PKB kraju w 2005 r. (ostatni badany okres) byłby mniejszy o 0,39-0,49%.

3.5

Transfer technologii i zaangażowanie przemysłu krajowego

Korea Południowa może być traktowana jako wzorcowy przykład przejęcia technologii jądrowych od kraju dostawcy i rozwinięcia kompetencji własnego przemysłu. W momencie, gdy władze Korei podpisywały pierwsze kontrakty na budowę elektrowni jądrowych, kraj miał niski stopień uprzemysłowienia i opierał się głównie na taniej sile roboczej. Przemysł ciężki dopiero powstawał. Stąd udział krajowych firm w budowie pierwszych 3 bloków był niewielki i sprowadzał się do przygotowania terenu i prac budowlanych w obiektach pomocniczych EJ. 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.

W połowie lat 80-tych rząd opracował program zwiększenia zaangażowania przemysłu krajowego w zakresie projektowania i produkcji urządzeń dla energetyki jądrowej (*The Master Plan for Technological Localization of Nuclear Power Plants*). Program zakładał, że w ciągu 9 lat kraj stanie się prawie całkowicie samowystarczalny w zakresie energetyki jądrowej i opanuje wszystkie obszary projektowania i budowy EJ, przejmując niemal w całości technologie zachodnie i adaptując je do własnych warunków.

Program zakończył się wielkim

sukcesem. Dziś Korea jest liczącym się eksporterem technologii jądrowych, w tym producentem własnych reaktorów. Samodzielność technologiczną osiągnięto w ciągu 17 lat od zakończenia budowy pierwszego bloku jądrowego.

Koreańscy inżynierowie i naukowcy od początku brali aktywny udział w budowie elektrowni, dzięki czemu zdobyli wiedzę i doświadczenie, które potem ułatwiły eksploatację, utrzymanie i modernizację obiektów. W przypadkach, kiedy Koreańscy nie mieli jeszcze w danej dziedzinie własnych fachowców, zagraniczni dostawcy technologii udostępniali dokumentację i szkolili młody koreański personel, który dziś projektuje własne elektrownie jądrowe.

Dziś miejscowy 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. Stworzenie w kraju nowego sektora przemysłu wpłynęło pozytywnie na wiele działań gospodarki. Standardy i wymagania jakości stosowane w przemyśle jądrowym zaczęto wykorzystywać także w innych branżach, co pociągnęło za sobą wzrost konkurencyjności całej gospodarki narodowej. Sektorami, które skorzystały w największym stopniu były:

- Produkcja metali
- Przemysł stoczniowy
- Przemysł ciężki maszynowy

Rozwinął się sektor budowlany, który nabył nowe umiejętności, zwłaszcza produkcję bardzo trwałego ciężkiego betonu o jakości gwarantującej dobrą osłonę radiacyjną („jakość jądrowa”).

3.6

Zatrudnienie w sektorze jądrowym Korei Południowej

Przemysł jądrowy jest liczącym się

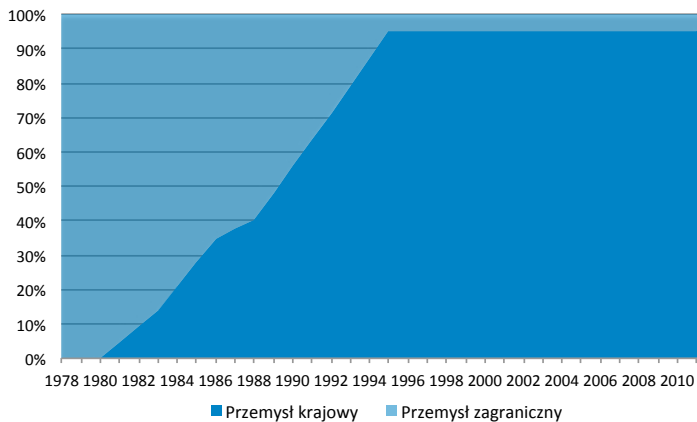
pracodawcą w Korei - całkowite zatrudnienie bezpośrednio w 2013 r. wynosiło prawie 29 tysięcy osób.

Najwięcej osób pracuje u operatorów obiektów, głównie w firmie Korea Hydro and Nuclear Power, operatora elektrowni (22%). Na drugim miejscu (14%) są instytucje dozоровe, dalej firmy z branży budowlano-montażowej (13%) i biura projektowe (13%), następnie firmy produkujące urządzenia i wyposażenie dla elektrowni (12%). Administracja rządowa ma udział rządu 12% wszystkich bezpośrednio zatrudnionych w przemyśle jądrowym.

Wykres 18.

Wzrost udziału przemysłu krajowego Korei Południowej w sektorze energetyki jądrowej na przestrzeni lat 1978-2013 liczony na podstawie wartości zamówień na urządzenia, prace budowlano-montażowe i usługi projektowania.

źródło: opracowanie własne na podstawie: *Fourteen lessons learned from the successful nuclear power program of the Republic of Korea*, Sungeol Choi, Eunju Jun, IlSoon Hwang, Anne Starz, Tom Mazour, SoonHeung Chang, Alex R. Burkart, *Energy Policy* 37 (2009) 5494–5508, wyd. Elsevier, s. 5504; KEPCO: *Korea Enters the Global Nuclear Power Market*, HONG Sun-Young, "SERI Quarterly" (January 2011), s. 81; <http://world-nuclear.org/info/inf81.html>



Fot. 3.

Stocznia Okpo w Korei Południowej. (fot. gcaptain, CC BY-NC 2.0,)



Tabele 14-15, rysunek 1.

Schemat przedstawiający założenia planu zwiększenia możliwości przemysłu koreańskiego w zakresie projektowania, produkcji urządzeń i budowy obiektów jądrowych.

*pod względem wartości zamówień; wartość jest wyższa niż podana w pracy cytowanej pod wykresem 18.

Szkolenie kadr



Przyswajanie wiedzy poprzez udział w budowie



Zakres udziału przemysłu koreańskiego w 1986 r.

Udział danej pozycji w kosztach budowy bloku energetycznego (%)	Zakres prac/produkcji urządzeń	Udział firm koreańskich (%)*
15	Zarządzanie projektem	85
21	Inżynier Kontraktu (AE)	60
7	Projektowanie JUWP	30
24	Produkcja elementów JUWP	40
11	Produkcja elementów turbozespołu	54
5	Projektowanie i produkcja paliwa	5
17	Roboty budowlano-montażowe	95
100	RAZEM	60

Transfer technologii



Działalność krajowego zaplecza B+R



Przyswajanie wiedzy poprzez udział w budowie



Zakładany zakres udziału przemysłu koreańskiego w 1995 r.

Udział danej pozycji w kosztach budowy bloku energetycznego (%)	Zakres prac/produkcji urządzeń	Udział firm koreańskich (%)*
15	Zarządzanie projektem	98
21	Inżynier Kontraktu (AE)	95
7	Projektowanie JUWP	95
24	Produkcja elementów JUWP	87
11	Produkcja elementów turbozespołu	98
5	Projektowanie i produkcja paliwa	100
17	Roboty budowlano-montażowe	100
100	RAZEM	95

Tabela 16.

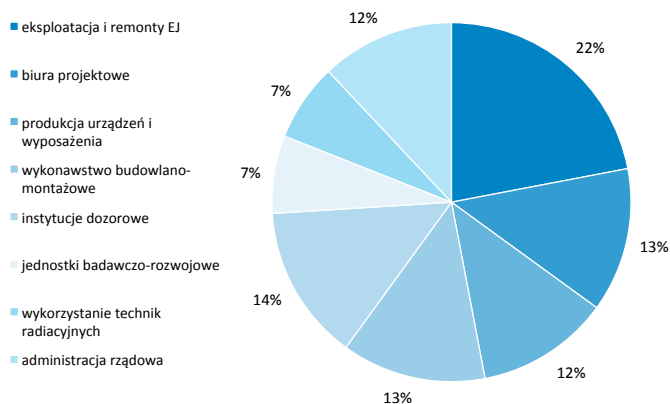
Zatrudnienie w sektorze jądrowym Korei Płd. w 2013 r.

Sektor	Liczba pracowników
Eksploatacja i remonty EJ	6 456
Biura projektowe	3 737
Produkcja urządzeń i wyposażenia	3 498
Wykonawstwo budowlano-montażowe	3 748
Instytucje dozоровe	3 935
Jednostki badawczo-rozwojowe	1 948

źródło: Nuclear power situation in Korea, IAEA TM on Country Nuclear Power Profiles, KNA, Wiedeń, 11 maja 2016 (https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2016/2016-05-10-05-13-NPES/Country_pres/Korea_Nuclear_Power_Situation_in_Korea_Suksoon_CHAE.pdf)

Wykres 19.

Udział poszczególnych branż w wielkości zatrudnienia sektora jądrowego w Korei Płd. w 2013 r.



źródło: opracowanie własne na podstawie tabeli nr 16.

Tabela 17.

Elektrownie jądrowe należące do firmy Duke Power/Duke Energy.

Blok	Typ reaktora	Moc zainstalowana netto (MW), stan na rok 2002	Rok uruchomienia
Catawba-1	PWR	1129	1985
Catawba-2	PWR	1129	1986
McGuire-1	PWR	1100	1981
McGuire-2	PWR	1100	1984
Oconee-1	PWR	846	1973
Oconee-2	PWR	846	1974
Oconee-3	PWR	846	1974

4.

Wpływ na gospodarkę krajową na przykładzie USA

Program polskiej energetyki jądrowej przewiduje budowę do 2035 roku dwóch elektrowni jądrowych o łącznej mocy około 6000 MW (w zależności od technologii moc może dojść do 6700 MW netto). Dla zilustrowania skali wpływu EJ o tej mocy na gospodarkę można posłużyć się amerykańskim opracowaniem pt. *Economic Benefits of the Duke Power-Operated Nuclear Power Plants. An Economic Impact Study by the Nuclear Energy Institute* (grudzień 2004). Autorzy tego opracowania przeanalizowali wpływ EJ należących do amerykańskiej firmy Duke Power/Duke Energy o łącznej mocy prawie 7000 MW netto na gospodarkę lokalną (na poziomie hrabstwa i stanu) oraz krajową. Moc analizowanych elektrowni jest zbliżona do mocy EJ planowanych w Polsce zgodnie z PPEJ.

Firma Duke Power eksploatuje 3 EJ o łącznej mocy zainstalowanej (w chwili zbierania danych do publikacji – 2002 r.) 6996 MW netto. Ich oddziaływanie na gospodarkę w 2002 roku obrazują następujące liczby:

- W 2002 r. koszt wytworzenia energii elektrycznej w tych elektrowniach wynosił 12,7-15,9 USD₂₀₀₂/MWh (16,73 – 20,95 USD₂₀₁₅/MWh), podczas gdy koszt w elektrowniach węglowych wynosił średnio 19,8 USD₂₀₀₂/MWh (26,09 USD₂₀₁₅/MWh).
- Wszystkie trzy EJ zatrudniały

łącznie 4203 pracowników pełnoetatowych.

- W 2002 r. wszystkie EJ firmy Duke Power złożyły w USA zamówienia o łącznej wartości ponad 510 mln USD₂₀₀₂ (672 mln USD₂₀₁₅).
- Prawie 357 mln USD₂₀₀₂ (470 mln USD₂₀₁₅) elektrownie wydały na fundusz płac i prawie 60 mln USD₂₀₀₂ (79 mln USD₂₀₁₅) na najem pracowników okresowych do prac specjalistycznych przy remontach, konserwacji urządzeń i wymianie paliwa (ostatnia kwota jest wliczona w wartość zamówień wymienioną w punkcie powyżej).
- W 2002 r. budżet federalny USA przyjął od elektrowni firmy Duke Power wpłaty z tytułu podatków federalnych na łączną kwotę prawie 257 mln USD₂₀₀₂ (339 mln USD₂₀₁₅).
- Budżety stanów Północna Karolina i Południowa Karolina zostały zasilone z tytułu podatków lokalnych i stanowych łączną kwotą prawie 72 mln USD₂₀₀₂ (95 mln USD₂₀₁₅).
- Obliczono, że funkcjonowanie powyższych elektrowni utrzymywało 28 128 miejsc pracy (zarówno poprzez wpływ bezpośredni, pośredni jak i indukowany).
- Dzięki działalności elektrowni łączny dochód tych pracowników wyniósł prawie 995 mln USD₂₀₀₂ (1 311 mln USD₂₀₁₅).
- Łączna wartość wytworzonych produktów i usług na tych stanowiskach przekroczyła 4,5 mld USD₂₀₀₂

(5,93 mld USD₂₀₁₅).

W fazie eksploatacji elektrownie firmy Duke Power/Duke Energy mają największy pozytywny wpływ na następujące gałęzie gospodarki amerykańskiej (na poziomie ogólnokrajowym):

- wytwarzanie, przesył i obrót energią elektryczną
- przemysł chemiczny
- handel hurtowy
- rynek nieruchomości
- usługi inżynieryjno-architektoniczne
- bankowość
- outsourcing kadr (m.in. inżynierowie i technicy najmowani do prac remontowych w czasie wymiany paliwa w elektrowni)
- ochrona zdrowia
- media z wyłączeniem radia i TV.

5. Wpływ na gospodarkę na przykładzie nowego programu jądrowego w Wielkiej Brytanii

W listopadzie 2012 r. firma doradcza PricewaterhouseCoopers (PwC) opublikowała raport *The fleet effect: The economic benefits of adopting a fleet approach to nuclear new build in the UK*, w którym oszacowała wpływ realizacji brytyjskiego programu budowy 8 nowych bloków jądrowych w latach 2013-2030 na gospodarkę kraju.

Ekonomiści PwC przewidują, że program zwiększy brytyjski PKB do 2030 r. o 11,1 mld GBP₂₀₁₁ (13,53 mld EUR₂₀₁₅) oraz o kolejne 6 mld GBP₂₀₁₁ (7,31 mld EUR₂₀₁₅) do roku 2050 dzięki obniżeniu cen energii

elektrycznej w kraju o 2,6% do roku 2030 i o 10,3% do roku 2050. Na niskich cenach energii najbardziej skorzysta sektor finansowy i obsługi działalności gospodarczej (financial and business services) oraz sektor przetwórstwa przemysłowego i budownictwa (manufacturing and construction).

Program pozwoli ponadto podnieść kompetencje brytyjskiego przemysłu, co przyniesie się na zwiększenie eksportu towarów i usług branży jądrowej o 140%, a także wpłynie pozytywnie na rozwój przedsiębiorstw z takich

działów gospodarki jak energetyka odnawialna, przemysł naftowy i gazownictwo, przemysł chemiczny.

Liczba miejsc pracy powstałych dzięki nowemu programowi zostanie zaprezentowana kolejnym raporcie Ministerstwa Energii, poświęconemu miejscom pracy w energetyce jądrowej.

Fot. 4.

EJ Catawba w USA, należąca do firmy Duke Power/Duke Energy. Widok od strony maszynowni.
(fot. US NRC, CC-BY-NC)



Fot. 5.

EJ Clinton w USA. Reaktor energetyczny typu BWR produkuje również kobalt-60 i molibden-99 (fot. Gary Cziko, CC BY-NC 2.0)



6.

Pozaenergetyczne efekty działalności elektrowni jądrowych

6.1

Radioizotopy

Sektor produkcji radioizotopów jest jedną z najszybciej rozwijających się branż przemysłu w państwach OECD, na co wpływ ma m.in. lawinowo rosnąca liczba procedur medycznych z zastosowaniem radioizotopów oraz coraz szersze ich wykorzystanie w przemyśle np. do kontroli szczelności połączeń spawanych.

Reaktory energetyczne produkują radioizotopy w takich krajach jak Kanada, Korea Płd., USA, Chiny. W Korei wartość sprzedanych produktów przemysłowych, do których wytworzenia niezbędne było wykorzystanie radioizotopów, wyniosła w 2005 r. 6 223,4 mld KRW₂₀₀₅ (5,47 mld EUR₂₀₁₅). Wkład radioizotopów w wartość usług medycznych wyniósł 5,56%, a ich wkład do PKB Korei pod względem wartości dodanej osiągnął w 2005 roku 0,67% (przemysł i medycyna łącznie). W Polsce radioizotopy są wytwarzane w reaktorze badawczym „Maria” w Świerku pokrywając tylko część zapotrzebowania krajowego. Ze względu na globalny kryzys dostaw, ceny tych produktów w ostatnich 5 latach mocno wzrosły. Dlatego właściciele elektrowni jądrowych w w/w krajach zaczęli przestawiać tryb pracy niektórych reaktorów energetycznych na coraz większą produkcję radio-

izotopów. Produkcję tego typu podjęto od podstaw m.in. w EJ Clinton w USA (kobalt-60, molibden-99) i EJ Hope Creek w USA (kobalt-60).

Największym producentem izotopów dla medycyny i przemysłu jest Kanada, która opanowała 2/3 światowego rynku. Większość izotopów firmy kanadyjskie produkują w reaktorach badawczych (najwięcej w reaktorze NRU w Chalk River) oraz w elektrowniach jądrowych z reaktorami CANDU. Największa na świecie firma działająca w tej branży, kanadyjski MDS Nordion, zatrudnia ponad 1000 osób.

Tabele nr 18 i 19 przedstawiają izotopy promieniotwórcze wykorzystywane w medycynie i przemyśle, które można produkować w reaktorach badawczych i energetycznych.

6.1.1

Produkcja radioizotopów w Korei Południowej

Wpływ produkcji radioizotopów na gospodarkę krajową został szczegółowo zbadany w Korei Południowej. Największy wkład pod względem udziału procentowego w łączną wartość produkcji ma zastosowanie radioizotopów w przemyśle chemicznym, petrochemicznym i drzewno-papierniczym (średnio po ok. 4%). Wynika to z faktu, że w tych branżach bardzo powszechne jest wykorzystywanie defektoskopów izotopowych (np. do

kontroli jakości połączeń spawanych) i gęstościomierzy. Aparatura izotopowa jest jednak wykorzystywana także w innych działach gospodarki.

Izotopy promieniotwórcze są jednak znacznie ważniejsze dla sektora usług medycznych (tj. państwowej i prywatnej służby zdrowia). Wprawdzie ich udział w wartości tych usług wynosi tylko kilka procent, jednak są one niezastąpione w przypadku bardzo wielu procedur medycznych, w tym w diagnostyce chorób i diagnostyce czynnościowej narządów oraz w terapii onkologicznej.

Łączny wkład izotopów promieniotwórczych w PKB Korei Południowej w 2005 roku wyniósł 0,662%.

6.1.2

Produkcja radioizotopów w Polsce

W Polsce jedynym producentem izotopów dla medycyny i przemysłu jest Ośrodek Radioizotopów POLATOM, będący w strukturze Narodowego Centrum Badań Jądrowych. Zatrudniający 231 osób (stan na 2016 r.) POLATOM jest jedynym w Polsce wytwórcą:

- innowacyjnych produktów leczniczych mających szerokie zastosowanie w diagnozowaniu i leczeniu chorób onkologicznych,
- zamkniętych źródeł promieniotwórczych wykorzystywanych w defektoskopii przemysłowej do

Tabela 18.

Zastosowanie radioizotopów reaktorowych w medycynie.

Radioizotop	Okres półtrwania	Zastosowanie
Bizmut-213	46 min.	Terapia celowana alfa-emiterami (Target Alpha Therapy, TAT), głównie w przypadku nowotworów
Chrom-51	28 dni	Znakowanie czerwonych ciałek krwi (badania przeżywalności), określanie ilościowej utraty białka z przewodu pokarmowego
Cez-137	30,17 lat	terapia nowotworów, pomiary dawki promieniowania radiofarmaceutyków
Kobalt-60	5,27 lat	Dawniej wykorzystywany w teleradioterapii, obecnie do sterylizacji (np. narzędzi chirurgicznych)
Dysproz-165	2 godz.	Leczenie zapalenia stawów
Erb-169	9,4 dnia	Uśmierzanie bólu stawów
Holm-166	26 godz.	Diagnostyka i leczenie nowotworów wątroby
Jod-125	60 dni	Diagnostyka gruczołu tarczycy, brachyterapia prostaty i mózgu, ocena wydajności pracy nerek, diagnoza zakrzepicy żył głębokich w nogach, radioimmunotesty, wykazywanie obecności hormonów w śladowych ilościach
Jod-131	8 dni	Leczenie raka tarczycy, obrazowanie tarczycy, diagnostyka zaburzenia czynności wątroby, nerek, przepływu krwi i zastojów w drogach moczowych
Iryd-192	74 dni	Brachyterapia (głównie mózg i piersi)
Żelazo-59	46 dni	Badanie metabolizmu żelaza w śledzionie
Ołów-212	10,6 godz.	Używany w TAT na nowotworach
Lutet-177	6,7 dnia	Obrazowanie promieniowaniem gamma, terapia promieniowaniem beta nowotworów powstałych na tle zaburzeń hormonalnych
Molibden-99	66 godz.	Używany do produkcji technetu w generatorze molibdenowo-technetowym
Pallad-103	17 dni	Brachyterapia raka prostaty
Fosfor-32	14 dni.	Badania z zakresu biologii molekularnej, leczenie czerwienicy prawdziwej
Potas-42	12 godz.	Określanie ilości potasu wymiennego w wieńcowym przepływie krwi
Ren-186	3,8 dnia	Łagodzenie bólu w przypadku raka kości
Ren-188	17 godz.	Naświetlanie promieniowaniem beta tętnic wieńcowych z balonu angioplastycznego
Samar-153	47 godz.	Leczenie raka prostaty i piersi, łagodzenie bólu nowotworów wtórnych zlokalizowanych w kościach

Selen-75	120 dni	W formie selenometioniny – badanie produkcji enzymów trawiennych
Sód-24	15 godz.	Badanie poziomu elektrolitów w organizmie
Stront-89	50 dni	Uśmierzenie bólu w przypadku raka prostaty i kości
Technet-99m	6 godz.	Obrazowanie głównie szkieletu i mięśnia sercowego a także mózgu, płuc (perfuzja i wentylacja), wątroby, śledziony, nerek (struktura i szybkość filtracji), pęcherzyka żółciowego, szpiku kostnego, ślinianek, gruczołów łzowych, zakażeń oraz wiele innych specjalistycznych badań medycznych
Tryt (H-3)	12,32 lat	badania metabolizmu nowych leków
Ksenon-133	5 dni	Badania wentylacji płuc i przepływu krwi
Iterb-169	32 dni	Badanie płynu mózgowo-rdzeniowego w mózgu
Iterb-177	1,9 godz.	Protoplasta lutetu-177
Itr-90	64 godz.	Brachyterapia raka prostaty, łagodzenie bólu w przypadku zapalenia stawów
Cez, ruten, złoto	różne	Brachyterapia
Pluton-238	87,7 lat	Rozruszniki serca
Pluton-239	24 100 lat	

źródła: WNA Radioisotopes in medicine (<http://world-nuclear.org/info/inf55.html>); Spotkanie z promieniotwórczością, L. Dobrzyński, E. Droste, R.

Wołkiewicz, Ł. Adamowski, W. Trojanowski, Instytut Problemów Jądrowych, Otwock-Świerk, listopad 2010, s. 24-25

Tabela 19.

Zastosowanie radioizotopów reaktorowych w przemyśle.

Radioizotop	Zastosowanie
Ameryk-241	Wskaźniki rozproszenia wstecznego, czujki dymu, mierniki napełnienia, pomiar zawartości popiołu, pomiary zawartości toksycznego ołowiu w suchych farbach, zapewnienie jednorodnej gęstości materiału produkowanego taśmowo, jak np. papieru, źródła kalibracyjne, źródło (w połączeniu z berylem) do rozruchu badawczych reaktorów jądrowych oraz do badań w wierceniach dla geologii i geofizyki, mierniki grubości, źródła do analizatorów fluorescencji rentgenowskiej (XRF)
Cez-137	Identyfikacja źródeł erozji i osadzania się gleby, mierniki gęstości i napełnienia opakowań żywności i innych produktów, pomiary przepływów cieczy w rurociągach, sterylizacja i konserwacja żywności, źródła kalibracyjne

źródło: opracowanie własne na podstawie: WNA Radioisotopes in industry (<http://world-nuclear.org/info/inf56.html>); Spotkanie z promieniotwórczością, L. Dobrzyński, E. Droste, R. Wołkiewicz, Ł. Adamowski, W. Trojanowski, Instytut Problemów Jądrowych, Otwock-Świerk, listopad 2010, s. 24-25

Kobalt-60	
Skand-46	
Lantan-140	W wielkich piecach: ustalanie czasu usuwania oraz ilościowe określenie uzysku dla pomiaru wydajności pieca
Srebro-110m	
Złoto-198	
Kobalt-60	Konserwacja żywności, radiografia przemysłowa, mierniki gęstości i napętnienia, źródła kalibracyjne
Złoto-198	Badanie przemieszczania się ścieków i płynnych odpadów oraz odpadów fabrycznych powodujących zanieczyszczenie oceanu, śledzenie ruchu piasku w korycie rzeki i dnie oceanu
Technet-99m	
Złoto-198	Oznaczanie piasku do badania erozji wybrzeża
Wodór-3 (tryt)	Znacznik do badania ścieków i odpadów ciekłych
Iryd-192	Lokalizowanie skaz w metalowych częściach za pomocą radiografii gamma, testowanie jakości spawów w rurociągach, zbiornikach i częściach samolotów, radiografia przemysłowa
Krypton-85	Pomiary przemysłowe
Mangan-54	Przewidywanie zachowania się metali ciężkich w ściekach kopalnianych
Nikiel-63	Lekkie czujniki w kamerach i wyświetlaczach plazmowych, zapobieganie wyladowaniom elektrycznym, regulatory napięcia w układach elektronicznych, detektory wychwytu elektronów w miernikach grubości, detekcja materiałów wybuchowych
Polon-210	redukcja ładunku statycznego w produkcji błon fotograficznych i płyt gramofonowych, a także papieru, używany też w źródłach neutronów Po-Be
Selen-75	W radiografii gamma i badaniach nieniszczących
Stront-90	Generatory radioizotopowe (RTG), mierniki grubości
Sód-24	Detekcja miejsc wycieku w przemysłowych rurociągach (defektoskopia)
Tal-204	Pomiary przemysłowe
Tryt (H-3)	Farby świecące, materiał targetowy w generatorach neutronów, służących do wykrywania przemytu materiałów wybuchowych
Iterb-169	W radiografii gamma i badaniach nieniszczących
Cynk-65	Przewidywanie zachowania się metali ciężkich w ściekach kopalnianych
Pluton-238	Stosowany w RTG (radioizotopowych generatorach termoelektrycznych) do zasilania urządzeń w satelitach i w badaniach kosmosu
Pluton-239	
Pluton-239	W połączeniu z berylem stosowany jest jako podręczne źródło neutronowe

Tabela 20.

Wkład radioizotopów do sprzedaży produktów powstałych z ich wykorzystaniem w poszczególnych działach gospodarki Korei w 2005 roku.

Dział gospodarki (nazwa angielska z publikacji MAEA) [numery działów wg klasyfikacji ISIC]	Łączna wartość sprzedaży (mln EUR ₂₀₁₅)	Wartość radioizotopów (mln EUR ₂₀₁₅)	Procentowy wkład radioizotopów w wartość sprzedaży
Produkcja artykułów spożywczych, napojów i wyrobów tytoniowych (Food, beverage and tobacco) [311, 313, 314]	7 358,77	148,66	2,02
Produkcja wyrobów tekstylnych i skórzanych (Textile products & leather products) [321, 322, 323, 324]	6 808,81	151,82	2,23
Produkcja wyrobów z drewna i papieru (Wood and paper products) [331, 341]	9 106,22	336,04	3,69
Prasa i wydawnictwa (Printing, publishing and reproduction of recorded media) [342]	63,25	1,41	2,23
Wytwarzanie i przetwarzanie koksu i produktów rafinacji ropy naftowej (Petroleum and coal products) [353, 354]	47 803,06	1 998,19	4,18
Produkcja chemikaliów i wyrobów chemicznych (Chemicals and allied products) [351, 352, 355, 356]	30 430,51	1 271,97	4,18
Produkcja wyrobów z mineralnych surowców niemetalicznych (Non-metallic mineral products) [361, 362, 369]	2 976,54	66,33	2,23
Produkcja metali (Primary metal products) [371, 372]	29 579,19	721,73	2,44
Produkcja metalowych wyrobów gotowych (Fabricated metal products) [381]	3 654,79	89,18	2,44
Produkcja maszyn i urządzeń (General machinery and equipment) [382]	1 632,35	21,08	1,29

Produkcja urządzeń elektrycznych i elektronicznych (Electronic and other electric equipment) [383]	31 837,95	410,72	1,29
Produkcja urządzeń precyzyjnych i pomiarowych (Precision instruments) [385]	217,00	4,83	2,23
Produkcja pojazdów i sprzętu transportowego (Transportation equipment) [384]	27 914,33	244,65	0,01
Łącznie	199 382,80	5 467,59	2,74

ISIC - International Standard Industrial Classification

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009, s. 55, 57.

Tabela 21.

Wartość produktów i usług oraz wartość dodana wynikająca z wykorzystania radioizotopów w przemyśle, sektorze medycznym i badaniach naukowych (B+R) w Korei Płd. w 2005 roku (przeliczone na EUR2015).

	Wartość produkcji (mln EUR ₂₀₁₅)	Wartość dodana (mln EUR ₂₀₁₅)	Wkład radioizotopów w PKB
Przemysł	9 476,97	3 064,40	0,43%
Medycyna	3 549,37	1 672,76	0,23%
B+R	—	13,19	0,002%
Łącznie	13 026,34	4 750,35	0,662%

źródło: opracowanie własne na podstawie: Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009, s. 58, 60, 61.

Tabela 22.

Podstawowy materiał tarczowy napromieniany w reaktorze „Maria”.

Materiał tarczowy	Radioizotop	Nazwa preparatu wytwarzanego na bazie radioizotopu i zastosowanie
TeO ₂ I-131		Produkt leczniczy do diagnostyki i terapii np. tarczycy
S	P-32	Produkt leczniczy do terapii lub odczynnik chemiczny
LuCl ₃	Lu-177	Odczynnik radiochemiczny LuCl ₃ o czystości radiochemicznej używany do znakowania peptydów
SmCl ₃	Sm-153	Do produkcji radiofarmaceutyku
Sm ₂ O ₃	Sm-153	Do produkcji radiofarmaceutyku
KCl	S-35	Odczynnik radiochemiczny
Yb ₂ O ₃	Yb-169	Do produkcji źródeł zamkniętych
Sr ₂ CO ₃	Sr-85	Odczynnik radiochemiczny
Cu	Cu-64	Odczynnik radiochemiczny o czystości radiofarmaceutycznej, CuCl ₂ używany w diagnostyce i terapii izotopowej.
Co	Co-60	Do produkcji źródeł zamkniętych
NiO	Co-58	Odczynnik radiochemiczny
Ir	Ir-192	igły Ir-Pt / brachyterapia + wysokoaktywne źródła dla defektoskopii
Cs ₂ CO ₃	Cs-137	Odczynnik radiochemiczny
Gd ₂ O ₃	Gd-159	Odczynnik radiochemiczny
Rb ₂ CO ₃	Rb-86	Odczynnik radiochemiczny
Fe ₂ O ₃	Fe-59	Radiochemikalia o czystości radiofarmaceutycznej, FeC ₆ H ₅ O ₇ używany w diagnostyce izotopowej
Cr metal	Cr-51	Odczynnik radiochemiczny
Eu ₂ O ₃	Eu-152+Eu-154	Odczynnik radiochemiczny
(NH ₄) ₂ IrCl ₆	Ir-192	Odczynnik radiochemiczny
In	In-114	Odczynnik radiochemiczny
Ag	Ag-110m	Odczynnik radiochemiczny
ZnO	Zn-65	Odczynnik radiochemiczny
Re	Re-186	Odczynnik radiochemiczny o czystości radiofarmaceutycznej, NaReO ₄ stosowany w radioterapii wewnętrznej

badani nieniszczących,

- roztworów wzorcowych i źródeł kalibracyjnych dla kontroli urządzeń pomiarowych,
- odczynników radiochemicznych stosowanych w nauce i ochronie środowiska.

Ponadto POLATOM zajmuje się importem:

- radioizotopów niedostępnych z polskiego reaktora, przeznaczonych do wytwarzania produktów leczniczych,
- radioizotopowych produktów leczniczych będących uzupełnieniem produkcji własnej,
- urządzeń dla medycyny (np. sonda do wychwytu śródoperacyjnego, służąca do lokalizacji izotopu w zmianach chorobowych w trakcie operacji chirurgicznej, mierniki aktywności izotopów itp.),
- dla przemysłu - urządzenia do załadunku źródeł używanych w defekoskopii przemysłowej i wiele innych.

Elementem koniecznym do prowadzenia działalności związanej z wytwarzaniem produktów radioizotopowych jest dostęp do bazy reaktorowej. W reaktorze jądrowym dokonuje się naświetlania materiału tarczowego (związki chemiczne izotopów stabilnych) w celu uzyskania odpowiedniego izotopu promieniotwórczego, który po dalszym przerobieniu prowadzi do otrzymania produktu finalnego o zastosowaniu medycznym lub przemysłowym.

Taką bazą reaktorową dla Ośrodka w Świerku-Otwocku był początkowo reaktor „EWA”, a obecnie jest to reaktor „Maria”. Na przestrzeni lat (reaktor „EWA” jako pierwszy rozpoczął pracę już 1958 r.), napromieniane były różne materiały tarczowe. Rodzaj napromienianych materiałów tarczowych i otrzymywanych radioizotopów ilustruje tabela nr 22.

Istnieje również możliwość naświetlania innych materiałów tarczowych.

Dzięki dostępowi do reaktora mogły rozwijać się i prowadzić działalność, zarówno naukową jak i produkcyjną, zakłady w Ośrodku „Świerk”.

POLATOM wniósł szczególny wkład w rozwój polskiej medycyny nuklearnej. Bliskie sąsiedztwo reaktora, niezwykle ważne w przypadku produkcji krótkożyłowych izotopów, praca kadry naukowej, inwestowanie w działalność badawczo-rozwojową sprawia, że lista oferowanych radiofarmaceutyków ulega ciągłej zmianie. Trwają nieustanne poszukiwania tych najbardziej specyficznych dla danej jednostki chorobowej.

Jednym z podstawowych produktów leczniczych produkowanych w Ośrodku Radioizotopów POLATOM jest generator technetu. Otrzymywany z tego generatora izotop Tc-99m (technet-99m) służy do znakowania, produkowanych także w POLATOM-ie, zestawów scyntygraficznych, które wykorzystuje się w obrazowaniu funkcjonowania różnych narządów wewnętrznych takich jak: serce, płuca, nerki, kości, mózg, jak również do diagnozowania i śledzenia zmian związanych z chorobami onkologicznymi. Jeden z zestawów scyntygraficznych opracowanych w POLATOM-ie, o nazwie **Tektrotyd**, jest unikalny w skali światowej. Służy do scyntygrafii receptorów somatostatynowych, głównie w diagnostyce nowotworów neuroendokrynych. Zestaw ten został **nagrodzony Złotym Medalem podczas 58. Światowych Targów Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Techniki „BRUSSELS INNOVA 2009”.**

Sukcesem zakończyło się wprowadzenie do obrotu w 2015 r. nowych produktów leczniczych ItraPol (⁹⁰Y), LutaPol (¹⁷⁷Lu) jako prekursorów radiofarmaceutyków - do znakowania produktów przeznaczonych do terapii radionuklidowej oraz zestawu do badań scyntygraficznych

Techimmuna (Immunoglobulina ludzka zmodyfikowana) do lokalizacji i wykrywania zmian zapalnych. W 2015 r. ItraPol i LutaPol został zwycięzcą w konkursie „Polski Produkt Przyszłości”.

Innym rodzajem izotopowego produktu leczniczego jest mający zastosowanie w diagnostyce i terapii chorób tarczycy I-131 - jodek sodowy w postaci kapsulek diagnostycznych i terapeutycznych.

Kolejnym ważnym i przydatnym izotopem jest również Sr-89 w postaci chlorku przeznaczony do paliatywnego leczenia bolesnych przerzutów nowotworowych do kości.

Wytwarzanymi w POLATOM-ie produktami diagnozuje się również dzieci, w tym przypadku izotop I-131 zastępuje się izotopem I-132, który ze względu na krótki półokres rozpadu powoduje mniejsze narażenie na promieniowanie jonizujące młodego organizmu.

Lista oferowanych przez OR POLATOM produktów jest znacznie bogatsza, więcej informacji można znaleźć na stronie www.polatom.pl. W niniejszym podrozdziale zaprezentowano tylko niektóre z nich, aby w krótkim zarysie przedstawić możliwości wykorzystania izotopów promieniotwórczych w polskiej gospodarce, ze szczególnym uwzględnieniem sektora usług medycznych.

Produkty lecznicze i przemysłowe wytwarzane w Ośrodku nie są powszechnie dostępne. Przeznaczone są tylko dla tych jednostek służby zdrowia, przemysłu i szkół wyższych, które posiadają uprawnienia do ich stosowania, tj. zezwolenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki. **POLATOM zaopatruje nie tylko polskich użytkowników, również eksportuje swoje produkty do ponad 80 krajów świata.**

O skali zainteresowania technikami izotopowymi zarówno w medycynie, przemyśle jak i w nauce świadczą dane ilustrujące wzrost

Fot. 6 i 7.

Linia do produkcji i pakowania radiofarmaceutyków w OR POLATOM w NCBJ (fot. OR POLATOM/NCBJ)



Fot. 8.

Preparat Tektrotyd, stosowany w diagnostyce onkologicznej, produkowany w OR POLATOM NCBJ (fot. OR POLATOM/NCBJ).

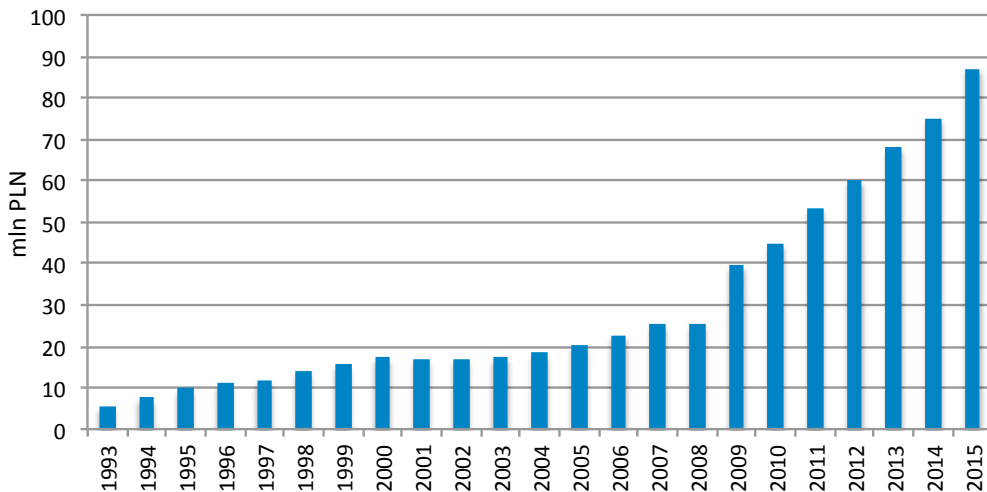
Fot. 9.

Pojemnik na kapsułki I-131 i kapsułki wraz z aplikatorem do bezpiecznego podawania pacjentowi - produkowane w OR POLATOM NCBJ (fot. OR POLATOM/NCBJ)



Wykres 20.

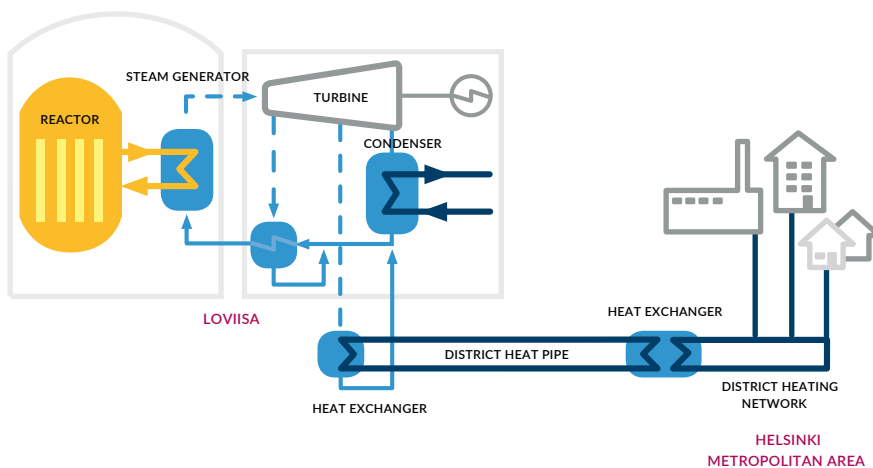
Wartość roczna sprzedaży Ośrodka Radioizotopów POLATOM w mln PLN (ceny bieżące) – tylko wyroby własne.



źródło: OR POLATOM/NCBJ

Rysunek 2.

Schemat obiegów wody i pary wodnej w projektowanym bloku kogeneracyjnym dla EJ Loviisa (blok nr 3) w Finlandii. Schemat dla wariantu PWR. (rys. Fortum).



sprzedaży w kolejnych latach działalności Ośrodka.

W listopadzie 2012 r., doszło do nieplanowanego tymczasowego wyłączenia reaktora produkcyjnego w Petten w Holandii. Narodowe Centrum Badań Jądrowych uruchomiło dodatkowe napromieniania tarcz uranowych w reaktorze „Maria”, zapewniając dostawy molibdenu-99 w ilości pozwalającej na wykonanie 300 000 procedur medycznych.

Możliwości napromieniania tarcz uranowych do produkcji Mo-99 w reaktorze Narodowego Centrum Badań Jądrowych są ok. 3-krotnie większe niż średnia ilość napromieniowań zrealizowanych na zamówienie firmy COVIDIEN (główny klient) w roku 2011 i 2012. Reaktor może zrealizować 40-cykli napromieniowań w ciągu roku, co się przekłada na ok. 4 mln procedur medycznych. Przy założeniu, że jeden pacjent zostaje poddany w ciągu roku jednej takiej procedurze, można stwierdzić, że **reaktor jest w stanie zapewnić radiofarmaceutyk dla 4 mln pacjentów.**

Innym bardzo ważnym zastosowaniem izotopów promieniotwórczych wytwarzanych w Polsce jest ich przeznaczenie do badań nieniszczących (defektoskopia przemysłowa) do kontroli połączeń spawanych i szczelności rurociągów (np. w krajowych rafineriach PKN Orlen S.A. w Płocku i Lotos S.A. w Gdańsku), wodociągów, konstrukcji stalowych na budowach dużych obiektów przemysłowych (w tym nowobudowanych elektrowni węglowych i gazowych) itp.

Niektóre z radioizotopów stosowanych w medycynie i przemyśle, np. kobalt-60 i molibden-99, będzie można wytwarzać w polskich elektrowniach jądrowych.

6.2

Ciepło użytkowe i chłód

Elektrownie jądrowe mogą pra-

cować w trybie elektrociepłowni i wytwarzać ciepło użytkowe na potrzeby lokalnych miejskich systemów ciepłowniczych lub dostarczać ciepło na potrzeby przemysłu w postaci pary technologicznej. Elektrociepłownie jądrowe (a właściwie uciepłownione elektrownie jądrowe) eksploatowane są w Szwajcarii, Czechach, Słowacji, Rosji, Rumunii oraz na Ukrainie i Węgrzech. Rozważane jest wyprowadzenie ciepła z EJ Nogent we Francji do Paryża oddalonego o 120 km. Sporządzono studium wykonalności projektu, które wykazało jego wysoką rentowność. Podobnie w Finlandii, gdzie do planowanego bloku nr 3 w EJ Loviisa ma zostać dołączony człon ciepłowniczy i magistrala o długości 90 km wyprowadzająca gorącą wodę do Helsinek.

W Szwajcarii ciepło z EJ wykorzystywane jest zarówno do zasilania miejskich systemów ciepłowniczych, jak również do ogrzewania szklarni, ośrodków sportu i rekreacji, ogrodów botanicznych i zoologicznych, zakładów hodowli ryb oraz do suszenia zrębków drzewnych. Gorąca para technologiczna wykorzystywana jest przez blisko położone zakłady papiernicze, zakłady chemiczne oraz przemysł spożywczy.

We Francji realizowany jest obecnie projekt wyprowadzenia ciepła z EJ Gravelines do pobliskiego terminala LNG w porcie w Dunkierce. Ciepło ma być wykorzystywane w procesie regazyfikacji skroplonego gazu ziemnego (LNG).

Efektywność wykorzystania paliwa jądrowego w elektrowni jądrowej pracującej w skojarzeniu wzrasta z 35-39% do 55%-70% – oznacza to, że taki procent ciepła wytwarzanego przez reaktor można zagospodarować. W niektórych przypadkach koszty produkcji ciepła są tak niskie, że opłaca się je przesyłać rurociągami na odległość 90-120 km (np. projekty w EJ Lovii-

sa i EJ Nogent).

Do innych zalet tego zastosowania należy zmniejszenie o ok. 30% zapotrzebowania na wodę chłodzącą dla elektrowni jądrowej, co może być szczególną zaletą w przypadku budowy EJ z zamkniętym obiegiem chłodzenia, jak na przykład w lokalizacji „Żarnowiec” na Pomorzu.

Budowane w latach 80-tych w Polsce elektrownie jądrowe („Żarnowiec” i „Warta”) również miały być elektrociepłowniami i dostarczać gorącą wodę do systemów centralnego ogrzewania Trójmiasta i Poznania. Rozważana była również ciepłownia jądrowa o mocy 500 MW_e w podwarszawskich Markach lub w Pruszkowie. Ciepło wytworzone w ten sposób nie skutkuje emisją zanieczyszczeń, CO₂ i może być konkurencyjne cenowo do tradycyjnych elektrociepłowni opalanych paliwami organicznymi. Projekty ciepłownictwa jądrowego w Polsce w latach 70-tych i 80-tych omówione zostaną w kolejnej publikacji Ministerstwa Energii.

Możliwa jest także produkcja chłodu dla celów użytkowych

z wykorzystaniem ciepła z miejskiej sieci ciepłowniczej poprzez zastosowanie Absorpcyjnych (ABS) bądź Trójzłożowych Adsorpcyjnych Agregatów Chłodniczych (3ADS). Tego typu zastosowanie ciepła „jądrowego” ma wiele zalet:

- pozwala zrównać krzywą zapotrzebowania na ciepło w okresie letnim i stać się dodatkowym źródłem dochodu dla firm ciepłowniczych,
- umożliwią obniżenie kosztów klimatyzacji pomieszczeń mieszkalnych i użytkowych w okresie upałów, gdyż stanowi tańszą alternatywę dla powszechnie stosowanych agregatów sprężarkowych zasilanych drogą energią elektryczną (po osiągnięciu efektu skali),
- zwiększa zapotrzebowanie na energię elektryczną ze względu na

Tabela 23.

Elektrociepłownie jądrowe na świecie.

Państwo	Nazwa elektrowni (bloku)	Typ	Rok uruchomienia	Moc elektryczna netto	Moc cieplna odprowadzana do miejskiej sieci ciepłowniczej i/lub zakładów przemysłowych
Bułgaria	Kozłoduj-5 Kozłoduj-6	WWER-1000/320 WWER-1000/320	1988	953 MW	9 MW
			1993	953 MW	
Chiny	NHR-5 (Pekin)	NHR-5 (eksperymentalny)	1989	tylko cieplna	
Czechy	Dukovany-1 Dukovany-2 Dukovany-3 Dukovany-4	WWER-440/213 WWER-440/213 WWER-440/213 WWER-440/213	1985	471 MW	170 MW
			1986	427 MW	
			1986	471 MW	
			1987	471 MW	
	Temelin-1 Temelin-2	WWER-1000/320 WWER-1000/320	2000	963 MW	900 MW
			2003	963 MW	
Francja	Gravelines	PWR	Projekt LNG (w realizacji)		
	Nogent-1 Nogent-2	PWR	1988	1310 MW	1507 MW (plan.)
		PWR	1989	1310 MW	1507 MW (plan.)
Indie	Radżastan-1 Radżastan-2	PHWR PHWR	1973	90 MW	
			1981	187 MW	
	Radżastan-3 Radżastan-4	PHWR PHWR	1999	202 MW	
			2000	202 MW	
Rumunia	Cernavoda-1 Cernavoda-2	CANDU-6 CANDU-6	1996	655 MW	260 MW
			2007	655 MW	

Rosja	Biełojarsk	BN-600	1981	560 MW	260 MW
	Nowoworoneż-3	WWER-440/179	1972	385 MW	
	Nowoworoneż-4	WWER-440/179	1973	385 MW	250 MW
	Nowoworoneż-5	WWER-1000/187	1981	950 MW	
	Bałakowo-1	WWER-1000/320	1986	988 MW	
	Bałakowo-2	WWER-1000/320	1988	988 MW	920 MW
	Bałakowo-3	WWER-1000/320	1989	988 MW	
	Bałakowo-4	WWER-1000/320	1993	988 MW	
	Kalinin-1	WWER-1000/338	1985	950 MW	
	Kalinin-2	WWER-1000/338	1987	950 MW	420 MW
	Kalinin-3	WWER-1000/320	2004	988 MW	
	Kola-1	WWER-440/230	1973	432 MW	
	Kola-2	WWER-440/230	1975	411 MW	145 MW
	Kola-3	WWER-440/213	1982	411 MW	
	Kola-4	WWER-440/213	1984	411 MW	
	Bilibino-1	LWGR EGP-6	1974	11 MW	
	Bilibino-2	LWGR EGP-6	1974	11 MW	90 MW
	Bilibino-3	LWGR EGP-6	1976	11 MW	
	Bilibino-4	LWGR EGP-6	1977	11 MW	
	Leningrad-1	RBMK-1000	1974	925 MW	
	Leningrad-2	RBMK-1000	1976	971 MW	700 MW
	Leningrad-3	RBMK-1000	1980	971 MW	
	Leningrad-4	RBMK-1000	1981	925 MW	
	Kursk-1	RBMK-1000	1977	971 MW	
	Kursk-2	RBMK-1000	1979	971 MW	700 MW
	Kursk-3	RBMK-1000	1984	971 MW	
	Kursk-4	RBMK-1000	1986	925 MW	
Rostów-1	WWER-1000/320	2001	990 MW	460 MW	
Rostów-2	WWER-1000/320	2010	990 MW		
Smoleńsk-1	RBMK-1000	1983	925 MW		
Smoleńsk-2	RBMK-1000	1985	925 MW	520 MW	
Smoleńsk-3	RBMK-1000	1990	925 MW		
Słowacja	Bohunice-3	WWER-440/213	1984	472 MW	147 MW
	Bohunice-4	WWER-440/213	1985	472 MW	

Szwajcaria	Beznau-1	PWR	1969	365 MW	76 MW
	Beznau-2	PWR	1971	365 MW	
	Gösgen-1	PWR	1979	985 MW	69 MW (łącznie)*
	Leibstadt-1	BWR	1984	1190 MW	
	Mühleberg-1	BWR	1971	372 MW	≈ 35 MW (średnio)
Węgry	Paks-1	WWER-440/213	1983	470 MW	37 MW
	Paks-2	WWER-440/213	1984	470 MW	37 MW
	Paks-3	WWER-440/213		470 MW	37 MW
	Paks-4	WWER-440/213	1986	470 MW	37 MW
			1987	470 MW	37 MW

* 57 MWt do zakładów przemysłowych i 12 MWt do miejskiej sieci ciepłowniczej
 źródło: opracowanie własne na podstawie: *Advanced Applications of Water Cooled Nuclear Power Plants* (IAEA TECDOC-1584), IAEA, Wiedeń 2007, s. 46-56; *Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2010. 2011 Edition*,

IAEA, Wiedeń 2011; *Economics of District Heating using Light Water Reactors*, H. Safa (CEA/DEN/DS), NEA/IAEA Workshop on Nuclear Cogeneration – Paris, 4-5 April 2013; *Experience of operating nuclear district heating in Switzerland*, R. Schmidiger (Axpo Power AG,), NEA/IAEA Workshop on Nuclear Cogeneration – Paris, 4-5 April 2013; *Experience*

of Operating Nuclear District Heating in Russia, V. Sozoniuk (NEA/OECD), NEA/IAEA Workshop on Nuclear Cogeneration – Paris, 4-5 April 2013; <http://atom.edu.pl/index.php/technologie/nie-tylko-prad/cieplownictwo.html> ; <http://en.dunkerqueing.com/medias/news/events/josephine-la-peule-or-the-baptism-of-a-tunnelling-machine-282094>.

Tabela 24.

Techniczne możliwości odzysku pierwiastków z wody morskiej w instalacji opartej o odwróconą osmozę o wydajności 168 000 m³/dobę.

Pierwiastek	Zawartość w wodzie morskiej (mg/litr)	Ilość możliwa do pozyskania (t/rok)	Główne zastosowanie
Na	10 500	1 500 000	Nawozy sztuczne
Mg	1 350	190 000	Produkcja metali
K	380	53 000	Nawozy sztuczne
Rb	0,12	17	Laser
P	0,07	10	Nawozy sztuczne
In	0,02	3	Produkcja metali
Cs	0,0005	0,07	Przemysł lotniczy
Ge	0,00007	0,01	Przemysł elektroniczny

źródło: *Status of Nuclear Desalination in IAEA Member States*, IAEA-TECDOC-1524, IAEA, Vienna, January 2007, s. 51

Tabela 25.

Wykaz instalacji odsalania wody morskiej podłączonych do elektrowni jądrowych.

Nazwa bloku jądrowego	Lokalizacja	Moc elektryczna netto (MW)	Wydajność instalacji odsalania (m ³ /dobę)	Typ reaktora
Ikata-1	Japonia	566	2 000	PWR
Ikata-2		566		PWR
Ikata-3	Japonia	890	2 000	PWR
Ohi-1	Japonia	1175	3 900	PWR
Ohi-2		1175		PWR
Ohi-3	Japonia	1180	2 600	PWR
Ohi-4		1180		PWR
Genkai-3	Japonia	1180	2x 1 000 (Genkai-4 podłączony do 2 instalacji)	PWR
Genkai-4		1180		PWR
Takahama-3	Japonia	870	1000	PWR
Takahama-4		870		PWR
Diablo Canyon-1	USA	1136	4 500	PWR
Diablo Canyon-2		1164		PWR
KANUPP	Pakistan	137	454	PHWR
Kalpakkam (NDDP)	Indie	170	6 300	PHWR
Szewczenko (wyłączony w 1999 r.)	Kazachstan	150	80 000	BN-350 (FBR)
Calvert Cliffs-3 (planowany)	USA	1710	4 700	EPR (PWR)
Braka-1 (planowany)	Zjednoczone Emiraty Arabskie	1390	b.d.	APR-1400 (PWR)
Braka-2 (planowany)		1390	b.d.	
Braka-3 (planowany)		1390	b.d.	
Braka-4 (planowany)		1390	b.d.	

źródło: opracowanie własne na podstawie: Status of design concepts of nuclear desalination plants, IAEA-TECDOC-1326, IAEA, Vienna, November

2002, s. 7; Environmental Impact Assessment of Nuclear Desalination, IAEA-TECDOC-1642, IAEA, Vienna, 2010, s. 110-111; IAEA Power Reactor

Information System; <http://world-nuclear.org/info/inf41.html>

konieczność wytworzenia dodatkowej ilości ciepła na potrzeby chłodu (1 MWh chłodu to ok. 2 MWh ciepła i 1 MWh energii elektrycznej wytworzonej w elektrociepłowni) – co jest korzystne z punktu widzenia wytwórców energii,

- jest korzystne pod względem ekologicznym, ponieważ pozwala wyeliminować szkodliwe dla środowiska czynniki chłodnicze stosowane w agregatach sprężarkowych.

Rynek chłodu w samej tylko Warszawie szacuje się na co najmniej 760 MW, a w skali kraju może to być wartość ok. 4500 MW. Pojedyncze instalacje do produkcji wody lodowej uruchomiono do tej pory w Zielonej Górze i Katowicach. Scentralizowane chłodnictwo istnieje w kilku miastach europejskich, w tym w Sztokholmie, Uppsali, Helsinkach i Berlinie.

6.3 Odsalanie wody morskiej

Elektrownie jądrowe w niektórych krajach są wykorzystywane do odsalania wody morskiej. W obecnym stuleciu będzie miało to duże znaczenie gospodarcze ze względu na coraz większy deficyt wody użytkowej. Według danych Eurostatu, Polska zajmuje 24. miejsce wśród 27 państw UE pod względem zasobów wody słodkiej przypadającej na mieszkańca. Na przeciętnego mieszkańca Polski przypada ok. 1700 m³ odnawialnej wody słodkiej rocznie, podczas gdy w tak suchych krajach jak Grecja i Portugalia jest to 6500-7000 m³. Problem będzie się pogłębiał w kolejnych dekadach, w tym również na Pomorzu, gdzie na skutek zmian klimatycznych roczne opady deszczu mogą zmniejszyć się nawet o 40%, powodując długotrwałe susze.

Z tego powodu dostęp do morza i zlokalizowana niedaleko elektrownia jądrowa z instalacją odsalania

wody morskiej może mieć duże znaczenie gospodarcze o zasięgu lokalnym, produkując wodę zarówno dla potrzeb komunalnych jak i przemysłowych. Instalacje odsalania, w zależności od typu, potrzebują do swoich procesów technologicznych dużych ilości ciepła i/lub energii elektrycznej. Odsalanie wody morskiej może być warte rozważenia szczególnie biorąc pod uwagę, że zasolenie wód Bałtyku jest relatywnie niewielkie i będzie spadało w kolejnych dekadach. Oznacza to, że koszty produkcji wody do celów komunalnych byłyby znacznie niższe niż w krajach z instalacjami pobierającymi wodę oceaniczną (Portugalia, kraje arabskie).

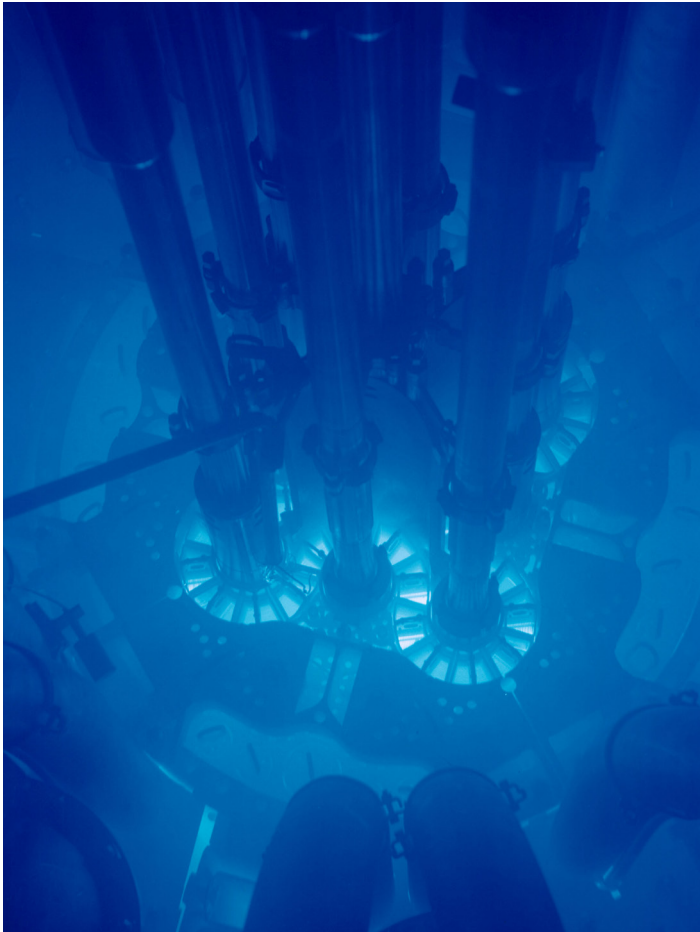
Instalacje odsalania wody morskiej podłączone do elektrowni jądrowych pracują w USA, Japonii, Pakistanie i w Indiach, planowane są również w krajach arabskich (Zjednoczone Emiraty Arabskie, Egipt, Arabia Saudyjska, Tunezja, Maroko) oraz w Rosji, Korei Południowej, Argentynie, Kanadzie i w Chinach.

Głównym zastosowaniem instalacji odsalania jest produkcja wody pitnej, ale z wody morskiej można również odzyskać wiele cennych pierwiastków, w tym m.in. sól, magnez, potas, rubid, fosfor, ind, cez, german, a nawet uran.

6.4 Badania naukowe

Energetyka jądrowa jest stymulatorem rozwoju wielu dziedzin nauki. Prace zlecane przez urząd dozoru jądrowego i operatora EJ instytutom badawczym, uczelniom wyższym i firmom dotyczą takich dziedzin jak fizyka jądrowa, chemia jądrowa, radiochemia, chemia polimerów, inżynieria materiałowa, informatyka, automatyka, elektronika, ochrona środowiska i gospodarka wodnosanitarna, i wiele innych. Wyniki badań i opracowane

w ich trakcie materiały, urządzenia, technologie, procedury przyczyniają się do usprawniania pracy EJ, podnoszenia jej poziomu bezpieczeństwa, ekonomii eksploatacji, niezawodności oraz zmniejszania wpływu na środowisko. Obecnie nie ma dostępnych analiz na temat wpływu programu energetyki jądrowej na polski sektor B+R, jednak biorąc pod uwagę doświadczenia innych państw (w podrozdziale 6.1.1. opisano wpływ produkcji radioizotopów na sektor B+R w Korei Południowej) można wysnuć wnioski, że będzie on znaczący i przyczyni się do utworzenia wielu nowych, dobrze płatnych, wyspospecjalistycznych (naukowcy i inżynierowie) i generujących dużą wartość dodaną miejsc pracy, w co najmniej kilkunastu dużych ośrodkach badawczych, w tym w instytutach i na uczelniach wyższych. Już teraz polscy studenci piszą prace dyplomowe w oparciu o badania i własne obserwacje przeprowadzane w zagranicznych elektrowniach jądrowych, np. w EJ Forsmark w Szwecji. Budowa EJ w Polsce da im możliwość prowadzenia badań w naszym kraju.



fot. 10.
Rdzeń reaktora badawczego ATR
w Idaho National Laboratory w USA
(fot. INL, CC BY 2.0)

7. Uproszczona symulacja wpływów z podatków do budżetu państwa

Obiekty jądrowe, zwłaszcza elektrownie, są istotnym źródłem dochodów budżetu państwa we wszystkich krajach eksploatujących tego typu instalacje. W niektórych krajach europejskich rentowność elektrowni jądrowych jest tak duża, że rządy obłożyły je bardzo wysokimi podatkami (mającymi różną formę), z których m.in. dotują odnawialne źródła energii (OZE) – na przykład w Niemczech, Belgii i Szwecji. Najbardziej drastycznym przykładem jest Belgia, gdzie zysk brutto wygenerowany przez elektrownie jądrowe obłożony został podatkiem w wysokości 50%.

Budowa i eksploatacja dwóch EJ o mocy ok. 6000 MW będzie znaczącym źródłem dochodów podatkowych budżetu państwa polskiego. Obrazuje to tabela nr 26, zawierająca wyniki obliczeń arkusza

kalkulacyjnego dla jednej EJ.

Liczyby te należy traktować bardzo ostrożnie, są one wynikiem przyjętych przez autora założeń, które niekoniecznie muszą się zmaterializować. Na obecnym etapie nie jest możliwe dokładne i wiarygodne oszacowanie spodziewanych dochodów podatkowych, gdyż będą one zależały od wielu czynników, takich jak choćby wartość kontraktu EPC, która będzie znana nie wcześniej niż w 2019 r. Niemniej jednak powyższe kwoty pokazują prawdopodobną skalę (rząd wielkości) potencjalnych dochodów podatkowych budżetu państwa.

W obliczeniach nie uwzględniono wpływów z podatków PIT grupy 1000 osób obsługi serwisowej, wpływów z podatku CIT od firm prowadzących działalność na po-

trzeby EJ i ich pracowników (przemysł kooperujący), wpływów ze zwiększonych dochodów krajowych instytucji finansowych i ubezpieczeniowych oraz wielu innych potencjalnych źródeł dochodów podatkowych budżetu państwa. Dokładne oszacowanie rozmiaru działalności gospodarczej, która może zostać wyindukowana jako efekt eksploatacji dwóch polskich EJ, jest obecnie niemożliwe ze względu na zbyt wczesny etap procesu inwestycyjnego i brak ostatecznych ustaleń w zakresie zaangażowania krajowego przemysłu. Pominęto także zatrudnienie pośrednie i indukowane. Tym niemniej ze wstępnych obliczeń wynika, że eksploatacja dwóch EJ może przynosić budżetowi państwa dochody podatkowe na poziomie powyżej 420 mln PLN₂₀₁₅ rocznie przez ok. 80 lat.

Tabela 26.

Dochody budżetu państwa z tytułu podatków za jedną EJ o mocy 3600 MW brutto (3× 1200 MW brutto).

Źródło dochodu	Wielkość dochodu (mln PLN ₂₀₁₅)	
	Faza budowy EJ (2025/2026)*	Faza eksploatacji EJ (2030/2031)*
Podatek dochodowy od osób prawnych	-	200,37
Podatek dochodowy od osób fizycznych	36,90	8,86
RAZEM	więcej niż 36,90	więcej niż 209,23

*w pierwszej kolejności podano rok osiągnięcia dochodu, a następnie rok rozliczenia podatkowego. Rok

budowy i rok eksploatacji przyjęto jako przykładowe daty, mogą one odbiegać od harmonogramu przy-

jętego przez inwestora.
źródło: obliczenia własne

Literatura, spis tabel, wykresów, zdjęć i rysunków

Literatura:

- Advanced Applications of Water Cooled Nuclear Power Plants (IAEA TECDOC-1584), IAEA, Wiedeń 2007
- Budowa bloków nr 5 i 6 w PGE Elektrowni Opole – Raport o oddziaływaniu na środowisko – Aneks nr 2. Opis techniczny, Energoprojekt-Warszawa S.A.
- Climate change and nuclear power. 2008 edition, International Atomic Energy Agency, Wiedeń 2009,
- Czy w Polsce istnieje realna szansa na chłód z central zasilanych ciepłem systemowym, Adam Smyk, Zbigniew Pietrzyk, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” nr 41/11 (2010) s. 400-407 [http://energiadlawarszawy.pl/sites/default/files/cieplownictwo_ogrzewnictwo_wentylacja_4111_2010.pdf]
- Development process of nuclear power industry in a developing country: Korean experience and implications, Chang Sup Sung, Sa Kyun Hong,
- “Technovation” nr 19 (1999), Pergamon Press, Oxford 1999
- Doświadczenia firmy Vattenfall w wykorzystaniu ciepła do produkcji chłodu w Europie oraz plany wdrożenia tej technologii w Warszawie, Kamil Kobylński (Vattenfall Heat Poland S.A.), Adam Smyk (Stołeczne Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A.), Prezentacja

na warsztaty projektu Polysmart Warszawa dn. 19.01.2010.

- Doświadczenia po trzech latach eksploatacji bloku 460 MW w Elektrowni Łagisza, [w:] „Energetyka”, nr 1/2013, wyd. SEP
- Economic Benefits of the Duke Power-Operated Nuclear Power Plants. An Economic Impact Study by the Nuclear Energy Institute, Nuclear Energy Institute, December 2004
- Economics of District Heating using Light Water Reactors, H. Safa (CEA/DEN/DS), NEA/IAEA Workshop on Nuclear Cogeneration – Paris, 4-5 April 2013
- EMITOR 2014. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2015
- EMITOR 2013. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2014
- EMITOR 2012. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2013
- EMITOR 2011. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, wrzesień 2012
- EMITOR 2010. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrow-

- niach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2011
- EMITOR 2009. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2010
- EMITOR 2008. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2009
- EMITOR 2007. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2008
- EMITOR 2006. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2007
- EMITOR 2005. Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, sierpień 2006
- Environmental Impact Assessment of Nuclear Desalination, IAEA-TECDOC-1642, IAEA, Vienna, 2010
- Experience of Operating Nuclear District Heating in Russia, V. Sozoniuk (NEA/OECD), NEA/IAEA Workshop on Nuclear Cogeneration – Paris, 4-5 April 2013

- Experience of operating nuclear district heating in Switzerland, R. Schmidiger (Axpo Power AG,), NEA/IAEA Workshop on Nuclear Cogeneration – Paris, 4-5 April 2013
- Fourteen lessons learned from the successful nuclear power program of the Republic of Korea, Sungyeol Choi, Eunju Jun, Ilsoon Hwang, Anne Starz, Tom Mazour, SoonHeung Chang, Alex R. Burkart, Energy Policy 37 (2009) 5494–5508, wyd. Elsevier
- Gospodarka ubocznymi produktami spalania w PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., Szulc W., PGE GiEK S.A. 2013
- KEPCO: Korea Enters the Global Nuclear Power Market, HONG Sun-Young, "SERI Quarterly" (January 2011)
- Krajowy Raport Inwentaryzacyjny 2015, tabela 10s2 (załącznik w formacie .xls), KOBiZE, Warszawa, październik 2015
- Nuclear power situation in Korea, IAEA TM on Country Nuclear Power Profiles, KNA, Wiedeń, 11 maja 2016 (https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2016/2016-05-10-05-13-NPES/Country_pres/Korea_Nuclear_Power_Situation_in_Korea_Suksoon_CHAE.pdf)
- Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea, IAEA, Wiedeń 2009
- Ocena potencjału redukcji emisji gazów cieplarnianych w Polsce do roku 2030, McKinsey&Company, Warszawa 2010
- Operating Experience with Nuclear Power Stations in Member States in 2010. 2011 Edition, IAEA, Wiedeń 2011
- PGE GiEK S.A. Deklaracja środowiskowa EMAS. Oddział Elektrownia Opole, wydanie VIII, 2015
- PGE GiEK S.A. Oddział Zespół Elektrowni Dolna Odra. Deklaracja środowiskowa EMAS, wydanie VIII, 2015
- Projekt budowlany budowy bloku energetycznego 833 MW w BOT Elektrownia Bełchatów S.A. Z-398 Tom 3 – Raport o oddziaływaniu na środowisko. Zeszyt 01 – Opis techniczny, Energoprojekt-Katowice S.A., Katowice 2004
- Raport o oddziaływaniu nowego bloku energetycznego w PKE S.A. Elektrownia Jaworzno III na środowisko, Wesołowski M., Szubert E., Steuer E., Drzozga K., Pitsz P., Katowice, czerwiec 2010
- Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, H.J. Bolle, M. Menenti, S.S. al Vesuvio, S.I. Rasool, c/o International Baltic Earth Secretariat, Helmholtz-Zentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, Germany, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2015
- Spotkanie z promieniotwórczością, L. Dobrzyński, E. Droste, R. Wołkiewicz, Ł. Adamowski, W. Trojanowski, Instytut Problemów Jądrowych, Otwock-Świerk, listopad 2010
- Sprężarkowo czy adsorpcyjnie? Metody produkcji chłodu przy pomocy ciepła sieciowego, M. Malicki, „Energetyka ciepła i zawodowa” nr 5/2013
- Status of design concepts of nuclear desalination plants, IAEA-TECDOC-1326, IAEA, Vienna, November 2002
- Status of Nuclear Desalination in IAEA Member States, IAEA-TECDOC-1524, IAEA, Vienna, January 2007
- „Sytuacja Techniczno-Ekonomiczna Sektora Elektroenergetycznego. IV kwartały 2015”, Biuletyn Kwartalny, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, marzec 2016
- „Sytuacja Techniczno-Ekonomiczna Sektora Elektroenergetycznego. IV kwartały 2014”, Biuletyn Kwartalny, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, marzec 2015
- „Sytuacja Techniczno-Ekonomiczna Sektora Elektroenergetycznego. IV kwartały 2012”, Biuletyn Kwartalny, Agencja Rynku Energii S.A., Warszawa, marzec 2013
- TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Siersza w Trzebini. Deklaracja środowiskowa za rok 2014, Kwiatkowski M., Dudzic K., maj 2014
- TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Jaworzno III w Jaworznie. Deklaracja środowiskowa za rok 2013, Błaszczak E., Wójcik J., Jaworzno, maj 2014 (http://www.tauron-wytwarzanie.pl/SiteCollectionDocuments/iso/emas2014_jaworzno3_www.pdf)
- TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Łaziska w Łaziskach Górnych. Deklaracja środowiskowa za rok 2014, Łaziska Górne, maj 2015 (http://emas.gdos.gov.pl/files/artykuly/24009/Deklaracja_2015/2015_DS_TAUON_LAZISKA.pdf)
- TAURON Wytwarzanie Spółka Akcyjna – Oddział Elektrownia Łagisza w Będzinie. Deklaracja środowiskowa za rok 2014, Wójdak A., Będzin, maj 2015 (http://emas.gdos.gov.pl/files/artykuly/24009/Deklaracja_2015/2015_DS_TAUON_LAGISZA.pdf)
- The Canadian Nuclear Industry: Contributions to the Canadian Economy, Govinda Timilsina, Thorn Walden, Paul Kralovic, Asghar Shahmoradi, Abbas Naini, David McColl, Phil Prince, Jon Rozhon, Canadian Energy Research Institute, June 2008
- The fleet effect: The economic benefits of adopting a fleet approach to nuclear new build in the UK, PwC, 2012
- Fortum Power Division Loviisa Power Plant (prezentacja Fortum), (<http://www.eud.org.tr/EN/Genel/dg.ashx?DIL=2&BELGEANA-H=332&DOSYASIM=Loviisa-presentation-9.pdf>)

Bruckner T., I.A. Bashmakov, Y. Mulugetta, H. Chum, A. de la Vega Navarro, J. Edmonds, A. Faaij, B. Fungtammasan, A. Garg, E. Hertwich, D. Honnery, D. Infield, M. Kainuma, S. Khennas, S. Kim, H.B. Nimir, K. Riahi, N. Strachan, R. Wisser, and X. Zhang, 2014: Energy Systems. [w:] Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Korean Electric Power Statistics Information System (EPSIS) (<https://epsis.kpx.or.kr>)
- IAEA Power Reactor Information System (<https://www.iaea.org/pris/>)
- IEA Energy Statistics (<http://www.iea.org/statistics/statistics-search/report/?year=2013&country=KOREA&product=Electricity-andHeat>)
- World Bank Energy Statistics (<http://databank.worldbank.org>)
- US Nuclear Power Policy (<http://world-nuclear.org/info/inf41.html>)
- WNA Radioisotopes in medicine (<http://world-nuclear.org/info/inf55.html>)
- WNA Radioisotopes in industry (<http://world-nuclear.org/info/inf56.html>)
- World Nuclear Association (<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/South-Korea/>)
- <http://atom.edu.pl/index.php/technologie/nie-tylko-prad/cieplownictwo.html>
- <http://budownictwo.wnp.pl/bez-trudnych-i-kosztownych-inwestycji-moze-dojsz-do-blacko->

utu,273919_1_0_0.html

- http://budownictwo.wnp.pl/bez-trudnych-i-kosztownych-inwestycji-moze-dojsz-do-blacko-utu,273919_1_0_0.html
- <https://elbelchatow.pgegiek.pl/index.php/technologie/wielkosci-emisji-zanieczyszczen/>
- <http://en.dunkerquellng.com/medias/news/events/josephine-la-peule-or-the-baptism-of-a-tunnelling-machine-282094.html&return=282095>
- http://energetyka.wnp.pl/nowe-technologie-energetyczne-to-nie-science-fiction,223210_1_0_0.html
- http://energetyka.wnp.pl/znamy-skale-sierpniowych-ograniczen-dostaw-pradu,257494_1_0_0.html
- <http://raportcsr.enea.pl/2014/pl/srodowisko/emisje>
- <http://zepak.com.pl/pl/o-firmie/struktura-paliw/elektrownia-patnow-ii.html>
- <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rachunki-narodowe/roczne-rachunki-narodowe/produkt-krajowy-brutto-w-2015-r-szacunek-wstepny,2,5.html>
- <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ceny-handel/wskazniki-cen/wskazniki-cen-towarow-i-uslug-konsumpcyjnych-pot-inflacja-/roczne-wskazniki-cen-towarow-i-uslug-konsumpcyjnych-w-latach-1950-2014/>
- <http://world-nuclear.org/info/inf81.html>
- <http://www.inflation.eu/inflation-rates/south-korea/historic-inflation/cpi-inflation-south-korea.aspx>
- <https://www.ecb.europa.eu/stats/exchange/eurofxref/html/eurofxref-graph-krw.en.html>
- http://www.pse.pl/index.php?did=2870#t6_2
- <http://www.elturow.pgegiek.pl/index.php/ochrona-srodowiska/ochrona-powietrza-atmosferycznego/>
- <http://www.energaostroleka.pl/1546.xml>
- [-%C5%9Brodowiska/](http://www.gdfsuez-energia.pl/artukul/738914/O-NAS/Ochrona-</div><div data-bbox=)

- <http://www.elturow.pgegiek.pl/index.php/ochrona-srodowiska/ochrona-powietrza-atmosferycznego/>
- <https://www.oecd.org/sti/ind/48350231.pdf>
- http://www.pse.pl/index.php?did=2870#t6_1
- http://www.wnp.pl/artykuly/nowe-moce-nowe-prady,262028_0_0_1_0.html
- <http://www.elturow.pgegiek.pl/index.php/ochrona-srodowiska/ochrona-powietrza-atmosferycznego/>
- <http://www.cire.pl/item,114130,1,0,0,0,0,ec-zielona-gora-uruchomila-produkcje-chlodu.html>
- <http://www.world-nuclear-news.org/C-Cool-running-reactor-fleets-0801141.html>
- http://www.wnp.pl/artykuly/nowe-moce-nowe-prady,262028_0_0_1_0.html

Tabele

- Tabela 1. Okres w latach na jaki wystarczy uranu przy obecnej mocy elektrowni jądrowych z uwzględnieniem różnych kategorii zasobów i technologii cyklu paliwowego.
- Tabela nr 2. Wskaźniki emisji CO₂ wybranych polskich elektrowni węglowych oraz pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.
- Tabela 3. Wielkość redukcji emisji CO₂ nowych wysokosprawnych bloków na węgiel kamienny i brunatny w stosunku do starych bloków z lat 60-tych i 70-tych o najniższych emisjach (odpowiednio wg paliw Elektrownia Koźienice, Elektrownia Turów) i najwyższych emisjach (odpowiednio wg paliw Elektrownia Ostrołęka B, Elektrownia Bełchatów bloki 1-12) oraz w stosunku do krajowej średniej emisyjności elektrowni opalanych tym samym paliwem.
- Tabela 4. Wielkość emisji CO₂ unikniętych dzięki eksploatacji

dwóch elektrowni jądrowych w odniesieniu do różnych wariantów technologicznych alternatywnej eksploatacji elektrowni węglowych. Do porównań wybrano węglowe bloki energetyczne o najniższych wskaźnikach emisji CO₂.

- Tabela 5. Porównanie PKB (w cenach bieżących, USD), PKB na mieszkańca i rocznego przyrostu PKB w Korei Południowej i w Polsce na przestrzeni lat 1980-2014.
- Tabela 6. Jądrowe bloki energetyczne w Korei Południowej.
- Tabela 7. Działy gospodarki, na które bezpośrednio wpływa sektor jądrowy na etapach budowy i eksploatacji EJ. Kolorem zielonym zaznaczono działy, na które wpływa przemysł EJ, a czerwonym pozostałe.
- Tabela 8. Sumaryczny wkład energetyki jądrowej w PKB Korei Południowej w 2005 roku.
- Tabela 9. Wpływ budowy EJ na poszczególne działy gospodarki.
- Tabela 10. Wartość produkcji oraz wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei, dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).
- Tabela 11. Wartość produkcji oraz wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei wytworzone dzięki eksploatacji 20 bloków jądrowych w 2005 roku.
- Tabela 12. Zestawienie szacowanej wartości dodanej wytworzonej w 2005 roku w gospodarce Korei na skutek budowy 1 bloku energetycznego w alternatywnej technologii: w elektrowni na węgiel kamienny, elektrowni gazowej (gaz importowany w postaci skroplonej LNG) i elektrowni jądrowej.
- Tabela 13. Porównanie wielkości wkładu energetyki jądrowej do PKB Korei Płd. z hipotetycznym wkładem energetyki konwencjonalnej w przypadku, gdyby zastąpiła ona

energetykę jądrową w 2005 r.

- Tabele 14-15, rysunek 1. Schemat przedstawiający założenia planu zwiększenia możliwości przemysłu koreańskiego w zakresie projektowania, produkcji urządzeń i budowy obiektów jądrowych.
- Tabela 16. Zatrudnienie w sektorze jądrowym Korei Płd. w 2013 r.
- Tabela 17. Elektrownie jądrowe należące do firmy Duke Power/ Duke Energy.
- Tabela 18. Zastosowanie radioizotopów reaktorowych w medycynie.
- Tabela 19. Zastosowanie radioizotopów reaktorowych w przemyśle.
- Tabela 20. Wkład radioizotopów do sprzedaży produktów powstałych z ich wykorzystaniem w poszczególnych działach gospodarki Korei w 2005 roku.
- Tabela 21. Wartość produktów i usług oraz wartość dodana wynikająca z wykorzystania radioizotopów w przemyśle, sektorze medycznym i badaniach naukowych (B+R) w Korei Płd. w 2005 roku (przeliczone na EUR2015).
- Tabela 22. Podstawowy materiał tarczowy napromieniany w reaktorze „Maria”.
- Tabela 23. Elektrociepłownie jądrowe na świecie.
- Tabela 24. Wykaz instalacji odsalania wody morskiej podłączonych do elektrowni jądrowych.
- Tabela 25. Techniczne możliwości odzysku pierwiastków z wody morskiej w instalacji opartej o odwróconą osmozę o wydajności 168 000 m³/dobę.
- Tabela 26. Dochody budżetu państwa z tytułu podatków za jedną EJ o mocy 3600 MW brutto (3× 1200 MW brutto).

Wykresy

- Wykres 1. Krzywa kosztów redukcji emisji gazów cieplarnianych dla Polski w 2030 roku wg

McKinsey&Company.

- Wykres 2. Porównanie emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia dla różnych źródeł energii elektrycznej w raporcie IPCC.
- Wykres 3. Wskaźniki emisji CO₂ wybranych polskich elektrowni węglowych oraz planowanych elektrowni jądrowych na tle poziomów emisji (osobno dla węgla brunatnego i węgla kamiennego) wymaganych dla osiągnięcia celu redukcji o 43% (tzw. Drugi Pakiet Klimatyczny).
- Wykres 4. Emisje gazów cieplarnianych w polskiej energetyce zawodowej w latach 2004-2014.
- Wykres 5. Emisje jednostkowe gazów cieplarnianych w polskiej energetyce zawodowej (elektrownie i elektrociepłownie opalane węglem kamiennym, węglem brunatnym, gazem ziemnym i biomasą) w latach 2006-2014.
- Wykres 6. Wskaźniki emisji CO₂ na 1 MWh energii elektrycznej w elektrowniach na węgiel brunatny (EWb) oraz elektrowniach i elektrociepłowniach na węgiel kamienny (EWk). Na wykresie zaznaczono momenty uruchomienia nowych wysokosprawnych jednostek wytwórczych na parametry nadkrytyczne.
- Wykres 7. Udział OZE w strukturze produkcji energii elektrycznej w Polsce na tle emisji CO₂ przez sektor elektroenergetyczny w latach 2002-2015.
- Wykres 8. Udział poszczególnych paliw w produkcji energii elektrycznej w Korei Południowej w 2013 r.
- Wykres 9. Wartość produkcji w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).
- Wykres 10. Udział produkcji w poszczególnych działach gospodarki Korei wytworzonej

dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).

- Wykres 11. Wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).
- Wykres 12. Udział wartości dodanej w poszczególnych działach gospodarki Korei wytworzonej dzięki budowie (tj. dzięki procesowi budowlanemu) 1 bloku jądrowego w 2005 roku (mld EUR2015).
- Wykres 13. Porównanie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej z różnych typów elektrowni na rynku hurtowym w Korei Południowej w 2015 roku.
- Wykres 14. Porównanie średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej z różnych typów elektrowni na rynku hurtowym w Korei Południowej w latach 2001-2015. Ceny bieżące w wonach koreańskich (KRW).
- Wykres 15. Wartość produkcji w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki eksploatacji 20 bloków jądrowych w 2005 roku.
- Wykres 16. Wartość dodana w wybranych działach gospodarki Korei wytworzona dzięki eksploatacji 20 bloków jądrowych w 2005 roku.
- Wykres 17. Porównanie produkcji i wartości dodanej wygenerowanych dzięki eksploatacji EJ oraz dzięki alternatywnej eksploatacji elektrowni opalanych paliwami kopalnymi w 2005 r.
- Wykres 18. Wzrost udziału przemysłu krajowego Korei Południowej w sektorze energetyki jądrowej na przestrzeni lat 1978-2013 liczony na podstawie wartości zamówień na urządzenia, prace budowlano-montażowe i usługi projektowania.
- Wykres 19. Udział poszczególnych branż w wielkości zatrudnie-

nia sektora jądrowego w Korei Płd. w 2013 r.

Wykres 20. Wartość sprzedaży Ośrodka Radioizotopów POLATOM w mln PLN (ceny bieżące) – tylko wyroby własne.

Zdjęcia

- Fot. 1. PGE Elektrownia Bełchatów opalana węglem brunatnym, jeden z największych emitentów CO₂ w Europie (fot. Kamil Porembiński, **CC BY-SA 2.0**)
- Fot. 2. EJ Wolsong w Korei Południowej (fot. Korea Wolsong NPP, **CC BY-SA 2.0**)
- Fot. 3. Stocznia Okpo w Korei Południowej. (fot. **gcaptain, CC BY-NC 2.0**)
- Fot. 4. EJ Catawba w USA, należąca do firmy Duke Power/Duke Energy. Widok od strony maszynowni. (fot. **US NRC, CC-BY-NC**)
- Fot. 5. EJ Clinton w USA. Reaktor energetyczny typu BWR produkuje również kobalt-60 i molibden-99 (fot. **Gary Cziko, CC BY-NC 2.0**)
- Fot. 6 i 7. Linia do produkcji i pakowania radiofarmaceutyków w OR POLATOM w NCBJ (fot. OR POLATOM/NCBJ)
- Fot. 8. Preparat Tektrotyd, stosowany w diagnostyce onkologicznej, produkowany w OR POLATOM NCBJ (fot. OR POLATOM/NCBJ).
- Fot. 9. Pojemnik na kapsułki I-131 i kapsułki wraz z aplikatorem do bezpiecznego podawania pacjentowi - produkowane w OR POLATOM NCBJ (fot. OR POLATOM/NCBJ)
- Fot. 10. Rdzeń reaktora badawczego ATR w Idaho National Laboratory w USA (fot. INL, **CC BY 2.0**)

Rysunki

- Tabele 14-15, rysunek 1. Schemat przedstawiający założenia planu zwiększenia możliwości przemysłu koreańskiego w zakresie projektowania, produkcji urządzeń i budowy obiektów jądrowych.

- Rysunek 2. Schemat obiegu wody i pary wodnej w projektowanym bloku kogeneracyjnym dla EJ Loviisa (blok nr 3) w Finlandii. Schemat dla wariantu PWR. (rys. Fortum).

W SERII UKAZAŁY SIĘ:

- 1.**
Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Korzyści na poziomie gospodarki narodowej.
- 2.**
Program jądrowy we Francji.
Program jądrowy w Wielkiej Brytanii.
- 3.**
Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Zatrudnienie.
- 4.**
Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Korzyści na poziomie lokalnym.
- 5.**
Wydobycie i produkcja uranu.
Program jądrowy na Ukrainie.
- 6.**
Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Udział polskiego przemysłu.
- 7.**
Program jądrowy w Republice Korei.
Program jądrowy w Chinach.
- 8.**
Jądrowy cykl paliwowy.
- 9.**
Reaktory jądrowe IV generacji.
Program jądrowy w Stanach Zjednoczonych
- 10.**
Program jądrowy w Federacji Rosyjskiej.

AUTORZY

Łukasz Sawicki

– pracownik Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Energii. Zajmuje się strategią programu energetyki jądrowej oraz analizami ekonomicznymi

Iliana Chwalińska

(autor podrozdziału 6.1.2.) – pracownik Ośrodka Radioizotopów POLATOM, będącego częścią Narodowego Centrum Badań Jądrowych



MINISTERSTWO ENERGII

