

Influence of operation of national experimental nuclear reactor on the natural environment

Authors

Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak
 Marcin Jaskólski

Keywords

national experimental nuclear reactor, operation of nuclear reactor on natural environment

Abstract

This paper presents the impact of experimental nuclear reactor operations on the national environment, based on assessment reports of the radiological protection of active nuclear technology sources. Using the analysis of measurements carried out in the last 15 years, the trends are presented in selected elements of the environment on the Świerk Nuclear Centre site and its surroundings. In addition, the impact of research results is presented from the fifteen year period of environmental analysis on building public confidence on the eve of the start of construction of the first Polish nuclear power plant.

Introduction

Nuclear technologies rouse many emotions in Polish society. In light of the events at Chernobyl in 1986 and Fukushima in 2011 doubts and questions are raised about the safety of these technologies and their impact on the environment and people living in the vicinity of such power plants, or working at them.

In Poland a research nuclear reactor has been in operation since 1958 at the Institute of Nuclear Research in Świerk, near Warsaw. Long-term observations of the reactor's operation substantiate the determination of its impact on the environment. Monitoring, analysis of environmental measurements, and their archiving has been provided by the Radiation Measurements Laboratory, which is now part of the National Centre for Nuclear Research. Results obtained at the Laboratory are reported in this paper.

Continuous radioecological monitoring is an element of the reactor's nuclear safety and radioecological protection, and ensures its proper operation in accordance with national and international guidelines.

1. Domestic nuclear technologies

The first nuclear power programs in Poland date back to the 1950s, when development of the first nuclear power plant and the first Polish nuclear-powered ship was planned. As it is known, the project of Żarnowiec Nuclear Power Plant Under Construction has not lived to see completion, one of the reasons being the negative result of a public opinion survey.

The end of the 1950s was also the time of work on the first Polish research reactor's commissioning. On June 14, 1958 the first Polish

(water experimental nuclear) research reactor, called Ewa, was commissioned. This facility enabled the development of science in the field of nuclear technology. In more than thirty years of its operation the reactor enabled: studies of material structures, application of nuclear techniques in medical diagnosis and treatment, and the search for their new industrial applications, as well numerous scientific research programmes.

In 1974 the second Polish research reactor was launched – Maria, named in honour of fellow Pole, and twice winner of the Nobel Prize, Maria Skłodowska-Curie. It is one of the eight research reactors operated in Europe with the capacity of over 15 MW and the neutron flux larger than $1 \cdot 10^{14}$ (n/cm²·s). The Maria reactor allows for the continuation of scientific research, use of radioisotopes, research of neutron beams, neutronography, neutron therapy, and activation analysis. Technical and economic factors, including the core's user-oriented configuration option, service life and operating effectiveness, as well as the facility's location far away from big cities, are the reasons for Maria's further operation. The facility is expected to operate for more than twenty years.

Operation of nuclear facilities requires an adequate level of safety and radiological protection of the country. For this purpose the Central Laboratory for Radiological Protection was set up to exercise the protection against harmful effects of ionizing radiation on the population and individuals professionally exposed to radioactive contamination. The Laboratory has over 50 years of experience in assuring proper radiological protection related to the operation of nuclear technology in the country, as well as to the impact of facilities operated beyond its borders.

2. Analysis of environmental measurement results from research in the last 15 years

The Radiation Measurements Laboratory (LPD) of the National Nuclear Research Centre as part of its statutory activities takes measurements at and provides monitoring of the centre in Świerk, resulting in the assessment of its radiological protection. As part of its research the Lab assesses: the Institute personnel's exposure to ionizing radiation, protection of the population and the environment on the site and in the surroundings of the centre in Świerk and the National Radioactive Waste Repository (KSOP) in Różan. This paper reports the results of environmental impact tests of the facilities, which are the main sources of radiation hazards at NCBJ, with particular consideration of the facilities of the Maria reactor and decommissioned Ewa reactor.

One of the nuclear facilities monitored at Świerk centre is the reactor, Maria, which in 2010 was operated for 3,803 hours at powers of 30 kW – 23 MW. In a wet storage pool on the facility site there are MR-6 type interim spent fuel storage facilities, as well as MR-6 type fresh fuel storage facilities. During the reactor operation a twenty-four hour dosimetry service is provided. At an outage inspection is conducted on the first shift, whereas during repair works in radiological emergency conditions inspection is performed on both shifts. The dosimetry service includes ongoing monitoring of areas, and of process and laboratory facilities. The service included measurements of the distribution of dose powers and radioactive contamination, inspection of the dosimetric status of control and measurement devices, and of overall and personal protective equipment. In 2010, 64 control measurements were performed of water, filters, gases, and swabs, including 40 measurements of water samples from the interim storage pool from the reactor's primary and secondary circuits. Moreover, systematic measurements of fuel elements' tightness were performed in the WNEP system dedicated for this purpose. Another monitored nuclear facility is the building of the decommissioned nuclear reactor, Ewa, along with the reloading chamber and local storage, and RK-10 type spent fuel wet interim storage facilities. In the framework of the 2010 radiological protection assessment, the internal exposure of personnel was inspected. Maria reactor's personnel were subjected to measurements of the activity of radionuclides inside human bodies taken with a whole body counter (WBC). 82 employees were inspected, while all subjects were administered a committed effective dose well below 0.1 mSv (Sv – sievert, an SI unit describing physical quantities relating to the ionizing radiation effect on living organisms, 1 Sv = J/kg).

On the site of Świerk centre, pursuant to "Radiological monitoring program on the site and in the surroundings of Świerk centre" approved by the then IEA director, the radionuclides concentration in environmental samples was measured. The environmental sampling map is shown in fig. 1.

It should be remembered that every day a man is exposed to various types of radiation. Some are perceptible to the human

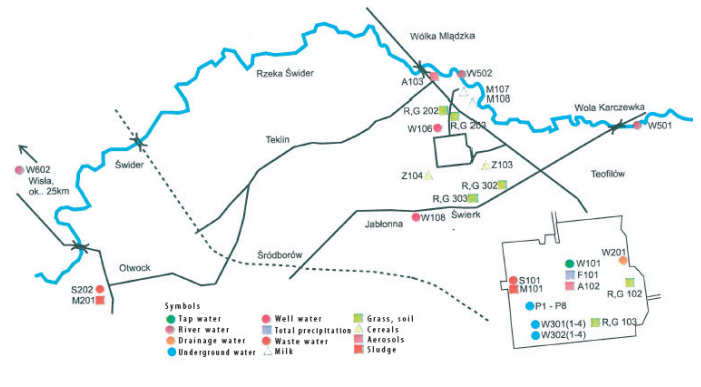


Fig. 1. Environmental sampling locations on the site and in the surroundings of Świerk centre [6]

senses, such as: heat and light, while others are not, such as ionizing radiation from the sky, earth, air, or food. Ionizing radiation is a type of radiation that penetrates matter, changing electrical charges of electrically neutral atoms. According to its penetration capacity, ionizing radiation can be divided into: alpha particles, beta particles, gamma rays and X-rays, and neutrons. In tab. 1 radiation sources and their world-wide average doses are listed.

Radiation source	World-wide average doses, mSv
Cosmic	0.39
Gamma	0.46
Internal (from food and beverages)	0.23
Radon	1.3
Medical	0.3
Fallout	0.007
Exposure at work	0.002
Release from nuclear facilities	0.001
Manufactured goods	0.0005
Total	2.69

Tab. 1. List of radiation sources (based on the report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR 1996)

Out of the above mentioned, gamma radiation is used for radiation evaluation of the environment, which reflects external exposure of people to natural and artificial sources of ionizing radiation existing in the environment or anthropogenic. Gamma radiation is highly capable of penetrating matter. Only a high-density material, such as lead or concrete, can screen off the radiation.

Safety requirements demand continuous monitoring of the radiological protection of a source and its surroundings. The centre is monitored in 22 control points, from which current protection status data is collected. Background gamma radiation control locations on the site of the Świerk centre are shown in fig. 2.

Under the control scheme of radioactive pollution of the environment the radioactivity of selected environmental elements is systematically measured, such as: atmospheric aerosols from the centre's site and surroundings, surface water from the Vistula and Świder rivers, tap (potable) water on the centre site, underground water on the centre site, well water from nearby farms, drainage/ rain water flowing out from the centre site to the Świder river, or precipitation from the centre site.

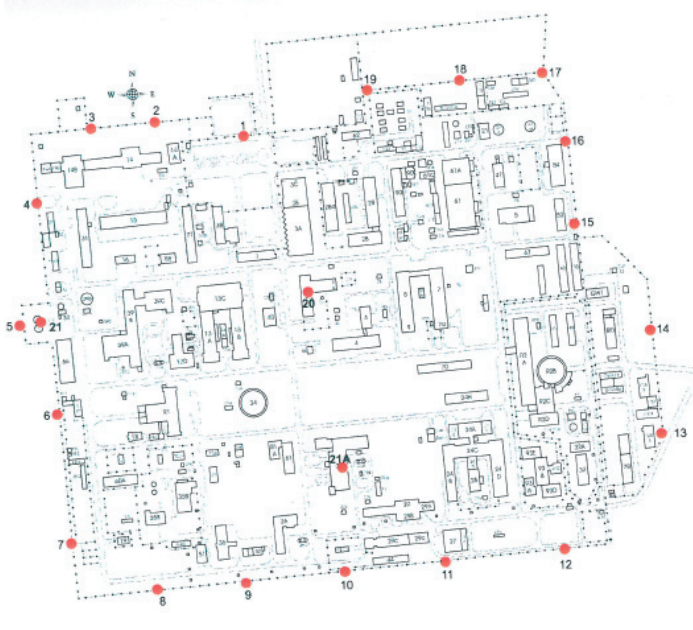


Fig. 2. Background gamma radiation control locations on the site of Świerk centre [6]

Measurements of radionuclide concentrations in environmental samples

Concentrations of natural and artificial radioactive isotopes in the main components of the environment and, consequently, in basic foods, allows assessing humans' internal exposure through oral absorption. Based on historical measurements, trends of changes in the environment resulting from the coexistence of nuclear technology with the domestic ecosystem can be observed.

The analysis was based on the findings contained in the reports of radiological protection assessment reports [6] for the last 25 years. Results from the years 1996–2010 were published, except for 1999 and 2006, for which there is no data. All values shown in fig. 3–9 are average annual values compiled on the basis of data obtained from the current monitoring.

Fig. 3 presents a chart of the total beta activity measured in rain/ drainage water on the Świerk centre site in 1996–2010, drawn up on the basis of the reports [6].

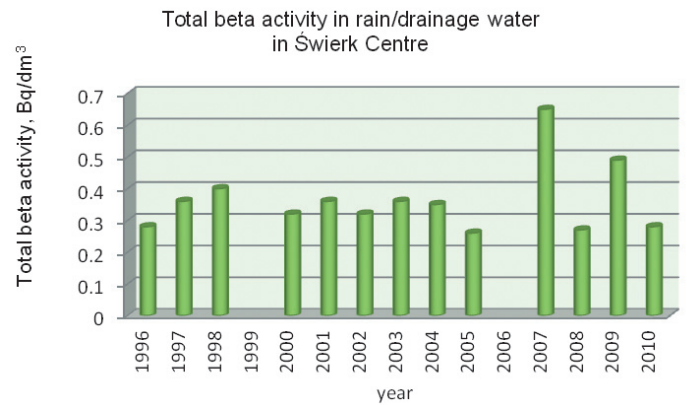


Fig. 3. Analysis of total beta activity in drainage water on Świerk centre site, on the basis of [6]

Beta particles, the total activity of which was observed in rain/ drainage water, feature penetration capabilities. They can be contained by a thin layer of water, glass, or metal. They pose a threat if a radiation emitting substance has penetrated inside the human body. The radionuclide concentrations recorded in the rain/drainage waters are much lower than the limits adopted by LPD Laboratory and approved by the Nuclear Supervision [8], and in the last few years did not exceed 0.7 Bq/dm^3 .

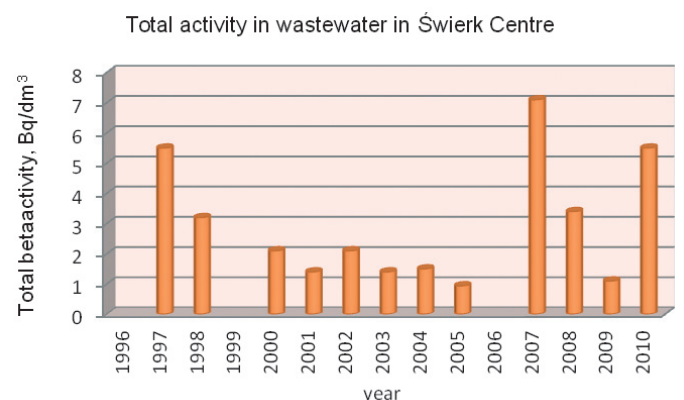


Fig. 4. Analysis of total beta activity in wastewater from Świerk centre pumping station, on the basis of [6]

In 2010, from the Świerk centre $82\,700 \text{ m}^3$ of general wastewater were disposed of to sewerage, the equivalent total activity of which amounted to ca. $4.2 \cdot 10^8 \text{ Bq}$ (Bq – Becquerel, a radioactive body unit) and the average weekly activity did not exceed $0.81 \cdot 10^8 \text{ Bq}$. The equivalent activity consists of the sum of total activities beta, gamma, alpha, and strontium Sr-90 activity. Fig. 4 summarizes the total beta activity in the Świerk Centre wastewater for the past 15 years, expressed in Bq/dm^3 in relation to the year.

No recorded activity exceeded the maximum permissible equivalent wastewater activity, which, in accordance with the requirements set by Regulation 08/16/1965 EK/N-2112-45/63-65 of the Minister of Health and Social Care of 16 August 1965, may not exceed weekly $2.6 \cdot 10^9 \text{ Bq}$. The maximum equivalent wastewater

concentration shown in fig. 4 does not exceed 7 Bq/dm³, which is well below the guideline value from the aforementioned Regulation, where the permissible activity was determined at 3.7 kBq / dm³.

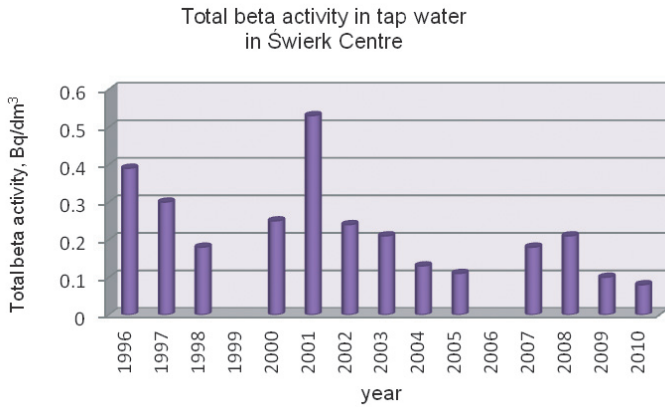


Fig. 5. Analysis of total beta activity in tap water in Świerk centre, on the basis of [6]

The figure above shows a graph of the annual average of total beta activity in tap water in the Świerk centre, which in the analysed period did not exceed 0.6 Bq/dm³. This summary was compiled on the basis of the results of analysis of total beta activity measured in tap water in the Świerk centre, based on reports for 1996–2011. Since 2001, a detrimental trend can be seen in the total annual average of beta activity. For example, the 2010 maximum did not exceed 0.08 Bq/dm³.

Under the protection assessment scheme the radionuclide concentrations in waters of the Świder and Vistula rivers were analysed. Historical data, as in the case of tap water, show a downturn trend of the annual average total beta activity in river waters near the Świerk centre, starting from 2000, as shown in fig. 6. A similar total beta activity variability can be seen in the Vistula River waters. In both cases, the measured values do not exceed 0.35 Bq/dm³ throughout one year.

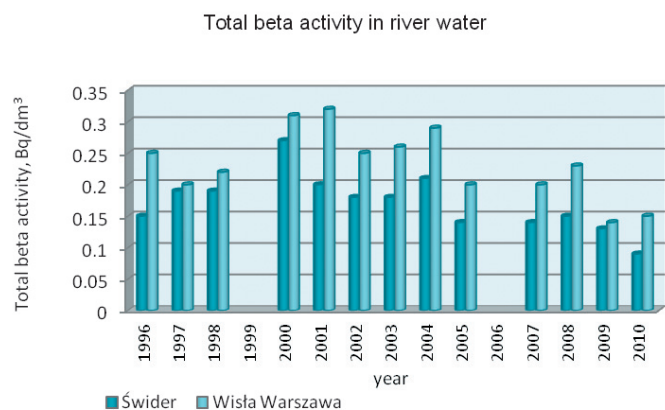


Fig. 6. Analysis of total beta activity in river water on Świerk centre site, on the basis of [6]

Air condition is assessed by measuring instantaneous radiation values, among other criteria. It should be noted that gamma radiation includes cosmic and earth radiation, which originates from radionuclides contained in the surface layer of soil. The recorded air pollution with artificial isotopes was mainly caused by the presence of the following isotopes: caesium Cs-137 (activity 0.1 – ca. 14.6 μBq/m³ in 2010), beryllium Be-7 and radon Rn-222. Specific activities of the beryllium and radon isotopes amounted to several milibecquerels and becquerels per cubic metre, respectively. Below, in tab. 2 the annual average concentration of Cs-137 in the air in Poland is presented, and in fig. 7 and 8 the specific activities of Be-7 aerosols on the site of the Świerk centre and in its surroundings.

year	concentration [μBq/m ³]
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. Annual average Cs-137 concentration in the air in Poland [1]

The summary of measurements in tab. 2, in the example of the decade 1990–2000, presents a systematic reduction in Cs-137 concentration in the air in Poland. Similar conclusions for the 1996–2010 analysis period can be drawn on the basis of the analysis of specific activity of aerosols, in the example of beryllium-7, both on the site of the Świerk centre and in its surroundings. Fig. 7 and 8 show an upward trend from 2000 to 2008, but in the last 3 years the trend has been declining. Data collected on the basis of reports of radiological protection assessment show that in the analysed period the specific activity did not exceed 5,000 μBq/m³ and 8,000 μBq/m³ in the centre's surroundings and on its site, respectively.

Specific activity of Be-7 aerosols in Świerk Centre

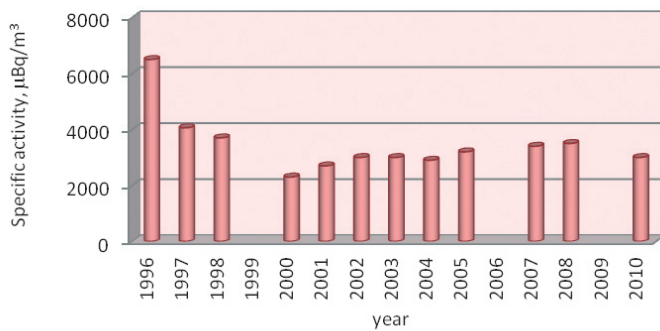


Fig. 7. Analysis of radionuclide concentrations in aerosols on the Świerk centre site

Specific activity of Be-7 aerosols in Świerk Centre

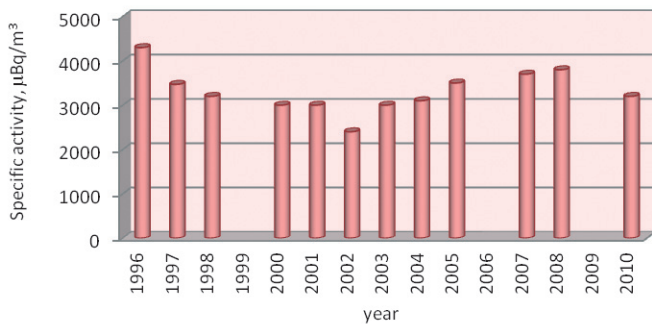


Fig. 8. Analysis of radionuclide concentrations in aerosols in Świerk centre surroundings

Based on the collected data, it appears that the radionuclide concentrations in the tested environmental elements in the centre surroundings have not changed in comparison with the past. In addition, a summary of the assessment of the environmental impact of domestic research reactors operations is in the 2010 report [6], which contains the following statement: "radioactive substance concentrations in the environment on the site and in the surroundings of the Świerk centre generally do not differ from the levels recorded in the reference points and other controlled locations. No negative impact of Świerk centre's nuclear and isotopic facilities on the surrounding environment was ascertained".

In the planned nuclear power plant the Radiation Measurements Laboratory's role will be taken over by an environmental and radiological protection department, the structure of which will accommodate a chemical laboratory of the primary and secondary circuit, environmental measurements laboratory, and a complex of radiological protection labs and facilities, and equipment that assures safe work in conditions of the nuclear plant's normal and emergency operations, as well as at fuel reloading.

3. Ecological aspects as a social factor of the domestic nuclear power generation development

Like any investment, a capex project in the energy sector should create a positive financial flow in the long term. However, the economic and technological reasons may not be comparable to sociological factors. The events at Chernobyl and Fukushima have significantly violated the sense of security of Polish citizens with regard to the operation of nuclear units on Polish territory. The example of the Swedish social campaign for the launch of a radioactive waste repository shows how long-term the process of building trust and positive public opinion is. Only appropriate marketing activities, supported by reliable knowledge, can convince of the safety of nuclear facility operations. The test results reported here show that it is possible to safely operate an experimental nuclear facility in the Polish realities, allowing the development of nuclear science and industry, and at the same time inspiring the hope that the same will be accomplished in the planned energy facility – a nuclear power plant.

In the development of the first Polish nuclear power plant it is worth leveraging on the knowledge of communication with the general public worked out and gathered, for instance, during the construction of the Sizewell B nuclear power station in the UK, which began operation in 1995, and new projects such as the construction of a nuclear power unit in Hinkly Point C and C Sizewell. Already at an early planning stage the local community is involved in the project consultation. It has the knowledge and awareness of the project development process and the opportunities that entails the construction of the power station as an industrial plant. Awareness of the risks and the high level of nuclear safety is instilled from childhood to the population living in the facility's surroundings, which affects building of social trust. Omission in the process of introducing nuclear power to the national energy system of such an important factor as the human factor could lead to re-suspension of the Polish plan to build a nuclear power plant, huge financial losses, and arrested development of the Polish energy sector.

Summary

The results of the monitoring of radiological protection of the operated nuclear technologies reported here, as well as the lack of emissions of sulphur and nitrogen oxides, particulate matter and toxic and carcinogenic chemicals, are arguments in favour of the construction of nuclear power plants in Poland. From the environmental point of view it is also confirmed with data from the ExternE-Pol study of the European Union presenting a comparison of the green house emissions at electricity generation from various primary energy carriers, presented in fig. 9. Among comparable carriers, hard coal and lignite have undoubtedly the largest environmental impact (first three bars), followed by gas. Interestingly, even renewable energy sources utilizing forces of nature, such as water, wind and biomass, emit carbon dioxide CO₂. In this context, nuclear technologies look very favourable.

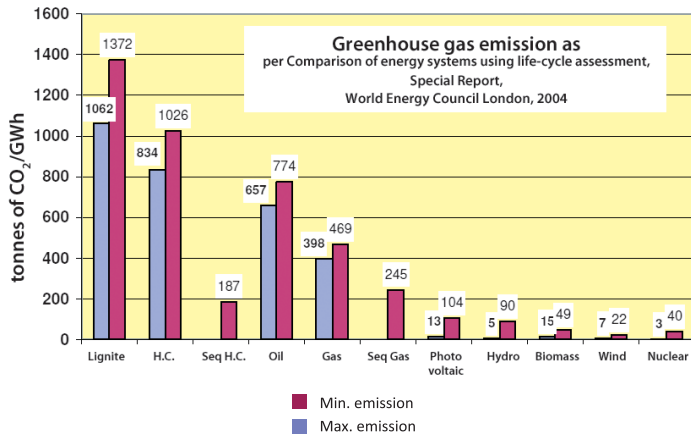


Fig. 9. Comparison of greenhouse gas emissions at electricity generation from various primary energy carriers

This paper was written as a result of a scientific internship at the then Institute of Atomic Energy POLATOM in Świerk (now National Centre for Nuclear Research, NCBJ) and collection of material for the doctoral dissertation “Analysis of determinants of the development of gas and gas-steam systems against the background of the domestic nuclear power sector”.

REFERENCES

1. Atomistyka oraz bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna w Polsce w 2000 roku, Chairman of the National Atomic Energy Agency, Warsaw 2001.
2. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, *Newsletter of the National Atomic Energy Agency*, Warsaw 2008, Issue 2 (72).
3. Bezpieczeństwo radiacyjne, National Atomic Energy Agency, Warsaw 2000.
4. Bouble R.W. et al., *Fundamentals of Air Pollution*, California 1994.
5. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, *Newsletter of the National Atomic Energy Agency*, Warsaw 1997, Issue 1–2.
6. Filipiak B. et al., Ocena stanu ochrony radiologicznej na terenie i w otoczeniu ośrodka jądrowego w Świerku oraz Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różaniu, IEA POLATOM, Radiation Measurements Laboratory, set of 25 reports from 1986–2010.
7. Program polskiej energetyki jądrowej, draft, Warsaw, 16 August 2010.
8. Filipiak B., Mlicki K., Nowicki K., Limity substancji promieniotwórczych wód deszczowo-drenażowych odprowadzanych do rzeki Świder oraz metodyka monitorowania tych wód, The Andrzej Soltan Institute for Nuclear Studies (IPJ), Świerk 1995.

Acknowledgement

The authors express their gratitude for the provision of library collections of the National Centre for Nuclear Research, in the form of reports on the evaluation of radiological protection on the site and in the surroundings of the Świerk nuclear centre and the National Radioactive Waste Repository in Różan.

The authors take no responsibility for translation of the paper from Polish to English.

Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak

Gdańsk University of Technology

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

PhD student at the Faculty of Electric Engineering and Automatics of Gdańsk University of Technology. Her main areas of interest include: heat and electricity cogeneration management, gas power engineering and nuclear power engineering.

Marcin Jaskólski

Gdańsk University of Technology

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

Works at the Power Engineering Department of Gdańsk University of Technology. His scientific interests, besides integrated modelling of power system development, include the use of renewable energy resources and nuclear power generation.

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/cm²·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 funkcjonowaniem 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

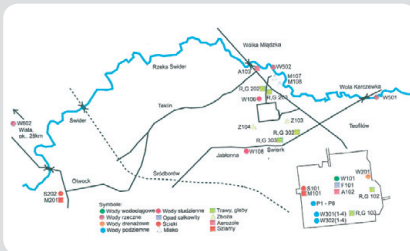
realizowanych badań dokonywana jest ocena: narażenia na promieniowanie jonizujące pracowników instytutu, ochrony ludności oraz środowiska naturalnego na terenie i w otoczeniu ośrodka w Świerku oraz Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie. W artykule przytoczono wyniki badań 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 wewnętrzznego 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.

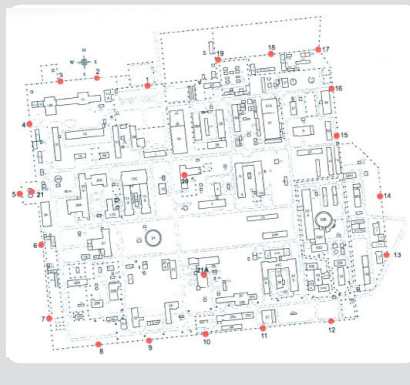
Do oceny radiacyjnej stanu środowiska spośród powyżej wymienionych wykorzystuje się m.in. poziom promieniowania gamma, który obrazuje narażenie zewnętrzne ludzi na naturalne i sztuczne źródła promieniowania jonizującego, istniejące w środowisku lub wprowadzone w wyniku działalności człowieka. Promieniowanie gamma charakteryzuje się dużą zdolnością przenikania przez materię. Bariere 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.



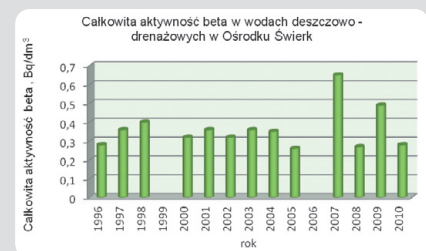
Rys. 2. Miejsca kontroli tła promieniowania gamma na terenie ośrodka w Świerku [6]

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 rzeki 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 do 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

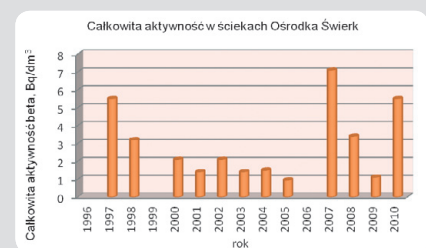
wewnętrzne ludzi w wyniku wchłonięcia izotopów drogą pokarmową. Na podstawie historycznych pomiarów można zaobserwować tendencje zmian w środowisku naturalnym wynikające ze współistnienia technologii jądrowej z krajowym ekosystemem. Analizy dokonano na podstawie wyników badań zamieszczonych w raportach 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/dm³.

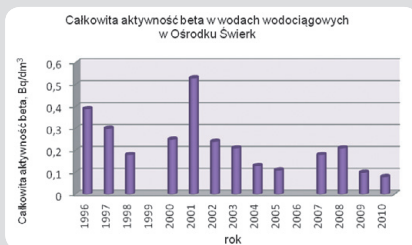


Rys. 4. Analiza całkowitej aktywności beta w ściekach z przepompowni ośrodka w Świerku na podstawie [6]

W 2010 roku z ośrodka Świerk zostało usuniętych ok. 82 700 m³ 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/dm³ 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/dm³, co jest wartością znacznie poniżej wytycznej z przytoczonego rozporządzenia, gdzie aktywność dopuszczalna została określona na poziomie 3,7 kBq/dm³.

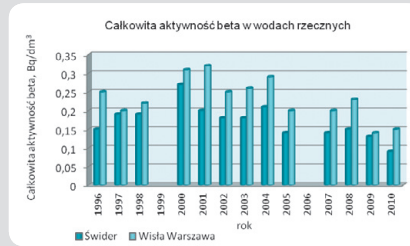


Rys. 5. Analiza całkowitej aktywności beta w wodach wodociągowych w ośrodku w Świerku, na podstawie [6]

Powyższy rysunek przedstawia wykres średniorocznej całkowitej aktywności beta w wodach wodociągowych w ośrodku Świerk, która w analizowanym okresie nie przekroczyła poziomu 0,6 Bq/dm³. 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/dm³.

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/dm³ 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]

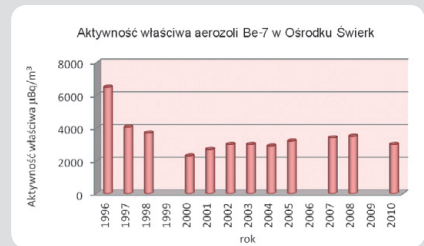
promieniowanie kosmiczne oraz ziemskie, które pochodzi od promieniotwórczych nuklidów zawartych w powierzchniowej warstwie gruntu. Główne rejestrowane zanieczyszczenia powietrza izotopami sztucznymi spowodowane były obecnością izotopu: cezu Cs-137 (stężenia aktywności na poziomie 0,1 do ok. 14,6 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ w roku 2010), berylu Be-7 oraz radonu Rn-222. Aktywności właściwe izotopów berylu i radonu wynosiły odpowiednio kilka milibekereli 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 [$\mu\text{Bq}/\text{m}^3$]
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 $5000 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$, zaś w samym ośrodku osiąga wartości poniżej $8000 \mu\text{Bq}/\text{m}^3$.



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



Rys. 8. Analiza zawartości radionuklidów w aerozolu 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

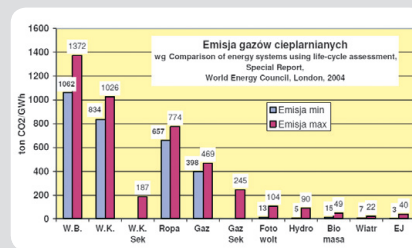
nie mogą być porównywalne z socjologicznymi. Wydarzenia w Czarnobylu oraz Fukushima znacząco naruszyły poczucie bezpieczeństwa obywateli naszego kraju w odniesieniu do eksploatacji bloków jądrowych na terenie Polski. Przykład szwedzkiej kampanii społecznej na rzecz uruchomienia składowiska odpadów promieniotwórczych 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 CO₂. Na tym tle technologie jądrowe wyglądają 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.