

# POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 64 Z. 3 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2021



## 60-LECIE KRAJOWEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

czytaj na str. 51, (fot. ZUOP)

# 3-2021

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ  
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

## SPIS TREŚCI NR 3/2021

WYWIAD PRZEDSTAWICIELI „POSTĘPÓW TECHNIKI JĄDROWEJ” Z PEŁNOMOCNIKIEM RZĄDU DS. STRATEGICZNEJ INFRASTRUKTURY ENERGETYCZNEJ, PIOTREM NAIMSKIM .....	2
WYBRANE ASPEKTY PRAWNE GOSPODARKI ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI Helena Turska .....	6
PRZEGLĄD TECHNOLOGII PRZETWARZANIA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH STOSOWANYCH PRZEZ ZUOP W POLSCE Jakub Żebrowski .....	15
HISTORIA ZREALIZOWANEGO PROJEKTU Grażyna Birnbaum .....	23
MODELOWANIE BIOFIZYCZNE POPROMIENNEGO EFEKTU SĄSIEDZTWA – CZĘŚĆ II Paweł Wysocki, Krzysztof W. Fornalski .....	25
LUMINESCENCYJNE DATOWANIA W BADANIACH GEOARCHEOLOGICZNYCH Tomasz Kalicki, Wojciech Głuszewski, Marcin Frączek, Paweł Przepióra .....	34
ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE PO TRZECH KWARTAŁACH 2021 ROKU Andrzej Mikulski .....	42
WIADOMOŚCI Z KRAJU .....	47
WIADOMOŚCI ZE ŚWIATA .....	50
WYDARZENIA .....	51
INFORMACJE O KSIĄŻKACH RADIOCHEMIA ŚRODOWISKA, BOGDAN SKWARZEC Milena Szabat .....	62
NOWY ŚWIAT PANA TOMPKINSA, GEORG GAMOW, RUSSELL STANNARD Krzysztof Rzymkowski .....	62
FELIETON KTO POKRYJE STRATY ZA JĄDROWĄ PROKRASTYNACJĘ? Marek Bielski .....	63



Kwartalnik naukowo-informacyjny  
Postępy Techniki Jądrowej

Wydawca:  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej  
ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa,

Kontakt Telefoniczny:  
Tel. 22 504 12 48  
Fax.: 22 811 15 32

Redaktor naczelny:  
Stanisław Latek  
S.Latek@ichtj.waw.pl

Komitet redakcyjny:  
Wojciech Głuszewski  
Marek Rabiński  
Łukasz Sawicki  
Elżbieta Zalewska

Współpracują z nami:  
Andrzej Mikulski  
Małgorzata Nowina-Konopka  
Małgorzata Sobieszczyk-Marciniak

Redakcja:  
PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

Adres strony internetowej PTJ:  
<http://ptj.waw.pl>

Opracowanie graficzne:  
Daniel Jaskóła (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji tekstów oraz zmian tytułów.

Recenzowanie artykułów  
Większość manuskryptów przesyłana jest do recenzowania przez 1-2 ekspertów z dziedziny, której dotyczy artykuł. Na podstawie opinii recenzentów artykuły są akceptowane do druku, kierowane do poprawy, lub odrzucane.

Prenumerata  
Zamówienia na prenumeratę kwartalnika POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ należy składać na adres redakcji jak wyżej. Wpłaty proszę przekazać na konto:  
Bank Pekao SA,  
45 1240 3480 1111 0000 4278 2935  
Koszt prenumeraty rocznej (4 zeszyty łącznie z kosztami przesyłki) wynosi 52 zł. Składając zamówienie należy podać adres osoby lub instytucji zamawiającej, na który ma być przesłane czasopismo oraz numer NIP.

Skład i druk:  
Agencja Reklamowa TOP,  
ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek

## Sanowni Państwo

W październiku 1961 r. do Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie trafiły pierwsze odpady. Niższy numer PTJ ukazuje się niemal dokładnie 60 lat od daty powstania Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP, pod taką nazwą funkcjonuje dziś składowisko.)

Czytelnicy naszego czasopisma mieli możliwość zapoznania się z tematyką „odpadową” czytając ciekawe teksty opublikowane w poprzednim numerze PTJ. W bieżącym numerze kontynuujemy publikację tekstów o odpadach promieniotwórczych i o składowisku w Róźnie.

Jednak zanim omówię artykuły i inne materiały przygotowane z okazji 60-lecia KSOP chciałbym gorąco zachęcić Państwa do przeczytania tekstu wywiadu jakiego udzielił naszej redakcji Pan Piotr Naimski, Sekretarz Stanu, Pełnomocnik Rządu ds. Strategicznej Infrastruktury Energetycznej. Aby zachęcić naszych Czytelników do lektury wywiadu przytaczam poniżej fragment odpowiedzi Pana Ministra na jedno z pytań redakcji.

**PTJ:** – Jaką rolę powinny odgrywać jądrowe instytuty badawcze podległe Ministrowi Klimatu i Środowiska (Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej) w przygotowaniu odpowiedniego zaplecza wspierającego wdrażanie PPEJ, a potem eksploatację elektrowni jądrowych w Polsce?

**PN:** – To jest pytanie, na które odpowiedź jest oczywista. Powiem tak: wszystkie miejsca w Polsce czy to związane z uczelniami, czy też z instytutami, które mogą uczestniczyć w programie jądrowym w Polsce muszą znaleźć swoje miejsce i trzeba je wspierać. Dzisiaj mamy za mało osób, które posiadają odpowiednie kwalifikacje. Nas nie stać na to, żeby nie wykorzystywać wszystkich możliwości, jakie mamy. Musimy to rozbudowywać i to jest w zasadzie tylko tyle i aż tyle. Zainteresowane instytuty powinny być miejscami, gdzie będą m.in. wypracowywane normy i regulacje, o których Państwo mówicie. Często będzie to wymagało dodatkowych źródeł finansowania. Być może najważniejsze jest, żeby był jasno określony cel pracy w tych placówkach. Praca, którą wykonuje się w tych jednostkach badawczych nie powinna być jedynie teoretyczna do opublikowania i ewentualnie uzyskiwania stopni naukowych. Powinna mieć praktyczne zastosowanie i być wsparciem dla programu energetyki jądrowej w Polsce.

Pierwszy artykuł w omawianym zeszycie PTJ zatytułowany jest następująco: „Wybrane aspekty prawne gospodarki odpadami promieniotwórczymi”. Autorką artykułu jest Helena Turka, która swój tekst wybrała słowami: „Po przeanalizowaniu przepisów w zakresie wybranych aspektów prawnych związanych ze składowaniem odpadów promieniotwórczych w kontekście perspektywy rozwoju energetyki jądrowej, nie sposób jednoznacznie na chwilę obecną stwierdzić, czy sprawdzają się one w nowych realiach. Niewątpliwie stawiane przed polską energetyką wyzwania mogą stanowić podłoże do weryfikacji obecnych rozwiązań prawnych”.

Jakub Żebrowski jest autorem kolejnego artykułu dotyczącego odpadów. Jego tytuł brzmi następująco: „Przegląd technologii przetwarzania odpadów promieniotwórczych stosowanych przez ZUOP w Polsce”. Oto ważny fragment artykułu:

„Odpady promieniotwórcze są bardzo szczególną grupą odpadów. Oprócz niebezpieczeństwa związanego z promieniowaniem jonizującym, odpady promieniotwórcze mogą wykazywać dowolne inne właściwości tj. utleniające, żrące, rakotwórcze, trujące itd. Odpady pochodzące z placówek medycznych dodatkowo mogą być skażone biologicznie, dlatego postępowanie z tego typu odpadami musi być prowadzone ze szczególną ostrożnością.

Podstawowym wewnętrznym kryterium klasyfikacji odpadów promieniotwórczych odbieranych przez ZUOP jest stan skopienia, ponieważ determinuje on sposób dalszego postępowania z odpadem. Odbierane są odpady promieniotwórcze ciekłe oraz stałe.

Pani Grażyna Birnbaum w swoim artykule „Historia zrealizowanego projektu” opisuje zastosowanie w reaktorze jądrowym wzbogaconego w nuklid Te-130 ditlenku telluru do otrzymywania I-131, w wyniku reakcji jądrowej ( $n, \gamma$ ). W artykule przedstawiono korzyści, jakie można uzyskać po wprowadzeniu nowego surowca i plan dalszych badań.

Kolejny tekst w części artykułowej czasopisma zatytułowany jest: „Modelowanie biofizyczne popromiennego efektu sąsiedztwa – część II”. Autorami artykułu są Paweł Wysocki, Krzysztof W. Fornalski. A oto fragment streszczenia: „W artykule przedstawiony został przegląd różnych podejść do modelowania i symulowania efektu sąsiedztwa z punktu widzenia biofizyki radiacyjnej (część I). W szczególności ostatni z przedstawionych modeli jest częścią większego projektu symulacji odpowiedzi grupy komórek

na promieniowanie jonizujące z wykorzystaniem metod Monte Carlo (część II)”.

„Luminescencyjne datowania w badaniach geoaarcheologicznych”. W artykule pod takim tytułem, jego autorzy Tomasz Kalicki, Wojciech Głuszewski, Marcin Frączek, Paweł Przepióra omówili wyniki kilku interdyscyplinarnych geologicznych datowań wykonanych metodami optycznymi. Wiek starszych osadów, głównie plejstocenijskich określono za pomocą termoluminescencji (TL). Młodsze holocenijskie osady datowano z wykorzystaniem optycznie stymulowanej luminescencji (OSL). Na przykładzie osadów mineralnych zawierających kwarc wyjaśniono podstawy obu technik datowania.

Autorem ostatniego tekstu w części artykułowej jest dr Andrzej Mikulski.

**W artykule przedstawiono chronologicznie skrót podejmowanych działań związanych z energetyką jądrową w Polsce w pierwszym półroczu oraz dalsze działania do połowy września 2021 r.**

W części informacyjnej numeru znajdują Państwo doniesienia oraz informacje o wydarzeniach, które warto przeczytać.

Pierwsze doniesienie dotyczy otwarcia w lipcu w Warszawie biura Electricité de France. EDF będzie wspierać proces przygotowania kompleksowej, dostosowanej do polskiego rynku francuskiej oferty w zakresie energetyki jądrowej. Poinformowano o tym w trakcie konferencji prasowej, w której wzięli udział Frédéric Billet (ambasador Francji w Polsce), oraz Philippe Crouzet (wysoki przedstawiciel ds. współpracy jądrowej z Polską). Wyrzili oni pełne poparcie francuskiego rządu dla oferty.

Dwa doniesienia, w tym jedno zaczerpnięte z NucNetu zawierają informacje o planach budowy małych reaktorów modułowych w elektrowni węglowej w lokalizacji Pątnów.

Ciekawym doniesieniem z zagranicy, które szczególnie polecam naszym Czytelnikom, jest informacja o tym, że Ukraina i USA zgodziły się na „pogłębienie i intensyfikację” strategicznej współpracy energetycznej. W pakiecie umów przewiduje się ukończenie 4 bloku Chmielnicki, a następnie budowę czterech nowych bloków AP1000 o łącznej wartości 30 mld USD.

W części Wydarzenia naszego kwartalnika znajdują Czytelnicy informacje o zorganizowanym przez redakcję PTJ wyjeździe do Róźnia, plebiscycie o tytuł „Złotego Inżyniera” oraz relację z VII Forum Innowacyjności.

Celem wizyty w Róźnie było odbycie rozmowy z burmistrzem Róźnia na temat relacji władz gminy oraz jej mieszkańców z KSOP-em, zwiedzenie miasteczka oraz składowiska. Z informacji burmistrza Piotra Świdarskiego wynika, że obecność składowiska na terenie gminy zapewnia jej stabilność finansową – opłata z budżetu państwa z tytułu lokalizacji KSOP wynosi około 10,5 mln złotych. Większość tej kwoty przeznaczona jest na inwestycje oraz potrzeby socjalne i bytowe mieszkańców.

Burmistrz odpowiedział także na pytania redakcji dotyczące między innymi działań edukacyjnych w szkołach, współpracy ze społecznościami w lokalizacjach podobnych składowisk w Europie, monitoringu promieniowania na terenie gminy.

Laureatem plebiscytu Przeglądu Technicznego o tytuł „Złotego Inżyniera” został inżynier Jacek Bauski. Redakcja PTJ składa Panu Jackowi serdeczne gratulacje i zachęca do kontynuowania współpracy z naszym kwartalnikiem.

Klimat wobec wyzwań XXI wieku – taki był temat VII FORUM. W debacie zabrał głos dr Michał Kurtyka, minister klimatu i środowiska, oficjalnie otwierając obrady. Wykłady wygłosili: dr inż. Andrzej Strupczewski – prof. Narodowego Centrum Badań Jądrowych, prof. dr hab.inż. Andrzej Grzegorz Chmielewski – Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, dr hab. Grażyna Zakrzewska-Kołtuniewicz – prof. Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej; W panelach wystąpili: dr Tomasz Nowacki – dyrektor Departamentu Energetyki Jądrowej, Ministerstwa Klimatu i Środowiska, dr inż. Paweł Gajda – Akademia Górniczo-Hutnicza, dr inż. Adam Rajewski – Politechnika Warszawska, mgr Andrzej Gąsiorowski – FOTA4Climate, mgr inż. Maciej Lipka – Narodowe Centrum Badań Jądrowych, mgr Aneta Korczyk – Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych.

O nowych książkach piszą Milena Szabat i Krzysztof Rzymkowski, a Marek Bielski w swoim – jak zawsze – wielowątkowym, erudycyjnym felietonie zadaje ciekawe pytanie: KTO POKRYJE STRATY ZA JĄDROWĄ PROKRASTYNACJĘ?

Życzę naszym Czytelnikom spokojnej, wolnej od pandemii jesieni. I owocnej lektury PTJ!

Stanisław Latek,  
redaktor naczelny

# WYWIAD PRZEDSTAWICIELI „POSTĘPÓW TECHNIKI JĄDROWEJ” Z PEŁNOMOCNIKIEM RZĄDU DS. STRATEGICZNEJ INFRASTRUKTURY ENERGETYCZNEJ, PIOTREM NAIMSKIM

*An interview of the representatives of the journal  
“Progress in Nuclear Technology” with the  
Government Plenipotentiary for Strategic Energy  
Infrastructure, Piotr Naimski*

**Redakcja Postępów Techniki Jądrowej:** 2 października 2020 r. przyjęty został uchwałą Rady Ministrów aktualizowany Program Polskiej Energetyki Jądrowej – (PPEJ). W sprawozdaniu z realizacji PPEJ za lata 2016-2019 Ministerstwo Klimatu i Środowiska stwierdza, że wystąpiły poważne opóźnienia w realizacji harmonogramu PPEJ po stronie inwestora. W dokumencie Ministerstwa napisano, że z uwagi na stwierdzone opóźnienia dalsza realizacja PPEJ wymaga zdynamizowania.

Podobne wnioski formułują media oraz stowarzyszenia i organizacje społeczne, które wręcz sugerują przyspieszenie działań w zakresie budowy elektrowni jądrowych w Polsce.

**Pytanie do Pana Ministra jest następujące: jakie działania zamierza podjąć Pan Minister i inne urzędy, aby nie dopuścić do opóźnień w realizacji PPEJ, a wręcz przeciwnie – spowodować jego przyspieszenie? Chodzi w szczególności o skrócenie czasu oczekiwania na wybór technologii, czasu trwania procedur licencjonowania na budowę reaktorów oraz inne przyczyny opóźnień.**

**Piotr Naimski:** – Ocena ze strony Ministerstwa Klimatu i Środowiska tego, co było do jesieni zeszłego roku wskazuje, że opóźnienia, czy właściwie braki zasadniczych decyzji, bo to jest powodem opóźnień, muszą ulec radykalnej zmianie. Ta zmiana właśnie się dokonuje. Przyjęty przez rząd w październiku znowelizowany PPEJ, o którym wspomniano wyznacza kierunek i strategię, mapę drogową, jak się to czasem mówi, którą idziemy i zamierzamy iść skutecznie. Mogę powiedzieć, że dzisiaj – kiedy rozmawiamy na początku



Fot.1. Minister Piotr Naimski udziela wywiadu redakcji PTJ

września – jesteśmy na etapie, kiedy wiemy dość dokładnie, co mamy zrobić i w jakim czasie. A chodzi tu o czas najbliższy.

Wynika to **po pierwsze** z podpisanej międzyrządowej umowy polsko-amerykańskiej, która przewiduje, że strona amerykańska przygotuje dla Polski kompleksową ofertę zgodnie z tym, co zawarliśmy w PPEJ. Propozycja będzie dotyczyła partnerskiego udziału strony amerykańskiej w 20-letnim programie zbudowania w Polsce 6 dużych reaktorów. Przy czym należy podkreślić, że umowa przewiduje przygotowanie oferty,

a nie ostateczny wybór technologii przez Polskę. Ta oferta jest już w tej chwili przygotowywana przez firmy amerykańskie Westinghouse i Bechtel<sup>1</sup>. Finansowanie tych przygotowań powierzono amerykańskiej rządowej agencji TDA<sup>2</sup>. Zatem jest to sytuacja, w której firmy amerykańskie finansowane przez rząd amerykański przygotowują dla naszego rządu podstawę do strategicznej decyzji. Umowa, przewiduje, że te prace zakończone będą w sierpniu przyszłego roku. Jesienią przyszłego roku nasz rząd będzie miał materiał do zasadniczej decyzji.

**Drugi ważny element** dotyczy spółki, którą chcemy widzieć, jako narzędzie polskiego rządu do realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. Ta spółka jest wymieniona w PPEJ przyjętym w październiku. Do niedawna była własnością spółek energetycznych i KGHM. To zostało zmienione. Spółka Polskie Elektrownie Jądrowe/PEJ/ jest w tej chwili w 100% własnością skarbu państwa. Decyzją rządu pełnomocnik, który z państwem rozmawia pełni funkcję nadzoru ze strony skarbu państwa nad tą spółką. To jest struktura, którą zaproponowaliśmy i która wydaje się najbardziej racjonalna, dlatego że nadzór nad tą spółką powinien być bardzo blisko premiera, w KPRM. W spółce już od pewnego czasu przygotowywane są dwa raporty: środowiskowy oraz lokalizacyjny.

Te dwa raporty będą zakończone jesienią tego roku. To jest zasadniczy krok, który pozwoli na wybranie lokalizacji. Lokalizacja jest przewidywana i opisywana w tej chwili, jako dwuwariantowa – zgodnie z przepisami prawa – na Pomorzu Gdańskim. To jest Lubiatowo - Kopalino i Żarnowiec.

**Kolejnym elementem**, który jest bardzo ważny w przygotowywanej ofercie, którą będziemy rozpatrywali na posiedzeniu rządu w przyszłym roku, jest struktura finansowa całego projektu. Polski rząd oczekuje, że partner, tak jak to zostało zapisane w strategii PPEJ, będzie uczestniczył nie tylko w fazie budowy tych reaktorów, ale także w fazie eksploatacji elektrowni jądrowych aż do zakończenia ich funkcjonowania. Ta strategiczna współpraca będzie trwała kilkadziesiąt lat.

Jednym słowem potrzebujemy partnera w inwestycji, a nie tylko sprzedawcy technologii. Równolegle będziemy ustalali z Komisją Europejską warunki bezprzetargowego wyboru technologii.

**PTJ: – Czy Polska zwróciła się już do Komisji Europejskiej o zgodę na pomoc publiczną na naszą jądrową inwestycję?**

**PN:** – Jesteśmy w kontakcie z Komisją Europejską (KE), która ma dwojake oblicze, bo jest równocześnie organem UE oraz Euratomu. Umowa polsko-amerykańska była notyfikowana w Euratomie i jesteśmy w kontakcie z partnerami w Brukseli. Przygotowania do budowy elektrowni jądrowej w Polsce powinny być w zgodzie z europejskimi przepisami.

**PTJ: – Jakie są szanse uwzględnienia energetyki jądrowej w zaleceniach dotyczących Taksonomii w Europejskim Zielonym Ładzie?**

**PN:** – Tak zwana Taksonomia, którą przygotowuje się w UE, może być istotna dla sektora energetyki nuklearnej. Toczy się dyskusja w tej chwili, czy te przepisy, które mają określić, które technologie i które inwestycje będą sprzyjające dla unijnej strategii Zielonego Ładu będą uznawały technologie nuklearne za korzystne dla niskoemisyjnej gospodarki. Dla olbrzymiej większości osób, które się tymi zagadnieniami zajmują, jest oczywiste, że odnawialne źródła energii wymagają wsparcia, wymagają bilansowania przez energetykę jądrową. Jeżeli rezygnujemy z węgla, to pozostaje nam energetyka jądrowa i gaz, jako źródła energii niezależne od warunków atmosferycznych, pory dnia i roku. Gaz jest też uważany za paliwo przejściowe i może się okazać, że za 30-40 lat pracującym bezpiecznie w podstawie pozostaną elektrownie jądrowe. W wielu krajach europejskich podjęto decyzje o budowie albo buduje się nowe elektrownie jądrowe. Dzieje się tak w Wielkiej Brytanii, Czechach, na Węgrzech, na Słowacji, w Bułgarii. Dyskutuje się potrzebę budowy nowych elektrowni w Słowenii i być może w Holandii. Słoweńcy i Chorwaci mają na pograniczu odziedziczoną po Jugosławii elektrownię jądrową Westinghouse'a.

**PTJ: – Panie Ministrze, jaki jest stosunek Pańskiego urzędu do informacji, że spółka SYNTHOS Green Energy (SGE) rozpoczęła rozmowy z polskim regulatorem jądrowym na temat potencjalnego projektu budowy małego reaktora modułowego (SMR) GE Hitachi Nuclear BWRX-300? Przypomnijmy, że SGE zwróciła się do regulatora, Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), o opinię ogólną, którą określiła, jako pierwszy etap procedury poprzedzającej proces regulacyjny dotyczący planowanej budowy elektrowni jądrowej w Polsce.**

**PN:** – Synthos przyjął w swojej strategii próbę zbudowania małego reaktora o nazwie small modular reactor – SMR. Mówi się o małym reaktorze modułowym o mocy 300 MW, który jest przewidziany jako źródło energii dla fabryki chemicznej. To jest być może perspektywa dla zastosowania tego rodzaju małych reaktorów. Słyszymy o porozumieniu w tej sprawie między Synthos i ZE PAK (Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów

<sup>1</sup> Bechtel to największa firma budowlana w Stanach Zjednoczonych i najbardziej doświadczona, jeśli chodzi o branżę jądrową.

<sup>2</sup> TDA – The US Trade and Development Agency

-Konin). To, że prywatne firmy w Polsce podejmują takie działania, są na tyle ambitne by je podjąć, to dobry znak. Dzisiaj trudno jest jeszcze ocenić, kiedy reaktory SMR będą komercyjnie dostępne. W różnych miejscach prowadzone są prace, czy to eksperymentalne, na skalę półtechniczną czy też myśli się o budowie demonstracyjnych instalacji. Niemniej jednak wielkoskalowa energetyka nuklearna pozostanie podstawą dla tego sektora w długiej perspektywie. Wizja fabryk produkujących tanie reaktory jak samochody jest pociągająca, ale nie będzie zrealizowana w dającym się przewidzieć czasie. W pierwszym etapie SMR znajdą zapewne zastosowanie w przemyśle, może też, jako źródła energii dla relatywnie małych i izolowanych obszarów. Perspektywa, że w każdej gminie albo powiecie w Polsce stanie mały reaktor jądrowy – to jest fikcja. To jest science fiction albo lepiej bym powiedział economic fiction. W naszej polskiej sytuacji musimy zbudować 6 dużych reaktorów, które dadzą nam w połowie lat 40 około 25% produkcji prądu elektrycznego w Polsce.

**PTJ: – W jakim zakresie można spodziewać się udziału polskich firm w poszczególnych fazach całego procesu inwestycyjnego związanego z budową elektrowni jądrowych w Polsce? Komu, jakiej firmie powierzona zostanie rola inwestora, odpowiedzialnego za cały proces inwestycyjny?**

**PN: –** Jeżeli chodzi o udział polskich firm to już w tej chwili poważnie jest to rozważane i rozpatrywane w Departamencie Energetyki Jądrowej w Ministerstwie Klimatu i Środowiska. Koledzy z DEJ utrzymują

kontakt z polskimi firmami, które obecnie są zaangażowane przy budowie elektrowni jądrowych poza Polską. Mamy takich firm kilkadziesiąt w naszym kraju. Oczywiście będzie dla nich miejsce przy naszej inwestycji. To, że chcemy zbudować 6 reaktorów w jednej technologii jest też ważne z tego punktu widzenia. Wraz z kolejnymi budowanymi reaktorami udział polskiego przemysłu będzie się zwiększał w sposób naturalny. Jeżeli cała inwestycja jest przewidziana na 20 lat, to polskie firmy będą mogły inwestować w swój rozwój biorąc pod uwagę, że to inwestycja długoterminowa w sektorze jądrowym. I na to liczymy.

**PTJ: – Czy i kiedy zamierza Rząd przeznaczyć odpowiednie środki na szkolenie kadr dla energetyki jądrowej? Chodzi w szczególności o wznowienie zajęć na kierunkach związanych z energetyką jądrową na polskich uczelniach.**

**PN: –** To jest też bardzo ważne. Jeżeli chcemy mieć pierwszy reaktor uruchomiony w 2033 r. to nasze uczelnie teraz powinny wzmocnić i rozwijać te kierunki, które będą kształciły potrzebnych specjalistów. To jest zadanie, które jest zresztą również zapisane w strategii PPEJ i Departament Energii Jądrowej MKiŚ jest i będzie w kontakcie z uczelniami. Im szybciej te kierunki studiów zostaną uruchomione tym lepiej. Specjalności związane z energetyką jądrową na niektórych uczelniach inżynierskich już istnieją. Ograniczona ilość młodych ludzi wybierała je nie bardzo widząc perspektywy pracy. Musimy to zmienić. Realizacja naszych projektów spowoduje, że za 5-7 lat będziemy potrzebowali wielu



**Fot. 2.** Uczestnicy spotkania od lewej: Stanisław Latek, Piotr Naimski, Andrzej Chmielewski (fot. Sylwester Wojtas)

osób przygotowanych do pracy najpierw przy budowie a potem eksploatacji elektrowni. Budowę pierwszego reaktora chcemy zacząć w 2026 r. Wybierając partnera do naszego programu będziemy z nim rozmawiali także o szkoleniu, o praktykach dla młodych ludzi. Te kontakty już są. Prawdopodobnie koledzy pracujący w Państwowej Agencji Atomistyki będą mogli pojechać do elektrowni jądrowej Vogtle w stanie Georgia, gdzie uruchamiany jest reaktor AP-1000 budowany przez Westinghouse i Bechtel.

**PTJ: – Jaką rolę powinny odgrywać jądrowe instytuty badawcze podległe Ministrowi Klimatu i Środowiska (Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej) w przygotowaniu odpowiedniego zaplecza wspierającego wdrażanie PPEJ, a potem eksploatację elektrowni jądrowych w Polsce?**

**PN:** – To jest pytanie, na które odpowiedź jest oczywista. Powiem tak: wszystkie miejsca w Polsce czy to związane z uczelniami, czy też z instytutami, które mogą uczestniczyć w programie jądrowym w Polsce muszą znaleźć swoje miejsce i trzeba je wspierać. Dzisiaj mamy za mało osób, które posiadają odpowiednie kwalifikacje. Nas nie stać na to, żeby nie wykorzystać wszystkich możliwości, jakie mamy. Musimy to rozbudowywać i to jest w zasadzie tylko tyle i aż tyle. Zainteresowane instytuty powinny być miejscami, gdzie będą m.in. wypracowywane normy i regulacje, o których Państwo mówicie. Często będzie to wymagało dodatkowych źródeł finansowania. Być może najważniejsze jest, żeby był jasno określony cel pracy w tych placówkach. Praca, którą wykonuje się w tych jednostkach badawczych nie powinna być jedynie teoretyczna do opublikowania i ewentualnie uzyskiwania stopni naukowych. Powinna mieć praktyczne zastosowanie i być wsparciem dla programu energetyki jądrowej w Polsce.

**PTJ: – Panie Ministrze, czy i kiedy nastąpi adekwatna reakcja Rządu, zwłaszcza w mediach głównego nurtu na antyatomową kampanię prowadzoną przez środowiska przeciwnie energetyce jądrowej, wspierane często przez pieniądze pochodzące z zagranicy? Nawet media wspierające Rząd nie usiłują w żaden sposób walczyć z propagandą lobbystyczną, wymierzoną w rządowy program energetyczny PEP40 i PPEJ. Przejawia się to choćby doborem osób zapraszanych do dyskusji w kwestiach energetycznych. Środowiska proatomowe są w tych debatach całkowicie pomijane.**

**PN:** – To jest pytanie z tezą, że w mediach nie tłumaczymy zasadności budowy elektrowni jądrowych w Polsce. Program energetyki jądrowej, ten który

przyjeliśmy w październiku zeszłego roku, spotyka się z generalnie rzecz biorąc zrozumieniem i aprobatą. To zrozumienie i aprobatą wychodzi poza kręgi rządzącej obecnie koalicji. Mamy prowadzone w sposób ciągły badania opinii publicznej w tej sprawie. Wynika z nich, że utrzymuje się stałe wysokie poparcie Polaków dla budowy elektrowni jądrowej. To jest ponad 60%. W rejonach kraju, gdzie ewentualnie przewidywana jest budowa elektrowni to poparcie jest jeszcze większe. Wynika to ze zrozumienia potrzeby szerokiego poparcia dla budowy elektrowni jądrowej, ale także i uzasadnionej nadziei, że tego rodzaju wielka inwestycja przynosi dla regionu, w którym jest realizowana, konkretne wymierne korzyści. Tam rozbudowuje się infrastruktura komunikacyjna, tam są nowe miejsca pracy i to na długie lata. Oczywiście współpracę z mediami zawsze trzeba poprawiać! Jeżeli chodzi o organizacje związane z ochroną środowiska to można powiedzieć, że konieczność budowy elektrowni jądrowej i utrzymania energetyki jądrowej jest rozumiana coraz szerzej przez tych działaczy. Postulaty, które wysuwają te środowiska i organizacje pozarządowe zajmujące się tymi problemami będą mogły być spełnione, ale jednym z warunków jest budowa i utrzymanie bezemisyjnej energetyki jądrowej. To jest coraz szerzej akceptowane. Niewiele jest w Polsce głosów, które w sposób otwarty i zdecydowany sprzeciwiają się budowie elektrowni jądrowej. To dobrze bo tego rodzaju wielki 20-letni strategiczny dla kraju projekt może być realizowany tylko w warunkach społecznego konsensusu. Mamy taką postawę w Polsce i to jest być może najważniejszy element, który sprawia, że można optymistycznie patrzeć w przyszłość.

Są rządy i społeczności w Europie, które nie chcą mieć energetyki jądrowej. Takim krajem są dzisiaj Niemcy, ale są w tej sprawie odosobnione. Są odosobnione, dlatego że we Francji będą budowane kolejne reaktory, Holendrzy chcą budować, Czesi mają elektrownie jądrowe i chcą budować, my chcemy budować, Anglicy budują.

Sfery biznesowe, które zaangażowały się kapitałowo, ale też i propagandowo w rozwój energetyki odnawialnej rozumieją, że muszą się tortem podzielić, że nie da się zapewnić bezpieczeństwa energetycznego wyłącznie ze źródeł odnawialnych. W związku z tym przestali protestować, jeżeli chodzi o energetykę jądrową. Wiedzą doskonale, iż radykalnie odżegnując się od energetyki węglowej, uważając gaz za paliwo, jak mówią, przejściowo muszą szukać innej stabilnej technologii. W związku z tym akceptują energetykę jądrową. I to jest przyszłość na najbliższe dziesięciolecia w Europie.

*Rozmowę przeprowadzili:  
redaktor naczelny PTJ,  
dr Stanisław Latek,  
dyrektor IChTJ i wydawca PTJ,  
prof. Andrzej Chmielewski*

# WYBRANE ASPEKTY PRAWNE GOSPODARKI ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI

## *Selected legal aspects of radioactive waste management*

Helena Turska

**Streszczenie:** Podstawowym aktem w polskim systemie prawnym, który reguluje działalność w zakresie pokojowego wykorzystania energii jądrowej związanej z rzeczywistym i potencjalnym narażeniem na promieniowanie jonizujące jest ustawa – Prawo atomowe. Wprowadzona w 1986 r. ustawa na przestrzeni lat ulegała wielu modyfikacjom uwzględniając między innymi dyrektywę Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej (Euratom) oraz wzrastające wykorzystywanie substancji promieniotwórczych w medycynie, nauce oraz przemyśle.

**Abstract:** The basic act in the Polish legal system that regulates the activities in the field of peaceful use of nuclear energy related to actual and potential exposure to ionizing radiation is the Atomic Law Act. The Act, introduced in 1986, has undergone many modifications over the years, taking into account, inter alia, the directives of the European Atomic Energy Community (Euratom) and the increasing use of radioactive substances in medicine, science and industry.

**Słowa kluczowe:** Ustawa – Prawo atomowe, odpady promieniotwórcze, wypalone paliwo jądrowe, Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych

**Keywords:** Atomic Law Act, radioactive waste, spent nuclear fuel, Radioactive Waste Management Plant

W 1958 r. w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku został uruchomiony pierwszy w Polsce badawczy reaktor jądrowy Ewa, który to zapoczątkował dość intensywny, jak na tamte czasy rozwój techniki izotopowej, a co za tym idzie, coraz częstsze wykorzystanie izotopu zarówno w nauce, jak i w gospodarce. Szerokie wykorzystanie izotopu zaczęło generować pytania w zakresie konieczności unieszkodliwienia powstałych odpadów promieniotwórczych. Pojawiło się, zatem całkowicie nowe zagadnienie, wymagające rozpoczęcia intensywnych prac legislacyjnych w tym zakresie. Zaczęto się obawiać, iż brak odpowiednich regulacji prawnych w przedmiocie postępowania z odpadami promieniotwórczymi może doprowadzić w konsekwencji do ich znacznego nagromadzenia, a co za tym idzie skutkować powstaniem zjawiska usuwania odpadów w sposób niekontrolowany przy użyciu dostępnej infrastruktury, chociażby kanalizacji. Powyższe wymagało, zatem zastosowania kompleksowego podejścia tzn. opracowania odpowiednich norm prawnych oraz stworzenie instytucji, która czuwałaby nad ich wdrożeniem i przestrzeganiem.

W 1961 r. została utworzona Centrala Odpadów Promieniotwórczych, która to przybrała formę gospodarstwa pomocniczego wyodrębnionego w strukturze organizacyjnej Instytutu Badań Jądrowych. Uruchomiono również Centralną Składnicę Odpadów na terenie daw-

nego fortu wojskowego w Różanie. To z kolei zapoczątkowało prace nad wdrożeniem pełnej technologii w zakresie unieszkodliwiania odpadów, obejmującą redukcję ich obojętności wraz z procesami zestalania, pozwalającymi na przekształcenie odpadów w formę umożliwiającą ich bezpieczny transport wraz z długotrwałym składowaniem. Następnie, w 1970 r. Centrala Odpadów Promieniotwórczych została przekształcona w Zakład Unieszkodliwiania Substancji Promieniotwórczych, który to funkcjonował jako część nowo utworzonego Ośrodka Reaktorów i Produkcji Izotopów w Instytucie Energii Atomowej powstałym po likwidacji Instytutu Badań Jądrowych w 1983 r. Kolejnym krokiem było wyodrębnienie w 1988 r. Ośrodka Reaktorów i Produkcji Izotopów ze struktur Instytutu Energii Atomowej oraz utworzenia Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Izotopów, dzięki czemu Zakład Unieszkodliwiania Substancji Promieniotwórczych znalazł się bezpośrednio w strukturze Instytutu Energii Atomowej.

W miarę upływu czasu coraz wyraźniej zaczęła rysować się potrzeba przeprowadzenia dalszych zmian zmierzających do wyodrębnienia niezależnej jednostki zajmującej się problematyką unieszkodliwiania substancji promieniotwórczych. W dniu 1 stycznia 1994 r. na mocy decyzji Dyrektora Instytutu Energii Atomowej, Zakład Unieszkodliwiania Substancji Promieniotwórczych został przekształcony w Zakład Doświadczalny



Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (dalej: „ZDUOP”). Kilka miesięcy później, bo już 2 września 1994 r. wydanym na podstawie art. 27a ust. 2 ustawy z dnia 10 kwietnia 1986 r. Prawo atomowe zarządzeniem Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki przekształcił Centralną Składowicę Odpadów Promieniotwórczych w Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych. 1 stycznia 2002 r. ZDUOP został przekształcony w przedsiębiorstwo użyteczności publicznej – Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (dalej: „ZUOP”) nadzorowany wówczas przez ministra gospodarki, a obecnie przez ministra klimatu i środowiska.

Zgodnie z art. 114 ust. 1 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (dalej: „UPrawoatom”) Dz.U. z 2021 r. poz. 623, Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych został powołany do wykonywania działalności w zakresie postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym, a przede wszystkim do zapewnienia stałej możliwości składowania odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego. ZUOP wykonuje również działania polegające na odbiorze, transporcie, przechowaniu i składowaniu materiałów jądrowych, źródeł promieniotwórczych, a także innych substancji promieniotwórczych. Odpady promieniotwórcze są, zatem przetwarzane oraz przechowywane w siedzibie ZUOP tj. w Otwocku-Świerku. Przy czym poprzez przetwarzanie odpadów promieniotwórczych rozumie się przeprowadzenie działań zmierzających do minimalizacji objętości odpadów, ich segregację według kategorii i podkategorii oraz przygotowanie do transportu lub składowania (art. 3 pkt 38 UPrawoatom). Przechowywanie odpadów promieniotwórczych lub wypalonego paliwa jądrowego wiąże się zaś z ich magazynowaniem z zamiarem ponownego wydobywania (art. 3 pkt 36 UPrawoatom). Po przetworzeniu odpady są składowane w KSOP w Różanie i nie podlegają ponownemu wydobyciu (art. 3 pkt 44 UPrawoatom). Działalność Zakładu w przedmiocie m.in. postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym jest zgodnie z art. 119 UPrawoatom pokrywana z dotacji podmiotowej z budżetu państwa.

Jak wynika to z art. 121 UPrawoatom, Zakład ma swój statut, który określa jego zadania, organizację, tryb tworzenia jednostek zamiejscowych, system kontroli i sposób działania. Zgodnie z § 5 statutu stanowiącego załącznik do zarządzenia Ministra Energii z dnia 1 marca 2017 r. w sprawie nadania statutu państwowemu przedsiębiorstwu użyteczności publicznej pod nazwą, „Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych”, jednostką zamiejscową Zakładu jest Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych z siedzibą w Różanie, powiat Maków Mazowiecki. Do zadań Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych należy: przechowywanie i składowanie przetworzonych w jednostce merytorycznej Zakładu

w Otwocku-Świerku odpadów promieniotwórczych, materiałów jądrowych, źródeł promieniotwórczych i innych substancji promieniotwórczych, a także prowadzenie ich ewidencji. Przy czym Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych może przyjmować odpady promieniotwórcze, materiały jądrowe, źródła promieniotwórcze i inne substancje promieniotwórcze wyłącznie od Zakładu.

Nie pozostawia żadnej wątpliwości fakt, iż odpady promieniotwórcze wywierają znaczny wpływ na środowisko naturalne oraz życie człowieka. Tym samym istotne było i nadal jest zastosowanie odpowiednich narzędzi prawnych w celu zapobiegania i niwelowania negatywnych skutków związanych z prowadzoną gospodarką odpadami promieniotwórczymi. Powyższe założenie było, jak może się wydawać motorem napędowym zarówno do powstania ustawy – Prawo atomowe, jak i jej późniejszych zmian. Warto w tym kontekście zwrócić uwagę, chociażby na preambułę ustawy z dnia 10 kwietnia 1986 r. Prawo atomowe (Dz.U. 1986 r. nr 12. poz. 70). Ustawodawca wskazał tutaj bowiem na zasadność zapewnienia ochrony życia, zdrowia, mienia obywateli i środowiska przed zagrożeniem, jakie może powodować korzystanie z energii jądrowej w tym również w zakresie odpadów promieniotwórczych. Wprowadzona w 1986 r. ustawa miała na celu uregulowanie działalności związanej z wykorzystaniem energii jądrowej na potrzeby społeczno-gospodarcze kraju, a także określenie obowiązków jednostek organizacyjnych prowadzących powyższą działalność, powołanie właściwych w tym zakresie organów, określenie ich zadań, unormowanie zasad odpowiedzialności cywilnej za szkody jądrowe i określenie ram odpowiedzialności za wykroczenia przeciwko bezpieczeństwu jądrowemu i ochronie radiologicznej. Co więcej, ustawa wprowadziła również definicje odpadów promieniotwórczych, którymi to w myśl art. 3 pkt 6 były przedmioty lub materiały stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami powyżej ustalonego poziomu, których dalsze wykorzystanie było niecelowe lub niemożliwe oraz zasady postępowania z nimi. Zgodnie z rozdziałem 5 ustawy odpady promieniotwórcze, powstałe podczas wytwarzania, przetwarzania, przechowywania, składowania i stosowania materiałów jądrowych i źródeł promieniotwórczych oraz podczas eksploatacji i likwidacji obiektów jądrowych miały zostać unieszkodliwione w sposób uniemożliwiający zagrożenie ludzi i środowiska. Obowiązkiem określenia szczegółowych zasad zaliczania odpadów do odpadów promieniotwórczych i ich kwalifikowania, ewidencjonowania, a także określenia warunków unieszkodliwiania, przechowywania i składowania obciążony został Prezes Państwowej Agencji Atomistyki.

W wyniku nałożonego przez ustawę obowiązku w dniu 23 czerwca 1989 r. weszło w życie zarządzenie

Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 19 maja 1989 r. w sprawie zasad zaliczania odpadów do odpadów promieniotwórczych oraz ich kwalifikowania i ewidencjonowania, a także warunków ich unieszkodliwiania, przechowywania i składowania (Dz.U. M.P. z 1989 r. nr 18, poz. 125). Odpady w świetle powyższego zarządzenia nie mogły być gromadzone lub pozostawiane w miejscach umożliwiających spowodowanie przez nie zagrożenia ludzi i środowiska, usuwane do powietrza atmosferycznego, czy też wprowadzane bezpośrednio do wód albo do ziemi w ilościach, które nie powodują przekroczenia na granicy strefy ochronnej tego obiektu rocznej wartości efektywnego równoważnika dawki wynoszącej 0,25 mSv (25 mrem), w tym nie więcej niż 0,05 mSv (5 mrem) w wyniku usuwania odpadów ciekłych. Warto tutaj również nadmienić, iż wprowadzona regulacja nie pozostawiała również dowolności w zakresie czynności związanych z przechowywaniem odpadów i ich składowaniem poprzez szczegółowe określenie zasad i warunków obowiązujących. Przyjęte przez Organ rozwiązania miały spełniać swoje główne cele, a mianowicie niwelować szeroko rozumiane zagrożenia ludzi i środowiska w sytuacjach normalnych i awaryjnych. Zarządzenie zostało uchylone z dniem 1 stycznia 2003 r. w związku z wejściem w życie ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe.

Ustawą z dnia 24 czerwca 1994 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe (Dz.U. z 1994 r. nr 90, poz. 418) do obowiązującego wówczas Prawa atomowego zostały dodane art. 27a i 27b, zgodnie, z którymi to do przyjmowania i stałego składowania odpadów promieniotwórczych, pochodzących z terenu całego kraju zostało wyznaczone Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych mieszczące się na terenie gminy Różan, która to otrzymywała coroczną opłatę z tytułu eksploatacji składowiska. Środki na ten cel pochodziły z budżetu Państwowej Agencji Atomistyki. Opłata została ustalona na poziomie 200% dochodów gminy z tytułu podatku od nieruchomości uzyskanym w roku poprzednim powiększonym w stopniu odpowiadającym wskaźnikowi wzrostu cen towarów i usług konsumpcyjnych, ogłoszonemu przez Prezesa Głównego Urzędu Statystycznego.

Istotne zmiany w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi wprowadziło nowe Prawo atomowe. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz.U. z 2021 r. poz. 623) w obecnym brzmieniu zmienia, bowiem nie tylko definicję legalną odpadów promieniotwórczych, ale również rozszerza regulacje związane z postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi, wprowadza zasady postępowania z wypalonym paliwem jądrowym oraz reguluje kwestie związane z budową i utrzymaniem składowiska. Konieczność dokonania zmiany ustawy – Prawo atomowe w stosunku do ustawy pierwotnej wynikała z konieczności transpozycji do prawa polskiego dyrektyw Rady:

1. 89/618 Euroatom z dnia 27 listopada 1989 r. w sprawie informowania ogółu społeczeństwa o środkach ochrony zdrowia, które będą stosowane oraz działaniach, jakie należy podjąć w przypadku pogotowia radiologicznego (Dz. Urz. WE L357 z 07.12.1989, str. 31; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 1, str. 366);
2. 90/641/Euroatom z dnia 4 grudnia 1990 r. w sprawie praktycznej ochrony pracowników zewnętrznych, narażonych na promieniowanie jonizujące podczas pracy na terenie kontrolowanym (Dz. Urz. WE L 349 z 13.12.1990, str. 21, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie Wydanie specjalne, rozdz. 5, t. 1 str. 405 z późn. zm.);
3. 92/3/Euroatom z dnia 3 lutego 1992 r. w sprawie nadzoru i kontroli przesyłania odpadów radioaktywnych między Państwami Członkowskim oraz do Wspólnoty i poza jej obszar (Dz. Urz. WE L 35 z 12.02.1992, str. 24; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 2, str. 90);
4. 96/29/Euroatom z dnia 13 maja 1996 r. ustanawiającej podstawowe normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony zdrowia pracowników i ogółu społeczeństwa przed zagrożeniami wynikającymi z promieniowania jonizującego (Dz. Urz. WE L 159 z 29.06.1996, str. 1; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 5, t.2, str. 291);
5. 97/43/Euroatom z dnia 30 czerwca 1997 r. w sprawie ochrony zdrowia osób fizycznych przed niebezpieczeństwem wynikającym z promieniowania jonizującego związanego z badaniami medycznymi oraz uchylającego dyrektywę 84/466/Euroatom (Dz. Urz. WE L 180 z 09.07.1997, str. 22 z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 3, str. 332 z późn. zm.);
6. 2003/122/Euroatom z dnia 22 maja 2003 r. w sprawie kontroli wysoce radioaktywnych źródeł zamkniętych i odpadów radioaktywnych (Dz. Urz. UE L 346 z 31.12.2003, str. 57; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15 t. 7, str. 694).

Definicja odpadów promieniotwórczych i sposobu postępowania z nimi na przestrzeni lat uległa modyfikacjom. W ustawie z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz. U. z 2001 r. nr 3, poz. 18) za odpady promieniotwórcze (art. 3 pkt 16) uznawano odpady stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami, zakwalifikowane do kategorii odpadów wymienionych w art. 47 (tj. *odpady promieniotwórcze* kwalifikowane ze względu na poziom aktywności lub moc dawkowania z wydzieleniem ich kategorii i podkategorii ze względu na okres połowicznego rozpadu zawartych w odpadach izotopów promieniotwórczych lub wydzielaną moc cieplną, *odpady wycofane z użytkowania* (zużyte) zamknięte źródła promieniotwórcze tworzące dodatkową kategorię odpadów promieniotwórczych oraz *zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze* kwalifikowane ze względu

na poziom aktywności do podkategorii zużytych zamkniętych źródeł: niskoaktywnych, średnioaktywnych i wysokoaktywnych, które ze względu na okres połowicznego rozpadu zawartych w nich izotopów dzieli się na krótkożyciowe i długożyciowe). Zgodnie z art. 3 pkt 17 ustawy poprzez postępowania z odpadami promieniotwórczymi rozumiano wszelkie działania, włącznie z likwidacją obiektu, związane z przetwarzaniem, przemieszczeniem, przechowywaniem lub ich składowaniem. Odrębną kategorią objęte było postępowanie z wypalonym paliwem jądrowym. Definicje zawarte w art. 3 w tym również w zakresie odpadów promieniotwórczych i postępowania z nimi miały, co do zasady odpowiadać definicjom stworzonym na potrzeby poszczególnych rozporządzeń oraz wprowadzić zmiany wynikające z przepisów unijnych.

Kolejna zmiana definicji wynikała z ustawy z dnia 11 kwietnia 2008 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe (Dz.U. z 2008 r. nr 93, poz. 583). Mianem odpadów promieniotwórczych zostały określone: materiały stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami, których wykorzystanie jest niecelowe lub niemożliwe, zakwalifikowane do kategorii odpadów wymienionych w art. 47; niniejsza definicja nie ma zastosowania do rozdziału 8a (tj. przewóz na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej wywóz z terytorium Rzeczypospolitej Polskiej i tranzyt przez to terytorium odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego). Zaś za postępowanie z odpadami promieniotwórczymi uznano działania związane z przetwarzaniem, przemieszczaniem, przechowywaniem lub składowaniem odpadów promieniotwórczych, włącznie z odprowadzaniem odpadów promieniotwórczych do środowiska, z wyłączeniem transportu odpadów promieniotwórczych poza terenem jednostki organizacyjnej.

Konsekwencją zmiany ww. definicji była konieczność wprowadzenia do polskiego porządku prawnego dyrektywy Rady 2003/122/EURATOM z dnia 22 grudnia 2003 r. w sprawie kontroli wysoce radioaktywnych źródeł zamkniętych i odpadów radioaktywnych (Dz. Urz. UE L 346 z 31.12.2003, str. 57; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 7, str. 694) oraz dyrektywy Rady 2006/117/EURATOM z dnia 20 listopada 2006 r. w sprawie nadzoru i kontroli nad przemieszczaniem odpadów promieniotwórczych oraz wypalonego paliwa jądrowego (Dz. Urz. UE L 337 z 05.12.2006, str. 21).

W dniu 24 maja 2014 r. weszła w życie ustawa z dnia 4 kwietnia 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. z 2014 r. poz. 587) dokonująca kolejnej zmiany w zakresie definicji odpadów promieniotwórczych oraz zasad postępowania z nimi. Zgodnie z ustawą nowelizującą za odpady promieniotwórcze uznaje się materiały stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami, których wykorzystanie nie

jest przewidywane ani rozważane, zakwalifikowane do kategorii odpadów wymienionych w art. 47, w tym wypalone paliwo jądrowe przeznaczone do składowania; niniejsza definicja nie ma zastosowania do rozdziału 8a. Pod pojęciem postępowania z odpadami przyjęto, zatem działania związane z przetwarzaniem, przemieszczaniem, przechowywaniem lub składowaniem odpadów promieniotwórczych, włącznie z odprowadzaniem odpadów promieniotwórczych do środowiska, z wyłączeniem transportu odpadów promieniotwórczych poza terenem jednostki organizacyjnej. Ustawa z dnia 4 kwietnia 2014 była konsekwencją z kolei wdrożenia dyrektywy Rady 2011/70/EURATOM z dnia 19 lipca 2011 r. ustanawiającą ramy wspólnotowe w zakresie odpowiedzialnego i bezpiecznego gospodarowania wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi (Dz. Urz. UE L 199 z 02.08.2011, str. 48).

W kontekście powyższych rozważań warto również zwrócić uwagę na konkluzje Rady Unii Europejskiej z dnia 11 grudnia 2019 r. w sprawie gospodarowania odpadami promieniotwórczymi powstałymi w wyniku zastosowania tzw. pozaenergetycznych technologii jądrowych. Szczególny nacisk położony został tutaj na konieczność zminimalizowania ilości odpadów promieniotwórczych i zapewnienia ich odpowiedzialnego oraz bezpiecznego użytkowania, przechowywania i trwałego składowania. Rada podkreśliła przy tym, iż obowiązkiem każdego z państw członkowskich jest opracowanie krajowej polityki gospodarowania odpadami promieniotwórczymi, a co za tym idzie zminimalizowane ilości i aktywności odpadów promieniotwórczych oraz opracowanie i uruchomienie nowych technologii lub obiektów związanych z gospodarowaniem odpadami. W ocenie Rady to państwa członkowskie ponoszą ostateczną odpowiedzialność za użytkowanie, przechowywanie oraz trwałe składowanie odpadów promieniotwórczych wytworzonych na ich terytoriach, z tym że zapewnienie odpowiedzialnego i bezpiecznego użytkowania, przechowywania i trwałego składowania odpadów powinno być priorytetem działań prowadzonych nie tylko na szczeblu krajowym, ale również i międzynarodowym. Co więcej, Rada dopuszcza możliwość wprowadzenia rozwiązania polegającego na wspólnym korzystaniu przez państwa członkowskie z usług oraz instalacji do przechowywania lub trwałego składowania odpadów. Jako uzasadnienie wspólnej inicjatywy państw członkowskich w tym zakresie wskazuje się brak możliwości „łatwo dostępnych” czy też „wykonalnych w rozsądny sposób” rozwiązań na gruncie krajowym. Projekt konkluzji rady zawiera również swoją zachętę dla państw członkowskich do dalszego rozwijania współpracy w zakresie programów badawczych, które to mają zasadnicze znaczenie w opracowaniu rozwiązań w kwestii gospodarowania odpadami i rozwijania wiedzy w tej tematyce. Ponadto wspólne korzystanie z istniejącej w tym zakresie technologii,

usług i wiedzy w sposób znaczny zwiększyłyby liczbę potencjalnych rozwiązań w zakresie gospodarowania odpadami na szczeblu krajowym i międzynarodowym.

Kwestie związane z postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym reguluje Wspólna konwencja bezpieczeństwa w postępowaniu z wypalonym paliwem jądrowym i bezpieczeństwa w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi z dnia 5 września 1997 r., która to została ratyfikowana przez Polskę w dniu 9 marca 2000 r. (Dz.U. z 2002 r. Nr 202, poz. 1704). Konwencja zobowiązuje strony do podjęcia działań mających na celu ochronę społeczeństwa oraz środowiska przed zagrożeniem radiologicznym. W preambule kładzie się szczególny akcent na znaczenie współpracy z odpadami promieniotwórczymi. Konwencja nakłada również na przyjmujące je strony szereg obowiązków w tym przeprowadzania ocen bezpieczeństwa obiektów służących do postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym, zastosowania odpowiednich środków bezpieczeństwa po zamknięciu składowiska odpadów promieniotwórczych, czy też dokonywania przeglądów obiektów służących do postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym istniejących w chwili wejścia w życie konwencji. Co więcej, Konwencja nałożyła na sygnatariuszy obowiązek przygotowania i przedkładania na tzw. spotkaniach przeglądowych sprawozdań krajowych odnoszących się do środków podjętych w celu wprowadzenia w życie każdego ze zobowiązań wynikających z przywołanej konwencji.

Obecnie coraz częściej pojawiają się głosy propagujące podejście do energii jądrowej, jako alternatywy dla innych źródeł energii, gwarantującej redukcję gazów cieplarnianych. Wydaje się to być całkowicie realne, chociażby w kontekście planów budowy elektrowni jądrowych. Tym bardziej należy, zatem zwrócić uwagę na problematykę składowania odpadów radioaktywnych. W tym przypadku konkluzje Rady wydają się nabierać większego znaczenia. Powyższe wydaje się korelować w pewnym zakresie z wcześniejszą koncepcją wspólnego składowania odpadów radioaktywnych z elektrowni jądrowych w jednym centralnym składowisku. Koncepcja ta zyskała poparcie Komisji Europejskiej. W raporcie SAPIERR II podkreślano celowość budowy wspólnego składowiska, chociażby z uwagi na fakt znacznie niższych kosztów wspólnej inwestycji w stosunku do kosztów przeznaczanych przez każde z państw członkowskich odrębnie, a także możliwość wypracowania wspólnej polityki w zakresie gospodarowania odpadami radioaktywnymi. Na marginesie powyższych rozważań warto zwrócić uwagę na treść art. 57b UPrawoatom, który to dopuszcza już teraz możliwość składowania odpadów promieniotwórczych w państwie członkowskim Unii Europejskiej lub państwie trzecim, z którym zawarto porozumienie w sprawie składowania

odpadów promieniotwórczych. Porozumienie zawiera minister właściwy do spraw energii i powiadamia o tym Komisję Europejską. Niemniej jednak budowa wspólnego składowiska, która może wydawać się koncepcją zasadną, wymagać będzie bardziej szczegółowej analizy w przyszłości, w tym także rozważania zastosowania nowych rozwiązań prawnych i oceny obecnie funkcjonującej regulacji. Warto w tym kontekście zwrócić uwagę, chociażby na przywołaną wyżej Wspólną konwencję bezpieczeństwa w postępowaniu z wypalonym paliwem jądrowym i bezpieczeństwa w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi, która powołuje się na zasadę składowania odpadów promieniotwórczych w państwie, w którym one powstały, przy jednoczesnym zachowaniu możliwości wspólnego składowania odpadów w przypadku, jeżeli powstały one w wyniku prowadzonej wspólnie działalności.

Ustawa – Prawo atomowe w obecnym brzmieniu w sposób dość rygorystyczny – co należy uznać za zasadne – reguluje kwestie związane zarówno z prowadzeniem działalności polegającej na przetwarzaniu i przechowywaniu odpadów promieniotwórczych, jak i budowie, eksploatacji oraz zamknięciu składowiska.

Zgodnie z art. 4 UPrawoatom zezwolenia wymaga podjęcie działalności związanej z narażeniem polegającej m.in. wytwarzaniu, przetwarzaniu, przechowywaniu, transporcie lub stosowaniu materiałów jądrowych, materiałów promieniotwórczych lub źródeł promieniotwórczych, z wyłączeniem przetwarzania, przechowywania, transportu lub stosowania odpadów zawierających substancje promieniotwórcze niebędących odpadami promieniotwórczymi (ust. 1 pkt 1), budowie, eksploatacji lub zamknięciu składowisk odpadów promieniotwórczych (ust. 1 pkt 3), przechowywaniu, transporcie, przetwarzaniu lub składowaniu odpadów promieniotwórczych (ust. 1 pkt 5). Wniosek o wydanie zezwolenia na wykonywanie działalności, o której mowa powyżej składany jest przez kierownika jednostki organizacyjnej. Wniosek wraz z dokumentacją potwierdzającą spełnienie przez wnioskodawcę warunków bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej wraz z uwzględnieniem specyfiki poszczególnych rodzajów wykonywanej działalności składany jest do Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki, który wydaje zezwolenie w drodze decyzji administracyjnej. Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, iż w przypadku, jeżeli treść dołączonych do wniosku dokumentów jest niewystarczająca dla wykazania, że wymagane przepisami prawa warunki wykonywania działalności związanej z narażeniem zostały spełnione, organ wydający zezwolenie albo przyjmujący zgłoszenie, mając na względzie konieczność zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego, ochrony radiologicznej, ochrony fizycznej oraz zabezpieczeń materiałów jądrowych, może:

1) przeprowadzić kontrolę spełniania warunków bezpieczeństwa jądrowego, ochrony radiologicznej,

ochrony fizycznej lub zabezpieczeń materiałów jądrowych u wnioskodawcy lub

2) zażądać wykonania na koszt wnioskodawcy badań lub ekspertyz w celu stwierdzenia spełnienia warunków bezpieczeństwa jądrowego, ochrony radiologicznej, ochrony fizycznej lub zabezpieczeń materiałów jądrowych, lub

3) zażądać dodatkowych informacji wykazujących spełnienie wymagań bezpieczeństwa jądrowego, ochrony radiologicznej, ochrony fizycznej lub zabezpieczeń materiałów jądrowych.

### Budowa składowiska

Kolejną kwestią podlegającą regulacji UPrawoatom jest budowa składowiska, postrzegana, jako proces wieloaspektowy i długotrwały, co z uwagi na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa zarówno dla człowieka, jak i środowiska znajduje swoje uzasadnienie. Omówienie tej kwestii warto poprzedzić jednak powołaniem się na treść art. 53 UPrawoatom, zgodnie, z którym to składowisku odpadów promieniotwórczych jest nadawany w drodze decyzji administracyjnej przez ministra właściwego do spraw energii, status Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w przypadku, jeżeli co najmniej przez 11 miesięcy w roku umożliwia:

1. składowanie:
  - a. odpadów promieniotwórczych krótkożyciowych niskoaktywnych i średnioaktywnych,
  - b. zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych krótkożyciowych niskoaktywnych i średnioaktywnych;
2. przechowywanie:
  - a. odpadów promieniotwórczych długożyciowych niskoaktywnych i średnioaktywnych,
  - b. zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych długożyciowych niskoaktywnych i średnioaktywnych.

### Składowanie i przechowywanie w głębokim składowisku odpadów promieniotwórczych

W przypadku zaś składowiska głębokiego odpadów promieniotwórczych nadanie statusu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (dalej: „KSOP”) zależy od możliwości składowania przez co najmniej jedenaście miesięcy w roku wszystkich kategorii odpadów promieniotwórczych. Decyzja w tym zakresie jest wydawana na wniosek kierownika jednostki organizacyjnej wykonującej działalność związaną z narażeniem, polegająca na eksploatacji składowiska odpadów promieniotwórczych. Do wniosku jest dołączana kopia zezwolenia Prezesa Agencji na eksploatację składowiska odpadów promieniotwórczych oraz oświadczenie o spełnieniu warunków w zakresie składowania i przechowywania odpadów promieniotwórczych. Minister

właściwy do spraw energii może w drodze decyzji administracyjnej odebrać nadany status w przypadku braku możliwości składowania i przechowywania odpadów promieniotwórczych. Obecnie KSOP jest przeznaczony do składowania wyłącznie krajowych odpadów krótkożyciowych nisko i średnioaktywnych oraz do okresowego przechowywania odpadów długożyciowych. Oznacza to, iż na terenie składowiska mogą być składowane odpady wyłącznie w postaci stałej lub zestalanej, które to spełniają wymagania jakościowe takie jak: nie wydalanie produktów gazowych (z wyjątkiem odpadów zawierające izotopy rozpadające się do produktów gazowych, np. Ra-226), nie zawierają substancji wybuchowych, łatwopalnych lub wykazujących się powinowactwem chemicznym w stosunku do barier ochronnych, nie zawierają cieczy niezwiązanej powyżej 1% całkowitej masy odpadów, ługowalność z produktów zestalania odpadów niskoaktywnych nie powinna być większa niż  $10^{-2} \text{ g} \times \text{cm}^{-2} \times \text{d}^{-1}$ , a dla średnioaktywnych  $10^{-3} \text{ g} \times \text{cm}^{-2} \times \text{d}^{-1}$ , pojemniki zawierające odpady mają być szczelnie zamknięte w sposób zabezpieczający przed wydostaniem się odpadów na zewnątrz.

Odnosząc się zaś do kwestii związanych z tzw. „cyklem życia” składowiska, to należy zwrócić uwagę, iż zgodnie z art. 53a UPrawoatom składowiska odpadów promieniotwórczych lokalizuje się, buduje, eksploatuje i zamyka w sposób uniemożliwiający otrzymanie przez osoby z ogółu ludności w ciągu roku dawki skutecznej (efektywnej) ze wszystkich dróg narażenia przekraczającej wartość 0,1 mSv. Składowisko może być zlokalizowane na obszarze, na którym środowisko przyrodnicze podlega łagodnie przebiegającej ewolucji, a warunki nią kształtowane mogą być wiarygodnie prognozowane przez 500 lat – w przypadku składowiska powierzchniowego oraz 10 000 lat – w przypadku składowiska głębokiego. Ponadto lokalizacja powinna być wybrana z uwzględnieniem cech wyłączających możliwość usytuowania składowiska takich jak: obszary zagrożone występowaniem powodzi (o większym prawdopodobieństwie pojawienia się niż dla wody 1000-letniej), zwiększonej aktywności sejsmicznej naturalnej lub indukowanej działalnością człowieka, zwiększonej aktywności tektonicznej oraz na przebiegu stref uskokowych, ruchów masowych ziemi, osiadania lub zapadania się terenu, zjawisk krasowych lub sufozyjnych, intensywnej erozji wgłębnej lub powierzchniowej, w obrębie obszarów aglomeracji miejskich i skupionego osadnictwa oraz obszarach wyższej wartości społecznej (kulturowej, rekreacyjnej i zdrowotnej), w strefach ochronnych ujęć wody i obszarach ochronnych zbiorników wód śródlądowych, w strefach zasilania głównych i użytkowych zbiorników wód podziemnych, w podziemnych wyrobiskach górniczych powstałych w wyniku wydobywania kopaliny, na terenach górniczych wyznaczonych do działalności polegającej na wydobywaniu kopaliny ze złóż, na obszarach, na których udokumentowano

złoża kopalni, których miejsce występowania może być niesprzyjające dla lokalizacji składowiska, w obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej w rozumieniu ustawy z dnia 21 marca 1991 r. o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej. Przy czym składowisko powierzchniowych odpadów promieniotwórczych nie może być zlokalizowane również poniżej poziomu zwierciadła wód podziemnych i na terenach, na których może występować stałe lub okresowe podtapianie obiektów składowiska, w rejonach charakteryzujących się krótkimi drogami krążenia wód powodującymi szybką migrację zanieczyszczeń do biosfery lub zbiorników podziemnych wód użytkowych, poniżej poziomu zwierciadła wód, rzek lub jezior znajdujących się w jego pobliżu, w rejonie zagrożonym podtapianiem, zatapianiem wodami pośniegowymi lub nawalnymi deszczami.

Przed wyborem lokalizacji składowiska niezbędne jest przeprowadzenie badań i pomiarów, a następnie dokonanie oceny przy uwzględnieniu również powyższych warunków możliwości jego lokalizacji na danym obszarze. Kompleksowa ocena powinna, zatem zawierać następujące czynniki: społeczno-ekonomiczne (w tym: warunki demograficzne, zagospodarowanie przestrzenne, strukturę własnościową, wartości społeczne, geograficzno-przyrodnicze z uwzględnieniem budowy geologicznej oraz jej ewolucji, geomorfologii, występowania zasobów naturalnych i ich znaczenia, warunków hydrogeologicznych, warunków hydrologicznych, warunków meteorologicznych i klimatycznych, a także zagrożeń dla trwałej stabilności obszaru lokalizacyjnego ze strony procesów przyrodniczych i związanych z działalnością gospodarczą, rozkładów stężeń izotopów promieniotwórczych w gruncie, wodach powierzchniowych, wodach podziemnych i w atmosferze oraz analizy rozkładu mocy dawki promieniowania jonizującego według stanu na dzień przeprowadzania oceny i warunków geochemicznych).

### **Procedura wydania zezwolenia na budowę składowiska odpadów promieniotwórczych**

Budowę składowiska poprzedza procedura wydania zezwolenia na budowę składowiska odpadów promieniotwórczych, które wydaje Prezes Agencji. Do wniosku dołączana jest analiza bezpieczeństwa składowiska obejmująca takie elementy jak: wpływ wybranej lokalizacji i rozwiązań projektowych na bezpieczeństwo składowiska, technologię przygotowywania odpadów do składowania, oszacowanie rocznej dawki skutecznej (efektywnej) dla pracowników oraz osób z ogółu ludności w trakcie eksploatacji, zamknięcia oraz po zamknięciu składowiska, a także raport bezpieczeństwa składowania odpadów promieniotwórczych, w którym ujęte zostają:

1. wyniki oceny terenu,

2. dane wykorzystane do sporządzenia tej oceny, w szczególności dokumentację geologiczną,
3. wyniki analiz bezpieczeństwa,
4. opis zintegrowanego systemu zarządzania,
5. opis rozwiązań mających na celu zapewnienie długoterminowego bezpieczeństwa ludności i środowiska po zamknięciu składowiska.

Przed złożeniem wniosku o wydanie zezwolenia na budowę składowiska Wnioskodawca zobowiązany jest do pozyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach inwestycji, na zasadach określonych w przepisach o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko oraz opinię Komisji Europejskiej, wydaną na podstawie art. 37 Traktatu ustanawiającego Europejską Wspólnotę Energii Atomowej (Euroatom). Zgodnie z przywołanym wyżej art., każde Państwo Członkowskie ma obowiązek udostępnić Komisji ogólne dane dotyczące planu składowania odpadów promieniotwórczych w dowolnej formie, tak, aby umożliwić Komisji ustalenie, czy realizacja tego planu może spowodować promieniotwórcze skażenie wód, gleby lub powietrza w innym Państwie Członkowskim. Komisja wydaje opinie w terminie sześciu miesięcy, po konsultacji z grupą specjalistów tj. osobami wyznaczonymi przez Komitet Naukowo-Techniczny spośród ekspertów naukowych, zwłaszcza w dziedzinie zdrowia publicznego, z Państw Członkowskich. Warto tutaj nadmienić, iż przyczyną wprowadzenia art. 37 była niewątpliwie potrzeba wyeliminowania jakiegokolwiek możliwości skażenia promieniotwórczego innego państwa członkowskiego. Doprecyzowanie art. 37 wynika z zalecenia Komisji z dnia 11 października 2010 r. w sprawie stosowania art. 37 Traktatu Euratom (2010/635/Euratom)66). W przywołanym wyżej zaleceniu zdefiniowane zostały użyte w art. 37 Traktatu pojęcia takie jak „składowanie odpadów promieniotwórczych” oraz „ogólne dane”. Dookreślony został również sposób i termin udostępniania ogólnych danych.

### **Wydanie decyzji na budowę składowiska odpadów promieniotwórczych**

Decyzję na budowę składowiska odpadów promieniotwórczych wydaje Prezes Państwowej Agencji Atomistyki w terminie 12 miesięcy liczonych od dnia złożenia wniosku wraz z wymaganymi dokumentami. Wpływ wniosku o wydanie zezwolenia na wykonywanie działalności związanej z narażeniem polegającej na budowie składowiska odpadów promieniotwórczych jest równoznaczny z koniecznością publikacji przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki na swoich stronach w Biuletynie Informacji Publicznej treść wniosku wraz ze skróconym raportem bezpieczeństwa oraz informacji o wszczęciu postępowania w sprawie wydania zezwolenia na budowę składowiska, możliwości

składania uwag i wniosków, sposobie i miejscu składania uwag i wniosków (wraz ze wskazaniem 21-dniowy termin ich składania), a także terminie i miejscu rozprawy administracyjnej otwartej dla społeczeństwa. Organizacja i przebieg rozprawy wyznacza art. 89 i n. ustawy z dnia 14 czerwca 1960 r. – Kodeks postępowania administracyjnego. W trakcie oceny wniosku Prezes Państwowej Agencji Atomistyki może ponadto przeprowadzać kontrole w miejscu, w którym ma być wykonywana działalność objęta wnioskiem, korzystać z pomocy biegłych, ekspertów i laboratoriów, żądać wykonania badań lub ekspertyz w zakresie spełnienia warunków ochrony radiologicznej.

Organ wydając decyzję, określa warunki wykonywania działalności objętej tym zezwoleniem tj. wskazuje odpady promieniotwórcze, które zostały wyłączone z możliwości składowania w danym składowisku, ponadto określa szczegółowe wymagania w zakresie przygotowania odpadów promieniotwórczych do składowania w danym składowisku, a także planowania i procedur awaryjnych. Do zezwolenia na budowę składowiska odpadów promieniotwórczych, poprzedzonego decyzją o środowiskowych uwarunkowaniach ma zastosowanie art. 72 ust 6 i 6a ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko. Zgodnie, z którym to organ właściwy do wydania decyzji dotyczących przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko, niezwłocznie po wydaniu decyzji, podaje do publicznej wiadomości informacje o wydanej decyzji i o możliwościach zapoznania się z jej treścią oraz z dokumentacją sprawy, a także udostępnia na okres 14 dni w Biuletynie Informacji Publicznej na stronie podmiotowej obsługującego go urzędu treść tej decyzji. W informacji wskazuje się dzień udostępnienia treści decyzji. Wydanie zezwolenia na budowę składowiska odpadów promieniotwórczych jest z kolei warunkiem wydania pozwolenia na jego budowę. Pozwolenie na budowę jest natomiast wydawane na zasadach określonych w ustawie z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane.

**Eksplantacja składowiska** (a także jego zamknięcie) wiąże się z koniecznością przeprowadzania oceny okresowej jego bezpieczeństwa, za przeprowadzeniem, której jest odpowiedzialny kierownik jednostki organizacyjnej wykonującej działalność związaną z narażeniem na promieniowanie. Jest ona przeprowadzana pod względem zgodności z zezwoleniem, przepisami prawa oraz normami krajowymi i międzynarodowymi dotyczącymi standardów bezpieczeństwa dla składowisk. W ocenie okresowej bezpieczeństwa wskazuje się zmiany wprowadzone w składowisku od poprzedniej oceny okresowej bezpieczeństwa lub od rozpoczęcia eksploatacji składowiska. Należy przy tym nadmienić, iż ocena jest przeprowadzana z częstotliwością okre-

ślona w zezwoleniu na eksploatację składowiska odpadów promieniotwórczych, jednak nie rzadziej, niż co 15 lat. Kierownik jednostki organizacyjnej sporządza szczegółowy plan oceny okresowej bezpieczeństwa, a następnie przedstawia go do zatwierdzenia Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki. W tym przypadku zatwierdzenie **planu** okresowej oceny bezpieczeństwa następuje w drodze decyzji. Następnie na podstawie oceny okresowej bezpieczeństwa sporządzany jest **raport** z oceny okresowej bezpieczeństwa i w terminie określonym w zezwoleniu na eksploatację składowiska przedstawia się go do zatwierdzenia Prezesowi Agencji. Prezes Państwowej Agencji Atomistyki zatwierdza raport w formie decyzji w terminie sześciu miesięcy od jej otrzymania. Zakres oceny okresowej oraz raportu z oceny okresowej określa rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015 r. w sprawie oceny okresowej bezpieczeństwa składowiska odpadów promieniotwórczych (Dz.U. z 2016 r. poz. 28).

**Program zamknięcia składowiska** jest opracowywany przez Kierownika jednostki organizacyjnej oraz przedstawiany do zatwierdzenia Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki. Program zawiera założenia dotyczące przewidywanego terminu zakończenia eksplantacji składowiska, koncepcję zamknięcia składowiska z uwzględnieniem właściwości materiałów pokrywy składowiska, harmonogram prac niezbędnych do zamknięcia składowiska z zapewnieniem długoterminowego bezpieczeństwa ludności i środowiska, plan monitoringu obszaru składowiska i wokół składowiska po zamknięciu, uwzględniający charakterystykę odpadów oraz przewidywane ograniczniki dawki (limity użytkowe dawki) dla pracowników i ludności w trakcie prac mających na celu zamknięcie składowiska oraz po ich zakończeniu. Program jest przedstawiany wraz z wnioskiem o wydanie zezwolenia na budowę lub eksplantację składowiska i podlega aktualizacji w toku eksplantacji, nie rzadziej jednak niż raz na piętnaście lat. W przypadku zaś zakończenia eksploatacji składowiska z przyczyn nieuwzględnionych w przedstawionym programie, jego aktualizacja jest dokonywana niezwłocznie po zakończeniu eksploatacji. Zaktualizowany program zamknięcia składowiska przedstawia się następnie do zatwierdzenia Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki, który zatwierdza go w drodze decyzji administracyjnej. Ostatecznie z zamknięcia składowiska jest sporządzany raport, który to również zostaje przedstawiony Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki w terminie określonym w zezwoleniu na zamknięcie składowiska odpadów promieniotwórczych. Jego zakres jest ustalany w zezwoleniu na zamknięcie składowiska odpadów promieniotwórczych. Raport zostaje zatwierdzony w drodze decyzji administracyjnej przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki. Za dzień zamknięcia składowiska odpadów promieniotwórczych uznaje się dzień zatwierdzenia

przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki raportu z jego zamknięcia. W przyjętej przez Radę Ministrów w dniu 21 października 2020 r. aktualizacji „Krajowego planu postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym” na lata 2020-2050 zamknięcie Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych uzależnia się od rozpoczęcia eksploatacji nowego składowiska powierzchniowego odpadów promieniotwórczych.

Po przeanalizowaniu przepisów prawnych w zakresie wybranych aspektów prawnych związanych ze składowaniem odpadów promieniotwórczych w kontekście perspektywy rozwoju energetyki jądrowej, nie sposób jednoznacznie na chwilę obecną stwierdzić, czy sprawdzą się one w nowych realiach. Niewątpliwie stawiane przed polską energetyką wyzwania mogą stanowić podłoże do weryfikacji obecnych rozwiązań prawnych.

*Helena Turska,  
Zakład Unieszkodliwiania  
Opadów Promieniotwórczych,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,  
Otwock-Świerk*

#### Literatura:

- [1] Cieszkowska I., Fornalski K, Gajda D. i inn.: Polska Atomistyka, Kraków 2017.
- [2] Hryniewicz A., Energia Wyzwanie XXI Wieku, Kraków 2002.
- [3] Borowski K.: Energetyka jądrowa – perspektywy rozwoju w Polsce, „Infos” 2007, nr 10.
- [4] Gajda, P, Gałusz, W, Kuczyńska U i in.: Energetyka jądrowa dla Polski, Instytut Sobieskiego 2020.
- [5] Kalda G.: Gospodarka odpadami promieniotwórczymi, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Nr. 283 z 2012 r.
- [6] Karaczun Z.: Argumenty przeciw atomowi, „Środowisko” 2011, nr 7.
- [7] Klęczek Z, Zeljas D, Ekologiczne i bezpieczne składowiska odpadów niebezpiecznych w strukturze solnej LGOM, Warsztaty 2010 z cyklu: zagrożenia naturalne w górnictwie.
- [8] Madaj K.: Doświadczenia z 50 lat unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych w Polsce, wygłoszonego podczas konferencji „II Szkoła Energetyki Jądrowej”, 3-5.11.2009 Warszawa.
- [9] Rzymkowski K.: Energetyka jądrowa i środowisko, „Postępy Techniki Jądrowej” 2010, vol. 53, z. 3.
- [10] Sobczuk M.: Budowa elektrowni jądrowych w Polsce regulacje prawne, Energetyka i Prawo.
- [11] Tomczak W.: Unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych w Polsce.
- [12] Żyśk J.: Pierwsza jądrowa w Żarnowcu, „Środowisko” 2010, nr 6.
- [13] Wspólna konwencja bezpieczeństwa w postępowaniu z wypalonym paliwem jądrowym i bezpieczeństwa w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi z dnia 5 września 1997 r. (Dz.U. 2002 Nr 202, poz. 1704).
- [14] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz.U. z 2021 r., poz. 623 ze zm.).
- [15] Uchwała nr 154 Rady Ministrów z dnia 21 października 2020 r. w sprawie aktualizacji „Krajowego planu postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym” (M.P. z 2020 r., poz. 1070).
- [16] Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 19 maja 1989 r. w sprawie zasad zaliczania odpadów do odpadów promieniotwórczych oraz ich kwalifikowania i ewidencjonowania, a także warunków ich unieszkodliwiania, przechowywania i składowania (Dz.U. M.P. z 1989 r. nr 18, poz. 125).
- [17] Dyrektywa Rady z dnia 27 listopada 1989 r. w sprawie informowania ogółu społeczeństwa o środkach ochrony zdrowia, które będą stosowane oraz działaniach, jakie należy podjąć w przypadku pogotowia radiologicznego nr 89/618/Euroatom (Dz. Urz. WE L357 z 07.12.1989, str. 31; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 1, str. 366).
- [18] Dyrektywa Rady z dnia 4 grudnia 1990 r. w sprawie praktycznej ochrony pracowników zewnętrznych, narażonych na promieniowanie jonizujące podczas pracy na terenie kontrolowanym nr 90/641/Euroatom (Dz. Urz. WE L 349 z 13.12.1990, str. 21, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie Wydanie specjalne, rozdz. 5, t. 1 str. 405 z późn. zm.).
- [19] Dyrektywa Rady z dnia 3 lutego 1992 r. w sprawie nadzoru i kontroli przesyłania odpadów radioaktywnych między Państwami Członkowskimi oraz do Wspólnoty i poza jej obszar nr 92/3/Euroatom (Dz. Urz. WE L 35 z 12.02.1992, str. 24; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 2, str. 90).
- [20] Dyrektywa Rady z dnia 13 maja 1996 r. ustanawiającej podstawowe normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony zdrowia pracowników i ogółu społeczeństwa przed zagrożeniami wynikającymi z promieniowania jonizującego nr 96/29/Euroatom (Dz. Urz. WE L 159 z 29.06.1996, str. 1; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 5, t.2, str. 291).
- [21] Dyrektywa Rady z dnia 30 czerwca 1997 r. w sprawie ochrony zdrowia osób fizycznych przed niebezpieczeństwem wynikającym z promieniowania jonizującego związanego z badaniami medycznymi oraz uchylającego dyrektywę 84/466/Euroatom nr 97/43/Euroatom (Dz. Urz. WE L 180 z 09.07.1997, str. 22 z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15, t. 3, str. 332 z późn. zm.).
- [22] Dyrektywa Rady z dnia 22 maja 2003 r. w sprawie kontroli wysoce radioaktywnych źródeł zamkniętych i odpadów radioaktywnych nr 2003/122/Euroatom (Dz. Urz. UE L 346 z 31.12.2003, str. 57; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 15 t. 7, str. 694).
- [23] [http://orka.sejm.gov.pl/opinie8.nsf/nazwa/3237\\_u/\\$file/3237\\_u.pdf](http://orka.sejm.gov.pl/opinie8.nsf/nazwa/3237_u/$file/3237_u.pdf).
- [24] <http://www.zuop.pl/dzialalnosc.html>.
- [25] [https://legislacja.rcl.gov.pl/lista?typeld=2&\\_typeId=1&title=prawo+atomowe&createDateFrom=&createDateTo=&progress=&applicantId=&number=&isUEAct=on&isTKAct=on&isActEstablishingNumber=on&isSeparateMode=on&isDU=on&isNumerSejm=on#list](https://legislacja.rcl.gov.pl/lista?typeld=2&_typeId=1&title=prawo+atomowe&createDateFrom=&createDateTo=&progress=&applicantId=&number=&isUEAct=on&isTKAct=on&isActEstablishingNumber=on&isSeparateMode=on&isDU=on&isNumerSejm=on#list).
- [26] <https://orka.sejm.gov.pl/Druki6ka.nsf/wgdruku/124>.
- [27] [https://orka.sejm.gov.pl/RejestrD.nsf/wgdruku/2199/\\$file/2199.pdf](https://orka.sejm.gov.pl/RejestrD.nsf/wgdruku/2199/$file/2199.pdf)



# PRZEGLĄD TECHNOLOGII PRZETWARZANIA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH STOSOWANYCH PRZEZ ZUOP W POLSCE

## Overview of radioactive waste processing technologies used by the RWMP in Poland

Jakub Żebrowski

**Streszczenie:** W artykule omówiono aktualnie stosowane technologie przetwarzania odpadów promieniotwórczych stałych oraz ciekłych, postępowanie z izotopowymi czujkami dymu, oraz promieniotwórczymi odpadami biologicznymi. Przedstawiono także historię Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) oraz klasyfikację odpadów promieniotwórczych.

**Abstract:** In this article the currently used treatment and conditioning technologies for solid and liquid radioactive waste, handling isotope smoke detectors and radioactive biological waste are presented. The history of the Radioactive Waste Management Plant and the classification of radioactive waste are also presented.

**Słowa kluczowe:** Odpady radioaktywne, izotopowe czujki dymu, przetwarzanie odpadów promieniotwórczych, technologie przetwarzania odpadów promieniotwórczych, klasyfikacja odpadów promieniotwórczych

**Keywords:** Radioactive waste, isotope smoke detectors, radioactive waste treatment, radioactive waste treatment technologies, classification of radioactive waste

### Wstęp

Wraz z powstaniem pierwszego reaktora jądrowego w Polsce w 1958 r. pojawiły się nowe rodzaje odpadów promieniotwórczych. Do zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych dołączyły odpady pochodzące z eksploatacji reaktora – zużyte jonity oraz ścieki promieniotwórcze. Jako że nowe typy odpadów wymagały dalszego przetwarzania, nastąpił rozwój tego typu technologii w Polsce.

Niedługo potem, bo w 1961 r., otwarto składowisko odpadów promieniotwórczych w Różanie pod nazwą Centralna Składowica Odpadów Promieniotwórczych (CSOP). Dziś to samo składowisko funkcjonuje pod nazwą Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych (KSOP). Otwarcie składowiska było ostatnim krokiem do zapewnienia kompletnego procesu przetwarzania odpadów promieniotwórczych w Polsce.

### Klasyfikacja odpadów

Sposób klasyfikacji odpadów promieniotwórczych określa rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego [1], które dzieli odpady promieniotwórcze na kategorie oraz podkategorie. Jednocześnie na początku

aktu można znaleźć podstawę klasyfikacji izotopów promieniotwórczych na krótko- i długożyciowe (Tabela 1).

**Tabela 1.** Klasyfikacja izotopów według rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego

**Table 1.** Isotope classification according to the Regulation of the Council of Ministers on radioactive waste and spent nuclear fuel

Rodzaj izotopu	Okres połowicznego rozpadu
Krótkożyciowy	<30 lat
Długożyciowy	>30 lat

Klasyfikacja odpadu do którejś z kategorii następuje na podstawie jego aktywności lub stężenia promieniotwórczego. Stężenie promieniotwórcze jest to aktywność wyrażona w kBq na kilogram odpadu. Przepisanie do podkategorii następuje na podstawie okresu połowicznego rozpadu izotopów występujących w odpadach. Należy zaznaczyć, że w odpadach przejściowych oraz odpadach krótkożyciowych mogą występować izotopy długożyciowe. Szczegółowe zasady klasyfikacji odpadów do podkategorii można znaleźć w Tabeli 2.

**Tabela 2.** Zasady podziału odpadów promieniotwórczych na kategorie i podkategorie. [1, 2]**Table 2.** Rules for the division of radioactive waste into categories and subcategories [1, 2]

Kategoria		Podkategoria		
		Przejściowe	Krótkożyciowe	Długożyciowe
Odpady niskoaktywne	$EAC < A \leq 10^4 EAC$	Po trzech latach stężenie promieniotwórcze izotopów spadnie poniżej wartości określonej dla odpadów niskoaktywnych	izotopy krótkożyciowe i długożyciowe, jeżeli $A \leq 400 \text{ kBq/kg}$ dla izotopów długożyciowych, w przypadku próbki niejednorodnej: $A_{\max} \leq 4000 \text{ kBq}$ w 1 kg reprezentatywnej próbki dla izotopów długożyciowych lub wyłącznie izotopy długożyciowe, jeżeli: $A \leq 400 \text{ kBq/kg}$	$A > 400 \text{ kBq/kg}$ dla izotopów długożyciowych
Odpady średnioaktywne	$10^4 EAC < A \leq 10^7 EAC$			
Odpady wysokoaktywne	$A > 10^7 EAC$			

gdzie: A – stężenie promieniotwórcze izotopu w odpadzie (kBq/kg), EAC – wartość stężenia promieniotwórczego izotopu stanowiąca podstawę kwalifikowania odpadów do kategorii odpadów promieniotwórczych (kBq/kg).

**Tabela 3.** Zasady podziału zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych na podkategorie [1, 2]**Table 3.** Rules for the division of spent sealed radioactive sources into subcategories [1, 2]

Zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze	Podkategoria		
	Niskoaktywne	Średnioaktywne	Wysokoaktywne
	$EA < A \leq 10^8 \text{ Bq}$	$10^8 < A \leq 10^{12} \text{ Bq}$	$A > 10^{12} \text{ Bq}$

gdzie: A – aktywność zawartych izotopów w źródle (Bq), EA – wartość aktywności stanowiącą podstawę kwalifikowania odpadów do kategorii odpadów promieniotwórczych (Bq).

ZUOP przyjmuje także zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze. Ich klasyfikacja obejmuje podział na podkategorie wynikające z ich aktywności (Tabela 3).

### Podstawowe zasady postępowania z odpadami promieniotwórczymi

Odpady promieniotwórcze są bardzo szczególną grupą odpadów. Oprócz niebezpieczeństwa związanego z promieniowaniem jonizującym, odpady promieniotwórcze mogą wykazywać dowolne inne właściwości tj. utleniające, żrące, rakotwórcze, trujące itd. Odpady pochodzące z placówek medycznych dodatkowo mogą być skażone biologicznie, dlatego postępowanie z tego typu odpadami musi być prowadzone ze szczególną ostrożnością.

Podstawowym wewnętrznym kryterium klasyfikacji odpadów promieniotwórczych odbieranych przez ZUOP jest stan skupienia, ponieważ determinuje on sposób dalszego postępowania z odpadem. Odbierane są odpady promieniotwórcze ciekłe oraz stałe.

Podstawowymi założeniami przetwarzania odpadów promieniotwórczych są:

- minimalizacja objętości,
- zestalenie,
- nadanie formy bezpiecznej do transportu i długotrwałego składowania.

Niezależnie od postaci odpadu odebranego przez ZUOP, przetworzony odpad umieszczany jest w zabezpieczonym przed korozją bębnie o pojemności 200 litrów i w takiej postaci jest transportowany do KSOP w celu składowania (fot. 1).



**Fot. 1.** Bębny gotowe do transportu do KSOP (fot. KSOP)  
**Photo 1.** Drums prepared for transport to the NRWR

Wszystkie czynności od odbioru aż do składowania odpadu promieniotwórczego są prowadzone w sposób maksymalnie ograniczający narażenie personelu oraz środowiska naturalnego. Jednocześnie poziom zabezpieczeń zachowywany jest na jak najwyższym poziomie, dlatego szczególnie nacisk kładziony jest na właściwą dokumentację oraz segregację.

Każda praca z odpadami promieniotwórczymi planowana jest zgodnie z zasadą ALARA (As Low As Reasonable Achievable). Jest to podstawowa zasada ochrony radiologicznej, mówiąca o planowaniu i organizowaniu pracy z promieniowaniem jonizującym w sposób maksymalnie minimalizujący ekspozycję pracowników jednocześnie uwzględniając czynniki techniczne i ekonomiczne. Efekt pracy powinien być osiągnięty przy możliwie najmniejszej dawce promieniowania. [3]

Należy nadmienić, że w Polsce niedopuszczalne jest składowanie odpadów w stanie ciekłym, dlatego ciekłe odpady w trakcie procesu unieszkodliwiania przeprowadzane są w ciało stałe.

### Postępowanie z odpadami przejściowymi

Odpady przejściowe ciekłe oraz stałe, z uwagi na krótki czas rozpadu zawartych w nich izotopów, są magazynowane do czasu ich wygaśnięcia.

Postępowanie z tego typu odpadami polega na umieszczeniu ich w magazynie. Po upływie 3 lat poddawane są kontroli i ponownej klasyfikacji przez ZUOP. W przypadku niesklasyfikowania jako odpady promieniotwórcze są zwalniane jako odpady komunalne. Schemat postępowania został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat postępowania z odpadami przejściowymi  
Figure 1. Diagram of proceeding with temporary waste

### Technologie przetwarzania odpadów ciekłych

ZUOP ma możliwość przetwarzania odpadów nisko- oraz średnioaktywnych krótkożyjących dwoma technologiami na dwóch instalacjach: odwróconej osmozy, oraz wyparnej. Ciekłe odpady promieniotwórcze objętościowo stanowią większość odbieranych odpadów. Ze względu na brak możliwości składowania odpadów w stanie ciekłym konieczne jest ich zestalenie. Do solidyfikacji zateżonych odpadów ciekłych powstałych podczas procesów przetwarzania wykorzystywana jest instalacja cementowania.

Instalacja odwróconej osmozy została zbudowana w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w 2003 r. Składa się z 3 stopni – modułów. Pierwszym jest moduł wstępny, moduł drugi jest modułem doczyszczającym, natomiast trzeci moduł jest modułem zateżającym.

W 2019 r. przed instalacją RO (Reverse Osmosis) zainstalowano dwustopniową baterię filtrów oczyszczania wstępnego (rys. 2). Pierwszy stopień jest to filtr zgrubny, drugi stopień są to filtry węglowe. Instalacja posiada własne filtry, o mniejszej wielkości porów niż

w baterii filtracyjnej, w celu doczyszczenia przetwarzanego ścieku.

Kolejnym etapem był remont i modernizacja instalacji wykonana w 2020 r. (fot. 3). Wymieniono zużyte elementy eksploatacyjne, dostosowano zakres pomiarowy urządzeń do aktualnie przetwarzanych odpadów ciekłych oraz zwiększono ilość punktów pomiarowych na instalacji.

Po optymalizacji parametrów pracy instalacji przewodność oczyszczonego ścieku mieści się w przedziale 3-12  $\mu\text{S}/\text{cm}$  przy natężeniu przepływu w okolicach 850  $\text{dm}^3/\text{h}$ . Zateżony ściek otrzymywany jest w ilości około 300  $\text{dm}^3/\text{h}$ , a przewodność wynosi 12-16  $\text{mS}/\text{cm}$ . Średnia przewodność ścieku surowego wynosiła 3,5  $\text{mS}/\text{cm}$ . Na podstawie wzrostu natężenia przepływu strumienia ścieków oczyszczonych oraz obniżenia przewodności ścieków oczyszczonych stwierdzono zwiększenie wydajności procesu zarówno pod względem ilościowym, jak i jakościowym.

Instalacja wykorzystywana jest do wstępnego zateżenia odpadów, które następnie kierowane są do procesu wyparnego, w którym poddawane są dalszemu zateżaniu. Rozwiązanie to pozwala uzyskać korzyści ekonomiczne, przez skrócenie czasu potrzebnego na



Fot. 2. Bateria filtracyjna (fot. KSOP)  
Photo 2. Filters battery



**Fot. 3.** Instalacja odwróconej osmozy po modernizacji w 2020 r. (fot. KSOP)  
**Photo 3.** Reverse osmosis installation after modernization in 2020

dalsze zażęcenie ścieków na instalacji wyparnej, która jest technologią droższą od odwróconej osmozy.

Instalacja wyparna została uruchomiona 2003 r. Obecnie jest największą posiadaną przez ZUOP instalacją technologiczną (fot. 5, 6). Podobnie jak w przypadku instalacji



**Fot. 4.** Stacja Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych. W najwyższej części budynku znajduje się instalacja wyparna. Po lewej widoczny silos na cement instalacji cementowania (fot. KSOP)  
**Photo 4.** Radioactive Waste Conditioning and Treatment Station. In the highest part of the building the evaporative installation is located. On the left, a cement silo for the cementing installation can be seen

RO, instalacja wyparna pozwala przetwarzać ciekłe odpady nisko- oraz średnioaktywne krótkożyłowe. Od czasu uruchomienia instalacja przeszła dwie modernizacje. Pierwsza w 2009 r. obejmowała system sterowania komputerowego, umożliwiając znacznie precyzyjniejsze sterowanie parametrami procesu. Podczas drugiej modernizacji w 2015 r. wbudowano skomputeryzowany system dozymetryczny pozwalający na śledzenie poziomu promieniowania, archiwizację pomiarów oraz zdalny odczyt w centrali dozymetrycznej ZUOP, dodatkowo zainstalowano elektroniczny system kontroli i wizualizacji przepływu powietrza w instalacji podczas procesu.

Instalacja RO oraz wyparna są ze sobą zintegrowane. Pozwala to na zastosowanie instalacji RO jako pierwszego etapu procesu. W przypadku przedostania się radionuklidów do destylatu jest on przekierowywany na instalację RO w celu doczyszczania.

Końcowym etapem przetwarzania odpadów ciekłych jest ich zestalanie na instalacji cementowania (fot. 6).

Instalacja została pozyskana i uruchomiona w ramach pomocy technicznej Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) w 2001 r. i zastąpiła zestalanie metodą asfaltowania.

Istotą procesu jest wymieszanie ciekłych zażęconych odpadów promieniotwórczych powstałych w wyniku procesu unieszkodliwiania z materiałem wiążącym, jakim są wysokowytrzymałe mieszanki cementowe.



**Fot. 5.** Instalacja wyparna poziom, 0' (fot.KSOP)  
**Photo 5.** Level, 0' of evaporative installation



**Fot. 6.** Instalacja cementowania podczas pracy  
**Photo 6.** Cementing installation during operation



**Fot. 7.** Mieszadło wraz z zintegrowanym systemem dozowania cementu oraz zatężonych ciekłych odpadów  
**Photo 7.** Agitator with integrated cement and concentrated liquid waste dosing system

Proces cementowania rozpoczyna się od załadowania 200 litrowych bębnow na wagonik widoczny na fot. 6, który następnie podjeżdża na stanowisko pod mieszadłem (fot. 7). Mieszadło jest zintegrowane z dozownikami cementu oraz zatężonych ścieków, z systemem wentylacji oraz z systemem monitorowania procesu. Pozwala to na minimalizację narażenia pracowników podczas prowadzenia procesu.

Po zakończeniu mieszania, wagonik wyjeżdża z drugiej strony instalacji, gdzie bębny są z niego zdejmowane. Po związaniu cementu zestalone odpady od góry zabezpieczane są warstwą nieaktywnego cementu, a bęben zamykany jest pokrywą. Schemat przetwarzania ciekłych odpadów nisko- oraz średnioaktywnych krótkożyciowych przedstawiony jest na rys. 2.



**Rys. 2.** Schemat przetwarzania ciekłych odpadów promieniotwórczych nisko- oraz średnioaktywnych krótkożyciowych (opracowanie własne)  
**Figure 2.** Diagram of the processing of short-lived low-activity and medium-active liquid radioactive waste

Najstarszą metodą oczyszczania ciekłych odpadów promieniotwórczych w ZUOP jest sorpcja na mieszaninie syntetycznych sorbentów nieorganicznych. Metoda została wdrożona w 1976 r. Używane sorbenty składają się z siarczanu (VI) baru oraz żelazocyjanku miedzi (II). Mieszanina powyższych związków jest dodawana do ciekłych odpadów w postaci wodnej zawiesiny. Po rozdzieleniu faz, materiał sorpcyjny, w którym znajduje się 80-99% początkowej aktywności, poddawany jest zestaleniu. Obecnie metoda ta nie jest już wykorzystywana.

Oczyszczone ścieki, uzyskane w procesach unieszkodliwiania, przed zwolnieniem do kanalizacji komunalnej badane są w 3 etapach:

1. Badanie kontrolne skuteczności procesu oczyszczania – pomiar aktywności  $\gamma$ , przeprowadzane przez wewnętrzne laboratorium ZUOP,
2. Badanie radiologiczne – pomiar aktywności  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  oraz zawartości trytu, badanie przeprowadzane przez akredytowane laboratorium zewnętrzne,
3. Badanie zawartości metali ciężkich – stężenie metali ciężkich musi zawierać się poniżej poziomu określonego w operacie wodnoprawnym, badanie przeprowadzane przez akredytowane laboratorium zewnętrzne.

Dopiero po pozytywnych wynikach z każdego kolejnego etapu badań, ściek oczyszczony może być odprowadzony do kanalizacji komunalnej.

### Technologie przetwarzania odpadów stałych

Odpady stałe są drugim największym pod względem objętości strumieniem odpadów przyjmowanych

przez ZUOP. Przetwarzaniu poddawane są odpady niskoaktywne krótkożyciowe pod warunkiem, że moc dawki na powierzchni opakowania nie przekracza 200  $\mu\text{Sv}$ . W przypadku przekroczenia mocy dawki na powierzchni opakowania oraz w przypadku odpadów średnio- i wysokoaktywnych są one magazynowane w celu schłodzenia.

Odpady zakwalifikowane do przetworzenia można podzielić na trzy grupy:

- Prasowalne
- Nieprasowalne
- Odpady wielkogabarytowe

W zależności od wielkości oraz budowy odpadów wielkogabarytowych są one specjalistycznie zabezpieczane lub cięte na mniejsze części, mieszczące się do

bębnow 200 litrowych, a następnie traktowane jak odpady nieprasowalne.

Odpady nieprasowalne są to głównie przedmioty metalowe (np. skażone rurociągi), drewniane (np. skażone palety) oraz betonowe (np. skażony gruz). Przetwarzanie tego typu odpadów polega na umieszczeniu w bębnie 200 litrowym, a następnie zalaniu zaprawą betonową.

Odpady prasowalne stanowią największą grupę odpadów stałych. Są to tzw. miękkie odpady. Wśród nich można znaleźć: ligninę, rękawiczki, odzież, szkło laboratoryjne, strzykawki itp. W większości przypad-



**Fot. 8.** Prasa hydrauliczna wykorzystywana do prasowania odpadów promieniotwórczych  
**Photo 8.** A hydraulic press used for radioactive waste compaction

ków odpady prasowalne są odbierane przez ZUOP w hobokach 50 litrowych. Pierwszym etapem przetwarzania jest przepakowanie odpadów do bębnow 200 litrowych, a następnie prasowane w bębnie. Do prasowania wykorzystywana jest prasa hydrauliczna o nacisku 12 ton (fot. 8).

Po sprasowaniu odpady zalewane są zaprawą betonową w celu zabezpieczenia przed wysypaniem w przypadku uszkodzenia bębna. Po zabezpieczeniu odpady transportowane są do KSOP.

### Przetwarzanie izotopowych czujek dymu

ZUOP od 1995 r. zajmuje się unieszkodliwianiem izotopowych czujek dymu. Ze względu na niewielki rozmiar źródła promieniotwórczego umieszczonego w czujkach, ich demontaż pozwala zaoszczędzić do 95% powierzchni magazynowej. [3]



**Fot. 9.** Komora rękawicowa używana do demontażu izotopowych czujek dymu

**Photo 9.** Glove box used for isotope smoke detectors dismantling



**Fot. 10.** Wnętrze komory rękawicowej do demontażu izotopowych czujek dymu. Na środku widoczna jest stalowa puszką ze zdemontowanymi źródłami

**Photo 10.** The interior of a glove box for of isotope smoke detectors dismantling. In the middle a steel box with removed radioactive sources can be seen

Najczęściej występującymi izotopami w izotopowych czujkach dymu jest Am-241, w mniejszych ilościach można spotkać Pu-239 oraz Pu-238. Najmniej liczną grupą są czujki ze źródłem Ra-226. Czujki ze źródłem radowym nie są demontowane, są procedowane w całości.

Demontaż prowadzi się w komorze rękawicowej (fot. 9), w której panuje podciśnienie ukierunkowujące przepływ powietrza na filtry wychwytyjące.

Zdemontowane źródła umieszczane są w stalowych puszkach o pojemności 1 litra (fot.10). Po wypełnieniu puszkę, źródła zestawiane są w żywicy epoksydowej. Następnie puszkę umieszczaną jest w hoboku 50 litrowym i zalewana mieszkanką betonową. W przypadku czujek nierozbieralnych lub skażonych są one umieszczane w puszkach 5 litrowych i dalej procedowane w analogiczny sposób.

### Przetwarzanie źródeł radowych

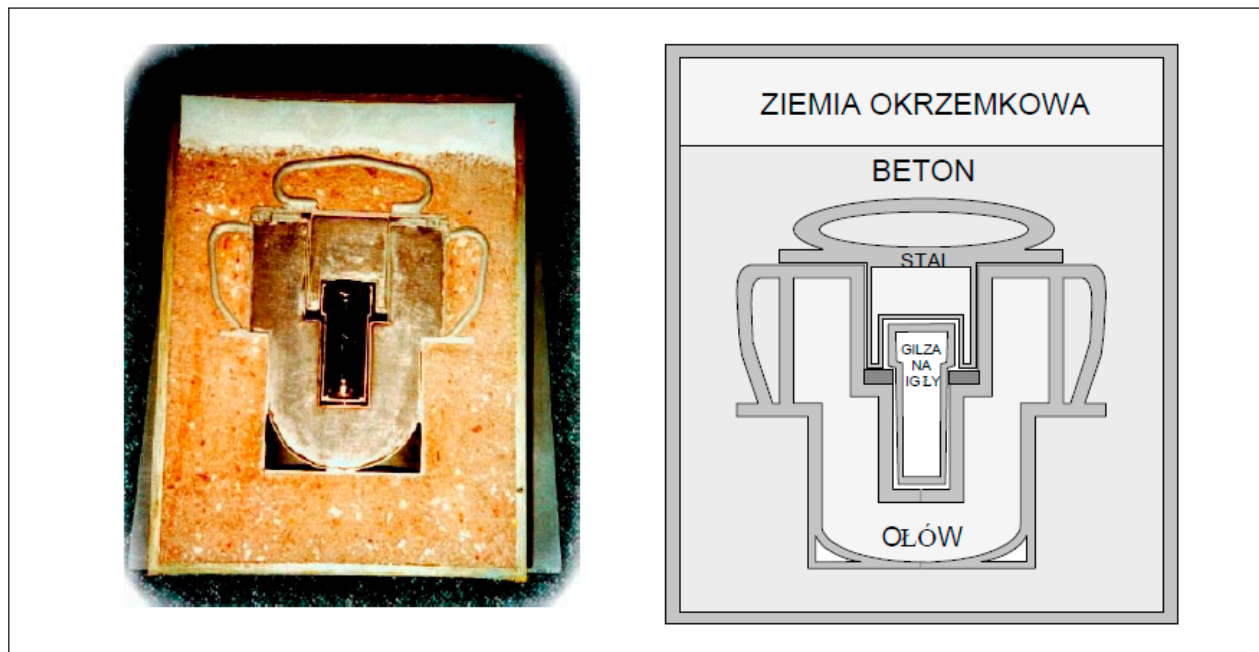
Przetwarzanie źródeł radowych jest procesem bardzo złożonym. Pierwszym etapem jest zatopienie źródeł w szklanej ampule, które umieszcza się w gilzie (fot. 11), która następnie zamykana jest hermetycznie w zasobniku ze stali nierdzewnej.

Całość umieszczana jest w gnieździe pojemnika ołowianego K-50 lub K-90. Następnie pojemnik ołowiany umieszczany jest w stalowym pojemniku osłonowym i zalewany betonem. Po związaniu betonu na wierzchu układana jest warstwa ziemi okrzemkowej, a całość jest zaspawywana. Przekrój przez pojemnik po procesie przetwarzania jest przedstawiony na rys. 3.



**Fot. 11.** Gilza na źródła radowe

**Photo 11.** Container for radium sources



Rys. 3. Przekrój przez pojemnik na źródła radowe [3]

Figure 3. Cross-section of a container for radium sources [3]

### Przetwarzanie odpadów biologicznych

Odpady biologiczne są nie tylko źródłem promieniowania, ale są także potencjalnym źródłem patogenów, dlatego postępowanie z nimi jest szczególnie niebezpieczne. Odpadami biologicznymi są skażone zwłoki zwierząt i innych organizmów żywych. Odpady pochodzenia zwierzęcego umieszczane są w specjalnym pojemniku i zalewane żywicą mocznikowo-formaldehydową, a odpady niezwierzęce traktowane są jak odpady stałe.

### Składowanie odpadów promieniotwórczych

Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych położone jest w miejscowości Różan około 90 km od Warszawy. Znajduje się na terenie dawnego fortu carskiego wybudowanego w latach 1905-1908 i zajmuje powierzchnię około 3 hektarów. Składowisko otworzono w 1961 r. i jest typem składowiska powierzchniowego.

KSOP jest ostatecznym miejscem składowania przetworzonych odpadów nisko- oraz średnioaktywnych krótkożyciowych. Dopuszczone jest także okresowe przechowywanie odpadów długożyciowych.

Jakub Żebrowski,  
Zakład Unieszkodliwiania  
Opadów Promieniotwórczych,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,  
Otwock-Świerk



Fot. 12. Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie [2] (fot. ZUOP)

Photo 12. The National Radioactive Waste Repository in Różan [2] (Photo. ZUOP)

### Literatura:

- [1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego, <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20150002267/O/D20152267.pdf>, dostęp 08.07.2021
- [2] Madaj K., *60 lat postępowania z odpadami promieniotwórczymi w Polsce*, <http://www.ichtj.waw.pl/ptj/Pliki/ptj-2021no2.pdf>, str.4-10, dostęp 23.07.2021
- [3] Madaj K., *Doświadczenia z 50 lat unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych w Polsce*, [http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal2/CD\\_II\\_SZKOLA/II.%20CYKL\\_PALIOWY/5\\_K\\_Madaj\\_doswiadczenia.pdf](http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal2/CD_II_SZKOLA/II.%20CYKL_PALIOWY/5_K_Madaj_doswiadczenia.pdf), dostęp 08.07.2021



# HISTORIA ZREALIZOWANEGO PROJEKTU

## History of the completed project

Grażyna Birnbaum

**Streszczenie:** Zastosowanie w reaktorze jądrowym wzbogaconego w nuklid Te-130 ditlenku telluru do otrzymywania I-131, w wyniku reakcji jądrowej ( $n, \gamma$ ). W artykule przedstawiono korzyści, jakie można uzyskać po wprowadzeniu nowego surowca i plan dalszych badań.

**Abstract:** The use of Te-130 nuclide enriched tellurium dioxide in a nuclear reactor for the preparation of I-131 as a result of a nuclear reaction ( $n, \gamma$ ). The article presents the benefits that can be obtained after the introduction of a new raw material and a plan for further research.

**Słowa kluczowe:** produkcja I-131; wzbogacony w Te-130 ditlenek telluru

**Keywords:** production of I-131; Te-130 enriched tellurium dioxide

Ośrodek Radioizotopów POLATOM Narodowego Centrum Badań Jądrowych jest producentem preparatów radioizotopowych stosowanych w medycynie, badaniach naukowych oraz technice. Ważniejszym radioizotopowym preparatem produkowanym w POLATOM-ie jest I-131. Preparaty I-131 są wykorzystywane w medycynie nuklearnej, jako radiofarmaceutyki do diagnostyki i terapii. W Ośrodku Radioizotopów POLATOM I-131 otrzymuje się w procesie napromieniania nieaktywnego ditlenku telluru  $\text{TeO}_2$  w reaktorze MARIA. Napromienianie prowadzone jest w pionowych kanałach izotopowych znajdujących się w rdzeniu reaktora MARIA.

W procesie produkcji I-131 można wyodrębnić następujące kluczowe etapy:

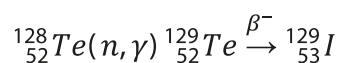
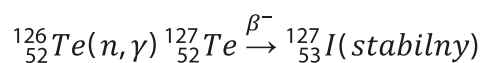
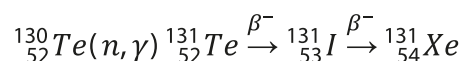
1. przygotowanie nieaktywnego ditlenku telluru do napromieniania w reaktorze MARIA;
2. napromienianie ditlenku telluru w reaktorze MARIA;
3. proces destylacji I-131 w komorach produkcyjnych OR Polatom.

Wzrost zamówień na preparaty I-131 powodował wprowadzenie udoskonaleń na różnych etapach całego procesu produkcji. Prace usprawniające podjęte w Ośrodku POLATOM dotyczyły przygotowania materiału przekazywanego do aktywacji w reaktorze MARIA oraz intensyfikacji procesu sublimacji I-131 z aktywnego  $\text{TeO}_2$ . Natomiast prace w Dziale Eksploatacji Reaktora MARIA dotyczyły zwiększenia przestrzeni do

napromieniania neutronami w kanałach izotopowych w rdzeniu reaktora (wprowadzono nowe bloki z kanałami dla izotopów, zamieniono bloki dwukanałowe na sześciokanałowe). Zgodnie z oczekiwaniem spowodowało to zwiększenie ilości otrzymanego aktywnego  $\text{TeO}_2$ , co przekładało się na zwiększenie produkcji I-131. Dzięki temu zaspokojono rosnące zapotrzebowanie na I-131. Jednakże w ostatnim czasie skomplikowała się możliwość uzupełnienia I-131 własnej produkcji jodem zakupionym u innego producenta w okresach przerw w pracy reaktora MARIA trwających ponad dwa tygodnie. Po głębszej analizie stwierdzono, że problem ten można rozwiązać poprzez napromienianie ditlenku telluru wzbogaconego w nuklid Te-130.

W tabeli 1 przedstawiono skład izotopowy ditlenku telluru używanego obecnie do produkcji I-131.

Z punktu widzenia otrzymywania I-131 ważnymi reakcjami jądrowymi zachodzącymi w materiale tarczowym ( $\text{TeO}_2$ ) są następujące reakcje:



**Tabela 1.** Skład izotopowy telluru w naturalnym ditlenku telluru

**Table 1.** Isotopic composition of tellurium in natural tellurium dioxide

Izotop	Te-120	Te-122	Te-123	Te-124	Te-125	Te-126	Te-128	Te-130
Zawartość, %	0,089	2,46	0,87	4,61	6,99	18,71	31,79	34,48

Reakcje jądrowe prowadzące do powstawania innych, poza I-131, nuklidów jodu zaniżają aktywność właściwą I-131. Izotop, z którego uzyskuje się I-131 w reakcji jądrowej stanowi niewiele ponad 1/3 zawartości w napromienianym materiale. Zastosowanie bogatszego w Te-130 materiału do aktywacji w reaktorze dawałoby wiele korzyści, a mianowicie:

1. mniejsza liczba próbek (tarcz) do napromienienia,
2. bezpieczeństwo i oszczędność w nakładach pracy do przygotowania tarcz,
3. mniejsza skala w procesie destylacji I-131,
4. mniej odpadów promieniotwórczych,
5. poprawa aktywności właściwej I-131,
6. możliwość powtórnego użycia ditlenku telluru, jako materiału tarczowego.

Do realizacji tego projektu został użyty ditlenek telluru wzbogacony w nuklid Te-130 firmy Isoflex USA. W tabelach 2 i 3 przedstawiono skład izotopowy telluru, dla dwóch serii zakupionego materiału.

W tabeli 4 przedstawiono porównanie średnich aktywności I-131 uzyskanych z tarczy napromienionego ditlenku telluru wzbogaconego w nuklid Te-130 i z tarczy o naturalnym składzie izotopowym. Aktywności podano na tę samą datę i godzinę.

Zgodnie z oczekiwaniem aktywności I-131 uzyskane z materiału wzbogaconego w Te-130 są trzykrotnie wyższe niż aktywności I-131 uzyskane z materiału o naturalnym składzie izotopów telluru. Potwierdzenie przedstawionych wcześniej dodatkowych korzyści użycia tego materiału wymaga prowadzenia badań rozłożonych w czasie. Jednakże perspektywa wprowadzenia do produkcji I-131 tarcz ze wzbogaconego w nuklid Te-130 materiału jest interesująca zarówno dla Ośrodka Radioizotopów Polatom, jako producenta preparatów I-131, jak i dla Działu Eksploatacji Reaktora MARIA, jako gospodarza reaktora jądrowego.

**Tabela 2.** Skład izotopowy telluru w pierwszej serii  
**Table 2.** Isotopic composition of tellurium in the first series

Izotop	Te-120	Te-122	Te-123	Te-124	Te-125	Te-126	Te-128	Te-130
Zawartość, %	0,05	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	3,18	96,67

**Tabela 3.** Skład izotopowy telluru w drugiej serii  
**Table 3.** Isotopic composition of tellurium in the second series

Izotop	Te-120	Te-122	Te-123	Te-124	Te-125	Te-126	Te-128	Te-130
Zawartość, %	0,03	0,03	0,07	0,02	0,02	0,03	3,17	96,63

**Tabela 4.** Porównanie średniej aktywności I-131 [Ci] dla różnych tarcz  
**Table 4.** Comparison of Mean I-131 [Ci] Activity for Different Targets

Pozycja w rdzeniu reaktora	Tarcza wzbogacona	Tarcza naturalna
H V 1/4	45,2	13,5
H V 2/3	60,6	18,9

Grażyna Birnbaum,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych OR Polatom,  
Otwock-Świerk

# MODELOWANIE BIOFIZYCZNE POPROMIENNEGO EFEKTU SĄSIEDZTWA – CZĘŚĆ II

## *Biophysical modeling of the radiation bystander effect - part II*

Paweł Wysocki, Krzysztof W. Fornalski

**Streszczenie:** Powszechnie wiadomo, że promieniowanie jonizujące może wywoływać uszkodzenia w komórkach, które z nim bezpośrednio oddziaływały. Jednakże ostatnie badania wykazały, że uszkodzenia pojawiają się również w komórkach, które nie doświadczyły bezpośredniej interakcji. Jest to związane z występowaniem tak zwanego efektu sąsiedztwa (ang. bystander effect), który polega na wysyłaniu przez komórkę napromienioną sygnałów, które mogą uszkadzać komórki sąsiednie. Ze względu na złożoność tego efektu, nie jest on prosty do ścisłego biofizycznego opisu, a co za tym idzie, także do symulacji. W niniejszym artykule przedstawiony został przegląd różnych podejść do modelowania i symulowania efektu sąsiedztwa z punktu widzenia biofizyki radiacyjnej (część I). W szczególności ostatni z przedstawionych modeli jest częścią większego projektu symulacji odpowiedzi grupy komórek na promieniowanie jonizujące z wykorzystaniem metod Monte Carlo (część II).

**Abstract:** It is well known that ionizing radiation can cause damages to cells that interact with it directly. However, recent studies have shown that damages also occur in cells that have not experienced direct interaction. This is due to the so-called bystander effect, which is observed when the irradiated cell sends signals that can damage neighboring cells. Due to the complexity of this effect, it is not easy to strictly describe it biophysically, and thus also to simulate. This article reviews various approaches to modeling and simulating the bystander effect from the point of view of radiation biophysics (Part I). In particular, the last model presented within this article is part of a larger project of modeling the response of a group of cells to ionizing radiation using Monte Carlo methods (Part II).

**Słowa kluczowe:** efekt sąsiedztwa, efekt widza, modelowanie, biofizyka radiacyjna

**Keywords:** bystander effect, modelling, radiation biophysics

### 1. Wstęp

Efekt sąsiedztwa, zwany też efektem widza (ang. bystander effect), jest jednym ze skutków niebezpiecznych (ang. non-targeted effects) oddziaływania promieniowania jonizującego z komórkami. Na skutek jego zajścia różnego rodzaju uszkodzenia (w tym mutacje) pojawiają się nie tylko w komórce bezpośrednio napromienionej, ale też wśród jej nienapromieniowanych sąsiadów.

Ten ciekawy efekt radiobiologiczny może być z sukcesem opisywany przez różnego rodzaju modele biofizyczne. Ich przegląd został przedstawiony w I części niniejszego artykułu (opublikowanej w poprzednim numerze PTJ). W tej części (II) przedstawiono dwa kolejne, a także opisano szerzej nowy model stworzony w Polsce.

### 2. Istniejące modele symulujące efekt sąsiedztwa

Chociaż efekt sąsiedztwa badany jest przede wszystkim przez radiobiologów, to z uwagi na specy-

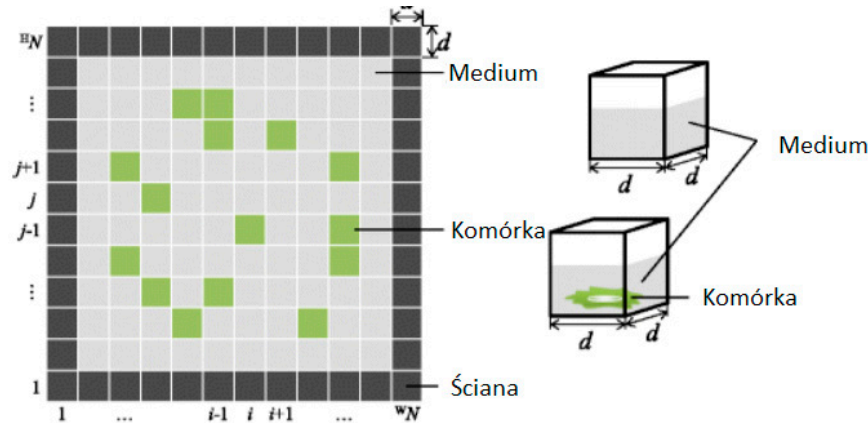
ficzne procesy rozchodzenia się sygnałów fizykochemicznych, które mogą być zapisane ściśle, również fizycy zaczęli zajmować się tą tematyką. W szczególności w ciągu ostatnich lat powstało wiele modeli biofizycznych, które implementując dane biologiczne oraz mechanizmy fizyczne do kodu komputerowego z sukcesem generują wyniki, które pomagają lepiej zrozumieć ten relatywnie niedawno odkryty efekt.

Poniżej opisano pozostałe z najważniejszych modeli opisujących popromienny efekt sąsiedztwa.

#### 2.5. Model japoński Hattori-Yokoya-Watanabe

Jest to kolejny model [17] symulujący odpowiedź komórek na promieniowanie jonizujące z uwzględnieniem efektu sąsiedztwa. Opiera się on na dwuwymiarowym automacie komórkowym, w którym można rozróżnić trzy główne elementy:

- komórki;
- medium (np. pusta przestrzeń, woda);
- ściana (ściany naczynia, w którym znajduje się grupa komórek albo inna tkanka np. kość).



**Rys. 2-8.** Główne elementy automatu komórkowego wykorzystanego w modelu Hattori-Yokoya-Watanabe [17]  
**Figure 2-8.** Main elements of the cellular automata used in the Hattori-Yokoya-Watanabe model [17]

W praktyce symulowano układ eksperymentalny jak na rysunku 2-8. Przy czym każde pole oznaczone jako komórka jest wypełnione podłożem hodowlanym, gdzie umiejscowiona jest właściwa komórka. W medium występuje tylko podłoże hodowlane, a ściana reprezentuje pojemnik, w którym znajduje się hodowla komórek.

Cały algorytm symulacji składa się z czterech głównych komponentów:

- napromieniania komórki;
- generowania sygnałów efektu sąsiedztwa;
- uszkodzeń DNA wywołanych bezpośrednim napromienieniem i sygnałami efektu sąsiedztwa;
- odpowiedzi komórki na wywołane uszkodzenia DNA.

Dawka pochłonięta przez napromienioną komórkę może być obliczona przy użyciu równania:

$$D_{i,j}(t) = d_{\text{track}} K_{i,j}(t) \quad (2.30)$$

gdzie:

- $d_{\text{track}}$  – jest dawką, którą została napromieniona komórka od jednej cząstki promieniowania (a konkretnie powstałej w wyniku jej oddziaływania ścieżki);
- $K_{i,j}$  – liczba ścieżek promieniowania o współrzędnych  $(i,j)$  w chwili czasu  $t$ .

W tym miejscu należy wspomnieć, że liczba ścieżek promieniowania w sąsiednich komórkach jest opisana rozkładem Poissona i występuje w postaci:

$$P_{i,j}(n) = \frac{(a)^n e^{-a}}{n!} \quad (2.31)$$

gdzie:

- $P_{i,j}(n)$  – to prawdopodobieństwo pojawienia się  $n$  ścieżek promieniowania w polu  $(i, j)$  w czasie  $t$ ;
- $a$  – to średnia liczba ścieżek promieniowania przechodzących przez pole  $(i,j)$  w czasie  $t$ ;

Wartość  $d_{\text{track}}$  i  $a$  są różne w zależności od typów promieniowania, np. dla komórek napromienionych  $^{60}\text{Co}$  promieniowaniem gamma parametry te wynoszą odpowiednio:  $d_{\text{track}} = 0,001$  Gy oraz  $a = 1,000$  ścieżek/min, co obliczane jest za pomocą metod mikrodozymetrycznych [17].

Komórka na skutek oddziaływania z promieniowaniem może wysyłać sygnały efektu sąsiedztwa do komórek znajdujących się w pobliżu. Mogą się one rozchodzić na dwa sposoby:

- przez medium, tj. MDP (Medium-mediated Pathway);
- drogą połączeń szczelinowych, tj. GJP (Gap Junctional Pathway).

Ponadto w modelu założono, że sygnały nie mogą oddziaływać ze sobą, a ich liczba jest proporcjonalna do dawki. Rozchodzenie się sygnałów również jest ściśle określone i opisane następującym równaniem:

$$\Phi_{i,j}(t + \Delta t) = \Phi_{i,j}(t) + \frac{\Delta t}{4d^2} \Phi_W 2 \sum_{k_1, l_1} (\Phi_{k_1, l_1}(t) - \Phi_{i,j}(t)) + \sum_{k_2, l_2} (\Phi_{k_2, l_2}(t) - \Phi_{i,j}(t)) \quad (2.32)$$

gdzie:

- $\Phi_{i,j}(t)$  – to koncentracja sygnału efektu sąsiedztwa w polu  $(i,j)$  w czasie  $t$ ;
- $\Delta t$  – to interwał czasowy;
- $d^2$  – to ściana komórki;
- $\Phi_W$  – to stała dyfuzji;
- $k_1, l_1$  – komórki sąsiadujące z komórką  $(i,j)$  (na wprost w pozycji:
  - »  $(i + 1, j), (i - 1, j), (i, j + 1), (i, j - 1)$ ;
- $k_2, l_2$  – komórki sąsiadujące z komórką  $(i,j)$  (na skos w pozycji:
  - »  $(i + 1, j + 1), (i - 1, j - 1), (i - 1, j + 1), (i + 1, j - 1)$ ;

W związku z tym, że w modelu uwzględnione są dwie ścieżki rozchodzenia się sygnału, należy zdefiniować dwie zmienne związane z kierunkiem dyfuzji sy-

gnału:  ${}^M W'_{k,l}$  (związany z MDP) i  ${}^G W'_{k,l}$  (związany z GJP), którego wartość jest związana z tym, czy pole (k,l) jest komórką, ścianą czy medium. I tak mamy:

$$\begin{aligned} {}^M W'_{k,l} &= M_w, \text{ gdy pole (k,l) jest komórką;} \\ {}^M W'_{k,l} &= M_w, \text{ gdy pole (k,l) jest medium;} \\ {}^M W'_{k,l} &= 0, \text{ gdy pole (k,l) jest ścianą;} \\ {}^G W'_{k,l} &= G_w, \text{ gdy pole (k,l) jest komórką;} \\ {}^G W'_{k,l} &= 0, \text{ gdy pole (k,l) jest medium;} \\ {}^G W'_{k,l} &= 0, \text{ gdy pole (k,l) jest ścianą.} \end{aligned}$$

Wartości stałych dyfuzji są bezpośrednio związane ze sposobem rozchodzenia się sygnałów dwiema drogami. W związku z tym, jeśli sygnał rozchodzi się na zasadzie MDP, wówczas może pojawić się w komórce i medium, dlatego, jeśli pole (k,l) ma właśnie taki status, to współczynnik  ${}^M W'_{k,l} = M_w$ . W przypadku GJP sygnał może pojawić się tylko i wyłącznie w komórce, dlatego, jeśli pole (k,l) ma status komórki, wtedy  ${}^G W'_{k,l} = G_w$ . W jednym i drugim przypadku sygnał nie może pojawić się w ścianie. Ponadto w przypadku GJP sygnał nie rozchodzi się do medium. W takim przypadku wartość stałej dyfuzji jest równa 0, co jest równoważne z zatrzymaniem sygnału.

Nawiązując do liczby sygnałów efektu sąsiedztwa produkowanych drogą MDP i GJP, to może zostać ona policzona przy użyciu następujących równań:

$$\begin{aligned} M_{i,j}(t + \Delta t) &= {}^M \alpha D_{i,j}(t) - {}^M \beta D_{i,j}(t) + M_{i,j}(t) \\ &+ \frac{\Delta t}{4a^2} [2 \sum_{k_1, l_1} {}^M W'_{k_1, l_1} (M_{k_1, l_1}(t) - M_{i,j}(t))] \\ &+ [\sum_{k_2, l_2} {}^M W'_{k_2, l_2} (M_{k_2, l_2}(t) - M_{i,j}(t))] \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned} G_{i,j}(t + \Delta t) &= {}^G \alpha D_{i,j}(t) - {}^G \beta D_{i,j}(t) + G_{i,j}(t) \\ &+ \frac{\Delta t}{4a^2} [2 \sum_{k_1, l_1} {}^G W'_{k_1, l_1} (G_{k_1, l_1}(t) - G_{i,j}(t))] \\ &+ [\sum_{k_2, l_2} {}^G W'_{k_2, l_2} (G_{k_2, l_2}(t) - G_{i,j}(t))] \end{aligned} \quad (2.34)$$

gdzie:

- ${}^M \alpha$  i  ${}^G \alpha$  – to stałe związane z produkcją sygnałów;
- ${}^M \beta$  i  ${}^G \beta$  – to stałe rozpadu, związane z redukcją liczby sygnałów;
- $D_{i,j}(t)$  – to dawka, którą została napromieniona komórka.

Znając już liczbę sygnałów efektu sąsiedztwa produkowanych przez napromienione komórki, można przejść do analizy w zakresie wywołanych uszkodzeń. Założono, że bezpośrednie napromienienie oraz sygnały efektu sąsiedztwa mogą wywoływać DSBs (Double Strand Breaks, czyli podwójnoniciowe pęknięcia DNA), które z kolei mogą powodować między innymi zatrzy-

manie cyklu komórkowego lub śmierć komórki. Ponadto uszkodzenia wywołane bezpośrednim napromienieniem i sygnałami efektu sąsiedztwa są produkowane niezależnie, przy czym liczba DSBs jest proporcjonalna do liczby sygnałów efektu sąsiedztwa.

Całkowita liczba uszkodzeń jest obliczana przy użyciu następującego równania:

$$Z_{i,j}(t + \Delta t) = Z_{i,j}(t) + {}^R Z_{i,j} + {}^M Z_{i,j} + {}^G Z_{i,j} + {}^B Z_{i,j} - {}^r Z_{i,j} \quad (2.35)$$

gdzie:

- ${}^R Z_{i,j}$  – to uszkodzenia powstałe na skutek bezpośredniego napromienienia;
- ${}^M Z_{i,j}$  – to uszkodzenia wywołane sygnałami MDP;
- ${}^G Z_{i,j}$  – to uszkodzenia wywołane sygnałami GJP;
- ${}^B Z_{i,j}$  – to uszkodzenia wywołane czynnikami zewnętrznymi;
- ${}^r Z_{i,j}$  – to uszkodzenia, które zostały naprawione.

Wszystkie człony równania (2.36) i wyglądają następująco:

$$\begin{aligned} {}^R a_{i,j} &= {}^{ZR} \lambda_{i,j} D_{i,j}(t) \\ {}^M a_{i,j} &= {}^{ZM} \lambda_{i,j} M_{i,j}(t) \Delta t \\ {}^G a_{i,j} &= {}^{ZG} \lambda_{i,j} G_{i,j}(t) \Delta t \\ {}^B a_{i,j} &= {}^{ZB} \lambda_{i,j} \end{aligned}$$

gdzie:

$$\begin{aligned} {}^R a_{i,j} &\text{ – to średnia wartość } {}^R Z_{i,j} \\ {}^M a_{i,j} &\text{ – to średnia wartość } {}^M Z_{i,j} \\ {}^G a_{i,j} &\text{ – to średnia wartość } {}^G Z_{i,j} \\ {}^B a_{i,j} &\text{ – to średnia wartość } {}^B Z_{i,j} \end{aligned}$$

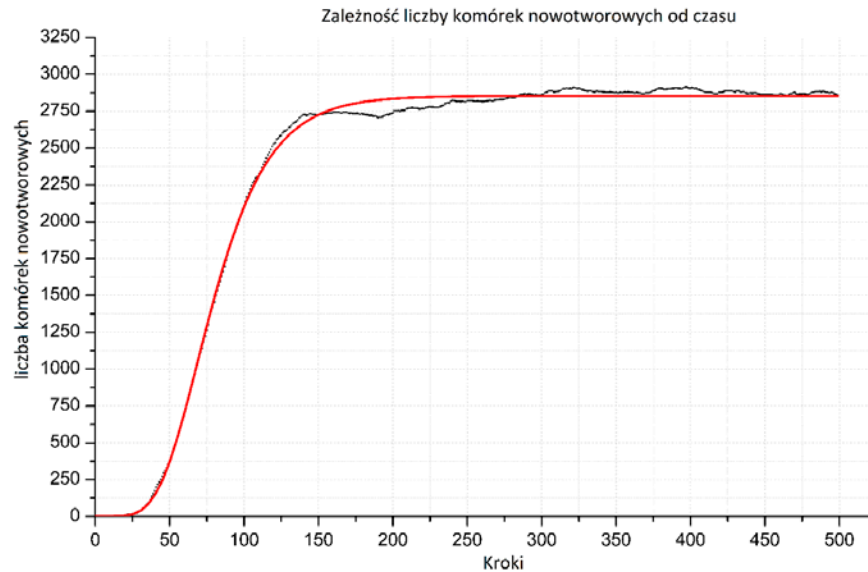
Współczynnik  $\lambda_{i,j}$ , występujący w powyższych równaniach jest stałą, której wartość jest różna dla każdego członu.

Jeśli chodzi o prawdopodobieństwo naprawy uszkodzeń DSBs, to w modelu zostało ono uproszczone i założono jego niezmienniczość dla wszystkich rodzajów uszkodzeń wynoszące  ${}^{Zr} \lambda_{i,j}$ .

## 2.6. Model Monte Carlo

Kolejnym modelem symulującym efekt sąsiedztwa jest model Monte Carlo w oparciu o drzewo prawdopodobieństw [19] [20] opracowany w polskim Narodowym Centrum Badań Jądrowych. W modelu tym brano pod uwagę wyłącznie negatywne skutki tego efektu polegające na pojawieniu się dodatkowego uszkodzenia w komórce.

Wspomniany model Monte Carlo jest całkowicie stochastyczny oraz opisuje kompleksowo, lecz na poziomie ogólnym, możliwie wszystkie zjawiska biofizyczne dotyczące napromienionej komórki uwzględniając m.in. śmierć komórki, transformację w komórkę nowotworową, spontaniczne powstanie uszkodzeń, naprawę uszkodzeń itd., który, jak wspomniano, w swo-



**Rys. 2-9** Wykres zależności liczby komórek nowotworowych od czasu, uzyskany w wyniku symulacji, w której zdrowe komórki zostały napromienione stałą mocą dawki przez określony czas. Czerwona krzywa reprezentuje dopasowywaną funkcję (tzw. krzywa Gomperta [26]), czarna zaś reprezentuje przykładowe wyniki symulacji

**Figure 2-9.** The number of cancer cells in function of time, obtained by simulation in which healthy cells were irradiated with a constant dose rate for a specified period of time. The red curve represents the matched function (the so-called Gompertz curve [26]), and the black one represents exemplary simulation results

im działaniu wykorzystuje procesy Monte Carlo oraz drzewo prawdopodobieństw.

Prawdopodobieństwo wystąpienia tego zjawiska jest określone następującym rozkładem prawdopodobieństwa [19]:

$$P_b = \beta_1 [1 - \exp(-\beta_2 D)] \quad (2.36)$$

Jest to rozkład kwasi – liniowy zależny od dawki ( $D$ ), ze stałymi skalującymi  $\beta_1$  i  $\beta_2$ , który wysyca się dla dużych dawek. Jest to więc zgodne z wieloma doniesieniami eksperymentalnymi w tym zakresie [23][24].

Opisywany model traktuje czas jako dyskretny, gdzie w każdym kroku czasowym brana pod uwagę jest  $i$ -ta komórka, u której może wystąpić efekt sąsiedztwa, zgodnie z równaniem 2.36. Inaczej mówiąc równanie 2.36 opisuje, czy w danym kroku czasowym efekt sąsiedztwa zostanie zainicjowany przez  $i$ -tą komórkę, czy nie.

Następnie, jeśli  $i$ -ta komórka jest w stanie zapoczątkować efekt sąsiedztwa (prawdopodobieństwo  $P_b$  jest spełnione), wysyła sygnały do komórek sąsiednich, które mogą je uszkadzać z prawdopodobieństwem wyrażonym jako rozkład [19]

$$P'_b(r) = \frac{\text{const}}{r!} \quad (2.37)$$

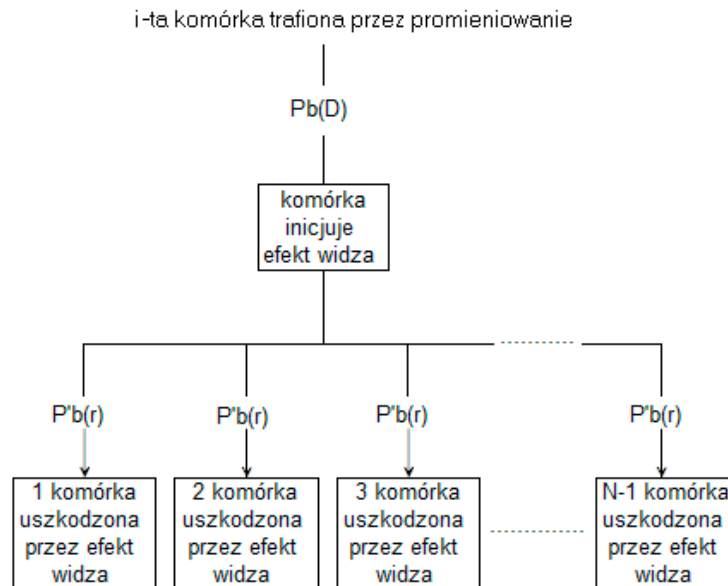
gdzie  $r$  jest odległością pomiędzy komórką  $i$ -tą, czyli inicjującą efekt sąsiedztwa, a  $j$ -tą, u której efekt sąsiedztwa może wystąpić. Czynniki pochodzą z rozkładu Poissona, co było już wielokrotnie omawiane przy okazji innych modeli. Schemat blokowy opisywanego

algorytmu efektu sąsiedztwa przedstawiono na rysunku 2-10.

W celu przetestowania efektu sąsiedztwa przeprowadzono symulacje, w których 700 zdrowych komórek zostało napromienionych stałą mocą dawki promieniowania równej 1 UAD/krok, gdzie UAD (Unit of Absorbed Dose) jest niewykalibrowaną jednostką dawki pochłoniętej. Jej dokładne określenie może odbyć się dopiero w wyniku przeprowadzenia kalibracji modelu na danych eksperymentalnych. Wartości parametrów wykorzystanych w symulacjach wynosiły odpowiednio  $\beta_1 = 0,001$  i  $\beta_2 = 300$ . W każdej symulacji zliczana była liczba komórek uszkodzonych podczas pojedynczego efektu sąsiedztwa. Następnie na podstawie wszystkich wyników, wyliczona została średnia, która wynosiła:  $5 \pm 4$ . Jest to wynik zgodny z oczekiwaniami, gdyż pokazuje, że efekt sąsiedztwa zachodzi głównie dla komórek położonych najbliżej komórki inicjującej efekt.

### 3. Opracowanie modelu własnego

Przedstawiony w poprzednim rozdziale przegląd istniejących modeli pokazuje, iż istnieje bardzo wiele możliwości ścisłego opisu tego ciekawego zjawiska radiobiologicznego, jakim jest radiacyjny efekt sąsiedztwa. Większość modeli posiada pewne cechy wspólne (np. użycie równania dyfuzji do opisu rozchodzenia się sygnału sąsiedztwa, czy też poissonowski rozkład dawki od napromienionej komórki), ale są też zasadnicze różnice między nimi. Oczywiście każdy z tych modeli miał na celu zastosowanie do konkretnej sytuacji, a osadzenie w takim, a nie innym formalizmie matema-



**Rys. 2-10.** Schemat blokowy algorytmu efektu sąsiedztwa (widza) użyty w programie symulującym odpowiedź grupy komórek na promieniowanie jonizujące metodą Monte Carlo [25]. Przedstawione funkcje prawdopodobieństwa zadane są równaniami 2.36 i 2.37

**Figure 2-10.** Block diagram of the bystander effect algorithm used in a program simulating the response of a group of cells to ionizing radiation using the Monte Carlo method [25]. The presented probability functions are given by equations 2.36 and 2.37

tycznym było dobrane przez autorów, jako optymalne w dedykowanym zakresie.

Z uwagi na to, iż efekt sąsiedztwa jest wciąż badany, a pewne jego elementy nie do końca poznane, nie istnieje jeden uniwersalny model jego opisu. Dlatego też podejście zakładające tworzenie dedykowanego modelu do konkretnego zastosowania wydaje się jedyne możliwe, chociaż zasadniczo zawęża nam możliwości stosowania takiego konkretnego rozwiązania w bardziej ogólnym aspekcie.

Badania biofizyczne nad efektem sąsiedztwa, a konkretnie jego symulacje komputerowe, były prowadzone także w Polsce, między innymi w Narodowym Centrum Badań Jądrowych oraz na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Symulacje efektu stanowiły element szerszych symulacji wpływu promieniowania jonizującego na grupę komórek, w szczególności procesów nowotworzenia [27].

### 3.1. Opis algorytmu

Wspomniany rodzimy model efektu sąsiedztwa, opracowany przez autorów niniejszego artykułu, swoje działanie opiera na połączeniu dwóch ostatnich opisywanych w poprzednim rozdziale modeli, a mianowicie modelu Monte Carlo oraz modelu japońskiego Hattori-Yokoya-Watanabe z pewnymi modyfikacjami. Podejście to uwzględnia najważniejsze cechy efektu sąsiedztwa, a mianowicie:

- rozchodzenie się sygnału na drodze dyfuzji;
- wysycanie się jego rozkładu prawdopodobieństwa dla pewnej dawki;

- poissonowski kształt zależności liczby uszkodzeń od odległości od komórki trafionej.

W pierwszym etapie symulacji poszczególnym elementom trójwymiarowej tablicy imitującej grupę komórek zostają nadane odpowiednie statusy (takie jak medium, czyli obszar międzykomórkowy tożsamy z brakiem komórki, czy też właściwa komórka, która z kolei może być zdrowa, uszkodzona, zmutowana lub nowotworowa). Następnie w każdym kroku czasowym obliczana jest liczba sygnałów efektu sąsiedztwa, zarówno tych rozchodzących się drogą MDP, jak i GJP za pomocą równań 2.33 i 2.34 (zob. model japoński).

Kolejnym etapem jest obliczenie za pomocą zmodyfikowanego wzoru całkowitej liczby uszkodzeń pojawiających się w poszczególnych komórkach wywołane sygnałami GJP i MDP za pomocą zmodyfikowanego równania (2.35):

$$Z_{i,j}(t + \Delta t) = Z_{i,j} + {}^M Z_{i,j} + {}^G Z_{i,j} \quad (3.1)$$

gdzie:

- ${}^M Z_{i,j} = \lambda_M M_{i,j}$
- ${}^G Z_{i,j} = \lambda_G G_{i,j}$

Przy czym  $\lambda_G$  i  $\lambda_M$  są to stałe, a  $M_{i,j}$  i  $G_{i,j}$  to odpowiednio liczba uszkodzeń powstałych na drodze MDP i GJP. Całkowita liczba uszkodzeń, po odpowiednim przeskalowaniu, jest traktowana jako wkład do prawdopodobieństwa zapoczątkowania wystąpienia efektu sąsiedztwa, co opisane jest szczegółowo według schematu z rysunku 2-10. Pozostałe procesy opisywane są według wspomnianego modelu Monte Carlo: każda

komórka ma swój wiek, liczbę uszkodzeń oraz tablicę, w której przechowywane są informacje o dawkach, którymi została napromieniona w danym kroku czasowym (historia napromienienia komórki). Komórki posiadające status zdrowych mają liczbę uszkodzeń równą 0, a powyżej tej wartości – status zmienia się na uszkodzoną. Uszkodzenia nienaprawione (lub niepoprawnie naprawione) stają się mutacjami. Jeśli w komórce pojawi się mutacja, wtedy zmienia ona automatycznie swój status na zmutowaną. Nagromadzenie mutacji w komórce prowadzi do transformacji w komórkę nowotworową według sigmoidalnego rozkładu prawdopodobieństwa [27].

Cały algorytm składa się z dwóch instrukcji iteracyjnych (pętli). Pierwsza z nich jest pętlą po krokach czasowych, zaś druga po wszystkich elementach tablicy trójwymiarowej, czyli po wszystkich komórkach. W każdym kroku czasowym komórka może zostać napromieniona lub nie, co w konsekwencji może wywołać różne zjawiska, w szczególności opisywany tu efekt sąsiedztwa.

### 3.2. Przykładowe wyniki symulacji

W tabeli 3-1 przedstawiono parametry wejściowe użyte do symulacji efektu sąsiedztwa w przedstawionym wyżej podejściu.

**Tabela 3-1.** Wartości poszczególnych parametrów użytych do obliczenia liczby sygnałów i liczby uszkodzeń związanych z efektem sąsiedztwa [17], a także rozkładu prawdopodobieństwa jego wystąpienia [19]  
**Table 3-1.** The values of individual parameters used to calculate the number of signals and the number of damages associated with the bystander effect [17], as well as the probability distribution of its occurrence [19]

Parametr	Przyjęta wartość
$a$	$10^{-5}$
$M_w$	$10^{-10}$
$M_\alpha$	1
$M_\beta$	$4.6 \cdot 10^{-6}$
$G_w$	$5 \cdot 10^{-11}$
$G_\alpha$	1
$G_\beta$	$1.18 \cdot 10^{-3}$
$\lambda_D$	60
$\lambda_M$	0.006
$\lambda_G$	0.06
$\beta_1$	0.001
$\beta_2$	300

Jednym z podstawowych elementów, które w stonkowo prosto można przetestować za pomocą symulacji jest stwierdzenie, jaką część wszystkich uszkodzeń stanowią te wywołane sygnałami efektu sąsiedztwa. W tym celu zasymulowano napromienienie 512 zdrowych komórek jednakową dawką promieniowania na jeden krok (czyli stałą mocą dawki) przez 500 kroków czasowych. Każda z symulacji została powtórzona 100 razy, a przedstawione wyniki są średnią arytmetyczną uzyskanych wartości dla trzech różnych wariantów:

*Wariant 1:*

- Dawka na krok – 0.001 Gy;
- Uszkodzenia powstałe w wyniku bezpośredniego napromienienia i interakcji z sygnałami efektu sąsiedztwa –  $31 \pm 1$ ;
- Uszkodzenia wywołane sygnałami efektu sąsiedztwa –  $2 \pm 0.8$ .

*Wariant 2:*

- Dawka na krok – 0.005 Gy;
- Uszkodzenia powstałe w wyniku bezpośredniego napromienienia i interakcji z sygnałami efektu sąsiedztwa –  $159 \pm 6$ ;
- Uszkodzenia wywołane sygnałami efektu sąsiedztwa –  $10 \pm 5$ .

*Wariant 3:*

- Dawka na krok – 0.01 Gy;
- Uszkodzenia powstałe w wyniku bezpośredniego napromienienia i interakcji z sygnałami efektu sąsiedztwa –  $312 \pm 9$ ;
- Uszkodzenia wywołane sygnałami efektu sąsiedztwa –  $20 \pm 7$ .

Z powyższego wynika, że główną część powstałych uszkodzeń stanowią te wywołane bezpośrednim napromienieniem. Defekty pochodzące od sygnałów efektu sąsiedztwa niezależnie od wartości użytej dawki stanowią około 20% wszystkich uszkodzeń. Wynik jest więc zgodny z oczekiwaniami [1].

W kolejnej symulacji komórki były napromieniane tylko w 5 i 15 kroku czasowym dawką równą 0.001 Gy, w pozostałych krokach czasowych dawka była równa zero. Czas trwania symulacji oraz początkowa liczba zdrowych komórek nie uległa zmianie. W efekcie liczba wszystkich uszkodzeń wynosiła  $0.15 \pm 0.05$ , z czego te pochodzące od sygnałów efektu sąsiedztwa to  $0.03 \pm 0.02$ .

Kolejna symulacja sprawdzała sposób rozchodzenia się sygnałów efektu sąsiedztwa. W tym celu użyto stałej mocy dawki promieniowania, której wartość wynosiła 0.001 Gy/krok do napromienienia komórki o współrzędnych  $x = 5, y = 5, z = 5$ . Dla pozostałych komórek dawka wynosiła zero. Po pierwszym kroku czasowym



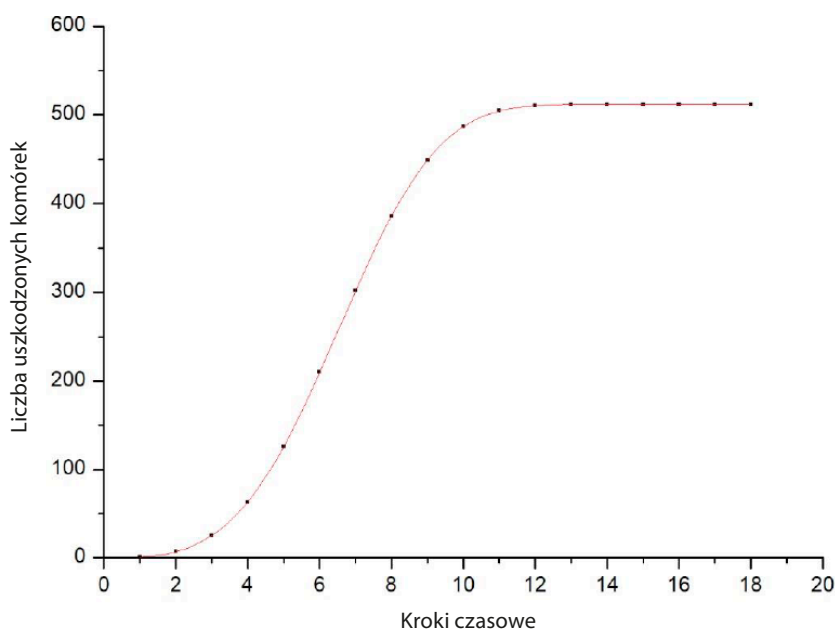
uszkodzenia pojawiają się tylko w bezpośrednio napromienianej komórce z częstością równą  $6.52 \cdot 10^{-6}$ . Po drugim kroku czasowym uszkodzenia wystąpiły u 7 komórek, przy czym jedna z nich to ta, która była bezpośrednio napromieniona. Pozostałe sześć komórek to najbliżsi sąsiedzi komórki bezpośrednio napromienionej: najwięcej uszkodzeń wystąpiło w komórce o współrzędnych  $(x,y,z)=(5,5,5)$ , zaś ich częstość wyniosła  $1.94 \cdot 10^{-5}$ , a w pozostałych komórkach  $1.78 \cdot 10^{-8}$ . Po trzecim kroku czasowym uszkodzenia pojawiły się u 25 komórek. Liczbę uszkodzeń, które zostały uzyskane w wyniku symulacji obliczono przy użyciu równania 3.1, przy czym w ogólniejszym podejściu te wartości po przeskalowaniu będą stanowiły prawdopodobieństwo pojawienia się efektu sąsiedztwa w konkretnej komórce w danym kroku czasowym.

W kolejnych krokach czasowych uszkodzenia pojawiały się w coraz bardziej odległych komórkach. Po 13 krokach wszystkie komórki biorące udział w symulacji miały częstość uszkodzeń różną od zera co oznacza, że przy dostatecznie długim napromienieniu sygnały efektu sąsiedztwa mogą rozejść się nawet do bardzo odległych komórek od miejsca napromienienia. Wykres zależności liczby komórek, w których pojawiły się uszkodzenia od czasu ma charakter sigmoidalny, co przedstawiono na rysunku 3-1. Widać na nim, że liczba komórek między 4 a 9 krokiem czasowym rośnie quasi-liniowo, po czym następuje wysycenie się. Najlepszą krzywą dopasowania okazała się krzywa Avramiego postaci  $a - b \cdot \exp(-cx^d)$  (która oryginalnie wywodzi się

z teorii nukleacji i wzrostu kryształów [27]), jednakże nie oznacza to, że po wysyceniu się częstość uszkodzeń we wszystkich komórkach jest taka sama – ta przebiega według rozkładu zbliżonego do rozkładu Poissona.

W tym miejscu warto wspomnieć, iż poissonowski charakter rozchodzenia się sygnałów został sprawdzony: wykonane zostały symulacje, w których w pierwszym kroku czasowym jedna komórka została napromieniona dawką 2 UAD. W pozostałych krokach czasowych i dla pozostałych komórek dawka była zerowa. Następnie sprawdzono liczbę sygnałów we wszystkich komórkach po 500 krokach. Na rys. 3-2 przedstawiony został wykres zależności liczby sygnałów sąsiedztwa w komórce od odległości od komórki bezpośrednio napromienionej. Można zauważyć, że kształt różni się nieco od krzywej Poissona. Jest to spowodowane wpływem innych komórek (w tym zmianami ich statusu) oraz złożonością pełnego modelu w stosunku do idealnie poissonowskiego opisu pojedynczej komórki [25].

Powyższe wyniki symulacji potwierdzają tezę, że uszkodzenia pojawiają się nie tylko wśród komórek bezpośrednio napromienionych, ale również wśród ich sąsiadów. Ponadto liczba uszkodzeń pochodzących od sygnałów efektu sąsiedztwa stanowi tylko część wszystkich uszkodzeń powstałych w komórkach, co również jakościowo dowodzi poprawnego działania modelu.



**Rys. 3-1.** Wykres zależności liczby komórek, w których pojawiły się uszkodzenia wywołane efektem sąsiedztwa, od czasu (niebieskie punkty). Dopasowano krzywą Avramiego o równaniu  $512 - 511,55 \cdot \exp(-0,13 \cdot x^{3,4})$  [25]

**Figure 3-1.** The number of cells with bystander damages in the function of time (blue dots). The Avrami curve with the equation  $512 - 511.55 \cdot \exp(-0.13 \cdot x^{3.4})$  [25] was fitted



- obwodowej myszy. Rocznik Państwowego Zakładu Higieny, 3:48: 239 – 344, 1997.
- [5] Mothersill C., Smith R., Wang J., Rusin A., Fernandez-Palomo C., Fazzari J., Seymour C. *Biological Entanglement – Like Effect After Communication of Fish Prior to X-Ray Exposure*. Dose-Response, Volume: 16 issue: 1, 2018.
- [6] Xia J., Liu L., Xue J., Wang Y., Wu L. *Modeling of radiation – induced bystander effect using Monte Carlo methods*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267 1015 – 1018, 2009.
- [7] Kopeć-Szłęczak J. *Cytokiny w procesach odpornościowych*. Onkol. Pol, 8,4: 217-222, 2005.
- [8] <http://publications.iupac.org/pac/1992/pdf/6410x1535.pdf> (Masa atomowa – nazwa, historia, definicja i jednostki, dokument IUPAC, 1992.)
- [9] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Rozk%C5%82ad\\_normalny#media/File:Normal\\_Distribution\\_PDF.svg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Rozk%C5%82ad_normalny#media/File:Normal_Distribution_PDF.svg) (grafika rozkładu normalnego)
- [10] Khvostunov I.K., Nikjoo H. *Computer modeling of radiation-induced bystander effect*. J.Radiol. Prot. 22 A33-A37, 2002.
- [11] Nikjoo H., Khvostunov I.K. *A theoretical approach to the role and critical issues associated with bystander effect in risk estimation*. Human & Experimental Toxicology. 23: 81-86, 2004.
- [12] Nikjoo H. *Modeling of radiation – induced bystander effect at low dose and low LET*. Int. J. Low Radiation, Vol. 3, Nos. 2/3, 2006.
- [13] Nikjoo H., Khvostunov I.K. *Biophysical model of the radiation – induced bystander effect*. Int. J. Radiat. Biol, vol 79, No. 1, 43 – 52, 2003.
- [14] Brenner D.J., Little J.B., Sachs R.K. *The bystander effect in radiation oncogenesis: II. A quantitative model*. Radiation Research, 2001; 155:402–408.
- [15] Ebert M.A., Suchowerska N., Jackson M.A., McKenzie D.R. *A mathematical framework for separating the direct and bystander components of cellular radiation response*. Acta Oncologica, 49: 1334 – 1343, 2010.
- [16] Taylor J.R. *Wstęp do analizy błędów pomiarowych*. Wyd. Naukowe PWN, 2016
- [17] Hattori Y., Yokoya A., Watanabe R. *Cellular automaton – based model for radiation-induced bystander effects*. BMC System Biology, 9:90, 2015.
- [18] Wysocki P. *Modelowanie odpowiedzi grupy komórek na promieniowanie jonizujące metodą Monte Carlo*. Praca inżynierska, Wydział Fizyki Politechnika Warszawska, 2017, promotor: K. Fornalski.
- [19] Fornalski K.W. *Mechanistic model of the cells irradiation using the stochastic biophysical input*. International Journal of Low Radiation, vol. 9, no. 5/6, pp. 370-395, 2014.
- [20] Fornalski K.W., Dobrzyński L., Janiak M.K. *Stochastyczny model odpowiedzi komórek na promieniowanie*. Postępy Techniki Jądrowej, vol. 54, no. 3, 2011, pp. 23-37.
- [21] Gaillard S., Pusset D., de Toledo S.M., Fromm M, Azzam E.I. *Propagation Distance of the  $\alpha$ -Particle-Induced Bystander Effect: The Role of Nuclear Traversal and Gap Junction Communication*. Radiat Res., 2009, 171(5), pp. 513–520.
- [22] Sasaki K., Waku K., Tsutsumi K., Itoh A., Date H. *A Simulation Study of the Radiation-Induced Bystander Effect: Modeling with Stochastically Defined Signal Reemission*. Computational and Mathematical Methods in Medicine (Hindawi Publishing Corporation), 2012, Article ID 389095, doi:10.1155/2012/389095.
- [23] Prise K.M., Folkard M., Michael B.D. *A review of the bystander effect and its implications for low-dose exposure*. Radiation Protection Dosimetry 104(4), 2003, pp. 347-355.
- [24] Nagasawa H., Little J.B. *Induction of sister chromatid exchanges by extremely low doses of alpha-particles*. Cancer Res. 1992 Nov 15;52(22):6394-6
- [25] Wysocki P. *Modelowanie Monte Carlo efektu sąsiedztwa oraz dynamiki procesu nowotworzenia dla grupy komórek narażonych na promieniowanie jonizujące*. Praca magisterska, Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska, 2019, promotor: K. Fornalski
- [26] Fornalski K.W., Reszczyńska J., Dobrzyński L., Wysocki P., Janiak M.K. *Possible Source of the Gompertz Law of Proliferating Cancer Cells: Mechanistic Modeling of Tumor Growth*. Acta Physica Polonica A, No. 6 Vol. 138, 2020
- [27] Dobrzyński L., Fornalski K.W., Reszczyńska J., Janiak M.K. *Modeling Cell Reactions to Ionizing Radiation: From a Lesion to a Cancer*. Dose-Response, vol. 17, no. 2, 2019

# LUMINESCENCYJNE DATOWANIA W BADANIACH GEOARCHEOLOGICZNYCH

## *Luminescent dating in ge archaeological research*

Tomasz Kalicki, Wojciech Głuszewski,  
Marcin Frączek, Paweł Przepióra

**Streszczenie:** W artykule omówiono wyniki kilku interdyscyplinarnych geologicznych datowań wykonanych metodami optycznymi. Wiek starszych osadów, głównie plejstocenijskich określono za pomocą termoluminescencji (TL). Młodsze holocenijskie osady datowano z wykorzystaniem optycznie stymulowanej luminescencji (OSL). Na przykładzie osadów mineralnych zawierających kwarc wyjaśniono podstawy obu technik datowania. Często są one stosowane naprzemiennie, w zależności od materiału i jego szacowanego wieku. Metoda OSL rekomendowana jest do badania próbek na stanowiskach archeologicznych. W obu technikach analitycznych mierzy się wielkości dawek pochłoniętych naturalnego promieniowania jonizującego. Zwrócono uwagę na znaczenie laboratoryjnych źródeł promieniowania gamma w wyznaczaniu krzywych kalibracji.

**Abstract:** The article discusses the results of several interdisciplinary studies on the dating of geological sediments with optical methods. The age of older sediments, mainly Pleistocene ones, was determined by thermoluminescence (TL). Younger Holocene sediments were dated using optically stimulated luminescence (OSL). The basics of both methods of dating sediments containing quartz are explained. The OSL method is successfully used to determine the age of mineral sediment in archaeological sites. The basis of both analytical techniques is the measurement of the amount of absorbed doses of natural ionizing radiation. Also the importance of laboratory gamma radiation sources used for the determination of calibration curves has been emphasized.

**Słowa kluczowe:** luminescencja, datowanie, termoluminescencja, optycznie stymulowana luminescencja, geologia, archeologia

**Keywords:** luminescence, dating, thermoluminescence, optically stimulated luminescence, geology, archaeology

### Wstęp

Termoluminescencja (TL) lub termicznie stymulowana luminescencja (TSL) to zjawisko występujące w substancjach o bardzo wysokim oporze elektrycznym, czyli dielektrykach i półprzewodnikach. W materiałach tego typu pasma przewodnictwa są oddzielone od pasm walencyjnych przerwą energetyczną. Krystaliczne materiały zawierają niedoskonałości: jony zanieczyszczeń, atomy międzywęzłowe, dyslokacje, uskoki sieci i inne zjawiska, które zakłócają regularność pola elektrycznego utrzymującego atomy w sieci. Defekty prowadzą do lokalnych wzrostów i spadków potencjału elektrycznego. Tam, gdzie występuje głęboka studnia potencjału wolny elektron może zostać przyciągnięty i uwięziony na bardzo długi okres czasu. Defekty oprócz luminescencji odpowiadają za inne właściwości kryształów, między innymi półprzewodnictwo typu n lub p oraz barwę.

Tak więc w miejscach zaburzeń sieci krystalicznej obszaru zabronionego powstają pułapki: elektronowe bliskie pasmu przewodnictwa oraz dziurowe bliskie pasmu walencyjnemu. Do wystąpienia termoluminescencji niezbędne jest przeniesienie elektronów i dziur do pułapek (ekscytacja). Najczęściej jest to wynikiem wybicia elektronów z pasma walencyjnego do pasma

przewodnictwa (generacja par dziura-elektron). Nie-wielka część elektronów z pasma przewodnictwa może przejść do pułapek elektronowych. Pewna ilość dziur przechodzi też do pułapek dziurowych. Ekscytację materiału może spowodować promieniowanie o energii większej od szerokości przerwy energetycznej materiału. Dielektryki nieorganiczne są zazwyczaj ekscytowane wysokoenergetycznym promieniowaniem jonizującym (rentgenowskim, hamowania, gamma, alfa, beta lub wiązką elektronów).

Do uwolnienia spułapkowanych elektronów potrzebne jest promieniowanie o energii, co najmniej równej różnicy między poziomem pułapki a pasmem przewodnictwa. Aby materiał mógł być wykorzystany, jako dozymetr różnica ta musi być większa od energii promieniowania cieplnego w temperaturze pokojowej, a mniejsza od energii promieniowania cieplnego w temperaturze kilkuset stopni. W wyniku podgrzania elektrony z pułapek zostają przeniesione do pasma przewodnictwa, z którego rekombinują do centrów zawierających pułapkowane nośniki przeciwnego znaku. Towarzyszy temu emisja promieniowania elektromagnetycznego. Natężenie świecenia jest zazwyczaj proporcjonalne do liczby elektronów uwięzionych w pułapkach, czyli do dawki pochłoniętej promieniowania podczas ekscytacji. Podgrzanie materiału lub naświet-

tlenie np. światłem słonecznym usuwa elektrony (dziury) z pułapek zerując pamięć dozymetryczną kryształu.

Metoda termoluminescencyjna (TL) służy do określania wieku osadów czwartorzędowych [1][2] i jest powszechnie stosowana w naukach przyrodniczych (Nauki o Ziemi i środowisku). Znajduje również zastosowanie do określania wieku artefaktów w archeologii [3] [4]. Datowanie optycznie stymulowaną luminescencją (OSL), wykorzystuje do wyświecania światło, zamiast podwyższonej temperatury. Często datowanie TL i OSL wykonuje się naprzemiennie w celu weryfikacji uzyskanych wyników.

### Naturalne promieniowanie jonizujące

Nośniki ładunku (dziury i elektrony), uwięzione w pułapkach sieci krystalicznej nawet przez setki tysięcy lat, wykorzystuje się w archeologii i geologii do datowania materiałów. Naturalnymi źródłami promieniowania jonizującego powodującymi ekscytację, np. krzemianów są radionuklidy znajdujące się w ziemi oraz promieniowanie kosmiczne. W skorupie ziemskiej obecnych jest nadal 18 długo żyjących pierwiastków promieniotwórczych o okresie półtrwania zbliżonym do wieku Ziemi (rzędu miliardów lat). Trzy szeregi promieniotwórcze są źródłem dodatkowych 43 innych radioizotopów. Wszystkich tych promieniotwórczych izotopów oczywiście stale ubywa. Średnie aktywności poszczególnych radioizotopów są szacowane następująco:  $^{232}\text{Th}$  –  $4,06 \cdot 10^6$  Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  –  $1,24 \cdot 10^7$  Bq/kg,  $^{40}\text{K}$  –  $2,58 \cdot 10^8$  Bq/kg. Inaczej mówiąc w kilogramie gleby następuje w ciągu sekundy około 770 rozpadów promieniotwórczych potasu  $^{40}\text{K}$ , 37 rozpadów  $^{238}\text{U}$  oraz 41 rozpadów  $^{232}\text{Th}$ .  $^{40}\text{K}$  ulega wszystkim trzem przemianom beta ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , wychwyty elektronu), czemu towarzyszy emisja promieniowania gamma w 11% rozpadów. W przypadku pozostałych pierwiastków źródłem promieniowania gamma są pochodne rozpadu. Przyjmuje się, że w jednym kilogramie gleby w ciągu sekundy powstaje około 85 kwantów gamma z potasu  $^{40}\text{K}$ , około 102 z pochodnych w szeregu torowego i około 133 z szeregu uranowo-radowego. Jeżeli człowiek położy się na ziemi to jego ciało otrzyma około 7000 kwantów gamma na sekundę pochodzących z rozpadu  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$ .

W materiałach krystalicznych (niektórych amorficznych) część energii promieniowania jest w wyniku wybicia elektronów zmagazynowana w sieci krystalicznej. Ponieważ czasy połowicznego zaniku radionuklidów decydujących o aktywności promieniotwórczej środowiska są rzędu miliardów lat to można przyjąć, że ilość izotopów promieniotwórczych jest stała nawet w geologicznej skali czasu. Przy takim założeniu dawka promieniowania pochłonięta przez badany obiekt jest proporcjonalna do czasu jego przebywania w określonym środowisku.

Przykładem jest datowanie TL/OSL kwarcu i niektórych skaleni, w których dawki pochłonięte promieniowania są liczone w miligrejach na rok (mGy/rok) lub w grejach na tysiąc lat (Gy/ka). Osad zbudowany z ziarenek kwarcu, które były wyeksponowane na działanie promieniowania słonecznego przykrywany jest z czasem przez kolejne warstwy nanoszonego materiału. Przerwywane jest tym samym zerowanie dozymetryczne i od tego momentu kwarc jedynie magazynuje energię promieniowania jonizującego. Ponowne „wyświecenie” pozwala ustalić czas, jaki upłynął od pierwotnego wyzerowania. W wypalanej ceramice lub używanej na paleniskach przez człowieka prehistorycznego, ziarna kwarcu zerowane były wysoką temperaturą. W przypadku datowania OSL, kwarc przechodzi nieco inną procedurę czyszczenia, która ma na celu pobudzenie procesu luminescencji przy użyciu światła [1].

### Źródła promieniowania gamma

W celu wyznaczenia krzywej kalibracji próbek kwarcu poddawano działaniu określonych dawek promieniowania gamma. Przy źródłach promieniowania o dużej mocy np. 10 kGy/h może powstać problem z uzyskaniem stosunkowo małych dawek „geologicznych”. Przy 10 Gy czas napromieniowania jest rzędu 3,6 s. W obliczeniach należy uwzględnić również tzw. dawkę przelotową, którą otrzyma materiał nim znajdzie się we właściwym punkcie urządzenia. To dodatkowo skraca czas napromieniowania. W źródle GC 5000 (fot. 1) którym dysponuje Instytut Chemii i Techniki Jądrowej możliwe jest zastosowanie stalowych pojemników (osłon), które zmniejszają dawkę odpowiednio 2 i 4 razy. Instytut ma również źródło promieniowania typu Isledovatel o mocy dawki dziesięć razy mniejszej (obecnie 0,2 kGy/h) (fot.1 na drugim planie). Kontrolę dawki i jej rozkładu dokonuje działające w ramach IChTJ akredytowane Laboratorium Pomiarów Dawek Technologicznych. LPDT gwarantuje spójność pomiarów dozymetrycznych z pierwotnym wzorcem dawki pochłoniętej brytyjskiego laboratorium metrologicznego National Physical Laboratory, Teddington.

Laboratoryjnymi źródłami promieniowania gamma są najczęściej urządzenia z radioaktywnymi izotopami kobaltu i cezu. Dla formalności należy wyjaśnić, że  $^{60}\text{Co}$  jest  $\beta$  promieniotwórczy. Praktyczne znaczenie ma natomiast promieniowanie elektromagnetyczne ( $\gamma$ ) emitowane przez nietrwały produkt jego rozpadu, wzbudzone jądra  $^{60}\text{Ni}^*$ . Sporadycznie stosuje się również  $^{137}\text{Cs}$ , który występuje w równowadze promieniotwórczej ze swoim produktem rozpadu,  $^{137}\text{Ba}^*$ . Emitują one promieniowania beta o energii 0,512 MeV i gamma o energii o 0,662 MeV. Ograniczenia w wykorzystaniu  $^{137}\text{Cs}$  wynikają z łatwej rozpuszczalności soli tego pierwiastka, co stwarza potencjalne zagrożenie w przypad-



**Fot. 1.** Laboracyjne źródła promieniowania gamma w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Na pierwszym planie GC 5000 (moc dawki 2,20 kGy/h, listopad 2020). Na drugim planie Isledovatel (moc dawki 0,21 kGy/h, listopad 2020; fot. W. Głuszewski)

**Photo. 1.** Laboratory sources of gamma radiation at the Institute of Nuclear Chemistry and Technology in Warsaw. In the foreground, the GC 5000 (dose rate 2.20 kGy/h, November 2020). Isledovatel in the background (dose rate 0.21 kGy/h, November 2020; photo by W. Głuszewski)

ku zawilgocenia instalacji albo dostania się związków cezu w niepowołane ręce.

### Datowania TL i OSL

Przy zastosowaniu TL i OSL wymagana jest szczególna ostrożność w czasie pobierania próbek. Nie mogą być one wystawione na działanie światła lub wysokiej temperatury, co mogłoby doprowadzić do niepożądanego wyzerowania. Próbkę należy przechowywać i suszyć w ciemnych pomieszczeniach lub suszarkach w optymalnej temperaturze. Materiał ceramiczny zaleca się przechowywać w folii aluminiowej w celu uniknięcia pochłonięcia dodatkowego promieniowania.

Zarówno w przypadkach datowania artefaktów, jak i próbek geologicznych konieczne jest ustalenie tzw. rocznej dawki promieniowania tła. Określa się ją na podstawie pomiarów stężeń radioizotopów potasu ( $^{40}\text{K}$ ), radu ( $^{226}\text{Ra}$ ) i toru ( $^{228}\text{Th}$ ) obecnych w analizowanym materiale lub osadach, w których zalegał badany obiekt historyczny [3].

Metoda termoluminescencyjna (TL) została opracowana i wykorzystana do badań po raz pierwszy na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX w. Początkowo przedmiotem zainteresowań były możliwości zastosowania tej techniki w archeologii oraz szeroko rozumiane kwestie metodologiczne. Prowadzono również liczne badania nad ceramiką pradziejową, w tym testy autentyczności wyrobów glinianych z różnych okresów chronologicznych. Obecnie zastosowania tej metody daleko wykraczają poza analizę materiałów ceramicznych. W ostatnim ćwierćwieczu TL wielokrotnie wykorzystywano do datowania osadów eolicznych (piasków wydmowych i lessów), jak również innych osadów pylastych, a także przepalonych krzemieni. W przypadku badań prowadzonych przez polskich badaczy, zastosowania TL najczęściej dotyczą pogranicza archeologii i geologii, często w odniesieniu do osadów plejstoceny [5]. Ze względu na specyfikę zjawiska termoluminescencji teoretyczny zakres wiekowy jest ograniczony do ostatniego miliona lat ale najczęściej dotyczy przedziału od kilkuset do 100–200

tys. lat [6]. Jak było wspomniane TL może być wykorzystywana do datowania zabytków archeologicznych: ceramiki, cegieł, fragmentów glinianych pieców i polep, a także wypalonych krzemieni [6].

Termoluminescencyjnie określony wiek osadów jest ilorazem dwóch wielkości: dawki równoważnej (ED – equivalent dose) i dawki rocznej (DR – dose rate). Ta ostatnia pełni rolę podstawowej jednostki czasu i określa jaką ilość energii promieniowania jonizującego pochłonął datowany obiekt w ciągu roku lub tysiąclecia. Przyjmuje się założenie, że DR była stała w ciągu całego okresu, jaki upłynął od depozycji osadu [6].

W przypadku datowania TL na pierwszym etapie preparacji wysuszony materiał należy przesiać przez zestaw sit (fot. 2) w celu odseparowania frakcji poliminerальной o średnicy poniżej 63  $\mu\text{m}$ . Dla datowania metodą OSL stosuje się dwa przedziały uziarnienia (125-71  $\mu\text{m}$ ) oraz (200-125  $\mu\text{m}$ ). Przy datowaniu metodą *single grain* używa się również frakcji (315-200  $\mu\text{m}$ ).

W przypadku ceramiki należy delikatnie zeszlifować zewnętrzną warstwę (ok 1-1,5 mm). Materiał wewnątrz skorupy poddawany był w mniejszym stopniu procesom post depozycyjnym, w tym naświetlaniu i podgrzaniu, przez co jest najbardziej reprezentatywny w datowaniu zabytku. Podobna procedura stosowana jest w datowaniach cegieł lub polep. Oczyszczone fragmenty materiału są kruszone i przygotowane do obróbki chemicznej podobnej jak materiał geologiczny.

Wstępne czyszczenie próbki odbywa się w myjkach ultradźwiękowych, w których oddziela się zanieczyszczenia od materiału mineralnego. W zależności od metody i stosowanej aparatury, próbki przeznaczone do datowania OSL trawione są w 10% roztworze kwasu solnego (HCl) i 40% roztworze kwasu fluorowodorowego (HF). Płukanie wodą destylowaną odbywa się w warunkach przytłumionego czerwonego światła. Przy datowaniu OSL próbka poddawana jest grawitacyjnej separacji przy użyciu różnej gęstości płynu w przedziałach 2,62–2,68  $\text{g}/\text{cm}^3$  oraz  $<2,58 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Kolejnym krokiem jest suszenie i „zerowanie” materiału. W przypadku osadów geologicznych proces ten odbywa się przy użyciu lampy emitującej światło UV i trwa około 24 h. Część materiału nie jest naświetlana i pozostaje jako próbka „naturalna”. Pozostała część, po naświetleniu zostaje odseparowana, jako próbka „zerowa”, co jest punktem odniesienia do dalszych analiz.

Dla zabytków archeologicznych wzbudzonych termicznie wykorzystuje się piec muflowy, a samo „zerowanie” przebiega w temperaturze 550°C i trwa 1,5 h. Wyzerowane optycznie lub termicznie próbki są następnie dzielone na porcje i napromieniowane dawkami promieniowania gamma odpowiednimi do szacowanego wieku. Dla osadów schyłkowo plejstoceniowych stosuje się dawki rzędu 100-300 Gy/ka, a dla późnoglacialnych i holoceniowych 5-20 Gy/ka.



**Fot. 2.** Wyposażenie Zespołu Laboratoriów Geomorfologiczno-Hydrologicznych w Instytucie Geografii i Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Na zdjęciu (od lewej) widoczny zestaw sit i przesiewacze firmy „Multiserw-Morek” LpzE-2e oraz „Retsch – Rahmen” (z prawej; fot. P. Przepióra)

**Photo 2.** Equipment of the Geomorphological and Hydrological Laboratory Complex at the Institute of Geography and Environmental Sciences of the Jan Kochanowski University in Kielce. The photo (from the left) shows a set of sieves and shakers of “Multiserw-Morek” LpzE-2e and “Retsch – Rahmen” (right; photo by P. Przepióra)



**Fot. 3.** Wyposażenie Zespołu Laboratoriów Geomorfologiczno-Hydrologicznych w Instytucie Geografii i Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Czytelniki TL oraz OSL „Laboratory Reader-Analyser RA'04” (górze), mierniki stężenia pierwiastków promieniotwórczych „MAZAR-01” (dół) oraz kolumna pomiarowa (z prawej; fot. P. Przepióra)

**Photo. 3.** Equipment of the Geomorphological and Hydrological Laboratory Complex at the Institute of Geography and Environmental Sciences of the Jan Kochanowski University in Kielce. TL and OSL readers “Laboratory Reader-Analyser RA'04” (top), counter for the concentration of radioactive elements “MAZAR-01” (bottom) and a measuring column (right; photo by P. Przepióra)

Wszystkie spreparowane uprzednio próbki poddawane są analizom przy użyciu czytników Reader-Analyser RA'04 TL lub OSL (fot. 3). Czytelniki TL bazują na termicznym wzbudzeniu próbek w 3 zakresach temperatur. Czytnik OSL mierzy wartości wyświecania próbki dla odpowiedniej długości fali. W obu przypadku analiza ma na celu uzyskanie średniej liczby impulsów z danej próbki dla różnych dawek napromieniowania. Informacje o średniej liczbie impulsów emitowanych przez napromieniowane próbki są podstawą do obliczenia dawki promieniowania zmagazynowanego w naturalnej próbce (rys. 1). Uwzględniając dawkę roczną od radionuklidów i promieniowania kosmicznego (które zmniejsza się wraz z głębokością ziemi) szacuje się wiek osadu. Błąd wyniku zależy od dokładności obróbki i klasy aparatury oraz może wynikać z niejasnych warunków depozycji materiału (non-bleaching sediment). Najczęściej szacuje się go na poziomie 15%. Pomimo tego ograniczenia, przy prawidłowej analizie można datować bardzo młode próbki o wieku rzędu zaledwie kilkuset lat. Doskonałym przykładem zastosowania tej metody jest datowanie osadów związanych z nowożytnym i współczesnym przemysłem metalurgicznym. Oszacowany dzięki metodzie OSL wiek na  $0,44 \pm 0,06$  ka (UJK-OSL-68) został potwierdzony datowaniem  $^{14}\text{C}$  węgla drzewnych pobranych z tej samej głębokości [7].

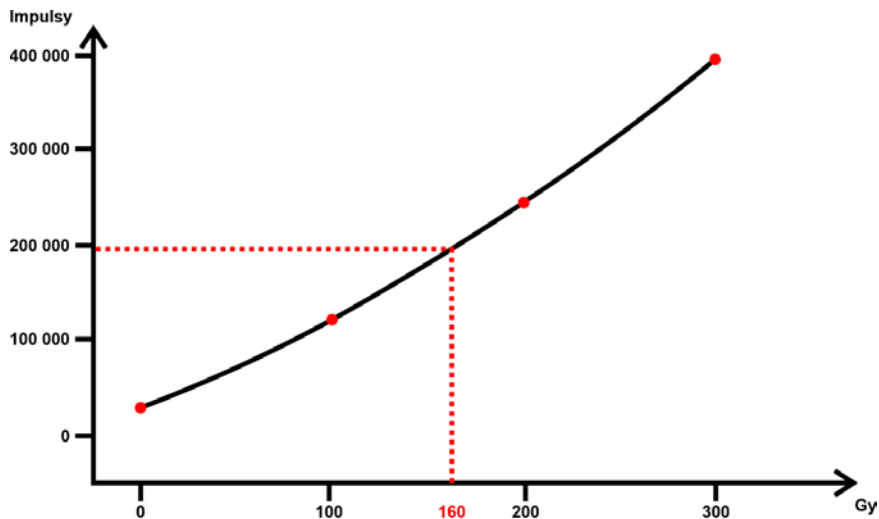
W przypadku badań wykonanych metodą TL najbardziej stabilniejsze wyniki otrzymywane są z osadów schył-

kowego plejstocenu. Przykładowo wiek wyższej terasy rzecznej w dolinie Kamionki oszacowano na  $127,1 \pm 19,1$  ka (KIE-841)[8]. W przypadku tej metody należy pamiętać, że im starsza data, tym margines błędu (%) staje się większy.

Wyniki analiz wykonanych obiema metodami są bardzo przydatne w archeologii do datowania zabytków glinianych, jak również do ustalania tzw. kontekstu paleośrodowiskowego. Są one niezbędnym elementem do rozpoznania stanowiska i grają ważną rolę w wielu badaniach geologicznych [9][10]. Datowania osadów czwartorzędowych w naukach przyrodniczych mają ułatwić badaczowi rekonstrukcję środowiska. Umożliwiają określenie czasu, w jakim powstała dana forma terenu (np. prędkość akumulacji kolejnych warstw osadów). Metody TL i OSL sprawdzają się przy datowaniu osadów holocenów, zwłaszcza fluwialnych, natomiast datowanie TL w analizie osadów starszych, plejstocenów, głównie glacialnych i fluwio-glacialnych [8] (fot. 4).

W zależności od składu analizowanych materiałów stosuje się różne metody ich obróbki przed przystąpieniem do właściwej analizy. Wpływają na to niska zawartość kwarcu, duża liczba frakcji żwirowej czy zawartość węglanów ( $\text{CaCO}_3$ ). Te ostatnie podczas gwałtownej reakcji z kwasami przy trawieniu próbki mogą doprowadzić do jej wyzerowania (wzrost temperatury) lub degradacji. Dlatego do analizy zaleca się pobranie





**Rys. 1.** Schematyczny wykres przedstawiający sposób wyliczenia daty TL/OSL na podstawie uzyskanych wyników. Na osi Y zamieszczono liczby impulsów z czytnika, na osi X dawki w Gy dla 4 podstawowych dawek próbki (np. 0 „zero”, 100, 200 i 300 Gy) oznaczonych czerwonymi kropkami. Przerwana linia pokazuje lokalizację próbki „naturalnej” na podstawie uzyskanych liczb impulsów. Miejsce przecięcia z krzywą pozwala ustalić wartość dawki pochłoniętej promieniowania w Gy, która jest bazą do wyliczenia wieku osadu lub próbki w ka

**Fig. 1.** Schematic diagram showing how the TL/OSL date is calculated from the obtained results. The Y axis shows the number of pulses from the reader, the X axis shows the dose in Gy for the 4 basic sample doses (eg 0 „zero”, 100, 200 and 300 Gy) marked with red dots. The dashed line shows the location of the „natural” sample from the obtained pulse numbers. The point of intersection with the curve makes it possible to determine the value of the absorbed radiation dose in Gy, which is the basis for calculating the age of the sediment or sample in ka



**Fot. 4.** Pobieranie próbek z osadów budujących wzgórze kemowe z okresu zlodowaceń środkowopolskich (północne obrzeżenie Gór Świętokrzyskich; fot. T. Kalicki)

**Photo 4.** Sampling of the sediments building the kame hill from the Middle Polish Glaciations (northern margin of the Holy Cross Mountains; photo by T. Kalicki)

większej ilości takiego materiału. Przy odpowiedniej obróbce można nawet datować aluwia teras rzecznych, których osady mają stosunkowo dużą zawartość węgla. Badania takie prowadzono, np. w dolinie Ezousas na południowo-zachodnim Cyprze [11] (fot. 5)



**Fot. 5.** Wyższa terasa żwirowa rzeki Ezousas (południowo-zachodni Cypr; fot. S. Chwałek)

**Photo 5.** The higher gravel terrace of the Ezousas River (SW Cyprus; photo S. Chwałek)

W kontekście badań geologicznych metody luminescencyjne pozwalają ustalić czas funkcjonowania danego stanowiska archeologicznego i zrekonstruować paleośrodowisko, w jakim to stanowisko funkcjonowało. Za przykład mogą posłużyć badania z ostatnich lat prowadzone na Podlasiu, gdzie odkryto niewielkie, prehistoryczne struktury obronne z licznymi jamami zasobowymi, tzw. „valley forts” (fot. 6). Datowanie dna mineralnego wypełnienia jednej z fos dało wartość  $2,93 \pm 0,44$  ka (UJK-OSL-98). Uzyskaną datę można wiązać z okresem ochłodzenia klimatu, zmuszającym ówczesnych ludzi do przechowywania coraz trudniej dostępnej żywności w obrębie tych struktur [9][10].

## Podsumowanie

Wiedza z zakresu radiochemii i chemii radiacyjnej, znalazła wiele ciekawych zastosowań w geologii, geomorfologii, archeologii, a zwłaszcza geoarcheologii oraz konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym [10] [11][12]. Metody datowania TL oraz OSL są niewątpliwie kluczowymi przy określaniu wieku osadów. W połączeniu z badaniami archeologicznymi umożliwiają również uzyskanie tzw. szerszego kontekstu dla badanego stanowiska. Metody różnią się sposobem wyświecania ekscytowanego kwarcu. Jednak w obu przypadkach pomiar jest możliwy dzięki zjawisku magazynowania energii promieniowania jonizującego tła w naturalnym dozymetrze, jakim jest w tych przypadkach kwarc.



**Fot. 6.** Wykop archeologiczny na stanowisku Jatwież Duża w Kotlinie Biebrzy odsłaniający część prehistorycznej struktury obronnej z późnej epoki brązu (fot. P. Przepióra)

**Photo 6.** Archaeological excavation at the Jatwież Duża site in the Biebrza Basin revealing part of the prehistoric defensive structure from the Late Bronze Age (photo by P. Przepióra)

Tomasz Kalicki, Marcin Frączek, Paweł Przepióra,  
Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Instytut Geografii i Nauk o Środowisku,  
Zakład Geomorfologii i Geoarcheologii, Zespół Laboratoriów Geomorfologiczno-Hydrologicznych Kielce,  
Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

**Literatura:**

- [1] Bluszcz A., 2000. Datowanie luminescencyjne osadów czwartorzędowych - teoria, ograniczenia, problemy interpretacyjne. Zeszyty Naukowe. Matematyka - Fizyka / Politechnika Śląska, 86, Wyd. Politechniki Śląskiej.
- [2] Fedorowicz S., 2011. Metodyczne badania w luminescencyjnym datowaniu osadów czwartorzędowych. Annales - Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio B 66 (1), s.35-52.
- [3] [sekcjaarcho.pl/metoda-badan-termoluminescencyjnych](http://sekcjaarcho.pl/metoda-badan-termoluminescencyjnych)
- [4] Chruścińska A., Jesionowski B., Oczkowski H. L., Przegiętka K. R., 2008. Using the TL single-aliquot regenerative-dose protocol for the verification of the chronology of the Teutonic Order Castle in Malbork. Geochronometria, 30, s. 61-67.
- [5] Bluszcz A., Pazdur M., F., 1987. Thermoluminescence dating of the Middle Paleolithic at Wadi Kubbania, [w:] The Prehistory of Wadi Kubbania, t. 2, Stratigraphy, paleoeconomy, and environment, F. Wendorf, R. Schild, A. Close red., Dallas, s. 270-273.
- [6] Buko A., Dzieńkowski T., Kusiak J., 2008. Próba datowania ceramiki wczesnośredniowiecznej metodą termoluminescencji: przykład badań zespołu grodowego w Busównie.
- [7] Kalicki T., Frączek M., Przepióra P., Kuzstal P., Kłusakiewicz E., Małęga E., 2019. Late Quaternary geomorphology and geoarchaeology in the rivers of the Holy Cross Mountains region, Central Europe, Quaternary Research 91 (2), s. 584-599.
- [8] Kalicki T., Przepióra P., Podrzycki Ł., 2017. Budowa i wiek wyższej terasy Kamionki na odcinku Suchedniów-Rejów. Acta Geographica Lodziensia, 106, s. 53-64, ISSN 0065-1249, cISSN 2451-0319.
- [9] Przepióra P., Żurek K., Kalicki T., Frączek M., Wawrusiewicz A., Piasecki A., Piasecka K., Fularczyk K., Biesaga P., Małęga E., 2019. Geoarchaeology of "Valley Forts": Case study at Jatwież Duża (Podlasie, E-Poland) -first results. 5th International Scientific Conference Geobalcanica 2019 Proceedings. Geobalcanica Society – Sofia, Republic of Bulgaria, s 43-50, ISSN 1857-7636.
- [10] Kalicki T., Głuszewski W., Frączek M., Przepióra P., Żurek K., 2020. Wykorzystanie datowań OSL w interdyscyplinarnych badaniach stanowisk archeologicznych na przykładzie Jatwieży Dużej (NE Polska). Książka streszczeń XX Konferencji naukowej „Analiza Chemiczna w Ochronie Zabytków”, Warszawa, s. 20-22.
- [11] Kalicki T., Chwałek S., Przepióra P., Frączek M., Kuzstal P., Chrabąszcz M., Konstantinovski Puntos C., 2021. Sediments and age of terraces and floodplains of the Ezousas River in SW Cyprus. Acta Geobalcanica, 7-1, s. 1-6.
- [12] Głuszewski W., 2017. Radiation Technology Series No. 6, Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation, IAEA, Chapter 18, 20.



Dr Ireneusz Olszak

Artykuł ten dedykujemy niespodziewanie i przedwcześnie zmarłemu **śp. dr. Ireneuszowi Olszakowi**, geologowi i geomorfologowi, jednemu z prekursorów datowań TL/OSL w Polsce, wieloletniemu pracownikowi Katedry Geomorfologii i Geologii Czwartorzędu Instytutu Geografii Uniwersytetu Gdańskiego, a w latach 2004-2012 Zakładu Geologii i Geomorfologii Instytutu Geografii i Studiów Regionalnych Akademii Pomorskiej w Słupsku. Jego wieloletnia współpraca i pomoc w datowaniach TL/OSL wykonywanych w Zespole Laboratoriów Geomorfologiczno-Hydrologicznych Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach była nieoceniona i pozwoliła na wykształcenie młodszego pokolenia specjalistów kontynuujących badania z użyciem tej metody.

# ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE PO TRZECH KWARTAŁACH 2021 ROKU

## *Nuclear power in Poland after the first three quarters of 2021*

Andrzej Mikulski

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono chronologicznie skrót podejmowanych działań związanych z energetyką jądrową w Polsce w pierwszym półroczu oraz dalsze działania do połowy września 2021 r. Najważniejsze w pierwszym półroczu to wejście w życie umowy międzyrządowej między Polską i Stanami Zjednoczonymi dotyczącej propozycji budowy u nas wielkoskalowych reaktorów jądrowych oraz omówienie konferencji i opublikowanych kilku raportów o energetyce jądrowej. Natomiast trzeci kwartał 2021 r. stał pod znakiem ofensywy firm chętnych do budowy małych reaktorów modułowych.

**Abstract:** The article presents chronologically a summary of the activities related to nuclear energy in Poland undertaken in the first half of the year and further activities until mid-September 2021. The most important in the first period is the entry into force of the intergovernmental agreement between Poland and the United States regarding the proposal to build large-scale nuclear reactors in Poland and the discussion of conferences and published several reports on nuclear energy. On the other hand, the third quarter of 2021 was marked by an offensive of companies willing to build small modular reactors.

**Słowa kluczowe:** Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ), reaktor jądrowy dużej mocy, małe reaktory modułowe (SMR)

**Keywords:** Polish Nuclear Energy Programm (PNEP), high power nuclear reactor, small modular reactors (SMR)

### Wprowadzenie

Publikowanie rocznych sprawozdań z rozwoju energetyki jądrowej na świecie i w Polsce jest już pewną tradycją w Postępach Techniki Jądrowej (PTJ), ale wydaje się, że są to zbyt długie okresy dla dokumentowania zmian zachodzących w Polsce, w kraju oczekującym na podjęcie pilnych decyzji odnośnie budowy pierwszej elektrowni jądrowej. Opis sytuacji energetyki jądrowej na koniec pierwszego półrocza ukazał się na portalu CIRE.PL na początku lipca br. Od początku roku można odnotować działania różnych organizacji krajowych i potencjalnych zagranicznych dostawców bloków wielkoskalowych (dużej mocy), a od ponad trzech miesięcy dołączenie się czterech nowych firm krajowych do prywatnej spółki Synthos Green Energy (SGE) należącej do Michała Sołowowa pracującej nad małym reaktorem modułowym (SMR) od 2019 r.

W artykule przedstawione zostanie streszczenie działań w pierwszym półroczu oraz ofensywa w trzecim kwartale 2021 r. firm chętnych do budowy małych reaktorów modułowych.

### Pierwsze półrocze 2021 roku

Działania w zakresie energetyki jądrowej w Polsce w pierwszym półroczu 2021 r. zostały dokładnie opisane w opublikowanym artykule na portalu CIRE.PL,

który jest dostępny w internecie<sup>1</sup>, a tu zostanie przedstawiony w skrócie.

**Instytut Sobieskiego** opublikował raport pt. „Energetyka jądrowa dla Polski” w listopadzie 2020 r., na który powoływano się wielokrotnie w tym roku i trzeba o nim napisać. W raporcie szczegółowo opisano współczesną energetykę jądrową z dostępnymi technologiami pod względem technicznym, ekonomicznym i oddziaływania na środowisko. Przyszłość energetyki widziana jest tylko w wielkoskalowych reaktorach wodno-ciśnieniowych o mocy elektrycznej 1000-1700 MWe oferowanych przez trzy firmy zgłaszające zainteresowanie polskim atomem takie jak: Westinghouse (USA, reaktor AP1000), Framatome (Francja, reaktor EPR) i KEPCO (Korea Płd., reaktor APR 1400). Pozostałe dwie firmy światowe oferujące też takie reaktory, to jest: Rosatom (Rosja, reaktory WWER-1200) i CNNC/CGN (Chiny, reaktor HPR 1000/Hualong One) zostały wykluczone a priori z możliwości ubiegania się o ich budowę w Polsce. Raport wymienia również małe reaktory modułowe SMR (Small Modular Reactors) o mocach 50-300 MWe takie jak: argentyński reaktor CAREM o mocy 25 MWe i chiński reaktor HTR-PM o mocy cieplnej 250 MWth (dwa pracują na jedną turbinę o mocy 210 MWe) oraz amerykański reaktor NuScale o mocy 77 MWe budowany w blokach

<sup>1</sup> Energetyka jądrowa w Polsce w pierwszej połowie 2021 r. - OPINIE (cire.pl) <https://www.cire.pl/artykuly/opinie/186976-energetyka-jadrowa-w-polsce-w-pierwszej-polowie-2021-roku>

po 6 jednostek (po uaktualnieniu koncepcji w czerwcu 2021 r.), czyli o łącznej mocy 462 MWe. Przymierzając ten ostatni reaktor do warunków polskich, autorzy słusznie piszą, że „niewielka moc jednostkowa powoduje, że w celu uzyskania znaczącego efektu w skali kraju takiego jak Polska, konieczna byłaby budowa dużej liczby (dziesiątek albo i setek) reaktorów małej skali, co w przypadku konstrukcji prototypowej, o nieznanym jeszcze w praktyce czasie realizacji, uniemożliwia opracowanie realistycznego harmonogramu wdrożeń na dużą skalę”. Niestety ograniczając się tylko do tego reaktora stwierdzenie, że „technologia SMR nie może być dziś uznawana za rozwiązanie, o które można oprzeć dekarbonizację krajowej energetyki w horyzoncie najbliższych dekad”, jest jak najbardziej słuszne, ale należy pamiętać, że są przecież inne reaktory należące do klasy reaktorów SMR. Interesującym rozdziałem raportu jest przedstawienie na podstawie materiałów opracowanych przez Ministerstwo Klimatu i Polskie Sieci Energetyczne pełnych kosztów różnych źródeł energii elektrycznej. W rekomendacjach raportu stwierdzono, że energetyka jądrowa jest sprawdzonym, bezpiecznym, neutralnym klimatycznie, zeroemisyjnym i tanim źródłem energii elektrycznej, cieszącym się wysokim i stabilnym poparciem społecznym, które powinno być wdrożone w Polsce.

**Posiedzenie Parlamentarnego Zespołu ds. Energetyki Jądrowej** pod przewodnictwem pani poseł Agnieszki Soin w marcu br. dotyczyło polityki energetycznej Polski do 2040 r. i Programu Polskiej Energetyki Jądrowej, na którym w oparciu o raport IPCC (Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu przy ONZ) wskazano, że walka ze zmianami klimatu jest praktycznie niemożliwa bez energetyki jądrowej. Stwierdzono również, że „Nowe ruchy ekologiczne popierają energię z atomu, bo oznacza ona ochronę bioróżnorodności, a elektrownia jądrowa ma najmniejsze wykorzystanie powierzchni na jednostkę wyprodukowanej energii”.

**Fundacja Inicjatyw Strategicznych INSTRAT** w opublikowanym raporcie pt. „Droga do celu. Odejście od węgla w polskiej elektroenergetyce” w marcu br. postuluje by udział energetyki odnawialnej w miksie, już w 2030 r. wynosił 76% ograniczając udział węgla do 13%, a w 2035 r. ma nastąpić całkowite wyeliminowanie węgla z sektora energetycznego. Dalej postuluje się ograniczenie inwestycji w energetykę gazową i porzucenie programu budowy elektrowni jądrowych oraz nastawienie się na jedną tylko monopolistyczną ścieżkę rozwoju, jaką są odnawialne źródła energii (OZE). Wydaje się, że przyjęcie takiego rozwiązania problemów energetycznych jest nierealistyczne w świetle dotychczasowych praktycznych

doświadczeń z energią odnawialną np. w sąsiednich Niemczech.

**Umowa między rządem Polski i Stanów Zjednoczonych o atomie** została ratyfikowana w marcu br. i zawiera plan przekazania technologii oraz wsparcia finansowego USA na rzecz Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. W ciągu osiemnastu miesięcy od wejścia w życie, czyli praktycznie do końca 2022 r. ma zostać przedstawiony raport koncepcyjno-wykonawczy zawierający opis wstępnych prac inżyniersko-organizacyjnych oraz potencjalne źródła i ustalenia na temat finansowania energetyki jądrowej w Polsce. Opublikowane elementy umowy, na podstawie doniesienia portalu biznesalert.pl wydają się wykluczać innego dostawcę niż firmy amerykańskie. Realizację umowy prowadzi firma Westinghouse i m.in. w tym celu zamierza otworzyć swoje biuro w Krakowie (zostało otwarte w trzecim kwartale br.).

**List do przewodniczącej KE Ursuli von der Leyen w sprawie energetyki jądrowej** wystosowali wspólnie przywódcy siedmiu państw: Czech, Francji, Polski, Rumunii, Słowacji, Słowenii i Węgier w sprawie roli energetyki jądrowej w polityce klimatyczno-energetycznej UE. List ten jest „pilnym wezwaniem do zapewnienia prawdziwie równych reguł gry dla energetyki jądrowej w UE bez wykluczania jej z unijnej polityki klimatyczno-energetycznej i zachęt, mając na uwadze, że połowa krajów UE wykorzystuje lub rozwija energetykę jądrową. Przywódcy wzywają Komisję Europejską do „zapewnienia, by polityka energetyczno-klimatyczna UE uwzględniała wszystkie ścieżki ku neutralności klimatycznej zgodnie z zasadą neutralności technologicznej. W liście odniesiono się do niedawnego wyroku w sprawie projektu elektrowni jądrowej Hinkley Point C, w którym, potwierdzono, że budowa elektrowni jądrowej może korzystać z pomocy państwa i nie narusza środowiskowych celów Traktatu o funkcjonowaniu UE. Liderzy wskazanych krajów członkowskich wyrazili również zaniepokojenie, że „prawo państwa członkowskiego do wyboru między różnymi źródłami energii i określania ogólnej struktury dostaw energii (art. 194 TFUE) jest obecnie mocno ograniczone na poziomie UE, która wyklucza energię jądrową z coraz większej liczby polityk”. Minęło kilka miesięcy od wystosowania tego listu, ale nic nie wiadomo by nadeszła na niego jakaś odpowiedź i sprawa uwzględnienia energetyki jądrowej w taksonomii pozostaje bez ostatecznego rozstrzygnięcia.

**Komitet Elektrotechniki PAN** w opublikowanej wcześniej opinii przygotowanej przez prof. Bolesława Zaporowskiego i dyskutowanej w kwietniu br., podjął próbę nakreślenia długoterminowej strategii rozwoju sektora wytwórczego polskiej elektroenergetyki,

konkludując, że „Długoterminowa strategia zrównoważonego rozwoju systemu elektroenergetycznego, prowadząca do neutralności klimatycznej, w kraju nieposiadającym dużych ekonomicznych zasobów energii wodnej ... może opierać się tylko na łączeniu rozwoju energetyki wykorzystującej OZE i energetyki jądrowej”. Stwierdzając za PPEJ, że małe reaktory modułowe nie będą dostępne przed 2040 r., wyrażono zdecydowane poparcie budowy w Polsce wielkoskalowej energetyki jądrowej z pełnym zaangażowaniem państwa.

**Konferencja „Przyspieszyć z energetyką jądrową”** została zorganizowana przez posłów Konfederacji i Stowarzyszenie Obywatelski Ruch na rzecz Energetyki Jądrowej (OREJ) w marcu br., na której zdecydowanie opowiedziano się za włączeniem energetyki jądrowej do miksu energetycznego w Polsce, by stabilizować system energetyczny i przeciwdziałać uzależnieniu od zewnętrznych źródeł i nośników energii.

**Inżynierska firma projektowo-doradcza ILF Consulting Engineers Polska** opublikowała w maju br. raport pt. „Energia [Od]Nowa – Raport o transformacji energetycznej Polski”, w którym znalazło się następujące stwierdzenie „Istotną kwestią niezbędną do osiągnięcia celów neutralności klimatycznej naszego kraju do roku 2050 jest energetyka jądrowa. Jednak tempo jej rozwoju będzie znacznie wolniejsze niż zakłada PEP2040”. Podstawą takiego pesymistycznego stwierdzenia są zapewne doświadczenia ubiegłych 10 lat w zakresie energetyki jądrowej. Raport niestety nie zawiera żadnych sugestii, jak przyspieszyć rozwój energetyki jądrowej, ani ocen sytuacji, co robić, jeśli spełni się to pesymistyczne stwierdzenie. Odnosząc się do naszych zachodnich sąsiadów napisano, że „Zamknięcie przez Berlin wszystkich elektrowni jądrowych to jeden z najbardziej kontrowersyjnych kierunków rozwoju niemieckiej transformacji energetycznej”, a „Umowa koalicyjna zawarta między CDU/CSU i SPD zakłada działania zmierzające do wprowadzenia zakazu państwowego i unijnego wsparcia finansowego w projektach jądrowych na terenie Unii Europejskiej”, co może zagrozić budowie elektrowni jądrowej w Polsce i w tym kontekście wspomina się list „przywódców siedmiu państw UE do przewodniczącej KE Ursuli von der Leyen i innych komisarzy”.

**Wysokotemperaturowy reaktor badawczy chłodzony gazem (HTGR)** projektowany jest w Narodowym Centrum Badan Jądrowych w Świerku zgodnie z umową zawartą z Ministerstwem Edukacji i Nauki w maju br. Prace nad tym reaktorem trwają w Polsce od wielu lat. W przyszłym roku zakończony zostanie trzyletni projekt Gospostrateg-HTR przygotowujący

analizy techniczne, prawne i społeczno-gospodarcze dla wdrażania technologii tego reaktora, Podpisana umowa opiewa na sumę 60 mln zł, a projekt ma być gotowy w 2024 r. Wydaje się to dosyć małą kwotą, ale ważne jest, by rząd przewidział odpowiednie finansowanie tego programu w przyszłości, jeśli dotychczasowy wysiłek nie ma być zmarnowany, gdyż podjęte działania lokują Polskę wśród kilku krajów pracujących nad tą technologią. Trzeba pamiętać jednak, że technologia tych reaktorów nie jest łatwa i w przeszłości trzy kraje (Niemcy, Wielka Brytania i USA) przerwały prace nad takim reaktorem. Japonia posiada reaktor badawczy HTTR i w tym roku ponownie go uruchomiła po wyłączeniu w 2011 r., po katastrofie w EJ Fukushima, a dostosowanie go do nowych wymogów bezpieczeństwa zajęło 10 lat. W Chinach budowany jest wysokotemperaturowy reaktor (HTR-PM) w wykonaniu przemysłowym z wielokrotnie przekładanym terminem uruchomienia obecnie planowanym do końca bieżącego roku (reaktor został właśnie uruchomiony w połowie września br.).

**Koszt energetyki jądrowej w Polsce** jest niezmiernie ważną informacją dla opinii publicznej. Minister Piotr Naimski w wywiadzie dla portalu wnp.pl w maju br. ocenił koszt programu PPEJ na 70-80 mld złotych w ciągu 20 lat obejmujący wybudowanie 6-9 GW mocy w liczbie sześciu reaktorów w dwóch bądź trzech lokalizacjach. Koszt szacowany przez inne instytucje jest znacznie wyższy i na przykład według Polskiego Instytutu Ekonomicznego może sięgać nawet 135 mld zł (opracowanie z maja 2020 r.).

**VII Forum Innowacyjności** zostało zorganizowane przez Instytut Ochrony Środowiska przy współpracy Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej oraz Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w maju br., którego celem było omówienie aspektów naukowych i technicznych dotyczących roli energetyki jądrowej w ochronie klimatu i środowiska. Wnioski z forum były raczej oczywiste i mówiły o konieczności posiadania w systemie energetycznym poza źródłami energii, zależnymi od warunków pogodowych i klimatycznych lub posiadanych zasobów wodnych, również innego stabilnego i bezemisyjnego źródła wytwarzania taniej energii elektrycznej, jakim jest elektrownia jądrowa oraz o jej roli w ochronie środowiska i zdrowia ludzkiego.

**Polskie Elektrownie Jądrowe (PEJ)** to nowa spółka skarbu państwa, która będzie zajmować się budową i eksploatacją elektrowni jądrowych w Polsce. Powstała ona oficjalnie w czerwcu br. (po rejestracji w KRS), po przejęciu przez państwo udziałów należących do PGE SA (70%) oraz do Enei, KGHM i Tauronu (po 10%) w zlikwidowanej spółce PGE EJ1.

**„Pora na ATOM – energia jądrowa dla Polski”** to konferencja zorganizowana przez portal

energetyka24.com w czerwcu br., jako platforma do zderzenia opinii polityków, przedsiębiorców, ekspertów oraz aktywistów celem maksymalnie szerokiego spojrzenia na polski projekt jądrowy. Na początek Mirosław Kowalik, dyrektor Westinghouse Polska wyraził opinię, że reaktor AP1000 jest najlepszą propozycją dla Polski nic nie wspominając o trudnościach budowy tego reaktora najpierw w Chinach, a obecnie w USA oraz mówił o planach dostosowania oferty do naszych potrzeb i zdeterminowaniu spełnienia naszych oczekiwań. Drugą ciekawą informacją podaną przez dra Tomasza Nowackiego, dyrektora Departamentu Energii Jądrowej w Ministerstwie Klimatu i Środowiska była zapowiedź ukończenia wkrótce prac nad dwoma ważnymi dokumentami, czyli raportami o oddziaływaniu na środowisko oraz lokalizacyjnym, które rozpoczynają formalny proces inwestycyjny. Warto tu przypomnieć, że te dwa dokumenty pierwotnie miały być gotowe do końca 2016 r. W dalszej części konferencji omówiono techniczną stronę projektu nie kryjąc trudności, jakie mogą się pojawić na etapie uzgodnień i zatwierdzeń administracyjnych oraz przy spełnianiu wszystkich wymagań technicznych. Ciekawe było stwierdzenie przedstawiciela organizacji aktywistów klimatycznych, że „atom oszczędza przyrodę” i elektrownia jądrowa wywiera „o wiele mniejszą presję na przyrodę niż gdyby trzeba było wybudować instalacje zajmujące znacznie większe powierzchnie”. Ostatnią prezentacją było omówienie stanu światowego przemysłu jądrowego na świecie i stwierdzenie faktu, że „w krajach, gdzie w ciągu ostatnich lat energetyka jądrowa była budowana, tam przemysł jądrowy wygląda dobrze” mając na myśli Rosję i Chiny, nie wspominając o Francji czy USA, które to kraje zabiegają o budowę elektrowni jądrowej w Polsce, a u siebie zanotowały długi okres bez budowy elektrowni jądrowych. Pokłosiem tej konferencji jest „złożenie w Kancelarii Prezesa Rady Ministrów apelu do szefa rządu o zorganizowanie ponadpartyjnego spotkania w sprawie polskiego projektu jądrowego” przez posłów Solidarnej Polski, Koalicji Obywatelskiej, Konfederacji i Lewicy.

**Koncerny Synthos Green Energy (SGE) i PKN Orlen** zapowiedziały w końcu czerwca br., że chcą wspólnie rozwijać w Polsce rynek małych reaktorów jądrowych, by m.in. zapewnić źródła energii elektrycznej na potrzeby własne i odbiorców zewnętrznych. W podpisanym ramowym porozumieniu między prywatnym koncernem należącym do Michała Sołowowa i spółką skarbu państwa (PKN Orlen) obie strony zapowiadają współpracę dotyczącą rozwoju i wdrożenia małych reaktorów jądrowych typu SMR. Z okazji podpisania umowy prezes Synthosu Zbigniew Warmuz stwierdził, że „reaktor BWRX-300 ma szansę powstać, gdzieś za granicą (tj. w USA lub Kanadzie) około 2027-2028 r. i jeśli konstrukcja jego „zostanie sprawdzona, to myślę, że w Polsce realny jest rok 2030-2031. Z kolei prezes PKN

Orlen Daniel Obajtek ocenił, że pierwszy taki reaktor może powstać w Polsce w ciągu 7-10 lat.” – cytuję za portalem energetyka24.com.

### Trzeci kwartał 2021 roku (do 15 września)

W zakresie reaktorów wielkoskalowych można tylko zanotować potwierdzenie zainteresowania rządu amerykańskiego przygotowaniem oferty dla Polski dotyczącej energetyki jądrowej oraz pojawienie się w ostatnich tygodniach wielu doniesień prasowych o zainteresowaniu aż dwóch firm prywatnych, spółki giełdowej i dwóch spółek skarbu państwa budową małego reaktora modułowego w Polsce.

**Przedstawiciel rządu USA**, p. Derek Chollet, doradca sekretarza stanu złożył wizytę w Warszawie w lipcu br. dotyczącą głównie rurociągu Nord Stream 2, ale doszło również do rozmowy z ministrem Piotrem Naimskim na temat polskiej elektrowni jądrowej. Firmy: Westinghouse projektująca i Bechtel budująca reaktory jądrowe w USA pracują nad ofertą dla Polski, ale niestety ofertę będziemy rozpatrywali dopiero jesienią przyszłego roku, jak powiedział minister Naimski. Zdaniem ministra, przygotowywana specustawa atomowa nie przyspieszy uruchomienia pierwszego reaktora, ale zdecydowanie ułatwi przygotowania do realizacji tego projektu.

**Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin (ZE PAK)** należący do Zygmunta Solorza w sierpniu br. wystąpił z wnioskiem do Polskich Sieci Energetycznych (PSE) w sprawie rozpoczęcia konsultacji rynkowo-technicznych w sprawie zmiany źródeł wytwarzania w Elektrowni Pątnów z węglowych na małe reaktory modułowe. W odpowiedzi PSE nie dostrzegła potrzeby prowadzenia tych konsultacji, ale zaproponowały robocze spotkanie dotyczące warunków przyłączenia planowanych czterech do sześciu reaktorów o łącznej mocy elektrycznej do 1,8 MW. W pierwotnym komunikacie wskazano na technologie pochodzące z USA lub Wielkiej Brytanii. Natomiast kilka dni później, w ostatnich dniach sierpnia br. podjęto decyzję o rozpoczęciu wspólnego projektu i podpisana została umowa z SGE o budowie elektrowni jądrowej wyposażonej w reaktory typu BWRX-300, gdzie SGE występuje jako inwestor i dostawca technologii. Równolegle zawarto porozumienie z amerykańską renomowaną firmą doradcą IP3 Corporation w obszarze wdrożenia i rozwoju energetyki jądrowej w Polsce (jak napisano). Poza tym poinformowano o dołączeniu pani Georgette Mosbacher, byłej ambasador USA w Polsce do władz IP3, która ma się zajmować projektami IP3 w Polsce.

**Kombinat KGHM Polska Miedź** w połowie sierpnia br. poinformował, że rozważa inwestycję w małe

reaktory jądrowe na własne potrzeby w odpowiedzi na wysoką cenę energii i konieczność posiadania źródła energii z mniejszym wpływem na klimat.

**Spółka Ciech**, również chce odejść od spalania węgla i pozyskiwać energię z reaktorów jądrowych. W tym celu spółka podpisała list intencyjny z Synthos Green Energy o współpracy w zakresie wykorzystania technologii małych reaktorów jądrowych (SMR) i mikroreaktorów modułowych (MMR). Poinformowano przy tym, że działanie to wpisuje się w przyjętą w 2018 r. strategię grupy zakładającą m.in. zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> o 33% do 2026 r., wycofanie węgla jako surowca do produkcji energii do 2033 r. oraz osiągnięcie neutralności klimatycznej grupy (net zero) do 2040 r. Tu trzeba przypomnieć, że spółka SGE w maju 2020 r. zawarła porozumienie z amerykańską firmą Ultra Safe Nuclear Corporation (USNC) dotyczące rozwoju technologii mikroreaktorów modułowych (MMR – Micro Modular Reactor). Reaktor MMR tej firmy, to nowa koncepcja modułowego reaktora wysokotemperaturowego chłodzonego gazem (hel), który pracuje 15-20 lat bez wymiany paliwa i po tym czasie rdzeń reaktora wymieniany jest w całości, jako jeden moduł.

**Firma Westinghouse** uruchomiła w Krakowie we wrześniu br. globalne centrum usług wspólnych, które ma m.in. przygotować raport opisujący amerykańskie projekty technologiczne dotyczące energetyki jądrowej dla Polski wraz ze strukturą finansowania. Koszt przygotowania oferty ma wynosić nawet 10 mln dol., ale pokryje go Amerykańska Agencja Handlu i Rozwoju (USTDA), a mamy go poznać w drugiej połowie przyszłego roku.

#### **Krótką informacją o reaktorze BWRX-300**

Zainteresowanie zastosowaniem reaktora BWRX-300 do produkcji energii elektrycznej i ciepła technologicznego na własne potrzeby, jako pierwszy w Polsce wyraził prywatny koncern chemiczny Synthos z Oświęcimia już w 2019 r. powołując spółkę Synthos Green Energy (SGE) i podpisując wstępne porozumienie z jego dostawcą. Spółka SGE we współpracy z takimi firmami jak Exelon Generation, Fortum i kancelarią prawną CMS Legal przez cały 2020 rok prowadziła intensywne prace zakończone opracowaniem propozycji zakresu opinii ogólnej w sprawie rozwiązań organizacyjno-technicznych małego reaktora modułowego i w październiku 2020 r. rozpoczęła dyskusję z Państwową Agencją Atomistyki (PAA) na temat wymaganych dokumentów przy składaniu wniosku o uzyskanie pozwolenia na budowę. Drugim dokumentem wykonanym w tamtym roku przez Exelon Generation dla SGE jest studium wykonalności małego reaktora modułowego w Polsce, które obejmuje

analizę kluczowych aspektów wdrażania technologii SMR począwszy od kwestii kosztowych, poprzez politykę kadrową, problemy zapewnienia bezpieczeństwa i wydania zezwoleń itd.

Reaktor wodny wrzący BWRX-300 o mocy elektrycznej 300 MWe (moc cieplna 870 MWth) firmy General Electric Hitachi Nuclear stanowi uproszczoną wersję reaktora ESBWR o dużej mocy (1520 MWe), który uzyskał licencję na budowę wydaną przez amerykański urząd dozoru jądrowego (US NRC) w 2014 r., ale nigdzie nie został zbudowany. Konstrukcja reaktora oparta jest na naturalnym, grawitacyjnym obiegu chłodzenia i praktycznie została sprawdzona w dwóch reaktorach. Pierwszy w elektrowni Dodewaard w Holandii w bloku o mocy 60 MWe, gdzie pracował przez 29 lat do 1997 r. oraz drugi w elektrowni Humboldt Bay w bloku o mocy 65 MWe w USA, gdzie pracował przez 13 lat do 1976 r., zatem nie można mówić o niesprawdzonej technologii. Według GEH przy budowie będą wykorzystane elementy konstrukcyjne sprawdzone w innych reaktorach jak: zbiornik reaktora (materiał i proces produkcyjny jak w uruchomionym w elektrowni Kashiwazaki Kariwa w Japonii reaktorze ABWR i średnica jak w elektrowni Mühleberg w Szwajcarii), separator i osuszacz pary (ABWR), pręty sterujące wraz z napędami (ABWR), paliwo typu GNF2 (wykorzystywane w 70% reaktorów typu BWR na świecie) oraz w części konwencjonalnej urządzenia produkowane w fabrykach koncernu GE. Rozpoczęty został w grudniu 2019 r. proces uzyskiwania licencji amerykańskiego urzędu dozoru jądrowego (US NRC) przedstawieniem raportów tematycznych dotyczących takich zagadnień jak: ochrona zbiornika reaktora i zabezpieczenie przed wzrostem ciśnienia, odporność obudowy bezpieczeństwa w różnych sytuacjach eksploatacyjnych, kontrola reaktywności paliwa jądrowego oraz ocena obudowy bezpieczeństwa, z których pierwsze trzy zostały już zaakceptowane przez dozór. Równolegle prowadzona jest ocena tego reaktora przez kanadyjski urząd dozoru jądrowego (CNSC) rozpoczęta w styczniu 2020 r. Pierwszy reaktor BWRX-300 ma być uruchomiony w USA około 2028 r. Koncern GEH Nuclear przewiduje, że dzięki znacznemu uproszczeniu projektu, reaktor BWRX-300 będzie wymagał znacznie mniejszych kosztów kapitałowych w przeliczeniu na jeden megawat mocy niż inne projekty małych reaktorów modułowych (SMR) chłodzonych wodą lub istniejące projekty dużych reaktorów jądrowych. Poza tym koncern ten przekonuje, że koszt produkcji energii elektrycznej i cieplnej przez reaktor BWRX-300 będzie porównywalny z kosztami elektrowni gazowych oraz źródeł odnawialnych. Reaktorem tym zainteresowane są w Europie poza Polską takie kraje jak: Estonia i Czechy.



## Podsumowanie trzech kwartałów 2021 roku

Należy wyrazić zadowolenie, że budową małych reaktorów zainteresowane są dwie firmy prywatne (SGE i ZE PAK) i nie wahają się zainwestować własne pieniądze, a druga z nich jest firmą czysto energetyczną pracującą dla Krajowego Systemu Energetycznego (KSE). W tej sytuacji państwo nie ponosi żadnej odpowiedzialności finansowej, jeśli inwestycja nie zostanie w ogóle ukończona lub będzie przedłużony czas jej budowy. Państwo musi tylko dbać, by projekt spełniał wszystkie wymogi bezpieczeństwa i powinno być pozytywnie nastawione do tych działań. Należy oczekiwać, że dozór jądrowy (PAA) w krótkim terminie określi samodzielnie lub w porozumieniu z dozorem amerykańskim, bo chodzi o reaktor BWRX-300, jakie ogólne wymagania ma spełniać projekt dodając ewentualnie szczegółowe wymagania dotyczące Polski. Dodatkowym atutem całego przedsięwzięcia jest współudział w nim jednej spółki skarbu państwa (PKN Orlen) i przychylne nastawienie drugiej (KGHM).

Zagraniczne koncerny, które pracują obecnie nad rozwojem technologii SMR, zapowiadają, że małe

reaktory modułowe chłodzone wodą będą gotowe do wdrożenia około 2030 r. już po pewnym okresie próbnej eksploatacji. Nie wykluczone więc, że uda się szybciej zainstalować je w Polsce, niż zbudować u nas pierwszy duży blok jądrowy.

Pierwsze półrocze, 2021 r. można zatem określić, jako czas rozpoczęcia oczekiwania na raport amerykański, który ma być gotowy do sierpnia 2022 r., a potem rozpoczną się dyskusje nad nim. Jest nadzieja, że do końca bieżącego roku będą gotowe raporty środowiskowe i lokalizacyjne dla Żarnowca i Lubiatowa-Kopalina i do końca 2022 r. podjęta zostanie wreszcie decyzja dotycząca wyboru partnera, który dostarcza nam technologię wielkoskalowego reaktora energetycznego wraz z częścią konwencjonalną elektrowni. Natomiast sama końcówka półrocza i trzeci kwartał to ofensywa czterech nowych firm, które chcą budować małe reaktory modułowe i należy gorąco życzyć im powodzenia na tym polu.

*dr inż. Andrzej Mikulski,  
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,  
Warszawa*



## BIURO ÉLECTRICITÉ DE FRANCE W WARSZAWIE

Otwarte w lipcu w Warszawie biuro Électricité de France – EDF będzie wspierać proces przygotowania kompleksowej, dostosowanej do polskiego rynku francuskiej oferty w zakresie energetyki jądrowej. Poinformowano o tym w trakcie konferencji prasowej, w której wzięli udział Frédéric Billet (ambasador Francji w Polsce), oraz Philippe Crouzet (wysoki przedstawiciel ds. współpracy jądrowej z Polską). Wyrazili oni pełne poparcie francuskiego rządu dla oferty EDF na budowę od 4 do 6 reaktorów EPR w Polsce.

Dyrektorem zarządzającym biura mianowany został Thierry Deschaux, który ma dużą wiedzę na temat polskiego sektora energetycznego we wszystkich jego podsektorach: od dostaw węgla, poprzez rozwój elektrowni, zarządzanie systemami ciepłowniczymi do rozwoju usług energetycznych. W ciągu 14 lat kariery zawodowej pracował w naszym kraju w różnych spółkach grupy EDF. Ostatnio pełnił funkcję prezesa zarządu Dalkia Polska. Zatrudniony był również przez 15 lat w dyrekcji EDF we Francji w obszarach inżynierii, eksploatacji, konserwacji i serwisowania elektrowni jądrowych, a także strategii zakupów i negocjacji głównych kontraktów na paliwa jądrowe. Działalność nowego biura będzie koncentrować się na rozszerzeniu współpracy z kluczowymi interesariuszami zaangażowanymi w polski program jądrowy, którą EDF zbudował w ciągu ostatnich 10 lat. Jednym z jego klu-

czowych zadań jest włączenie polskiego przemysłu do europejskiego łańcucha dostaw EDF poprzez nawiązanie długoterminowych partnerstw i przyspieszenie kwalifikowania polskich dostawców. Biuro będzie polskim przedłużeniem aktywności dyrekcji do spraw Rozwoju Nowych Projektów Jądrowych EDF, dzięki czemu w pełni może korzystać ze wsparcia zespołów inżynierskich i handlowych Grupy. Thierry Deschaux wspominał, że działalność EDF w zakresie wspierania ambitnej polskiej i europejskiej transformacji energetycznej ma w Polsce już 14-letnią historię. Vakis Ramany, wiceprezes EDF, dyrektor ds. rozwoju nowych projektów jądrowych, podkreślił, że EDF chce zaoferować sprawdzoną technologię EPR. Promuje również długoterminowe partnerstwo strategiczne oparte na trzech kluczowych wymiarach: włączenie polskiego łańcucha dostaw, budowanie potencjału ludzkiego przyszłego właściciela-operatora dla bezpieczeństwa dostaw i zapewnienia niezależności, jak również zbadanie, przy wsparciu rządu francuskiego, różnych narzędzi finansowania i opcji zabezpieczenia polskiego programu. Philippe Crouzet, podkreślił, że Francja pragnie wesprzeć Polskę w realizacji projektu jądrowego w duchu współpracy strategicznej i przemysłowej. Oferuje europejskie rozwiązanie oparte na trzeciej generacji technologii EPR, uznanej już przez kilka europejskich organów ds. bezpieczeństwa oraz na jej 50-letnim doświadczeniu w przemyśle jądrowym. Energia jądrowa jest rozwiązaniem przyszłościowym, kluczowych dla realizacji europejskich celów klimatycznych”.

Grupa EDF jest zintegrowaną spółką energetyczną działającą we wszystkich obszarach: wytwarzania, przesyłu, dystrybucji, obrotu energią, sprzedaży energii i usług energetycznych. Jest światowym liderem w dziedzinie energetyki niskoemisyjnej, posiadającym zróżnicowany miks produkcyjny oparty głównie na energetyce jądrowej i energetyce odnawialnej (w tym hydroenergetyce). Inwestuje również w nowe technologie wspierające transformację energetyczną. Racją bytu EDF jest budowanie zeroemisyjnej przyszłości z wykorzystaniem energii elektrycznej oraz innowacyjnych rozwiązań i usług, aby pomóc ratować planetę oraz napędzać dobrobyt i rozwój gospodarczy. Grupa jest zaangażowana w dostarczanie energii i usług do około 37,9 mln klientów (1), z czego 28,7 mln we Francji (2). W 2020 r. Grupa osiągnęła przychody ze sprzedaży w wysokości 69,0 mld euro. EDF jest notowany na Paryskiej Giełdzie Papierów Wartościowych.

*Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*



## ORLEN I SYNTHOS INWESTUJĄ W MAŁE REAKTORY JĄDROWE

PKN ORLEN i Synthos podpisały porozumienie o współpracy dotyczące rozwoju i wdrożenia zeroemisyjnych technologii jądrowych MMR (Micro Modular Reactor) i SMR (Small Modular Reactors). Jej realizacja wpisuje się w strategiczne cele, jakimi są osiągnięcie neutralności emisyjnej do 2050 r. i poprawa bezpieczeństwa energetycznego Polski. PKN ORLEN dostrzega możliwość wykorzystania SMR zarówno, jako źródła energii na potrzeby własnych zakładów rafineryjno-petrochemicznych, jak i dla podmiotów zewnętrznych. Małe reaktory będą również w stanie dostarczać ciepło technologiczne i wspierać rozwój strategii wodorowej. Dzięki rozpoczętej współpracy Grupa ORLEN uzyska dostęp do technologii i doświadczeń w zakresie SMR, a Grupa Synthos pozyska silnego partnera do rozwoju małych elektrowni jądrowych w Polsce. Zgodnie z zapisami porozumienia, obie firmy wspólnie podejmą się m.in. badań i sprawdzenia możliwości zastosowania technologii SMR w należących do Grupy ORLEN zakładach produkcyjnych w naszym kraju.

Polska stoi przed szansą pozyskania nowoczesnych zeroemisyjnych technologii jądrowych. Ich wdrożenie jest niezmiernie istotne dla obu spółek, jak i całego polskiego przemysłu, stojącego przed wyzwaniem, jakie niosą cele redukcji emisji gazów cieplarnianych z zachowaniem konkurencyjności polskich przedsię-

biorstw na europejskim i globalnym rynku. Małe reaktory modułowe stanowią szansę na przeprowadzenie dekarbonizacji w sposób, który uzupełniając OZE, zapewni bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej i ciepłej zarówno do zastosowań przemysłowych, jak i potencjalnie dla ciepłownictwa miejskiego. Energetyka jądrowa pozwoli także na stworzenie szeregu nowoczesnych miejsc pracy w nowym segmencie polskiej gospodarki. SMR to technologia, która otwiera przed PKN ORLEN szereg możliwych synergii. Biorąc pod uwagę dotychczasowe kierunki rozwoju i realizowane inwestycje, zakładające m.in. dynamiczny rozwój morskiej energetyki wiatrowej i fotowoltaiki, SMR mogą stanowić bezemisyjną alternatywę dla obecnych aktywów energetycznych. Podpisane porozumienie jest odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz konieczność dalszych redukcji emisji zgodnie z wymaganiami UE. Realizacja założeń porozumienia otwiera możliwość stworzenia w przyszłości wspólnej spółki obu grup w celu rozwijania projektów z obszaru zeroemisyjnej energetyki. W ramach współpracy koncernów, poza obszarem SMR, analizowane będą również wspólne inwestycje w obszarze morskiej energetyki wiatrowej, w którym już obecnie Grupa ORLEN dysponuje szerokimi kompetencjami i doświadczeniem umożliwiającym dalszy rozwój. Porozumienie zakłada wspólne promowanie i przygotowanie wdrożenia technologii SMR i MMR w Polsce, działania na rzecz dostosowania regulacji prawnych oraz potencjalne wdrożenie. Porozumienie ma charakter ramowy, a strony będą dążyć do tego, by w najbliższym czasie wypracować szczegółowe zasady współpracy.

*Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*



## BUDIMEX MYŚLI O ENERGETYCE JĄDROWEJ

Budimex SA to polskie przedsiębiorstwo budowlane, które działa w sektorach infrastruktury: drogowej, kolejowej, lotniskowej; budownictwa kubaturowego, energetycznego, przemysłowego i ekologicznego. W zależności od skali projektów energetycznych buduje, jako generalny wykonawca lub w konsorcjach z wiodącymi firmami z branży energetycznej i przemysłowej. Współpracuje z wieloma renomowanymi firmami, takimi, jak: Mitsubishi Hitachi Power System, Siemens, Alstom, GE, Andritz AG, Valmet, Metso, Keppels Seghers, Steinmuller Babcock, SELPOL S.A., Fluor czy CB&I. Obecnie wchodzi również w obszar gospodarki

odpadami. W dalszej perspektywie Budimex myśli o zaangażowaniu w projekty polskiej energetyki jądrowej.

*Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*



## XXIII EDYCJA KONKURSU POLSKI PRODUKT PRZYSZŁOŚCI

Przedstawiciele Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości oraz Narodowego Centrum Badań i Rozwoju wręczyli w trakcie uroczystej gali nagrody i wyróżnienia autorom najbardziej innowacyjnych polskich wyrobów i technologii. W konkursie mogły wziąć udział uczelnie, instytuty naukowe i badawcze oraz przedsiębiorcy prowadzący działalność na terenie Polski. Uczestnicy przystępowali indywidualnie bądź zgłaszali projekt opracowany wspólnie przez instytucję i firmę. Konkurs odbywał się w czterech kategoriach z podziałem na fazę przedwdrożeniową i wdrożeniową odpowiednio dla wyrobu i technologii przyszłości.

W kategorii „Produkt Przyszłości Przedsiębiorcy” nagrodę główną otrzymali twórcy innowacyjnego urządzenia AngioExpert do nieinwazyjnej diagnostyki zaburzeń krążenia naczyniowego metodą FMSF opracowane przez Angionica Sp. z o.o. W kategorii „Wspólny Produkt Przyszłości Instytucji Szkolnictwa Wyższego i Nauki oraz Przedsiębiorcy” najlepszy okazał się FRANKD – szybki test diagnostyczny w kierunku wirusa SARS-CoV-2. To bezpośrednie i niewymagające izolacji materiału genetycznego rozwiązanie jest efektem współpracy GeneMe Sp. z o.o. oraz Instytutu Biotechnologii i Medycyny Molekularnej.

W kategorii „Produkt Przyszłości Instytucji Szkolnictwa Wyższego i Nauki” laur zdobył VENTIL – innowacyjne urządzenie do niezależnej wentylacji płuc (Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej im. Macieja Nałęczka PAN).

Podczas gali przyznano również nagrody specjalne. Za produkt z branży technologii informacyjnych i komunikacyjnych (ICT) otrzymała ją InnerWeb Sp. z o.o. za InnerWeb® – wirtualny strażnik, który chroni miejsce pracy i alarmuje, gdy powstają sytuacje niebezpieczne. Za produkt zgłoszony przez młodą przedsiębiorcę (na rynku nie dłużej niż 3 lata od dnia rozpoczęcia działalności) nagrodę otrzymała Instalacja do recyklingu opakowań wielomateriałowych i odzysku aluminium – MALUCH 2 EU (Microwave Aluminium Carbon Hydrogen 2 Extraction Unit) firmy Usagi Sp. z o.o. Nagroda Specjalna za produkt w obszarze ekoinnowacji oraz Nagroda Specjalna Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii

przypadła projektowi SOLHOTAIR – wysokowydajne, grzewcze powietrzne kolektory słoneczne (SOLHOTAIR Sp. z o.o.). Nagrodę PARP i NCBR, przyznano za Bioniczną Protezę Ręki Zeus (Aether Biomedical Sp. z o.o.). Na uwagę zasługują również dwa wyróżnienia. Biodegradowalne materiały opakowaniowe poliestrowe i polisacharydowe zawierające funkcyjne substancje pochodzenia roślinnego (Politechnika Łódzka). Od wielu lat prowadzone są badania nad radiolizą biodegradowalnych polimerów w kontekście materiałów opakowaniowych i zastosowań medycznych. Przedmiotem zainteresowania są zmiany właściwości wywołane w procesie sterylizacji, jak również celowa modyfikacja parametrów użytkowych tworzyw polimerowych. Drugim rozwiązaniem są platformy do powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii Ramana z zastosowaniem do celów diagnostycznych i biomedycznych (Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk). Projekt ten otrzymał również Nagrodę Specjalną Ministra Edukacji i Nauki.

*Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*



## MILIARDERZY OGŁASZAJĄ WSPÓLNE PLANY BUDOWY MAŁYCH REAKTORÓW MODUŁOWYCH W ELEKTROWNI WĘGLOWEJ

Propozycje obejmują do sześciu jednostek GEH BWRX-300 w lokalizacji Pątnów na zachód od Warszawy.

Dwóch najbogatszych ludzi w Polsce ogłosiło, że będą współpracować przy badaniu budowy małych reaktorów modułowych BWRX-300 na terenie elektrowni węglowej Pątnów, około 200 km na zachód od Warszawy.

Zespół Elektrowni Pątnów Adamów Konin (ZE PAK), największa prywatna grupa energetyczna w Polsce, i Synthos Green Energy poinformowały, że podpisały umowę inwestycyjną na zbadanie możliwości budowy elektrowni GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) BWRX-300 lub „innych optymalnych amerykańskich technologii SMR”.

ZE PAK należy do miliardera Zygmunta Solorza, a Synthos Green Energy do byłego rajdowca Michała Sołowowa. Synthos Green Energy jest spółką zależną Synthos, producenta kauczuku syntetycznego i jedne-

go z największych producentów surowców chemicznych w Polsce.

W oświadczeniu podano, że ZE PAK planuje zainwestować w cztery do sześciu reaktorów typu SMR o mocy 300 MW każdy. Solorz powiedział, że od kilku lat stawia na czystą i bezemisyjną energię. „Słońce, wiatr, wodór i energia jądrowa to najważniejsze źródła energii, w które inwestujemy” – powiedział. „ZE PAK jest pierwszym w Polsce producentem energii węglowej, który nie tylko mówi, że ma plan odejścia od węgla, ale wręcz odchodzi od niego”.

W lipcu ZE PAK podał, że może być zainteresowany inwestycjami w budowę elektrowni jądrowych w Polsce i za granicą, jako sposób na odejście od wytwarzania paliw kopalnych.

Prezes ZE PAK Piotr Woźny powiedział, że program SMR nie zastąpi rządowych propozycji wielkoskalowej energetyki jądrowej, ale „może być jego doskonałym uzupełnieniem i stopniowo zastępować część energii wytwarzanej z paliw kopalnych”. Polska chce zbudować od 6000 do 9000 MW zainstalowanej mocy jądrowej. Komercyjna eksploatacja pierwszego bloku reaktora jądrowego w proponowanym zestawie sześciu planowana jest na 2033 rok.

Przedstawiciel GEH powiedział, że w pełni popiera wizję zastąpienia węgla bezemisyjną generacją jądrową. „Zgadza się, że mały modułowy reaktor BWRX-300 idealnie nadaje się do tego zastosowania i nie możemy się doczekać rozszerzenia naszego partnerstwa z Synthos Green Energy, aby pomóc Polsce osiągnąć cele dekarbonizacji” – podała firma w mediach społecznościowych.

W październiku 2020 r. GEH i Synthos poinformowały, że rozpoczęły się rozmowy z Państwową Agencją Atomistyki na temat potencjalnego projektu małego reaktora modułowego BWRX-300.

GEH i Synthos ogłosiły w październiku 2019 r., umowę o współpracy w zakresie potencjalnych aplikacji wdrożeniowych dla BWRX-300 w Polsce.

BWRX-300 to 300-MW chłodzony wodą SMR z naturalną cyrkulacją z pasywnymi systemami bezpieczeństwa. Wykorzystuje projekt i podstawę licencjonowania ESBWR (Ekonomiczny Uproszczony Reaktor Wrzącej Wody) firmy GEH z certyfikatem US NRC.

*David Dalton,  
NucNet,  
Brussels*



## AMERYKAŃSKO-UKRAIŃSKIE PARTNERSTWO ENERGETYCZNE PRZEWIDUJE PIĘĆ NOWYCH REAKTORÓW

Ukraina i USA zgodziły się na „pogłębienie i intensyfikację” strategicznej współpracy energetycznej. W pakiecie umów przewiduje się ukończenie 4 bloku Chmielnicki, a następnie czterech nowych bloków AP1000 o łącznej wartości 30 mld USD.

Umowy podpisane w Waszyngtonie to – „nowy rozdział współpracy klimatyczno-energetycznej USA z Ukrainą” – powiedziała sekretarz ds. energii USA Jennifer Granholm. Z kolei jej odpowiednik, minister energetyki Ukrainy Herman Halushchenko, powiedział: „Mamy wspólne cele, wśród których kluczowym jest dekarbonizacja sektora energetycznego oraz osiągnięcie wysokiego poziomu bezpieczeństwa energetycznego i stabilności w Europie Wschodniej”.

Podczas wizyty w USA prezydenta Ukrainy Wołodymyra Zełenskigo podpisano wspólne oświadczenie o zacieśnieniu dwustronnej współpracy energetyczno-klimatycznej. W ramach współpracy – „Uczestnicy zamierzają działać na rzecz dekarbonizacji

gospodarki Ukrainy i zapewnienia jej bezpieczeństwa energetycznego oraz potencjału eksportowego poprzez opracowanie i wdrożenie kompleksowego planu dla sektora energetycznego, który przewiduje wzajemnie korzystną współpracę w zakresie energetyki jądrowej, słonecznej i wiatrowej, wodoru, magazynowania, wychwytywania dwutlenku węgla, bezpieczeństwa cybernetycznego i fizycznego oraz innych technologii po stronie podaży i popytu”.

Kluczem do osiągnięcia tych wspólnych celów będzie rozbudowa energetyki jądrowej na Ukrainie w ramach projektu pomiędzy amerykańską technologią i dostawcą reaktorów Westinghouse oraz ukraińskim operatorem jądrowym Energoatom. Porozumienie o współpracy między nimi podpisali Patrick Fragman, prezes i dyrektor generalny Westinghouse oraz Petro Kotin, pełniący obowiązki prezesa Energoatomu.

Jako „projekt pilotażowy” Energoatom i Westinghouse przewidują wspólne ukończenie czwartego reaktora w elektrowni jądrowej Chmielnicki. Reaktor ten rozpoczął swoją działalność, jako reaktor projektowy WWER w 1987 r., ale budowę zatrzymano na poziomie 28%, a Ukraina nie ukończyła go od wielu lat. Firmy planują ukończyć go „przy użyciu technologii AP1000”, ale nie wyjaśniły, w jaki sposób można połączyć dwie bardzo różne konstrukcje reaktora ciśnieniowego.

Energoatom i Westinghouse przewidują również budowę czterech nowych bloków AP1000 w istniejących ukraińskich elektrowniach jądrowych. Według ich



Fot. 1. Jennifer Granholm i Herman Halushchenko podpisują umowę o zacieśnieniu współpracy amerykańsko-ukraińskiej w dziedzinie energetyki jądrowej w Waszyngtonie w obecności ukraińskiego prezydenta Wołodymyra Zełenskiego (fot. DOE)

oświadczeń łączna wartość tych bloków i elektrowni jądrowej Chmielnicki 4 to nawet 30 mld dolarów.

Przedstawiciel Westinghouse powiedział, że projekty „zapewnia firmie Energoatom i Ukrainie korzyści związane z zakupami, budową, licencjonowaniem, eksploatacją, konserwacją i lokalizacją”. Halushchenko powiedział także że: „Pogłębienie partnerstwa Energoatomu z Westinghouse pomoże wzmocnić bezpieczeństwo energetyczne Ukrainy. Poszerzymy współpracę z amerykańską firmą z naciskiem na bezpieczeństwo energetyczne i niezależność naszego państwa”.

Bloki AP1000 mają moc około 1150 MWe, a pięć z nich zwiększyłyby moc energetyczną Ukrainy z elektrowni jądrowych z dzisiejszych 13100 MWe do 17700 MWe. Dane Międzynarodowej Agencji Energetycznej za 2018 r. wskazują, że ekspansja na taką skalę może spowodować, że energia jądrowa zapewni aż 72% energii elektrycznej na Ukrainie i da jej możliwość zmniejszenia 31%, jakie obecnie uzyskuje z węgla lub 7%, które uzyskuje z gazu ziemnego.

*Opracowane przez World Nuclear News*

## WIZYTA W RÓŻANIE

Z okazji 60-lecia Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różaniu reakcja PTJ zorganizowała wyjazd do tego miasta. Uczestnikami wyjazdu byli: członkowie redakcji, pracownik i doktorant z IChTJ oraz pracownicy ZUOP.

Celem wizyty w tym malowniczym mieście było odbycie rozmowy z burmistrzem Różana na temat relacji władz gminy oraz jej mieszkańców z KSOP-em, zwiedzenie miasteczka oraz składowiska.

Z informacji burmistrza Piotra Świdzkiego wynika, że obecność składowiska na terenie gminy zapewnia

jej stabilność finansową – opłata z budżetu państwa z tytułu lokalizacji KSOP wynosi około 10,5 mln złotych. Co stanowi ponad 30% budżetu gminy. Większość tej kwoty przeznaczona jest na inwestycje oraz potrzeby socjalne i bytowe mieszkańców.

W trakcie rozmowy burmistrz wspominał grupę osób, która chciała przeprowadzić referendum w sprawie nowego składowiska za jego poprzedniej kadencji. Szczęśliwie pomysł referendum upadł tak samo, jak pomysł badań geologicznych.

Władze gminy cieszy to, iż obecnie powstają nowe domy w okolicy składowiska, co przez wiele lat było nie do zaakceptowania przez ich mieszkańców. Dużą w tym zasługą zaangażowania pracowników Zakła-

du Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP), który prowadzi działania zwiększające wiedzę o składowisku wśród mieszkańców gminy.

Burmistrz chwali sobie współpracę z personelem składowiska, która przez wiele lat jego zdaniem jest wzorowa.

Zgodnie z wydanym przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki *Zezwoleniem nr 1/2002/KSOP Różan* na eksploatację KSOP w Różanie, o każdym transporcie odpadów promieniotwórczych do składowiska informowany jest między innymi Burmistrz Gminy Różan.

Burmistrz odpowiedział także na dodatkowe pytania redakcji dotyczące między innymi działań edukacyjnych w szkołach, współpracy ze społecznościami w lokalizacjach podobnych składowisk w Europie, monitoringu promieniowania na terenie gminy. (Odpowiedzi burmistrza publikujemy poniżej niniejszego tekstu, pierwszą część wywiadu opublikowaliśmy w numerze 2/2021 PTJ).

W dalszej części pobytu w Różanie wybraliśmy się na składowisko. Chociaż wszyscy w Różanie znają to miejsce, to odnalezienie go osobie spoza miasta sprawia nieco trudności, gdyż nie prowadzą do niego żadne drogowskazy ani tablice informacyjne.

Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych otoczone jest polami porośniętymi zbożami. Składowisko eksploatowane jest od 1961 r., w miejscu wybudowanego w czasach carskich fortu obronnego.

Do składowiska przyjmuje się odpady średnio i niskoaktywne krótkożyciowe, odpady nisko i średnioaktywne długożyciowe oraz zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze. Odpady muszą występować w formie stałej, a ponadto muszą spełniać szereg wymogów jakościowych. Do najważniejszych spośród wymagań można zaliczyć niewydalanie produktów gazowych oraz nieposiadanie w składzie substancji wybuchowych, łatwopalnych. Odpady nie powinny również zawierać cieczy niezwiązanej, w ilości powyżej 1% całkowitej masy odpadów.

Z racji tego, że w KSOP w Różanie składowane są odpady promieniotwórcze, obiekt został dokładnie zabezpieczony w taki sposób, aby ryzyko skażenia bliskie było zeru. Sporą część pracy „wykonała” sama natura. Z punktu widzenia geologicznego, podłoże fortu to gliny zwałowe z ilami. Zatem są to warstwy bardzo trudno przepuszczalne, stanowiące naturalną barierę geologiczną dla ewentualnie przemieszczających się zanieczyszczeń. Kolejnym zabezpieczeniem jest bariera inżynierska w postaci grubych, betonowych murów fortu. Pamiętać należy także o tym, że trafiające do KSOP w Różanie odpady są już w odpowiedni sposób przygotowane, a dodatkowo po umieszczeniu ich w składowisku, bębny z promieniotwórczą substancją zostają zabetonowane specjalną mieszanką betonu. Zabezpieczenia poddawane są stałej kontroli, przez kilka niezależnych jednostek. Stąd pewność, że ich skła-

dowanie w Różanie nie ma negatywnego wpływu na otoczenie. Jako że większość składowanych odpadów to odpady niskoaktywne krótkożyciowe, to ich aktywność spada o połowę, co 30 lat, więc nie będą stanowić zagrożenia dla pobliskiej ludności ani przyszłym pokoleniom.

Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych znajdujące się na terenie gminy Różan, zgodnie z klasyfikacją składowisk Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, jest typem składowiska powierzchniowego, przeznaczonego do składowania krótkożyciowych odpadów nisko- i średnioaktywnych oraz do przechowywania odpadów nisko i średnioaktywnych długożyciowych. Przypomnijmy, że „**Składowanie** oznacza złożenie odpadów promieniotwórczych w składowisku odpadów promieniotwórczych bez zamiaru ponownego ich wydobycia. **Odpady krótkożyciowe**, czyli takie, które zawierają izotopy o czasie połowicznego rozpadu mniejszym niż 30 lat, są składowane w KSOP. Po zamknięciu składowiska odpady nisko i średnioaktywne krótkożyciowe zostają na składowisku, a całość będzie monitorowana przez 300 lat. **Przechowywanie** jest procesem tymczasowym i obejmuje odpady **długożyciowe**, czyli takie, które zawierają izotopy o czasie połowicznego rozpadu dłuższym niż 30 lat. W przypadku zamknięcia KSOP, odpady długożyciowe zostaną przeniesione do nowego składowiska, a ich miejscem docelowym jest składowisko głębokie”. Przetworzone odpady promieniotwórcze umieszczane są w bębnach stalowych o pojemności 200 litrów.



Fot. 1. Bębny z odpadami promieniotwórczymi

Po przyjeździe do KSOP w Różanie bębny trafiają do komory recepcyjnej w **obiekcie nr 1**. W tej komorze dzielone są na bębny z odpadami nisko i średnioaktywnymi krótkożyciowymi i długożyciowymi.



Fot. 2. Obiekt nr 1 w KSOP w Różanie

Długozyciowe są przenoszone do komór w obiekcie nr 1 i tam są przechowywane.

Odpady nisko i średnioaktywne krótkozyciowe są przechowywane w komorze obiektu nr 1. Kiedy zbierze się odpowiednia ilość bębnow z odpadami krótkozyciowymi, są one przenoszone do obiektu nr 8 (sucha fosa) i tam składowane (bez zamiaru wydobycia).



Fot. 3. Obiekt nr 8 służący do składowania odpadów nisko i średnioaktywnych krótkozyciowych

**Obiekt nr 8** służy do składowania odpadów promieniotwórczych krótkozyciowych.

Obiektem nr 8 jest fragment adaptowanej do tego celu suchej fosy. Dno i zbocza fosy pokryte są 20 cm warstwą betonu. Bębny umieszczane są w fosie warstwami, następnie zalewane betonem. Ostatnia warstwa, znajdująca się najwyżej, pokryta jest 40 cm warstwą betonu i zaimpregnowana mieszanką bitumiczną ograniczającą możliwości infiltracji wód opadowych do wnętrza obiektu.



Fot. 4. Komory obiektu numer 3a

**Obiekt nr 3a** służy do składowania zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych nisko i średnioaktywnych krótkozyciowych. W odróżnieniu od pozostałych to fragment podziemnego korytarza, podzielonego na komory, które oznaczone są odpowiednio numerami. Zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze są umieszczane w jednej z komór tego obiektu. Po wykorzystaniu objętości poszczególnych komór będą one wypełnione betonem w celu ograniczenia poziomu promieniowania na zewnątrz, a wlot komory zostanie odpowiednio uszczelniony i zamknięty.

**Obiekt nr 8a** jest obecnie wykorzystywany do przechowywania odpadów długozyciowych.

Wszystkie odpady promieniotwórcze, przed przewiezieniem na teren KSOP, są odpowiednio przetwarzane w obiektach Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów

Tabela 1. W tabeli podano numery obiektów oraz ich funkcje

Nr obiektu	1	8	3a	8a
Funkcja	Przechowywanie odpadów nisko i średnioaktywnych <b>długozyciowych</b> Przechowywanie odpadów nisko i średnioaktywnych <b>krótkozyciowych</b> (w komorze recepcyjnej, dopóki nie zostaną przeniesione do obiektu nr 8)	Składowanie nisko i średnioaktywnych <b>krótkozyciowych</b> odpadów promieniotwórczych	Składowanie zużytych zamkniętych źródeł promieniotwórczych nisko i średnioaktywnych krótkozyciowych	Przechowywanie odpadów nisko i średnioaktywnych krótkozyciowych oraz przechowywanie nisko i średnioaktywnych <b>długozyciowych</b>

Promieniotwórczych w Otwocku-Świerku. Po przetworzeniu nie powinny one wydalać produktów gazowych oraz zawierać substancji wybuchowych i łatwopalnych, a pojemniki z odpadami powinny być szczelnie zamknięte w sposób zabezpieczający je przed wydostaniem się na zewnątrz.

Monitoring środowiskowy terenu KSOP i jego otoczenia jest wykonywany na podstawie dokumentu pod nazwą „Program monitoringu hydrogeologicznego oraz radiologicznego środowiska na terenie KSOP w Różaniu i w jego otoczeniu”. Program ten ZUOP dostarczył do Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) i uzyskał decyzję o jego zatwierdzeniu.

Miejsca poboru próbek są ściśle określone, a wyniki pomiarów otrzymywane są przez ZUOP co kwartał. Następnie zostają one przedstawione w formie kwartalnych sprawozdań Departamentowi Bezpieczeństwa Jądrowego PAA oraz w formie rocznego sprawozdania członkom Komisji Ochrony Radiologicznej Rady Miejskiej w Różaniu.

Monitoring środowiska obejmuje w szczególności pomiary zawartości substancji promieniotwórczych w:

- wodach powierzchniowych znajdujących w otoczeniu składowiska,
- wodach podziemnych na terenie składowiska oraz wodach podziemnych występujących w jego otoczeniu,
- wodzie wodociągowej na terenie składowiska i w jego otoczeniu,



Fot 5. Detektory TLD służące do pomiaru dawki pochłoniętej od tła promieniowania jonizującego

- powietrzu na terenie składowiska,
- w glebie i w trawie na terenie składowiska i w jego otoczeniu.

Ponadto monitoring składowiska obejmuje badania hydrogeochemiczne oraz obserwacje hydrogeologiczne i meteorologiczne na terenie składowiska i w jego otoczeniu tj. pomiary położenia zwierciadła wód podziemnych oraz pomiary wielkości opadów atmosferycznych. Dodatkowo prowadzone są pomiary mocy dawki promieniowania gamma oraz skażeń promieniotwórczych na terenie składowiska oraz na powierzchni dróg w otoczeniu KSOP.



Fot 6. Piezometr służący do poboru próbek wody gruntowej na terenie składowiska

Po 60-latach doświadczeń z eksploatacji składowiska można jednoznacznie stwierdzić, iż KSOP nie ma negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

Jednym z filarów działalności KSOP jest współpraca z władzami Gminy Różan. Na mocy Porozumienia z 2002 r., spośród radnych Miasta Różan wybierani są członkowie Komisji Ochrony Radiologicznej, którzy mają wgląd do wszystkich dokumentów dotyczących przewożonych odpadów promieniotwórczych. Dodatkowo ZUOP udostępnia im podstawowy sprzęt umożliwiający dokonywanie pomiarów mocy dawki promieniowania jonizującego oraz zapewnia odpowiednie przeszkolenie. Z całą pewnością można stwierdzić, że włączenie władz lokalnych do procesów związanych z działalnością Składowiska jest niezbędne i stanowi jeden z głównych czynników długiego i bezpiecznego funkcjonowania KSOP.

Joanna Furtak,  
Zakład Unieszkodliwiania  
Odpadów Promieniotwórczych,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,  
Otwock-Świerk

Oliwer Sado,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa





Fot. 1. Burmistrz Gminy Różan

## WYWIAD Z BURMISTRZEM GMINY RÓŻAN PIOTREM ŚWIDERSKIM

**Ad.1. Czy oprócz działań informacyjno-edukacyjnych Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych – ZUOP, prowadzone są regularne działania edukacyjne w szkołach na terenie gminy (np. specjalne zajęcia na lekcjach dla dzieci, dostosowane do ich poziomu wiedzy ogólnej)? Czy są prowadzone akcje, które mogłyby u młodych obywateli wyrabiać poczucie dumy z posiadania na ich terenie takiego obiektu, jak KSOP?**

**Piotr Świderski**

Prowadzimy regularne działania edukacyjne w szkole podstawowej na temat funkcjonowania Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych i Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych. Nie mam wiedzy, czy takie działania odbywają się w szkole średniej, dla której organem prowadzącym jest powiat makowski. Nie sadzę, aby prowadzenie akcji, które miałyby wprawiać w dumę z tytułu lokalizacji na terenie Różana KSOP ma sens. Pomimo faktu, że składowisko jest bezpieczne i generuje wpływy do budżetu gminy, to raczej powodem do dumy nie jest. Można je traktować jedynie, jako ciekawostkę, gdy komuś opisujemy skąd jesteśmy, pochodzimy, gdzie mieszkamy.

**Ad 2. Czy nie uważa Pan, że współpraca ze społecznościami w lokalizacjach podobnych składowisk w Europie, tzn. wymiana opinii, doświadczeń, wizyt, mogłaby zmienić nastawienie społeczności Różana do składowania odpadów promieniotwórczych na ich terenie?**

**P. Ś.** Każda wymiana doświadczeń to krok do akceptacji, nabycia wiedzy i świadomości. Oczywiście, że wizyty studyjne itp. mogłyby mieć pozytywny wpływ na nastawienie do KSOP.

**Ad 3. Czy wspólne rozwiązywanie problemów związanych ze składowaniem odpadów promieniotwórczych (na poziomie europejskim) można by uważać za wartość dodaną?**

**P. Ś.** Trudno powiedzieć. Mieszkańcy Różana mogliby potraktować tego rodzaju działania, jako asumpt do składowania na KSOP odpadów innych niż krajowego pochodzenia. Raczej bym tego nie ryzykował.

**Ad 4. Czy istnieje powszechna świadomość obywateli Różana, że dofinansowanie uzyskiwane z tytułu posiadania składowiska znacząco wpływa na budżet/inwestycje w obrębie gminy?**

**P. Ś.** Niewątpliwie, wiedza na ten temat jest powszechna i komunikowana w mediach oraz w sposób zwyczajowo przyjęty na terenie gminy.

**Ad 5. Czy gmina we własnym zakresie prowadzi monitoring promieniowania na terenie gminy?**

**P. Ś.** Gmina nie ma takich możliwości technicznych. Ograniczamy się do analizy danych i ufamy w monitoring ZUOP.

**Ad 6. Czy gmina będzie otrzymywać rekompensaty po zamknięciu składowiska?**

**P. Ś.** Tak, ale nie w wysokości 400% podatku od nieruchomości zebranego w roku poprzednim, a jedynie 50% podatku od nieruchomości uzyskanego w roku zamknięcia składowiska.



*Piotr Świderski,  
Burmistrz Gminy Różan*

## JACEK BAURSKI ZŁOTYM INŻYNIEREM „PRZEGLĄDU TECHNICZNEGO”



Rok 2021 jest dla „Przegładow Technicznego” rokiem wyjątkowym, bowiem ten tytuł prasowy właśnie w tym roku obchodzi jubileusz 155-lecia istnienia. W styczniu 1866 r. ukazał się pierwszy numer tego czasopisma, a tym samym jest ono jednym z najstarszych periodyków o tematyce ogólnotechnicznej w Europie. Organizowany przez redakcję „PT” plebiscyt Czytelników o tytuł „Złotego Inżyniera” ma swoją historię oczywiście dużo krótszą, ale bez cienia najmniejszej przesady, należy powiedzieć, że konkurs osiągnął znaczącą rangę nie tylko w polskim środowisku naukowo — technicznym, ale cieszy się dużym prestiżem i uznaniem także w środowiskach biznesowych.

W historii rozpisywanego rokrocznie od dwudziestu siedmiu lat konkursu do tej pory zaledwie tylko dwukrotnie tytułami „Złotego Inżyniera” uhonorowano wybitnych specjalistów z dziedziny energetyki jądrowej. Pierwszym (roku 1999) tytułem Złotego Inżyniera „PT” – w kategorii high-tech został wyróżniony prof. dr hab. Andrzej Grzegorz Chmielewski. Drugim przedstawicielem środowiska energetyków jądrowych wyróżnionym przez Czytelników tytułem „Złotego Inżyniera” był w roku 2011 mgr inż. Adam Rozwadowski – tym razem w kategorii menadżer – ówczesny dyrektor filii „Areyv” w Polsce.

Obecnie tytuł „Złotego Inżyniera” „Przegładow Technicznego” przypadł w udziale inżynierowi Jackowi Burskiemu w kategorii energetyka. Warto przypomnieć, iż Politechnika Warszawska, zachęcając na swojej oficjalnej stronie internetowej do wzięcia udziału w głosowaniu na nominatów do tytułu „Złotego Inżyniera – 2020” przedstawiła swojego absolwenta Jacka Burskiego słowami: *mechanik po Politechnice Warszawskiej, praktykujący energetyk, jeden z wybitniejszych specjalistów od energetyki jądrowej (studiował też na wydz. Automatyki Politechniki Śląskiej). Działacz*

*Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Naczelnej Organizacji Technicznej i Polskiego Towarzystwa Nukleonowego, członek Komitetu Energetyki Jądrowej. Aktywny zawodowo mimo przejścia na emeryturę. Ta lakoniczna wizytówka określająca zawodowe i społeczne pola aktywności nominata sytuuje go w sposób jednoznaczny w obszarze energetyki jądrowej.*

Z okazji tego zaszczytnego wyboru poprosiliśmy Jacka Burskiego o wypowiedź:

*Dziękuję Szanownym Wybierającym!*

*Cieszę się, że w kraju „opartym” na węglu zagłosowano na faceta, który życie zawodowe i działalność społeczną poświęcił na przekonywanie do wykorzystywania ciepła przemian jądrowych materiałów rozszczepialnych. Uważałem i uważam, że „czarne złoto” trzeba zostawić przyszłym pokoleniom Polaków, obecnie należy korzystać z uranu i toru, kupując paliwo jądrowe na wolnym rynku, np. od Kanadyjczyków lub Australijczyków, lub w ramach kontraktu na reaktory jądrowe z Ameryki czy Francji. Dla mnie wystarczającym zaszczytem było wytypowanie do tego wyjątkowego wyróżnienia – to jak nominowanie aktorów do Oscara. Cieszę się, że na nominacji się nie skończyło i zostałem laureatem.*

*Głosujący być może zauważyli, że nawet na Białorusi ruszył w grudniu 2020 r. pierwszy reaktor. O opóźnieniu naszego Programu Jądrowego i o cenie tej zwłoki pisałem i mówiłem wielokrotnie. Zamiast spalać węgiel (i gaz) zbudujemy trzy elektrownie jądrowe, po dwa bloki każda: jedną w rejonie Żarnowca, drugą w Bełchatowie i trzecią w Koninie-Pątnowie, bowiem węgiel brunatny się kończy. O elektrownię jądrową upomina się też Turów, naciskany przez zagranicznych sąsiadów (sprawę szkód w środowisku podali do TSUE). Należy pozytywnie rozpatrzyć wnioski z Konferencji NOT z 14 listopada 2019 r. pt: „Kierunki rozwoju energetyki w Polsce”. Małe reaktory (modułowe – SMR) też są potrzebne. Takie rozwiązanie podjęto, jako inwestycję prywatną dla Kombinatów Chemicznych w Oświęcimiu. SMR-y mogą zastąpić krańcowo wyeksploatowane*



Fot. 1. Jacek Burski wyróżniony tytułem „Złotego Inżyniera – 2020

bloki 200 MW w elektrowniach systemowych. A Warszawa również powinna zastąpić węgiel – najpierw gazem, a następnie użyć SMR-y, produkowane wspólnie w państwach Trójmorza. Taką uchwałę podjęło wiele profesjonalnych organizacji: NOT (SEP-KEJ), PTN, SEREN. Może dobiegnę do startu tego wyjątkowo długiego biegu jądrowego.

Marek Bielski,  
Przełęcz Techniczny,  
Warszawa

Zespół redakcyjny „PTJ” dołącza się do serdecznych życzeń dla Jacka Baurkiego, aby udało się Mu zrealizować wszystkie swoje pasje i marzenia, oczywiście włącznie z ambitnymi zadaniami wynikającymi z realizacji programu energetyki jądrowej w Polsce.

Stanisław Latek,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa

## VII FORUM INNOWACYJNOŚCI „KLIMAT WOBEC WYZWAŃ XXI WIEKU. ROLA ENERGETYKI JĄDROWEJ W OCHRONIE KLIMATU I ŚRODOWISKA”



Fot. 1. Baner VII Forum Innowacyjności

Forum Innowacyjności, organizowane pod patronatem Ministerstwa Klimatu i Środowiska (MKiŚ) i Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodar-

ki Wodnej stanowi płaszczyznę wymiany poglądów na szeroko rozumianą problematykę ochrony przyrody oraz klimatu, w kontekście różnego rodzaju uwarunkowań, wynikających ze sposobów funkcjonowania współczesnej cywilizacji.

Cykliczne debaty Forum Innowacyjności, przygotowywane przez Instytut Ochrony Środowiska – PIB, w swoim założeniu mają za zadanie wypracowanie w trakcie seminaryjnej dyskusji optymalnych rozwiązań skutecznie przyczyniających się do poprawy stanu środowiska naturalnego człowieka. Z racji na kardynalne znaczenie tych zagadnień dla teraźniejszości i przyszłości naszego globu — w tym oczywiście dla Polski — warto bliżej zapoznać się z przebiegiem i wnioskami VII Forum Innowacyjności „Klimat wobec wyzwań XXI wieku. Rola energetyki jądrowej w ochronie klimatu i środowiska”, odbytym w dniu 28 maja 2021 r., a którego merytorycznym inicjatorem i organizatorem był Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.

Celem głównym webinarium było przedstawienie aspektów naukowych i technicznych — dotyczących zadań energetyki jądrowej w ochronie klimatu i środowiska — zawartych w rządowych dokumentach: „Programu Polskiej Energetyki Jądrowej” oraz w „Polityce energetycznej Polski do 2040 r.” Tezy w nich zawarte zostały omówione i uszczegółowione przez uczestników webinarium.

Uczestników powitał prof. dr hab. inż. Aleksander M. Nawrat, członek Rady Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Rady Programowej Forum Innowacji, ekspert w Ministerstwie Klimatu i Środowiska ds. badań i rozwoju, zaznaczając, że pod dyskusję jest poddawany temat bardzo aktualny, wiążący się bezpośrednio z polityką państwa, w tym zakresie z energetyką.



Fot. 2. Dr Michał Kurtyka

W debacie zabrał głos dr Michał Kurtyka, minister klimatu i środowiska, oficjalnie otwierając obrady. Wykłady wygłosili: dr inż. Andrzej Strupczewski – prof.

Narodowego Centrum Badań Jądrowych, prof. dr hab. inż. Andrzej Grzegorz Chmielewski – Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, dr hab. Grażyna Zakrzewska-Kołatuniewicz – prof. Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej: W panelach wystąpili: dr Tomasz Nowacki – dyrektor Departamentu Energii Jądrowej, Ministerstwa Klimatu i Środowiska, dr inż. Paweł Gajda – Akademia Górniczo-Hutnicza, dr inż. Adam Rajewski – Politechnika Warszawska, mgr Andrzej Gąsiorowski – FOTA4Climate, mgr inż. Maciej Lipka – Narodowe Centrum Badań Jądrowych, mgr Aneta Korczyk – Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych.

Dr Stanisław Latek – redaktor naczelny „Postępów Techniki Jądrowej,” moderator dyskusji, dynamicznie kierował przebiegiem webinarium. Przedstawiając referentów i panelistów, krótko prezentował ich dotychczasowe dokonania zawodowe w obszarze stanowiącym przedmiot poszczególnych konferencyjnych wystąpień, co dla grona osób oglądających on-line przebieg VII Forum Innowacyjnego, a zainteresowanych jakimś konkretnym poruszanym w tym momencie zagadnieniem, było istotną informacją, mogącą posłużyć do podjęcia próby zapoznania się z problematyką zasygnalizowaną przez moderatora i panelistę już samodzielnie po zakończeniu webinarium.

#### W opinii ministra

Zabierając głos dr Michał Kurtyka, minister klimatu i środowiska podkreślił, że nasza polityka klimatyczna zakłada bardzo znaczącą zmianę mixu energetycznego z monokultury odziedziczonej po poprzednim systemie gospodarczym. Dlatego chcemy iść w kierunku dywersyfikacji źródeł. Warunkiem jest utrzymanie principiów: w tym m.in. bezpieczeństwa energetycznego. Należy umożliwić współistnienie różnych źródeł energii przy zapewnieniu konkurencyjności naszej gospodarki. Wiąże się to z koniecznością zwiększonego stopnia zabezpieczenia systemu energetycznego wobec wyzwań środowiskowych. W 2040 r. nastąpi zmniejszenie udziału węgla kamiennego i brunatnego z obecnych 70% do nawet 11%. Staniemy, więc wobec wyzwania zapewnienia ciągłości dostaw energii elektrycznej. Musimy mieć w mixie docelowym źródła gwarantujące 365 dni w roku, przez 24 godziny na dobę niezawodne dostawy energii elektrycznej. I w tym kontekście taką właśnie nadzieję pokłada się w wielkoskalowej energetyce jądrowej.

Chcemy – zaznaczył dr Michał Kurtyka – żeby Polska była miejscem, gdzie powstaną nowe rozwiązania z tej dziedziny i gdzie przemysł i nauka będą mogły kreatywnie wpisać się w procesy transformacji energetyki w kierunku neutralności klimatycznej. W obszarze energetyki pojawią się potrzeby nowych rozwiązań dopasowanych do różnych potrzeb. A tą najbardziej oczywistą z naszej krajowej perspektywy jest zapewnienie wielkoskalowej produkcji energii na potrzeby

przemysłu i utrzymania produkcji, ale też i generowania ciepła i energii elektrycznej w kogeneracji.

Jako państwo – zaznaczył minister Michał Kurtyka – powinniśmy myśleć o innowacjach w sektorze energetycznym i dawać szansę naszemu przemysłowi i nauce, żeby w tym wielkim wyścigu technologicznym mogły zaistnieć. Stąd niedawna zakomunikowana decyzja o rozpoczęciu prac nad posadowieniem w Świerku – oprócz „Marii” – kolejnego reaktora. Tym razem wysokotemperaturowego reaktora chłodzonego gazem, mogącego stać się prekursorem kolejnej serii rozwiązań dla przemysłu jądrowego, a co wiąże się z aktualnymi wyzwaniami, jakie stoją przed krajowym przemysłem: petrochemicznym, rafineryjnym, nawozowym, potrzebujących m.in. pary o określonych parametrach, a oprócz tego oczywiście i energii elektrycznej.

Na tym polu otwiera się perspektywa aktywnej współpracy międzynarodowej. Reaktor służący polskiej nauce i przemysłowi mógłby następnie stać się naszym produktem eksportowym. W obszarze przemysłu jądrowego trudno jednak, aby jeden kraj został skonfrontowany z licznymi wyzwaniami w tym obszarze technologii. Przy budowie HTR takim partnerem jawi się Japonia, gdyż dotychczasowa współpraca wokół tego projektu jest już długoletnia i skonkretyzowana m.in. wymianą not dyplomatycznych.

W sferze energetyki jądrowej mamy na myśli też inne rozwiązania, pomysły i projekty. Będziemy się wsłuchiwać w głos przemysłu polskiego i nauki i wszystkich, którzy będą proponowali nowe dobre rozwiązania dla Polski – energetycznej, natomiast podstawą – również w kontekście klimatycznym – będzie też energetyka jądrowa. Oczywiście zapewniając równowagę pomiędzy istniejącym systemem i zagwarantowaniem ciągłości jego funkcjonowania, na tyle, na ile będzie tego wymagał racjonalny interes ekonomiczny i interes państwa. Te kwestie są bardzo ważną częścią naszego energetyczno-klimatycznego równania. Musimy mieć cały czas – zaznaczył dr Michał Kurtyka – zbilansowany poziom produkcji energii i zbilansowany system energetyczny.

*Wdrożenie energetyki jądrowej – powiedział minister Michał Kurtyka – jest inwestycją w rozwój technologiczny i polską gospodarkę opartą na wiedzy. Dla naszego przemysłu jest to także możliwość realizacji zaawansowanych technologicznie projektów. Bezpieczeństwo i niezależność energetyczna, a także rozwój cywilizacyjny i naukowy kraju i to tylko niektóre z korzyści, jakie daje energetyka jądrowa.*

Z treści wystąpienia ministra wynika wniosek, iż nie da się ignorować faktów, które z biegiem kolejnych lat nabierałyby coraz większego negatywnego znaczenia, gdyż aktywa energetyczne Polski starzeją się i dlatego proces transformacji energetycznej jest niezwykle istotną sprawą dla zachowania bezpieczeństwa energetycznego i ciągłości zaopatrzenia w energię.

Biorąc powyższe pod uwagę w polityce energetycznej Polski nakreślonej do 2040 r., wskazuje się na niezbędność zmiany miksu energetycznego. Musi ona nastąpić w kolejnych dwóch dekadach.

Notabene dr Michał Kurtyka – przywołał niedawno opublikowany raport International Energy Agency, z którego wynika, że udział energii jądrowej w całłościowych potrzebach energetycznych świata do 2050 r. wzrośnie dwukrotnie. Zatem rola energetyki jądrowej nie będzie maleć – a wręcz przeciwnie – rosnąć.

### Wymowa faktów

W przestrzeni medialnej niejednokrotnie artykułowane są opinie, że skoro decyzje Komisji Europejskiej wyraźnie preferują OZE, należy w sferze podejmowanych inicjatyw, dotyczących systemu funkcjonowania energetyki krajowej, szczególny nacisk położyć na elektrownie wiatrowe i fotowoltaikę. Tym samym – siłą rzeczy – odkładając na osi czasu działania odnoszące się stricte do realizacji programu energetyki jądrowej w Polsce.

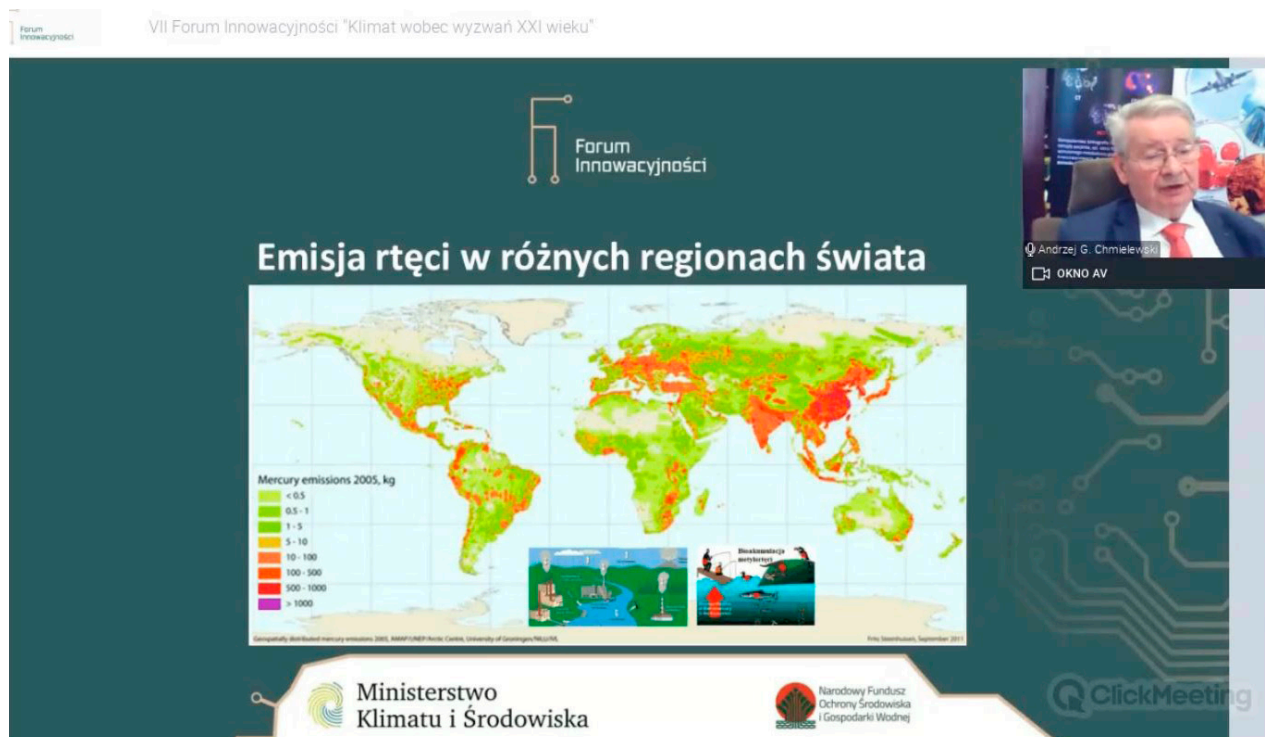
Autorzy wygłoszonych podczas seminarium referatów oraz uczestnicy seminarium w trakcie trzech paneli dyskusyjnych, przywoływali liczne argumenty świadczące, że taki pogląd jest błędny, gdyż właśnie energetyka jądrowa może wysoce efektywnie wesprzeć krajowy program transformacji energetycznej zmierzającej do urzeczywistnienia idei gospodarki neutralnej klimatycznie.

Doceniając niewątpliwe walory OZE ciągle trzeba mieć na uwadze stochastyczny charakter potencja-

łu energetyki wiatrowej i słonecznej, gdyż wynikają z tego określone konsekwencje dla utrzymania stabilności pracy systemu elektroenergetycznego.

### Wystarczy porównać

Prof. Andrzej Strupczewski w referacie pn. „Energetyka jądrowa bezpieczne i broniące klimat źródło energii elektrycznej” skoncentrował się m.in. na analizie danych dotyczących współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych i wiatrowych na lądzie i morzu. W Niemczech wynosi on dla elektrowni wiatrowych średnio 20%, a w szczególności sprzyjających warunkach 25%, zaś dla paneli fotowoltaicznych zaledwie 11%. W efekcie na miejsce jednej elektrowni jądrowej o mocy 1000 Mwe potrzeba w Niemczech (i podobnie w Polsce) wiatraków o mocy 4000 Mwe. Nierównomierność generacji energii z OZE może zachwiać pracę systemu energetycznego i potrzebuje odpowiedniej rezerwy w innych źródłach lub importu energii elektrycznej z krajów sąsiednich. Pozytywnego znaczenia nabiera zdaniem referenta coraz dłuższy czas funkcjonowania elektrowni jądrowych. Teraz obliczamy nawet na 80 lat eksploatacji. Bloki elektrowni jądrowych w USA otrzymały przedłużenie swojego czasu eksploatacji nawet o 60% w stosunku do pierwotnych założeń projektowych i kolejne elektrownie w USA występują o zezwolenia, aby móc pracować dłużej. Zwiększenie limitu czasu eksploatacji elektrowni jądrowych skutkuje mniejszą emisją zanieczyszczeń w skali globalnej. Energetyka jądrowa ma więc duże znaczenie w eliminowaniu w skali globalnej



Fot. 3. Slajd z prezentacji prof. Andrzeja Chmielewskiego

negatywnych skutków obecności CO<sub>2</sub> w atmosferze. Oczywiście pewne, niewielkie emisje — przyznał prof. Andrzej Strupczewski — związane są z przygotowaniem paliwa jądrowego, a później już z samą likwidacją elektrowni jądrowej. Nie bez znaczenia pozostaje też bardzo wysoka stabilność pracy elektrowni jądrowych i wykorzystanie mocy zainstalowanej. Wynoszące w 2019 r. dla poszczególnych w USA ponad 94% (i więcej). We Francji elektrownie jądrowe dostarczają ponad 70% zapotrzebowania krajowego na energię elektryczną i to zapotrzebowanie zmienia się od pełnego w godzinach szczytu do bardzo niskiego w ciągu nocy. Elektrownie jądrowe muszą pracować w systemie nadążania za obciążeniem i w takim systemie pracują — przypomniał prof. Andrzej Strupczewski. Z proponowanych dla Polski typów elektrowni jądrowych, wszystkie one mogą zmieniać cyklicznie swoją moc od 25% do 100%. Z przedstawionych danych wynika, że energetyka jądrowa zarówno wobec energetyki konwencjonalnej, jak i OZE jawi się, jako wysoce niezawodna, efektywna i spełniająca standardy ekologiczne. Należy uznać ją, więc za technologię ekologiczną. (Według ekspertów m.in. z ExternEnergia właśnie energetyka jądrowa generacji III plus należy do preferowanych, stabilnych i bezpiecznych źródeł energii).

### Ekologiczne dylematy

Prof. Andrzej Grzegorz Chmielewski omówił tezy „Polityki energetycznej Polski do roku 2040”, w kontekście zapisów o zero emisyjnym systemie energetycznym.

Energetyka jądrowa podczas eksploatacji nie powoduje zwiększenia emisji CO<sub>2</sub>, bo nie spala węgla. Największe emisje powoduje spalanie paliw kopalnych. O skali współczesnych wyzwań ekologicznych wymownie mówią liczby. I tak emisja CO<sub>2</sub> w wyniku spalania węgla na jednostkę energii cieplnej wynosi w przypadku antracytu ponad 100 kg CO<sub>2</sub>/GJ, oleju napędowego 67 kg CO<sub>2</sub>/GJ, benzyny 63 kg CO<sub>2</sub>/GJ, LPG 60 kg CO<sub>2</sub>/GJ, metanu (gaz ziemny) około 50 kg CO<sub>2</sub>/GJ.

Prof. Andrzej Grzegorz Chmielewski zwrócił m.in. uwagę na zbyt rzadko dostrzeganą w dyskursie polityków i ekologów kwestię. Ekologiczne apele o wprowadzenie w życie postulatów o zero emisyjnej gospodarce musi towarzyszyć pragmatyzm, poparty wiedzą naukową. Profesor podkreślił, iż on sam — podobnie, jak i bez wątpienia wszyscy pozostali uczestnicy webinarium — należy do grona przyjaciół OZE i wszyscy mamy świadomość konieczności dalszego rozwoju OZE. Jednak o konsekwencjach wynikających z fundamentalnych praw przyrody nie można zapominać. Tymczasem wnioski narzucające się wprost z I i II zasady termodynamiki nie zawsze są obecne w dyskursie ekologicznym, a przecież należy pamiętać, że *choć ilość energii pozostaje taka sama, jakość materii i energii pogarsza się stopniowo w czasie. A procesy spalania nie*

*są i nigdy nie będą procesami czystymi, płomień jest reaktorem plazmowym, w którym powstają związki nieobecne nawet w paliwie (...) i nawet przy spalaniu wodoru są tworzone tlenki azotu.* Mówiąc o trudnej kryzysowej sytuacji w energetyce, należy nie zapominać o powiązanej z nią kwestii kryzysu surowcowego. Jego zdaniem spalanie gazu w dużych blokach energetycznych jest marnotrawstwem zasobów i dalej też emitowany jest w tym procesie dwutlenek węgla. Z punktu widzenia gospodarki opartej o zrównoważony rozwój spalania gazu oraz pochodnych ropy naftowej w ten sposób należy traktować, jako proces szkodliwy społecznie. Wszak powinno nam zależeć na zachowaniu surowców kopalnych dla przyszłych pokoleń. Także spalania biomasy nie można klasyfikować, jako OZE (m.in. zachodzą tam procesy odparowania wody, występuje emisja zanieczyszczeń organicznych etc.), pamiętając przy tym, iż odrodzenie lasu wymaga okresu stu lat. W opinii prof. Andrzeja G. Chmielewskiego mix energetyczny w postaci wdrożenia energetyki jądrowej oraz wiatrowej na morzu i zwiększenie roli energetyki rozproszonej i obywatelskiej istotnie może przyczynić się do skutecznej realizacji polityki niskoemisyjnego generowania energii w Polsce.

### Nie dla kontry – potrzebny dialog

W ocenie panelistów debata powinna się przede wszystkim koncentrować na przedstawianiu walorów atomu i prezentowaniu go, jako ważnego instrumentu dekarbonizacji gospodarki, a także efektywnego narzędzia w urzeczywistnieniu szeroko rozumianej ochrony środowiska naturalnego oraz zdrowia człowieka.

Panel dyskusyjny: „Wyzwania komunikacyjne na jakie trafia energetyka jądrowa” uzmysłowił ciągłą potrzebę prowadzenia szeroko rozumianej edukacji i wykorzystywania różnych form popularyzowania wiedzy w celu uzyskania powszechnego poparcia społecznego dla realizacji programu jądrowego. Nie ulega wątpliwości, iż nie tylko sama energetyka jądrowa, ale cały proces transformacji energetyki wymaga prowadzenia odpowiednio przygotowanego procesu edukacji społecznej, a w jego uzyskaniu w bardzo ważną rolę pełni komunikacja społeczna. Uzyskanie poparcia społecznego jest kluczowe dla realizacji programu jądrowego. Co jest wynikiem technologicznego rozwoju energetyki jądrowej w ostatnich dekadach. Równocześnie wskazując na niewątpliwe zalety atomu, w odniesieniu do odnawialnych źródeł energii, unikać niepotrzebnego deprecjonowania OZE, wypuklając — z myślą o interesie użytkowników energii — możliwość współistnienia tych uzupełniających się nawzajem technologii. Adam Rajewski przypomniał, że komunikacja dotycząca problematyki energetyki jądrowej wymaga bardzo starannego i odpowiednio dobranego do grupy odbiorców przedstawiania zalet tej technologii.

Hasło panelu, „Po co atom, skoro jest OZE? zarzuciło na pozór konfrontacyjnie, aby nie rzec prowokująco. I nie jest to bynajmniej także pytanie natury retorycznej. Faktycznie jest stawiane dość często w debacie publicznej. Zdaniem Andrzeja Gąsiorowskiego pozwala w gruncie rzeczy na sformułowanie ważnych i jasnych wypowiedzi, zasadniczo na ten sam temat, bez antagonizowania zwolenników jednej z dwu, tak dobrze uzupełniających się, opcji energetycznych. Energetyka jądrowa wydaje się niezbędnym elementem działań w zakresie ograniczenia szkodliwego oddziaływania gospodarki na środowisko, przy tym kluczowe jest, by nie przeciwstawić jej odnawialnym źródłom energii. Potrzeba redukcji szkodliwego wpływu (w szczególności emisji) jest tak duża, że „miejsca” (czytaj: pracy) wystarczy dla obu tych rozwiązań jeszcze przez wiele lat.

Ostatni panel dotyczył zagadnień związanych z problematyką przechowywania odpadów wypalnego paliwa i został zatytułowany: „Odpady promieniotwórcze: problem techniczny czy komunikacji społecznej?”

Wykład „Bezpieczne dla środowiska składowiska odpadów promieniotwórczych” wygłosiła prof. Grażyna Zakrzewska-Kołtuniewicz, omawiając wiele szczegółowych zagadnień z dziedziny prawnej i sensu stricto technicznej, zaznaczając, że budowa składowiska obwarowana została odpowiednimi aktami prawnymi i ścisłymi procedurami, a wszystkie oceny/symulacje/obliczenia wykonywane są dla ekstremalnych sytuacji, w celu zapewnienia pełnego bezpieczeństwa dla ludzi i środowiska.

W wystąpieniu pn. „Wypalone paliwo – rozwiązany problem” Maciej Lipka przypomniał, iż odpady promieniotwórcze są problemem rozwiązany technicznie, jednocześnie jedynie sektor technologii jądrowych bierze za swoje odpady odpowiedzialność w całym cyklu ich życia. Budowa składowisk odpadów promieniotwórczych połączona z komunikacją społeczną, prowadzona w ścisłym dialogu z mieszkańcami terenów wybranych na ich lokalizację jest kluczowa dla powodzenia w realizacji tych inwestycji.

O dotychczasowych – już sześćdziesięcioletnich – doświadczeniach w eksploatacji Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych mówiła mgr Aneta Korczyk, odpowiadając następnie na zadawane jej pytania. Warto zaznaczyć, że odpady promieniotwórcze nie są generowane tylko przez energetykę jądrową, ale również przez medycynę nuklearną.

### Jądrowe meritum

Wśród poruszanych zagadnień podczas VII Forum Innowacji, za najistotniejsze uznano następujące kwestie, które sformułowano w postaci poniższych wniosków:

Poza źródłami energii zależnymi od warunków pogodowych i klimatycznych, lub posiadanych zasobów

wodnych, konieczne jest dysponowanie w systemie zasilania innego stabilnego, bezemisyjnego źródła wytwarzania taniej energii elektrycznej. I za takie źródło uznano elektrownię jądrową (pracująca w systemie 24/7, przez 60 i więcej lat – nawet 80). Możliwość magazynowania paliwa jądrowego na długi czas zapewni w przyszłości niezależność energetyczną Polski.

Elektrownie jądrowe i OZE odgrywają ważną rolę w ochronie środowiska i zdrowia ludzkiego. Elektrownie jądrowe ponadto, ograniczą wielkość obszarów wykorzystywanych pod projekty energetyczne (vide -fotowoltaika) i poza ochroną powietrza, chronią czystość wód powierzchniowych.

Wyrażono stanowisko, że Polska ze swoim wieloletnim doświadczeniem w bezpiecznym postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi, może sprostać wyzwaniom budowy nowych składowisk, które pomieszczą odpady pochodzące z przyszłych elektrowni jądrowych.

W Polsce chcąc dokonać udanej transformacji energetycznej, należy angażować w ten trudny proces wszystkie dostępne technologie, ale energia jądrowa musi tu odegrać kluczową rolę w przejściu na gospodarkę neutralną dla klimatu.

W wyniku debaty ukazane zostało szerokie spektrum zagadnień dotyczących ochrony klimatu i środowiska, jakie może i powinna spełniać energetyka jądrowa. Można żywić nadzieję, iż wnioski poczynione przez naukowców, ekspertów i działaczy gospodarczych podczas spotkania w ramach VII Forum Innowacji będą procentować przy realizacji konkretnych przedsięwzięć w obszarze inwestycji w związku z mającymi powstać w Polsce elektrowniami jądrowymi.

Nie tylko z kronikarskiego obowiązku odnotujemy, iż seminarium zakończył pokaz filmu o działalności naukowo-badawczej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej i dziejach nukleoniki. (Narratorzy: mgr Emilia Górzyska i dr inż. Rafał Walczak). A po serii pytań i odpowiedzi do prelegentów dr Stanisław Latek zwrócił się do dr. Tomasza Nowackiego o zabranie głosu. Dyrektor Nowacki w imieniu własnym i ministra dr. Michała Kurtyki podziękował Instytutowi Chemii i Techniki Jądrowej za organizację VII Forum Innowacji, a Instytutowi Ochrony Środowiska za udostępnienie platformy ClickMeeting obsługiwanej przez Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB). Transmisja przebiegu odbyła się całkowicie on-line. Na VII Forum Innowacji zarejestrowało się 90 osób, a emisja dostępna była także na profilu Facebook MKiŚ, na którym zarejestrowano ponad 1100 wyświetleń.

Marek Bielski,  
Przegląd Techniczny,  
Warszawa



RADIOCHEMIA  
ŚRODOWISKA  
Bogdan Skwarzec  
Wydawnictwo  
Uniwersytet Gdański 2021 r.

W niniejszej publikacji będącej wynikiem licznych badań naukowych dotyczących środowiska wodnego i lądowego Polski oraz południowego Bałtyku, Bogdan Skwarzec przygląda się zagadnieniom związanym z radiochemią środowiska. Wyjaśnia podstawowe terminy związane m.in.



z budową materii, masą i energią oraz promieniotwórczością naturalną i sztuczną, a także opisuje oddziaływanie promieniowania jonizującego z materią żywą czy normy ochrony radiologicznej. Autor wyjaśnia również pochodzenie sztucznych pierwiastków promieniotwórczych w środowisku przyrodniczym (wyróżniając skutki katastrof w elektrowniach jądrowych w Czarnobylu i Fukushima) oraz dokonuje analizy skażenia radiochemicznego środowiska wokół hałdy fosfogipsów w Wiślinie.

Książka Bogdana Skwarca to źródło podstawowej wiedzy o promieniowaniu jonizującym, izotopach promieniotwórczych w środowisku przyrodniczym i ich znaczeniu dla człowieka. Ukazuje nie tylko korzyści i straty wynikające z wykorzystania radionuklidów, ale i kierunki rozwoju energetyki jądrowej. Publikacja składa się z jedenastu rozdziałów oraz dodatku w postaci rodowodu, biografii oraz opisu odkryć naukowych Marii Skłodowskiej-Curie.

Bogdan Skwarzec – profesor nauk chemicznych, nauczyciel akademicki Uniwersytetu Gdańskiego, wykładowca na kierunkach chemia, ochrona środowiska oraz bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, twórca gdańskiej szkoły radiochemii, radioekologii i analizy radiochemicznej. Jest uznanym specjalistą z zakresu chemii i radiochemii środowiska oraz chemii jądrowej, ochrony radiologicznej, a także chemicznej i radiochemicznej analizy śladowej.

*Radiochemia środowiska* to pozycja skierowana do pracowników oraz studentów i doktorantów uczelni i instytutów zajmujących się tematyką analizy radiochemicznej środowiska, chemii jądrowej, radiochemii, ochrony radiologicznej i radioekologii.

Milena Szabat,  
Uniwersytet Gdański



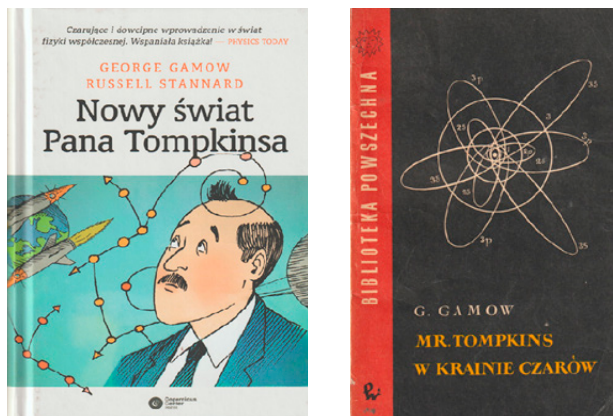
NOWY ŚWIAT PANA  
TOMPKINSA  
Georg Gamow, Russell  
Stannard  
Wydawnictwo  
Copernicus Center  
Kraków 2017

**Tytuł oryginału:** The NEW World of Mr Tompkins  
**Tłumaczenie:** Łukasz Lamża

Książka *Nowy świat Pana Tompkinsa* jest opowiadaniem opartym na motywach książek Georga Gammowa *Pan Tompkins w krainie i czarów* i *Pan Tompkins poznaje Atom*. Pierwsze opowiadanie o przygodach Pana Tompkinsa, w rozszerzającym się wszechświecie, w którym zjawiska relatywistyczne są bardzo wyraziste, powstało w 1938 r. Zamiarem autora było, przybliżenie i wyjaśnienie tych zjawisk ludziom niezwiązanym bezpośrednio z problemami współczesnej fizyki. Seria artykułów publikowanych w angielskim czasopiśmie *DISCOVERY* wzbudziła duże zainteresowanie i ukazały się one w formie książkowej pt. *Pan Tompkins w krainie i czarów*. W 1944 r. powstał dalszy ciąg przygód Pana Tompkinsa pod tytułem, *Pan Tompkins poznaje Atom*. W późniejszych wydaniach połączono obie książki. Georg Gamow (Georgij Antonowicz; 1904-1968) był profesorem uniwersytetu w Leningradzie, George Washington University i University of Colorado Boulder. Gamow prowadził prace badawcze głównie z zakresu rozpadu jąder, teorii Wielkiego Wybuchu, teorii powstawania pierwiastków, DNA, kodu genetycznego. Był również popularyzatorem fizyki.

Po 30 latach od poprawionego przez Gammowa wydania przygód Pana Tompkinsa Russell Stannard (1931) emerytowany profesor fizyki cząstek wysokich energii i popularyzator nauki, podjął się trudnego zadania kolejnego unowocześnienia opowiadań Gammowa. Powstała książka będąca kombinacją oryginalnych tekstów Gammowa poprawianych i uzupełnionych oraz tekstów opracowanych przez Russella. Zmiany w sumie są dosyć znaczne, ponieważ dotyczą nie tylko fizyki, ale i języka oraz innego współczesnego podejścia do przyrody (polowanie na tygrysy „kwantowe” zamieniono na atak owada „kwantowego” i polowania na gazy też „kwantowe” przez lwice „kwantowe”), jak i zmianę charakteru postaci (córka Profesora). Zmieniono częściowo opisy doświadczeń w szczególności w części dotyczącej zjawisk relatywistycznych. Pewne dyskusje prowadzone 30 lat wcześniej znalazły swoje zakończenie, (co jest zaznaczone w tekście) podobnie jak i teorie dotyczące budowy atomów i cząstek elementarnych zostały znacznie rozbudowane, co wymagało napisania całych fragmentów od nowa. Dotyczy to początków kosmo-





Fot. 1. Projekty graficzne okładek

logii, kosmicznego promieniowania tła, czarnych dziur, właściwości kwarków i zakończenia wątku osobistych przeżyć Pana Tompkinsa wraz z zarysowaniem perspektyw dalszych poszukiwań.

W *Nowym świecie Pana Tompkinsa* pojawił się rozdział *Kosmiczna Opera*, który nie występuje w poprzednich wydaniach np. w *Panu Tompkinsie w krainie i czarów* przygotowany najprawdopodobniej, przez G. Gamowa będący polemiką uczonych reprezentujących dwa kierunki badań powstania Wszechświata tj. zwolenników Wielkiego Wybuchu i teorii stanu stacjonarnego. Twórcy tej teorii uważają, że w skutek oddalania się od siebie galaktyk w wolnej przestrzeni między nimi powstaje nowa materia tworząca nowe gwiazdy i galaktyki. W tekście podane są pieśni operowe wraz z nutami, co wskazuje na różne zainteresowania autora.

Zachowany został motyw przewodni książki – sny Pana Tompkinsa, pracownika banku uczęszczającego na wykłady popularnonaukowe, podczas których zdarza mu się zasnąć i prowadzić dyskusję z wykładownicą. Sny prześladowają go również czasem w życiu codziennym, a znajomość z wykładownicą prowadzi do ślubu

z jego córką dając możliwość wysłuchiwania wykładów i dyskusji poza salą wykładową. Jest to właściwie zapis wysiłków profesora wprowadzania swojego zięcia, nie fizyka (czytelnika), w świat nowoczesnej fizyki.

Zachowany został również układ książki składającej się dwóch części. Pierwsza jest poświęcona wyjaśnieniu zjawisk wynikających ze szczególnej teorii względności – *równoważności masy i energii i ogólnej teorii względności* będącej podstawą do rozważań kosmologicznych. W tej części przedstawiono podstawy mechaniki kwantowej, opisując kwantowy obszar safari i bilard kwantowy. Ciekawa jest próba wyjaśnienia tzw. Demona Maxwella, którą można potraktować, jako wstęp do drugiej części książki poświęconej w całości budowie atomu i cząstek elementarnych. Opisana jest również szczegółowa klasyfikacja wszystkich wykrytych dotychczas cząstek i wyjaśnienie ich roli w tworzeniu materii. Rozdziały te są bardzo rozbudowane szczególnie przy opisie właściwości protonów i kwarków. Dużo miejsca poświęcono opisowi synchrotronu i omówiono jego działanie. Przedstawiając zagadnienia związane z cząstkami elementarnymi, zasygnalizowano problemy związane z Modelem Standardowym i teorią strun i szereg innych problemów.

W książce jest także słownik podający podstawowe definicje i wyjaśniający podstawowe pojęcia.

W książce ukazano obraz podstaw współczesnej fizyki wysokich energii. Wiele z tych informacji jest omawianych w literaturze popularnej, ale w tym opracowaniu przedstawiono w sposób poglądowy trudną i mało powszechnie zrozumianą teorię względności i mechanikę kwantową wyjaśniając także ich wykorzystanie.

dr inż. Krzysztof Rzymkowski  
Stowarzyszenie Ekologów na  
Rzecz Energii Nuklearnej  
Warszawa

## KTO POKRYJE STRATY ZA JĄDROWĄ PROKRASTYNACJĘ?

Dlaczego zagadnienie prokrastynacji nie znajduje — odpowiedniego do skali istniejącego problemu — miejsca w rozważaniach ekonomistów, menadżerów, publicystów, naukowców, czy wreszcie polityków?

Terminu prokrastynacja nie podaje w swoim słowniku wyrazów obcych nawet Władysław Kopaliński. Czy nieobecność w dyskursie publicznym kwestii wywołanych przez prokrastynację nie można wyjaśnić brakiem informacji na temat tego pojęcia w popularnym wydawnictwie encyklopedycznym? Teza, iż trudno, aby coś, co nie jest zdefiniowane, zaistniało na publicz-

nym forum, słabo się jednak broni, gdyż i sam termin, i wynikające z niego zagadnienia są przecież przedmiotem naukowego opisu. Daleko nie szukając: Ewa Jaworska, *Przyczyny i konsekwencje prokrastynacji akademickiej*<sup>1</sup>. Dylema-



<sup>1</sup> Ewa Jaworska, *Przyczyny i konsekwencje prokrastynacji akademickiej*. Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis, 303 (72), 63-72, 2013.

tami związanymi z prokrastynacją zajmował się m.in. Andrzej Olejniczak, *Efektywne zarządzanie czasem – wybrane zagadnienia*<sup>2</sup>. Można też sięgnąć do opracowań zagranicznych badaczy, np. Ashylene Mullen, *The Role of Psychological Flexibility in Procrastination*<sup>3</sup>, czy Frode Svartdal i inni, *On the Measurement of Procrastination: Comparing Two Scales in Six European Countries*<sup>4</sup>.

Na nasz praktyczny użytek wystarczy, iż przywołałyśmy, że prokrastynacja pochodzi od łacińskiego *procrastinatio* – odroczenie, czyli innymi słowy, określa nic innego, jak mniej lub bardziej świadomą zwłokę w wykonaniu jakiegoś zadania. Według badania wykonanego w styczniu 2016 r. metodą telefonicznych badań ankietowych (CATI) na losowo wybranej próbie 500 Polaków – odkładanie czynności na później deklarowało 85% mężczyzn i 80% kobiet. Sporo. Można nawet mniemać, że owo zjawisko dotyczy całej ludzkiej populacji. Z tym że jednych dotyka częściej, a innych tylko sporadycznie.

Zjawiskiem prokrastynacji zajmują się głównie psychologowie, zaś efektami prokrastynacji powinni interesować się specjaliści z tej dziedziny, której dotyczy konkretny przypadek prokrastynacyjny. Co – niestety – nie następuje. A doprawdy nietrudno zauważyć, że tzw. odkładactwo powoduje rozliczne kłopoty i często generuje trudne do powetowania szkody. Student przesuwający termin, w którym pierwotnie zamierzał rozpocząć przygotowanie do nauki danego przedmiotu, ryzykuje niezdaniami egzaminu.

W system prawny została już dawno formalnie wpisana możliwość domagania się zadośćuczynienia z powodu strat z tytułu prokrastynacji i pokrycia ich, jeśli udowodni się, że są w prostej linii konsekwencją zaniechań spowodowanych nieterminowością wykonania określonych zobowiązań wobec kontrahenta.

Jeśli sąd zwleka z rozpoczęciem procesu, można nawet złożyć skargę na jego opieszałość. Zainteresowany może, więc interweniować w sprawie zaburzonej percepcji czasu u przedstawicieli Temidy.

A co mogą uczynić obywatele podpisujący się pod obywatelskim projektem, który trafił do sejmu i zamiast być poddany procedurze głosowania, został umieszczony w „zamrażarce sejmowej”?

Tak, więc problem istnieje realnie. Straty w wyniku prokrastynacji są niejednokrotnie dużych rozmiarów. I na dodatek ponosimy je nie tylko w wymiarze osobistym, ale właśnie, jako społeczeństwo. Co ma miejsce w tym konkretnym przypadku, na który pragnę zwrócić uwagę Szanownych Czytelników. Mam na myśli... ener-

getykę jądrową. Zagadnienia związane z energetyką jądrową w Polsce, wynikające z braku realizacji podjętych określonych programów, deklaracji, decyzji, ustaleń, postanowień, etc. etc., są na tyle społecznie ważkim tematem, że oczekują bardzo szczegółowej analizy, a nawet opracowania precyzyjnego raportu. Właśnie z racji na ogromne negatywne skutki, jakie powoduje owa realna prokrastynacja w sferze gospodarczej.

Negatywną lekcję prokrastynacji w praktyce krajowej ekonomii przerabialiśmy jako społeczeństwo dość niechlubnie i wyjątkowo pechowo. Chodzi oczywiście o zatrzymanie rozpoczętej już budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu! Zmarnowano budżetowe pieniądze. Straty z tego tytułu były miliardowe. I nie przywołuję tu złotówkowych rozliczeń, ale mam na myśli już ich przeliczenie na dolary amerykańskie.

I na domiar złego, tym razem na poniesienie tych ogromnych strat, jak bardzo rzadko, aby nie powiedzieć, że dotychczas nigdy, zarówno w naszej dalszej i bliższej przeszłości, wpływu nie miało samoorganizujące się obywatelsko społeczeństwo.

Władza polityczna podjęła w niesłuchanie ważnej sprawie strategicznej decyzję. Społeczny głos został wzięty pod uwagę. Trudno jednak oprzeć się wrażeniu, że poddano się wtedy presji swoistej ekologicznej nowomowy. Notabene reprezentowanej przez organizacje często jeszcze bardzo merytorycznie „nieopierzone”, ale artykułujące żądania mierzone nie zawsze argumentami, lecz decybelami!

A władza — widać już teraz po latach wyraźnie — nie zrobiła dobrego użytku z faktu, że przez dziesięciolecie inwestowała pieniądze podatników w krajową oświatę i naukę. W chwili społecznie istotnej postawiła nie na racjonalność i wiedzę naukową, a na uległość wobec modnych i hałaśliwie reklamowanych trendów. A nie taki rodzaj spolegliwości władzy wobec społeczeństwa przysparza temuż społeczeństwu dobrobytu na długie dziesięciolecia.

Decyzją władz o zatrzymaniu budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce zdziwiony był niepomiernie nawet intelektualista światowej rangi, Stanisław Lem. A trudno tego wybitego pisarza, filozofa i wizjonera zasufladkować, jako przeciwnika demokracji. Społeczeństwo polskie — w wyniku decyzji, której się ponoć w większości miało samo domagać, — o czym przekonali władze aktywiści organizacji społecznych — poniosło ewidentną porażkę.

Decyzję podjęto raz. Rachunki za energię płacimy zaś, co miesiąc. A że one wciąż rosną? Już rzymscy prawnicy twierdzili, że *volenti non fit iniuria*, co my w naszej codziennej polszczyźnie tłumaczymy, że *chcącemu nie dzieje się krzywda!* Nieprawdaż?

Marek Bielski,  
Przegląd Techniczny,  
Warszawa

<sup>2</sup> Andrzej Olejniczak, *Efektywne zarządzanie czasem – wybrane zagadnienia*, Warszawa: Instytut Lotnictwa, Wydawnictwa Naukowe, 2013.

<sup>3</sup> Ashylene Mullen, *The Role of Psychological Flexibility in Procrastination*. University of Louisiana at Lafayette(2014)

<sup>4</sup> Frode Svartdal i inni, *On the Measurement of Procrastination: Comparing Two Scales in Six European Countries*, „Frontiers in Psychology”, 7, 2016.

# LAUREACI XXVII EDYCJI PLEBISYTU CZYTELNIKÓW „PRZEGLĄDU TECHNICZNEGO”

Warszawa, 21 czerwca 2021 r.



23 inżynierów i twórców techniki w Polsce nagrodzono w plebiscycie „Złoty Inżynier 2020”



Widok na salę. Uczestnicy uroczystości

Fot. Stanisław Latek, zob. więcej na str. 56

# 60-LECIE KRAJOWEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

## Wyjazd do Różana

Różan, sierpień 2021



Obiekt nr 8a



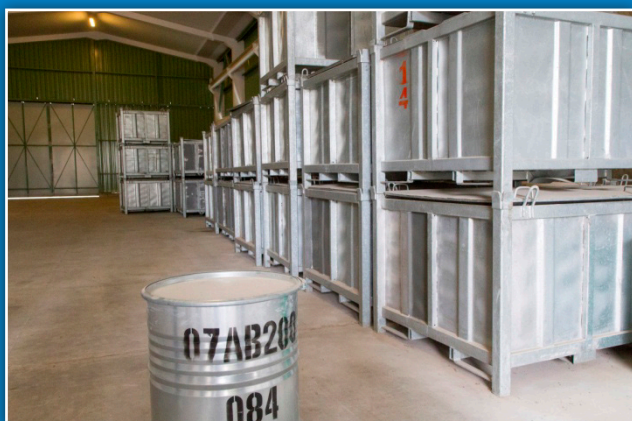
Obiekt numer 8 służący do składowania odpadów nisko- i średnioaktywnych krótkożytych



Uczestnicy wyjazdu do Różana podczas zwiedzania składowiska



Pracownik KSOP opowiada uczestnikom o zawartości obiektu nr 8a



Obiekt nr 8a. W tle komory stalowe pojemniki. Na pierwszym planie bęben stalowy o pojemności 200 litrów



Piezometr nr 132 służący do pobierania próbek wody