

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 26–31. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Wpływ pracy doświadczalnego reaktora jądrowego na krajowe środowisko naturalne

### Autorzy

Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak  
Marcin Jaskólski

### Słowa kluczowe

krajowy badawczy reaktor jądrowy, praca reaktora jądrowego a środowisko naturalne, ochrona radiologiczna a praca doświadczalnego reaktora jądrowego

### Streszczenie

W artykule, na podstawie raportów oceny stanu ochrony radiologicznej eksploatowanych źródeł technologii jądrowych, przedstawiono wpływ pracy doświadczalnego reaktora jądrowego na krajowe środowisko naturalne. Korzystając z analiz wyników pomiarów przeprowadzonych w ostatnich 15 latach, przedstawiono trendy zmian w wybranych elementach środowiska naturalnego na terenie i w otoczeniu ośrodka Świerk. Ponadto zaprezentowano wpływ wyników badań z piętnastoletniego okresu analizy ekologicznej na budowanie społecznego zaufania w przeddzień rozpoczęcia budowy pierwszej krajowej elektrowni jądrowej.

### Wstęp

Technologie jądrowe budzą wiele emocji w naszym społeczeństwie. W świetle wydarzeń w Czarnobylu w 1986 roku oraz w Fukushima w 2011 roku rodzą się wątpliwości i pytania o bezpieczeństwo tych technologii oraz ich wpływ na środowisko naturalne i ludność mieszkającą w otoczeniu obiektu bądź pracującą w samej elektrowni. W Polsce od 1958 roku eksploatowany jest badawczy reaktor jądrowy w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku pod Warszawą. Wieloletnie obserwacje pracy reaktora umożliwiają określenie wpływu jego eksploatacji na środowisko naturalne. Monitoringiem, analizą wyników pomiarów środowiskowych oraz ich archiwizacją zajmuje się Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, wchodzące obecnie w skład Narodowego Centrum Badań Jądrowych. Uzyskane w Laboratorium wyniki zostały przytoczone w niniejszym artykule.

Nieustanny monitoring radioekologiczny stanowi element bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radioekologicznej eksploatowanego reaktora oraz zapewnia właściwą pracę reaktora zgodnie z krajowymi i międzynarodowymi wytycznymi.

### 1. Krajowe technologie jądrowe

Pierwsze programy energetyki jądrowej w Polsce sięgają lat 50. XX wieku, kiedy to planowano budowę pierwszej elektrowni jądrowej oraz pierwszego polskiego okrętu o napędzie jądrowym. Jak wiadomo, przedsięwzięcie Elektrownia Jądrowa Żarnowiec w Budowie m.in. w wyniku referendum nie doczekało finalizacji.

Koniec lat 50. XX wieku to również okres prac nad rozruchem pierwszego polskiego reaktora badawczego. 14 czerwca 1958 roku został uruchomiony pierwszy krajowy (eksperymentalny wodny atomowy) reaktor badawczy o nazwie Ewa. Obiekt umożliwiał rozwój nauki w dziedzinie technik jądrowych. Ponad trzydziestoletni okres eksploatacji reaktora umożliwił m.in.: przeprowadzanie badań nad strukturami materiałowymi, wykorzystanie

technik jądrowych do diagnostyki i terapii medycznej oraz poszukiwanie ich nowych zastosowań przemysłowych, jak również prowadzenie wielu badań naukowych.

W 1974 roku uruchomiono drugi polski reaktor badawczy – Maria, nazwany na cześć naszej rodaczki, dwukrotnej laureatki Nagrody Nobla, Marii Skłodowskiej-Curie. Jest to jeden z ośmiu eksploatowanych reaktorów badawczych w Europie o mocy powyżej 15 MW i strumieniu neutronów większym niż  $1 \cdot 10^{14}$  (n/cm<sup>2</sup>·s). Reaktor Maria umożliwia m.in. kontynuację badań naukowych, wykorzystanie radioizotopów, przeprowadzanie badań na wiązkach neutronów, neutronografię, terapię neutronową oraz analizę aktywności. Czynniki techniczne i ekonomiczne, m.in. możliwość konfiguracji rdzenia pod kątem użytkownika, okres i efektywność eksploatacji, jak również lokalizacja obiektu z dala od dużych aglomeracji stanowią uzasadnienie dalszej pracy Marii. Przewiduje się jeszcze ponad dwudziestoletnią eksploatację tego obiektu. Eksploatacja obiektów jądrowych wymaga zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa i ochrony radiologicznej kraju. W tym celu powołano Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, aby sprawowało ochronę przed negatywnymi skutkami promieniowania jonizującego na społeczeństwo i osoby narażone zawodowo na skażenia radiologiczne. Laboratorium zdobyło ponad 50-letnie doświadczenie w zakresie zapewnienia właściwej ochrony radiologicznej, związanej w funkcjonowaniu technologii jądrowej w kraju, jak i wpływu obiektów eksploatowanych poza naszymi granicami.

### 2. Analiza wyników pomiarów badań środowiskowych na przestrzeni ostatnich 15 lat

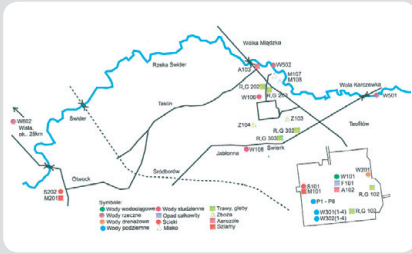
Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych (LPD) Narodowego Centrum Badań Jądrowych w ramach działań statutowych wykonuje pomiary i monitoring ośrodka w Świerku, czego efektem jest ocena stanu ochrony radiologicznej. W ramach

realizowanych badań dokonywana jest ocena: narażenia na promieniowanie jonizujące pracowników instytutu, ochrony ludności oraz środowiska naturalnego na terenie i w otoczeniu ośrodka w Świerku oraz Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie. W artykule przytoczono wyniki badań określające wpływ obiektów będących głównymi źródłami zagrożenia promieniowaniem w NCBJ na środowisko naturalne, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów reaktora Maria i byłego reaktora Ewa.

Jednym z monitorowanych obiektów jądrowych w ośrodku Świerk jest reaktor Maria, który w 2010 roku pracował 3803 godziny na mocy w zakresie 30 kW – 23 MW. Na terenie obiektu w basenie przechowawczym znajdują się przechowalniki wypalonego paliwa jądrowego typu MR-6, jak również magazyny świeżego paliwa typu MR-6. W czasie pracy reaktora prowadzona jest całodobowa obsługa dozymetryczna. Podczas wyłączeń prowadzona jest kontrola na pierwszej zmianie, zaś podczas wykonywania prac remontowych w warunkach zagrożenia radiologicznego kontrola wykonywana jest na obu zmianach. Wspomniana obsługa dozymetryczna obejmuje bieżącą kontrolę rejonów, pomieszczeń technologicznych i laboratoryjnych. Obsługa obejmowała m.in. pomiary rozkładu mocy dawek i skażeń promieniotwórczych, sprawdzenie stanu dozymetrycznego aparatury kontrolno-pomiarowej, sprzętu i środków ochrony. Tylko w 2010 roku wykonano 64 kontrolne pomiary wody, filtrów, gazów i wymazów, w tym 40 pomiarów próbek wody z basenu przechowawczego z obiegów pierwotnego i wtórnego obiegu reaktora. Ponadto prowadzone były systematyczne pomiary szczelności elementów paliwowych w specjalnie dedykowanym do tego celu systemie WNEP.

Kolejnym monitorowanym obiektem jądrowym jest budynek dawnego reaktora Ewa, wraz z komorą przeładunkową i z lokalnym magazynem, oraz wodne przechowalniki wypalonego paliwa typu EK-10.

W ramach oceny stanu ochrony radiologicznej w 2010 roku została przeprowadzona kontrola narażenia wewnętrznego pracowników. Pomiar aktywności radionuklidów znajdujących się wewnątrz organizmu wykonano na pracownikach reaktora Maria za pomocą licznika promieniowania ciała człowieka (LPCC). Poddano kontroli 82 osoby, przy czym wszyscy badani uzyskali skuteczną dawkę obciążającą znacznie poniżej 0,1 mSv (Sv – siwert, jednostka układu SI opisująca wielkości fizyczne odnoszące się do promieniowania jonizującego na organizmy żywe; 1 Sv = J/kg). Na terenie ośrodka w Świerku, na podstawie zatwierdzonego przez ówczesnego dyrektora IEA „Programu monitoringu radiologicznego na terenie i w otoczeniu ośrodka w Świerku”, wykonane zostały m.in. pomiary zawartości radionuklidów w próbkach środowiskowych. Mapę poboru próbek środowiskowych przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Miejsca poboru próbek środowiskowych na terenie i w otoczeniu ośrodka w Świerku [6]

Należy pamiętać, że na co dzień człowiekowi towarzyszą różne rodzaje promieniowania. Niektóre są wyczuwalne dla ludzkich zmysłów, jak np.: ciepło i światło, inne nie, jak np. promieniowanie jonizujące z nieba, ziemi, powietrza czy z żywności. Promieniowanie jonizujące to rodzaj promieniowania, które przenika przez materię, wywołując w obojętnych elektrycznie atomach zmiany ich ładunków elektrycznych. Podziału promieniowania jonizującego ze względu na zdolności przenikania można dokonać na: cząstki alfa, cząstki beta, promieniowanie gamma i promieniowanie X oraz neutrony. W tab. 1 zamieszczono zestawienie źródeł promieniowania oraz średniej dawki na świecie.

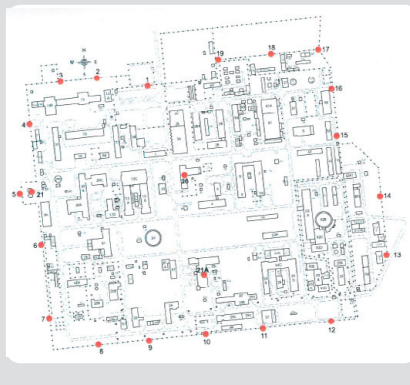
Do oceny radiacyjnej stanu środowiska spośród powyżej wymienionych wykorzystuje się m.in. poziom promieniowania gamma, który obrazuje narażenie zewnętrzne ludzi na naturalne i sztuczne źródła promieniowania jonizującego, istniejące w środowisku lub wprowadzone w wyniku działalności człowieka. Promieniowanie gamma charakteryzuje się dużą zdolnością przenikania przez materię. Barię przed tym rodzajem promieniowania mogą stanowić tylko materiały o dużej gęstości, np. ołów czy beton.

Wymogi bezpieczeństwa nakazują ciągły monitoring stanu ochrony radiologicznej źródła oraz jego otoczenia. Monitoring ośrodka realizowany jest za pomocą 22 punktów kontrolnych, z których zbierane są

Źródło promieniowania	Średnie dawki na świecie, mSv
Kosmiczne	0,39
Gamma	0,46
Wewnętrzne (od żywności i napojów)	0,23
Radon	1,3
Medyczne	0,3
Opad promieniotwórczy	0,007
Narażenie w pracy	0,002
Uwolnienie z obiektów jądrowych	0,001
Artykuły przemysłowe	0,0005
razem	2,69

Tab. 1. Zestawienie źródeł promieniowania (na podstawie Raportu Komitetu Naukowego Narodów Zjednoczonych ds. Skutków Promieniowania Atomowego – UNSCEAR 1996)

dane o aktualnym stanie ochrony. Miejsca kontroli tła promieniowania gamma na terenie ośrodka Świerk zamieszczono na rys. 2.



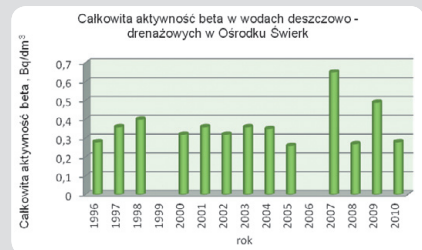
Rys. 2. Miejsca kontroli tła promieniowania gamma na terenie ośrodka w Świerku [6]

W ramach kontroli zanieczyszczeń promieniotwórczych środowiska przeprowadza się systematyczne pomiary radioaktywności wybranych elementów środowiska naturalnego, spośród których analizowane są m.in.: aerozole atmosferyczne z terenu i otoczenia ośrodka, wody powierzchniowe z rzek Wisła i Świder, wody wodociągowe (pitne) z terenu ośrodka, wody podziemne z terenu ośrodka, wody studzienne z okolicznych gospodarstw, wody drenażowo-deszczowe spływające z terenu ośrodka z rzeki Świder czy opad atmosferyczny z terenu ośrodka.

**Pomiary zawartości radionuklidów w próbkach środowiskowych**

Zawartość naturalnych i sztucznych izotopów promieniotwórczych w głównych komponentach środowiska naturalnego, a w konsekwencji w podstawowych artykułach spożywczych, pozwala ocenić narażenie

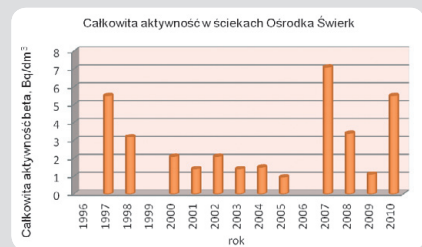
wewnętrzne ludzi w wyniku wchłonięcia izotopów drogą pokarmową. Na podstawie historycznych pomiarów można zaobserwować tendencje zmian w środowisku naturalnym wynikające ze współistnienia technologii jądrowej z krajowym ekosystemem. Analizy dokonano na podstawie wyników badań zamieszczonych w raportach oceny stanu ochrony radiologicznej [6] z ostatnich 25 lat. Opublikowano wyniki z lat 1996–2010, z pominięciem roku 1999 i 2006, z których nie ma danych. Wszystkie wartości zamieszczone na rys. 3–9 są średniorocznymi wartościami wyznaczonymi na podstawie danych uzyskanych z bieżącego monitoringu.



Rys. 3. Analiza całkowitej aktywności beta w wodach deszczowo-drenażowych na terenie ośrodka w Świerku, na podstawie [6]

Na rys. 3 przedstawiono wykres całkowitej aktywności beta zmierzonej w wodach deszczowo-drenażowych na terenie ośrodka Świerku w latach 1996–2010, sporządzony na podstawie raportów [6].

Cząstki beta, których całkowitą aktywność obserwowano w wodach deszczowo-drenażowych, charakteryzują się zdolnościami przenikania. Zatrzymać je można za pomocą cienkiej warstwy wody, szkła lub metalu. Stanowią zagrożenie, jeśli substancja emitująca promieniowanie przedostanie się do wnętrza organizmu. Zarejestrowane stężenia nuklidów promieniotwórczych w wodach deszczowo-drenażowych są znacznie niższe od limitów przyjętych przez Dozór Jądrowy [8] i nie przekraczają w ciągu ostatnich lat poziomu 0,7 Bq/dm<sup>3</sup>.

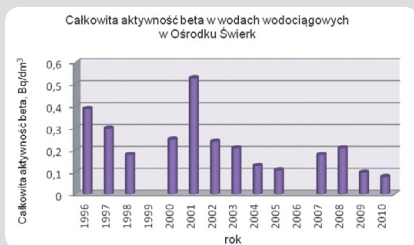


Rys. 4. Analiza całkowitej aktywności beta w ściekach z przepompowni ośrodka w Świerku na podstawie [6]

W 2010 roku z ośrodka Świerk zostało usuniętych ok. 82 700 m<sup>3</sup> ścieków ogólnych do kanalizacji, których równoważna całkowita aktywność wynosiła ok.

$4,2 \cdot 10^8$  Bq (Bq – bekerel, jednostka ciała promieniotwórczego), a średnia aktywność tygodniowa nie przekraczała  $0,81 \cdot 10^8$  Bq. Na aktywność równoważną składa się suma całkowitej aktywności: beta, gamma, alfa oraz aktywność strontu Sr-90. Na rys. 4 przedstawiono zestawienie całkowitej aktywności beta w ściekach ośrodka Świerk z ostatnich 15 lat, wyrażonej w Bq/dm<sup>3</sup> w odniesieniu do roku.

Zaobserwowane wartości aktywności nie przekroczyły maksymalnych dopuszczalnych aktywności równoważnych ścieków, które zgodnie z wymaganiami określonymi zarządzeniem ministra zdrowia i opieki społecznej EK/N-2112-45/63-65 z dnia 16.08.1965 roku nie mogą przekraczać  $4,2 \cdot 10^8$  Bq tygodniowo. Maksymalne stężenie równoważne ścieków przedstawione na rys. 4 nie przekracza  $7$  Bq/dm<sup>3</sup>, co jest wartością znacznie poniżej wytycznej z przytoczonego rozporządzenia, gdzie aktywność dopuszczalna została określona na poziomie  $3,7$  kBq/dm<sup>3</sup>.



Rys. 5. Analiza całkowitej aktywności beta w wodach wodociągowych w ośrodku w Świerku, na podstawie [6]

Powyższy rysunek przedstawia wykres średniorocznej całkowitej aktywności beta w wodach wodociągowych w ośrodku Świerk, która w analizowanym okresie nie przekroczyła poziomu  $0,6$  Bq/dm<sup>3</sup>. Zestawienie zostało przygotowane na podstawie analizy wyników pomiaru całkowitej aktywności beta w wodach wodociągowych w ośrodku Świerk na podstawie raportów za okres od 1996 do 2011 roku. Od 2001 roku widoczna jest tendencja obniżania całkowitej średniorocznej wartości aktywności beta. Przykładowo dla roku 2010 maksymalna wartość nie przekroczyła poziomu  $0,08$  Bq/dm<sup>3</sup>.

W ramach oceny ochrony dokonano analizy zawartości radionuklidów w wodach rzek Świder oraz Wisła. Dane historyczne, podobnie jak w przypadku wód wodociągowych, pokazują tendencję obniżania wartości średniorocznej całkowitej aktywności beta w wodach rzecznych wokół ośrodka Świerk, począwszy od 2000 roku, co zostało przedstawione na rys. 6. Podobną zmienność wartości całkowitej aktywności beta można zaobserwować w wodach Wisły. W obu przypadkach wartości zmierzone nie przekraczają  $0,35$  Bq/dm<sup>3</sup> na przestrzeni roku.

Oceny stanu powietrza dokonuje się m.in. na podstawie pomiaru wartości chwilowych promieniowania. Należy nadmienić, że promieniowanie gamma uwzględnia



Rys. 6. Analiza całkowitej aktywności beta w wodach rzecznych na terenie ośrodka w Świerku na podstawie [6]

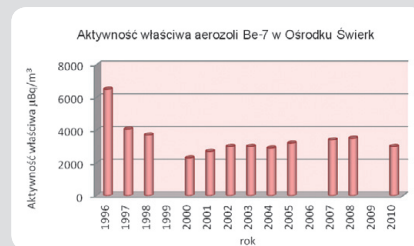
promieniowanie kosmiczne oraz ziemskie, które pochodzi od promieniotwórczych nuklidów zawartych w powierzchniowej warstwie gruntu. Główne rejestrowane zanieczyszczenia powietrza izotopami sztucznymi spowodowane były obecnością izotopu: cezu Cs-137 (stężenia aktywności na poziomie  $0,1$  do ok.  $14,6$   $\mu$ Bq/m<sup>3</sup> w roku 2010), berylu Be-7 oraz radonu Rn-222. Aktywności właściwe izotopów berylu i radonu wynosiły odpowiednio kilka milibekerei i kilka bekereli w metrze sześciennym. Poniżej w tab. 2 przedstawiono średnioroczne stężenie Cs-137 w powietrzu w Polsce, zaś na rys. 7 i 8 aktywności właściwe aerozoli Be-7 na terenie i w otoczeniu ośrodka Świerk.

Rok	Stężenie [ $\mu$ Bq/m <sup>3</sup> ]
1990	5,75
1991	5,5
1992	5
1993	4,75
1994	3,75
1995	2,25
1996	2,125
1997	1,5
1998	1,6
1999	1,5
2000	1,4

Tab. 2. Średnie roczne stężenie Cs-137 w powietrzu w Polsce [1]

Zestawienie pomiarów z tab. 2, na przykładzie dekady od 1990 do 2000 roku, prezentuje systematyczne obniżanie wartości stężenia Cs-137 w powietrzu na terenie kraju. Podobne wnioski dla okresu analizy z lat 1996–2010 można wysunąć na podstawie analizy aktywności właściwej aerozoli, na przykładzie berylu-7 zarówno w ośrodku Świerku jak i w jego otoczeniu. Wprawdzie na rys. 7 i 8 widoczna jest tendencja wzrostu wartości od 2000 roku do 2008 roku, to jednak ostatnie 3 lata wykazują tendencję spadkową. Dane zgromadzone na podstawie raportów stanu oceny ochrony radiologicznej pokazują, że w analizowanym okresie aktywność właściwa w powietrzu

ośrodka nie przekracza  $5000$   $\mu$ Bq/m<sup>3</sup>, zaś w samym ośrodku osiąga wartości poniżej  $8000$   $\mu$ Bq/m<sup>3</sup>.



Rys. 7. Analiza zawartości radionuklidów w aerozolach na terenie ośrodka w Świerku



Rys. 8. Analiza zawartości radionuklidów w aerozolach w otoczeniu ośrodka w Świerku

Na podstawie zgromadzonych danych można stwierdzić, że zawartość nuklidów promieniotwórczych w badanych elementach środowiska naturalnego w otoczeniu ośrodka nie uległa zmianie w porównaniu z wynikami historycznymi. Ponadto podsumowaniem oceny wpływu pracy krajowych reaktorów badawczych na środowisko naturalne jest raport za rok 2010 [6], w którym można znaleźć następujące stwierdzenie: „zawartości substancji promieniotwórczych w środowisku na terenie i w otoczeniu ośrodka w Świerku na ogół nie odbiegają od poziomów rejestrowanych w punktach odniesienia i innych miejscach kontrolowanych. Nie stwierdzono negatywnego wpływu na otaczające środowisko instalacji jądrowych i izotopowych ośrodka w Świerku”.

Rolę Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych w planowanej elektrowni jądrowej przejmie dział zajmujący się ochroną środowiska oraz ochrony radiologicznej, w ramach którego będzie funkcjonować laboratorium chemiczne obiegu pierwotnego i wtórnego, laboratorium pomiarów środowiskowych oraz zespół laboratoriów i pomieszczeń ochrony radiologicznej i sprzętu zapewniającego bezpieczną pracę w stanach normalnej, jak i awaryjnej pracy elektrowni jądrowej oraz podczas przeładunku paliwa.

**3. Aspekty ekologiczne jako jeden z czynników społecznych decydujących o rozwoju krajowej energetyki jądrowej**  
Jak każde przedsięwzięcie, inwestycje w sektorze energetycznym powinny wypracować dodatni przepływ finansowy w dłuższej perspektywie czasowej. Jednak argumenty ekonomiczno-technologiczne

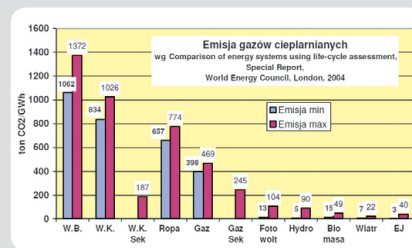
nie mogą być porównywalne z socjologicznymi. Wydarzenia w Czarnobylu oraz Fukushima znacząco naruszyły poczucie bezpieczeństwa obywateli naszego kraju w odniesieniu do eksploatacji bloków jądrowych na terenie Polski. Przykład szwedzkiej kampanii społecznej na rzecz uruchomienia składowiska odpadów promieniotwórczych pokazuje, jak długotrwałym procesem jest budowanie zaufania i pozytywnej opinii społecznej. Tylko właściwe działania marketingowe, poparte rzetelną wiedzą, mogą przekonać o bezpieczeństwie eksploatacji obiektów jądrowych. Przytoczone wyniki badań dowodzą, że jest możliwa bezpieczna praca doświadczalnego obiektu jądrowego w krajowych realiach, umożliwiającą rozwój nauki i przemysłu jądrowego, a jednocześnie pozwalającą mieć nadzieję, że podobnie będzie w planowanym obiekcie energetycznym – w elektrowni jądrowej.

W budowie pierwszej krajowej elektrowni warto wykorzystać wiedzę dotyczącą komunikacji ze społeczeństwem, wypracowaną i zgromadzoną m.in. podczas budowy elektrowni jądrowej Sizewell B w Wielkiej Brytanii, której eksploatację rozpoczęto w 1995 roku, czy nowych projektów, takich jak budowa bloku jądrowego w Hinkly Point C i Sizewell C. Już na wczesnym etapie planowania społeczność lokalna jest zaangażowana w konsultacje projektu. Ma wiedzę i świadomość dotyczącą procesu realizacji inwestycji oraz możliwości, jakie niesie za sobą budowa elektrowni jako obiektu przemysłowego. Świadomość zagrożeń oraz wysoki poziom bezpieczeństwa jądrowego jest wpajany od dziecka ludności mieszkającej w otoczeniu obiektu, co wpływa na budowanie społecznego zaufania. Pominięcie w procesie wprowadzania energetyki jądrowej do krajowego systemu energetycznego tak ważnego czynnika, jakim jest czynnik ludzki, może doprowadzić do ponownego wstrzymania planu budowy polskiej elektrowni jądrowej, ogromnych strat finansowych i zatrzymania rozwoju polskiej energetyki.

### Podsumowanie

Przytoczone wyniki badań monitoringu stanu ochrony radiologicznej eksploatowanych technologii jądrowych, jak również brak emisji tlenków siarki i azotu, pyłów czy toksycznych i rakotwórczych substancji chemicznych, stanowią argumenty przemawiające za budową elektrowni jądrowych w Polsce. Z punktu widzenia ekologicznego potwierdzają to również dane pochodzące ze studium Unii Europejskiej ExternE-Pol, prezentujące porównanie emisji gazów cieplarnianych podczas wytwarzania energii elektrycznej z wykorzystaniem różnych nośników energii pierwotnej, zawarte na rys. 9. Pośród porównywalnych nośników największy wpływ ma środowisko naturalne ma niewątpliwie węgiel kamienny oraz brunatny (trzy pierwsze słupki), zaś kolejne to gaz. Co ciekawe, nawet odnawialne źródła energii wykorzystujące siły natury, tj. wodę, wiatr czy biomasę, emitują dwutlenek węgla CO<sub>2</sub>. Na tym tle technologie jądrowe wydają się bardzo korzystnie.

Artykuł powstał w wyniku stażu naukowego odbywanego w ówczesnym Instytucie Energii Atomowej POLATOM w Świerku (obecnie Narodowe Centrum Badań Jądrowych, NCBJ) oraz gromadzenia materiału do realizacji rozprawy doktorskiej pt. „Analiza uwarunkowań rozwoju układów gazowych i gazowo-parowych na tle krajowej energetyki jądrowej”.



Rys. 9. Porównanie emisji gazów cieplarnianych podczas wytwarzania energii elektrycznej z wykorzystaniem różnych nośników energii pierwotnej

### Bibliografia

1. Atomistyka oraz bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna w Polsce w 2000 roku, prezes Państwowej Agencji Atomistyki, Warszawa 2001.
2. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, *Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki*, Warszawa 2008, nr 2 (72).
3. Bezpieczeństwo radiacyjne, Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa 2000.
4. Bouble R.W. i in., *Fundamentals of Air Pollution*, California 1994.
5. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, *Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki*, Warszawa 1997, nr 1–2.
6. Filipiak B. i in., Ocena stanu ochrony radiologicznej na terenie i w otoczeniu ośrodka jądrowego w Świerku oraz Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie, IEA POLATOM, Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, zbiór 25 raportów z lat 1986–2010.
7. Program polskiej energetyki jądrowej, projekt, Warszawa, 16 sierpnia 2010.
8. Filipiak B., Mlicki K., Nowicki K., Limity substancji promieniotwórczych wód deszczowo-drenażowych odprowadzanych do rzeki Świder oraz metodyka monitorowania tych wód, Instytut Problemów Jądrowych im. Sołtana, Świerk 1995.

### Podziękowania

Autorzy wyrażają podziękowanie za udostępnienie zbiorów biblioteki Narodowego Centrum Badań Jądrowych w postaci raportów dotyczących oceny stanu ochrony radiologicznej na terenie i w otoczeniu ośrodka jądrowego w Świerku oraz Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

### Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak

Politechnika Gdańska

e-mail: a.kaczmarek@eia.pg.gda.pl

Doktorantka i wykładowca na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Obszar zainteresowań: gospodarka skojarzona ciepło-elektryczna, energetyka gazowa oraz energetyka jądrowa.

### Marcin Jaskólski

dr inż.

Politechnika Gdańska

e-mail: mjask@ely.pg.gda.pl

Pracuje w Katedrze Elektroenergetyki Politechniki Gdańskiej. Obszar jego zainteresowań, oprócz zintegrowanego modelowania rozwoju systemów energetycznych, obejmują wykorzystanie odnawialnych zasobów energii i energetykę jądrową.