

eko atom

Kwartalnik popularno naukowy

czerwiec 2014

nr 13

13

W POSZUKIWANIU ATOMOWYCH ZAGROZEŃ GREENPEACE'U
AFRYKA — WZBIERAJĄCY POTENCJAŁ PRODUKCJI URANU
PRZEGLĄD SZWEDZKIEGO PRZEMYSŁU JĄDROWEGO



PGE EJ 1 Sp. z o.o.



ISSN 2083-442X

Kopalnia uranu Rössing jest jedną z największych i najdłużej działających kopalń odkrywkowych uranu na świecie. Znajduje się na Pustyni Namib 65 km od Swakopmund w pobliżu miasta Arandis. Złoża odkryte w 1928 roku, rozpoczęto eksploatować w 1976 roku jako pierwszą kopalnię uranu w Namibii. W 2012 roku, wyprodukowano 2699 ton tlenku uranu, co daje 4 procent światowego wydobycia.

Kopalnia położona jest w środowisku półpustynnym i zajmuje powierzchnię około 180 km², z czego 25 km² jest używane od wydobycia



urobku i składowania, usuwania odpadów i procesu technologicznego.

Różnice pomiędzy minimum i maksimum temperatur dobowych przekraczają 20 °C. Wydobycie odbywa się przez detonację materiałów wybuchowych, kruszenie, załadunek, transport urobku z głównego pola odkrywkowego. Następnie skała nośna przetwarzana jest w celu wytworzenia tlenku uranu. Odkrywka mierzy obecnie 3 km na 1,5 km oraz 390 m głębokości.

Uran jest stosunkowo częstym pierwiastkiem, który znajduje się w ziemi na całym świecie, wydobywa się go w wielu krajach i przetwarza do postaci tlenku uranu (U₃O₈) zwanego żółtym ciastem⁽¹⁾.

Dział produkcji odpowiedzialny jest za bezpieczne i efektywne przetworzenie rudy do końcowego produktu oraz transport do odbiorców. Proces produkcji tlenku uranu składa się z 12 etapów.

1. Wiercenie, wysadzanie pokła-



dów skały oraz transport ciężarówkami z których każda jest sprawdzana skanerem promieniowania aby określić jakość rudy uranu i skierować urobek do wstępnego kruszenia lub na składowisko o mniejszej zawartości pierwiastka. Nadkład jako odpad, gromadzony jest na oddzielnym składowisku

2. Kruszenie wstępne poprzez system walców i sit ustala wielkość cząstek na ok 19 mm i po zważeniu przechodzi proces mielenia na mokro.
3. Mielenie do wielkości 4 mm odbywa się w czterech stalowych młynach równolegle gdzie półprodukt otrzymuje konsystencję błota.
4. Ługowanie. W olbrzymich zbiornikach przeprowadzany jest połączony proces wymywania i utleniania. Zawarty w błotnistej rudzie uran za pomocą siarczynu żelazowego jest utleniany i rozpuszczany w roztworze kwasu siarkowego.

5. [Dalej...](#)

(1) **żółte ciasto Yellowcake** – potoczna nazwa półproduktu otrzymywanego w trakcie obróbki rud uranu. Nazwa pochodzi od charakterystycznego zabarwienia sproszkowanego produktu uzyskiwanego tradycyjnymi metodami. Yellowcake otrzymywany jest poprzez ługowanie zmielonej rudy uranowej stężonymi kwasami, zasadami i nadtlenkami. Po odfiltrowaniu i osuszeniu otrzymuje się brązowy lub czarny osad. W zależności od składu surowej rudy i metody ługowania zawiera on 70-90% ośmiotlenku trójuranu (V) (U₃O₈).

Strupczewski, Koszuc

Podróż w czasie

w poszukiwaniu atomowych zagrożeń Greenpeace'u

09

Mrozowska, Kijewska, Besta

Spoleczny wymiar procesu wdrażania energetyki jądrowej
w Polsce

12

Jankowski

Licznik Geigera - Mullera

22

Rzymkowski

Przerób wypalonego paliwa

29

Sokołowski, Mazgaj

Przegląd szwedzkiego przemysłu jądrowego

38

Kaniewski

Afryka — wzbierający potencjał

46

Kidd

The future of uranium – higher prices to come?

62



Z satysfakcją prezentujemy już trzynasty numer kwartalnika EKOATOM. Naszym celem jest pełne i obiektywne informowanie społeczeństwa o wpływie energetyki jądrowej (w pełnym cyklu paliwowym) na człowieka i środowisko ze szczególnym podkreśleniem bezpieczeństwa ludności i środowiska oraz popularyzacja i uwypuklenie zalet i korzyści wypływających ze stosowania tego sposobu pozyskiwania energii. Staramy się by nasze czasopismo pełniło również funkcje szkoleniowe w służbie rozwoju kultury bezpieczeństwa oraz stosowania zasad bezpieczeństwa. Zakres tematyczny artykułów może wykraczać poza obszar energetyki w celu prezentacji różnych technik jądrowych. W dalszym ciągu dokładamy też starań, by atrakcyjność naszego czasopisma rosła.

Bezpośrednio po przyjęciu programu PPEJ (Program Polskiej Energetyki Jądrowej) organizacje przeciwnie energetyce jądrowej zintensyfikowały swoje działania. Odpowiedzi na niektóre zarzuty przeciwników przedstawiono w artykule A. Strupczewskiego i Ł. Koszuka.

Analizę czynników społecznych mogących mieć wpływ na proces wdrażania programu energetyki jądrowej w Polsce przedstawiono w obszernym opracowaniu naukowców z Uniwersytetu Gdańskiego (S. Mrozowska, B. Kijewska, T. Besta).

Bardzo ważnym zagadnieniem ochrony przed promieniowaniem jest detekcja promieniowania jonizującego. Zasady detekcji i oraz przegląd używanych obecnie detektorów (liczników Geigera- Mullera) przedstawił w artykule D. Jankowski.

Rzadko poruszany temat przerobu wypalonego paliwa został omówiony w przeglądowym artykule K. Rzymkowskiego. Kontynuując ciąg informacji o energetyce jądrowej w różnych krajach przedstawiamy artykuł P. Mazgaja o energetyce jądrowej w Szwecji.

W bardzo interesującym artykule J. Kaniewskiego przedstawiono rosnące znaczenie Afryki jako światowego dostawcy uranu.

Zgodnie z sugestiami przekazanymi nam przez międzynarodową bazę indeksową COPERNICUS by czasopismo o takim unikalnym przekroju tematycznym miało szerszy zasięg międzynarodowy zamieszczamy również przedruk artykułu Steve Kidda The Future of uranium – higher prices to come? z Nuclear Engineering International i proponujemy autorom przesyłanie tekstów w języku angielskim ze streszczeniem po polsku. Ambicją redakcji EKOATOM jest przedstawianie polskim czytelnikom (z różnym przygotowaniem zawodowym) najważniejszych osiągnięć w dziedzinie technik jądrowych.

Jak zwykle, wszystkich chętnych, a przede wszystkim specjalistów, serdecznie zapraszamy do współpracy i publikowania na naszych łamach.

K. Rzymkowski

ul. Świętokrzyska 14
00-050 Warszawa
tel.22 336 14 19 fax. 22 336 14 25
www.ekoatom.com.pl
E-mail: redakcja@ekoatom.com.pl

SKŁAD REDAKCJI

Redaktor Naczelny
dr inż. Krzysztof Rzymkowski,
dr inż. Marek Rabiński,
dr inż. Andrzej Mikulski,
dr inż. Piotr Czerski (PGE),
Sekretarz Redakcji
mgr Jerzy Szczurowski (SEP COSIW)
Redaktor Techniczny
Jarosław Cyrynger (SEP COSIW)
RADA PROGRAMOWA:
Przewodniczący
prof. dr hab. Maciej Sadowski,
Członkowie
prof. dr hab. Janusz Lewandowski (PW),
prof. dr hab. Łukasz Turski (UW)
prof. dr hab. Zdzisław Celiński,
prof. dr Andrzej Strupczewski,
prof. dr hab. Natalia Golnik (PW)
prof. dr hab. inż. Roman Domański

Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania skrótów, korekty, edycji nadesłanych materiałów, oraz nie zwraca materiałów niezamówionych. Redakcja zastrzega sobie prawo do publikacji materiałów w dogodnym dla redakcji czasie i kolejności oraz niepublikowania materiału bez podania przyczyny. Redakcja nie odpowiada za treść zamieszczonych reklam ogłoszeń i innych płatnych.



Wydawca
Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictwo
Ul. Świętokrzyska 14
00-050 Warszawa
tel.22 336 14 19 fax. 22 336 14 25
www.cosiw.pl
e-mail: handlowy@cosiw.pl

facebook

Do Autorów pragnących publikować w języku angielskim,

Kwartalnik Internetowy EKOATOM jest czasopismem popularno naukowym, którego podstawowym celem jest przekazywanie rzetelnej wiedzy o technikach jądrowych dla czytelników o różnym przygotowaniu zawodowym pragnących poszerzyć swoją wiedzę w tej dziedzinie.

Pierwszy nr czasopisma ukazał się maju 2011. Stronę czasopisma odwiedza dziennie ok.400 osób. Zasięg czasopisma tylko w języku polskim obejmował wg naszych statystyk większość kontynentów.

Zgodnie z sugestiami przekazanymi nam przez międzynarodowa bazę indeksową COPERNICUS by czasopismo o takim unikalnym przekroju tematycznym miało szerszy zasięg międzynarodowy proponujemy autorom przesyłanie tekstów w języku angielskim ze streszczeniem po polsku. Artykuły publikowane w języku angielskim były by płatne przez autorów ok.10 EU za stronę . Nie przewidujemy dłuższych opracowań niż 4-5 stron. Propozycja ta jest podyktowana koniecznością zdobycia funduszy na działalność statutową EKOATOM (czasopismo popularno naukowe) spowodowaną odmową dotacji przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego wynikające z faktu że nie jest ono na jego liście. Ambicją redakcji EKOATOM jest przedstawianie polskim czytelnikom (z różnym przygotowaniem zawodowym) najważniejszych osiągnięć w dziedzinie technik jądrowych najlepiej w języku polskim.



FOR AUTHORS WILLING TO PUBLISH IN ENGLISH;

EKOATOM is a popular scientific quarterly, whose main aim is the popularization of knowledge on nuclear technology among readers with diverse backgrounds wishing to educate themselves on this subject.

Publication of EKOATOM was initiated in May 2011. The webpage is frequented by about 400 visitors a day, and readers (Polish speakers) log in from most continents.

We have recently been awarded 3.45 Copernicus Index points, and would like to expand our base to an international and multilingual audience, as well as to provide Polish readers with the latest news on nuclear technology.. Therefore we welcome Authors willing to publish in English (with an abstract in Polish – translation offered if necessary). Publication in English would cost about 10 EU per page, but we do not expect articles to exceed 4-5 pages.

K. Rzymkowski



UNIwersytet Gdański

Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki

Od roku akademickiego 2014/2015 ruszył na Wydziale nowy kierunek studiów I stopnia Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, który jest prowadzony wspólnie z Wydziałem Chemii.

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE I OCHRONA RADIOLOGICZNA

Podstawowe przedmioty kierunkowe:

- Fizyka jądra atomowego i cząstek elementarnych,
- Chemia jądrowa,
- Radiochemia środowiska,
- Bezpieczeństwo jądrowe i monitoring skażeń radioaktywnych,
- Ochrona radiologiczna,
- Prawo w energetyce jądrowej (i ochronie radiologicznej)

czyli podstawowe wiadomości o promieniotwórczości w zakresie fizyki i chemii, a także regulacje prawne w przemyśle, technice i służbie zdrowia w zarysie.

Praktyki zawodowe: 4 tygodniowa w okresie wakacji po II roku studiów. Praktyki zawodowe odbywają się w stacjach sanitarno-epidemiologicznych, firmach i instytucjach naukowo-badawczych, których profil działalności pokrywa się z monitoringiem i ochroną radiologiczną, a także zabezpieczeniem działania służby zdrowia. W czasie trwania praktyk student jest ubezpieczony przez UG. Jeżeli praktyka odbywa się poza miejscem zamieszkania student otrzymuje zwrot kosztów (zryczałtowany).

Zajęcia prowadzone przez doświadczonych pracowników Wydziałów Biologii, Chemii oraz Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego.

Zajęcia laboratoryjne odbywają się w pracowniach naukowo-dydaktycznych Wydziału wyposażonych w najnowocześniejszą aparaturę zakupioną w 2011 i 2012 roku w ramach projektów Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki w ramach Działania 4.1.1 Wzrost potencjału dydaktycznego uczelni oraz „Fizyka dla medycyny – przebudowa pomieszczeń i wyposażenie Pracowni zastosowań medycznych fizyki i obrazowania medycznego Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki Uniwersytetu Gdańskiego w Gdańsku” w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego dla Województwa Pomorskiego na lata 2007-2013, Osi Priorytetowej 2. Społeczeństwo wiedzy, Działania 2.1. Infrastruktura edukacyjna i naukowo-dydaktyczna, współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego

Cele kształcenia i kwalifikacje absolwenta:

Absolwent kierunku „Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna” ma posiadać szeroką wiedzę w zakresie fizyki i chemii, opartą na gruntownej wiedzy matematycznej oraz umiejętność pracy laboratoryjnej, by sprostać obowiązkom w zakresie przygotowywania i prowadzenia polityki bezpieczeństwa jądrowego oraz utrzymania ochrony radiologicznej wszędzie tam, gdzie prowadzony jest obrót i stosowane są preparaty promieniotwórcze lub promieniowanie jonizujące, a w szczególności w instytucjach kontrolnych, monitorujących środowisko naturalne, warunki pracy i prowadzących kontrolę jakości działań w przemyśle oraz zakładach opieki zdrowotnej, a także w zapleczu energetyki nuklearnej w perspektywie budowy elektrowni jądrowej.

Absolwent (licencjat) po ukończeniu studiów I stopnia ma uzyskać pełną wiedzę w zakresie:

- podstaw fizyki i chemii, poszerzoną w zakresie radiochemii i fizyki promieniowania jonizującego, z dużym naciskiem na to, aby wiedza i umiejętności licencjata łączyły się z biegłością w posługiwaniu się aparatem matematycznym;
- wiedzy o wpływie preparatów promieniotwórczych oraz promieniowania jonizującego na organizmy żywe i środowisko naturalne;
- wiedzy o przepisach prawa regulujących obrót i stosowanie preparatów promieniotwórczych oraz źródeł promieniowania jonizującego;
- umiejętności korzystania z nowoczesnych technik informacyjnych przetwarzania danych, obliczeń numerycznych (rozumienia formuł i rozumienia błędów obliczeń, konstrukcji modeli matematycznych i stosowania właściwych metod statystycznych);
- znajomości języka obcego na poziomie biegłości B2 Europejskiego Systemu Opisu Kształcenia Językowego Rady Europy oraz języka specjalistycznego z zakresu nauk fizycznych i medycznych.

"Fracking" z uranem

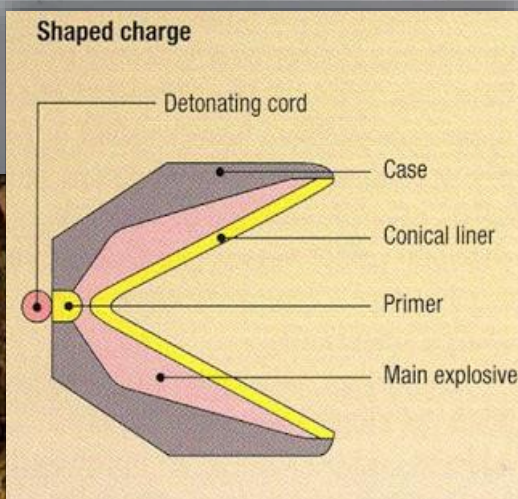
Ostatnio pojawiły się informacje dotyczące wykorzystania "zubożonego uranu" w technice wiertniczej pozwalającej wydobywać węglowodory zawarte w łupkach i zwanej potocznie "frackingiem" (polski termin to: "szczelinowanie")*. Technika ta od połowy ubiegłego wieku wykorzystuje działka perforacyjne z pociskami kumulacyjnymi do tworzenia w pokładach skały łupkowej, otaczającej odwiert, głębokich otworów, umożliwiających w następstwie powstawanie sieci szczelin i pęknięć, uwalniających zamknięte w nich węglowodory (gaz lub ropę).



Konstrukcja pocisków kumulacyjnych jest wzorowana na rozwiązaniach wykorzystywanych w wojskowości. Cechą charakterystyczną takich pocisków jest ich stożkowa forma.

Rys. 1 - Widok naboju kumulacyjnego działka perforującego skałę w odwiertach łupkowych

Początkowo stożek naboju kumulacyjnego był robiony z miedzi. W 1984 roku pojawił się patent, według którego stożek kumulacyjny może być zrobiony ze zbożonego uranu (DU - Depleted Uranium). Nabój kumulacyjny z uranowym stożkiem jest 5-krotnie bardziej skuteczny od miedziowego



Rys. 2 - Ładunek kumulacyjny - schemat budowy:

Łont - Obudowa - Stożkowa wkładka - Spłonka - Materiał wybuchowy

Przy produkcji naboju kumulacyjnego dla potrzeb szczelinowania wykorzystywany jest nie tylko zbożony uran będący "produktem odpadowym" procesu wzbogacania uranu na potrzeby energetyki jądrowej, lecz także zbożony uran pozostający po przerobieniu wypalonego paliwa reaktorowego. Wykorzystywany jest również uran otrzymywany bezpośrednio z rudy uranowej.

Wszystkie spotykane odmiany DU różnią się swoim składem izotopowym. Na przykład: w uranie zbożonym pochodzącym z przerobu wypalonego paliwa reaktorowego jest duża ilość uranu-236, który powstaje pod wpływem neutronów bombardujących uran-235, nie ulegając "pożądanemu" rozszczepieniu. (N.B.: W reaktorze jądrowym $4M^e$ U-235 ulega rozszczepieniu wydzielając energię, a 18% pod wpływem pochłoniętego neutronu ulega przekształceniu w U-236. Obecność U-236 w DU pozwala zatem jednoznacznie określić, co było materiałem wyjściowym dla procesu produkcyjnego.)

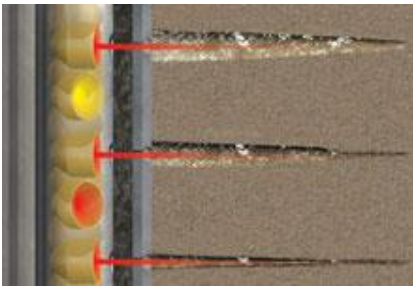
Działka perforacyjne mają postać rury o długości dochodzącej do 20 metrów, w której rozmieszczone są w regularnych odstępach pociski kumulacyjne z wysokoenergetycznym materiałem wybuchowym. Ładunki te są odpalane elektrycznie w odpowiedniej sekwencji czasowej.



Rys. 3 - Widok fragmentu "działka" perforującego ściany odwiertu

(wg. <http://www.exprogroup.com/products-and-services/dsttcp/tcp-for-well-completions/>)

W chwili wybuchu przy ciśnieniu dochodzącym do 1 miliona atmosfer powstaje "igła" plazmowa mająca prędkość dochodzącą do 10 km/sek, która drąży w skale kanał o średnicy do 2 cm i długości ponad 1 metra. W następnym etapie operacji do odwiertu wpompowywane są bardzo duże ilości płynu szczelinującego, które powodują powstawanie rozbudowanej struktury pęknięć w warstwie łupkowej, uwalniając tym samym zamknięte w niej węglowodory.



Rys.4 - Kanały powstające w skale pod wpływem "strzelania"

Uran wykorzystywany w procesie "strzelania" ulega całkowitemu rozproszeniu w kruszonym środowisku. Część uranowego pyłu trafia do wydobywanego gazu, lub ropy, a część powraca na powierzchnię wraz z płynem zwrotnym procesu szczelinowania. W obu przypadkach oznacza to zanieczyszczenie środowiska naturalnego uranem i pochodnymi substancjami radioaktywnymi. Problemy te są obecnie przedmiotem wielu bardzo wnikliwych prac naukowo-badawczych, prowadzonych przez zespoły specjalizujące się w zagadnieniach ochrony środowiska naturalnego.

opracował dr inż. Jerzy I. Chmielewski



Ładunki kumulacyjne stosowane w szczelinowaniu „Fracking perf Guns” Zawierają najsilniejsze ładunki wybuchowe Oktogen (HMX), Pentryt i inne



Podróż w czasie w poszukiwaniu atomowych zagrożeń Greenpeace'u

Dr inż. A. Strupczewski, prof. nadzw. NCBJ¹, mgr Ł. Koszuk¹

¹ Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Przybliżająca się perspektywa budowy elektrowni jądrowych w Polsce powoduje intensyfikację działań organizacji przeciwnych energetyce jądrowej. Najbardziej aktywna jest organizacja Greenpeace, która nawet opłaciła specjalistów austriackich, aby sporządzili specjalny raport, mający przestraszyć mieszkańców wybrzeża, Gdyni, Gdańska, a nawet Warszawy, widmem możliwej awarii i jej skutków. Zgodnie z brutalnymi regułami propagandy Greenpeace wykorzystał ofiary trzęsienia ziemi i tsunami w Japonii, aby zasugerować, że awaria w Fukushima miała tragiczne skutki dla mieszkańców. Choć niezależne organizacje ONZ, jak Światowa Organizacja Zdrowia WHO i Komitet Naukowy ds. Skutków Promieniowania UNSCEAR ogłosiły raporty o znikomo małych skutkach radiologicznych tej awarii, Greenpeace twierdzi inaczej i sprowadza przeciwników energii jądrowej z Japonii, aby nadać wiarygodność swoim argumentom.

Ale Polska to nie Japonia. Tutaj trzęsienia ziemi i tsunami nam nie grożą, a reaktory III generacji, które zostaną wybudowane w naszym kraju, są odporne na awarie znacznie większe od tych, które zniszczyły przestarzałe reaktory II generacji w Fukushima.

Trudno, więc nawet Greenpeace'owi wmawiać, choćby nieco tylko zorientowanym polskim czytelnikom, że grozi im awaria taka, jak w Fukushima. Dlatego organizacja ta postanowiła wykazać, że nowe reaktory III generacji też są niebezpieczne – stąd zlecenie pracy antynuklearnym działaczom austriackim.

Do wykonania tej pracy nie potrzeba było wielkiej wiedzy – Greenpeace polecił swym wykonawcom, by z dostępnej publicznie dokumentacji bezpieczeństwa reaktorów wybrali dla każdego reaktora po dwie ciężkie awarie, choćby mało prawdopodobne. Twórcy reaktorów uwzględniali przecież wszelkie zagrożenia, choćby najmniejsze. I słusznie. Konstruktorzy elektrowni jądrowych muszą przewidzieć i analizować nawet takie awarie, których prawdopodobieństwo wystąpienia jest bardzo małe, by przewidzieć ich możliwość przy projektowaniu systemów bezpieczeństwa i sprowadzić szanse takich awarii niemal do zera.

Czy jednak jest to powód, aby bać się tych elektrowni? Wobec tego, że ciężkie awarie – czyli awarie ze stopieniem rdzenia – w reaktorach III generacji zdarzają się bardzo rzadko, około raz na milion lat, a i to nie powodują zagrożeń poza obszarem ograniczonego użytkowania, ekspertom Greenpeace'u taka awaria nie wystarczała. Dlatego w swym opracowaniu, jako jedną z dwóch przyjęli awarię ze stopieniem rdzenia i utrzymaniem szczelności obudowy bezpieczeństwa, a jako drugą – awarię z utratą obudowy bezpieczeństwa, co może wystąpić raz na setki milionów lat.

Spróbujmy zorientować się, czy naprawdę powinniśmy bać się takich zagrożeń ?

Reaktory III generacji budowane są tak, aby uwolnienia radioaktywne przy ciężkich awariach ze stopieniem rdzenia zdarzały się rzadziej niż raz na milion lat i były niewielkie. A co działo się na terenach Polski w ciągu miliona lat? Wystarczyłoby pomyśleć o dwóch wojnach światowych w ciągu ostatniego wieku, które spowodowały ogromne zniszczenia i dziesiątki milionów zabitych, by zagrożenia jądrowe ujrzeć we właściwej skali. Ale zaraz – uwolnienia mogące wystąpić w elektrowni jądrowej raz na milion lat NIE powodują żadnego zagrożenia zdrowotnego, NIE powodują zgonów, ani na-

wet ewakuacji ludności. A przecież od stu lat, z dwoma wojnami światowymi, do miliona lat jest bardzo długa droga. Przed 30 tysiącami lat nie było jeszcze dzisiejszych ludzi homo sapiens, i wszystkie wędrówki ludów, powstanie cywilizacji egipskiej, greckiej, imperium rzymskiego i jego upadek, najazdy tatarskie i rzezie setek tysięcy ludzi zdarzyły się w tym czasie. A wcześniej – wcześniej mieliśmy w Europie epokę lodowcową, która przykryła wybrzeże, razem z terenami dzisiejszego Gdańska i Gdyni wielometrową warstwą lodu. A przecież wciąż mówimy o porównaniu z awarią reaktora, która NIE powoduje zgonów ani zagrożenia dalej niż około kilometra od reaktora. Warto dodać, że dla francuskiego reaktora EPR (European Pressurized Reactor) awaria, którą straszy Greenpeace, zdarza się raz na... trzysta milionów lat!

A co działo się na Ziemi w ciągu takiego czasu? W okresie około 17 milionów lat temu wypiętrzyły się Karpaty – ale to okres zbyt krótki, by Greenpeace uznał go za okres odniesienia dla awarii. Około 65 milionów lat temu nastąpiła masowa zagłada gatunków włącznie z zagładą dinozaurów. Był to jeden z pięciu okresów największego wymierania zwierząt. Wyginęły gatunki, które przedtem, w epoce kredy, królowały na Ziemi. Śmierć zbierała obfite żniwo. Wymarły m.in. amonity, belemnity, mozazaury, plezjozaury, pterozaurowe, wszystkie dinozaury oprócz ptaków. Ale - 65 milionów lat to okres wciąż za krótki, aby znaleźć awarię, która powodowałaby potrzebne dla propagandy Greenpeace'u skutki. Szukajmy więc jeszcze dalej.



65 milionów lat temu nastąpiła masowa zagłada gatunków włącznie z zagładą dinozaurów

Wcześniej – przed epoką kredy – były epoki jury i triasu, zapoczątkowane masową zagładą gatunków z okresu permskiego, która wystąpiła około 250 milionów lat temu. W okresie triasu nastąpiło pęknięcie ogromnego superkontynentu Pangea, z którego wydzielili się Ameryka Północna i Południowa z jednej strony, a Europa i Afryka z drugiej. Cały Ocean Atlantycki powstał w tym czasie! Początek okresu permskiego i koniec tego okresu to znowu czasy masowej zagłady gatunków na całej Ziemi. W takiej skali czasu mierzy się częstość występowania znaczących uwolnień radioaktywnych z reaktora EPR.



Pangaea z pokazanymi zarysami obecnych kontynentów. Kiedyś można było na piechotę przejść z Afryki do Ameryki a dziś? – tak zmieniła się Ziemia przez okres krótszy niż 300 ml lat.

Ale – chociaż sięgnęliśmy w historii Ziemi poprzez powstanie *homo sapiens* wstecz do epoki dinozaurów i wcześniejszych, do przemian geologicznych obejmujących nie tylko epoki lodowcowe pokrywające lodami Europę i Kanadę, ale i zawierających w sobie tworzenie kontynentów i wypiętrzanie gór – wciąż okres czasu, o którym mówimy, to 250 milionów lat. A awaria, o której wspomina Greenpeace, występuje w przypadku reaktora EPR raz na 300 milionów lat!

Energetyka jądrowa dba o bezpieczeństwo istniejących i projektowanych, nowych typów elektrowni. Awarie w Three Mile Island, w Czarnobylu i Fukushima i tysiące analiz i doświadczeń prowadzonych na całym świecie nauczyły nas na prawdę dużo. Rozważa się awarie nawet najmniej prawdopodobne, a współczesna technika bezpieczeństwa pozwala zredukować ich szanse do pomijalnie małych. Dlatego w analizach bezpieczeństwa uwzględnia się nawet tak rzadkie awarie, jak oczekiwane raz na 300 milionów lat, czy raz na miliard lat. Oczywiście, raz na miliard lat nie oznacza, że dana awaria wystąpi PO upływie miliarda lat – może wystąpić wcześniej, może wystąpić dużo później lub wcale. Ale średnio – raz na miliard lat.

Zagrożenie tak rzadkimi awariami, które zdarzają się rzadziej niż raz w ciągu całego procesu powstawania kontynentów, jest w perspektywie czasu pracy elektrowni jądrowej – około 60 lat – praktycznie zaniedbywalnie małe. Reaktor III generacji stwarza zagrożenie wyrażające się jedną awarią w okresie dłuższym od całej opisanej powyżej historii Ziemi. Myślę, że to powinno przekonać każdego, nawet zagorzałego sceptyka, o tym, że możemy spać spokojnie. Żadna duża awaria elektrowni jądrowej, która spowodowałaby katastrofalne skutki dla mieszkańców jej okolic, a tym bardziej całego kraju, nam nie grozi.



Sylvia Mrozowska, Barbara Kijewska, Tomasz Besta

SPOŁECZNY WYMIAR PROCESU WDRAŻANIA ENERGETYKI JĄDROWEJ W POLSCE*

Abstrakt: Artykuł koncentruje się na analizie czynników społecznych, które mogą mieć wpływ na proces wdrażania programu energetyki jądrowej oraz innych technologii energetycznych. W artykule przybliżone zostają badania nad społecznym rozumieniem nauki (Public Understanding Science Technology – PUS lub Science, Technology, Society – STS) oraz główne problemy związane z komunikacją o ryzyku związanym z nowymi technologiami. Zaprezentowany jest również model wzmacniania społecznego w odniesieniu do ryzyka oraz dyskutowane są ważniejsze czynniki psychologiczne, polityczne i społeczne wpływające na ocenę ryzyka związanego z wdrażaniem technologii energetycznych. Artykuł kończy się wnioskami odnośnie współpracy badaczy zajmującymi się różnymi obszarami nauki i technologii (włączając nauki społeczne) w procesie planowania wdrażania technologii energetycznych.

Abstract: Article focuses on the analysis of social factors that may affect the implementation of a nuclear power program and other energy technologies. In the article studies on the social understanding of science (Public Understanding Science Technology - SCC or Science, Technology, Society - STS) and the main problems related to communication about the risks related to the new technologies are presented. We also discussed the social amplification of risk framework and important psychological, political and social factors that drive the risks perception and evaluation of the implementation of energy technology. The article ends with conclusions regarding cooperation between researchers from divers fields of science and technology (social sciences included) in planning the implementation of energy technologies.

WSTĘP

W styczniu 2014 r. Rada Ministrów podjęła uchwałę w sprawie *Programu polskiej energetyki jądrowej*¹. Program zawiera harmonogram wybudowania dwóch elektrowni jądrowych oraz przygotowania pod inwestycje infrastruktury regulacyjnej i organizacyjnej. Celem artykułu jest wprowadzenie do problematyki społecznego wymiaru procesu wdrażania energetyki jądrowej.

Zakładamy, że poza wymiarem politycznym, ekonomicznym i technologicznym wymiar społeczny będzie ważnym parametrem wpływającym na powodzenie rządowego programu.

Do czynników społecznych, które mogą mieć wpływ na proces wdrażania programu energetyki jądrowej zalicza się: uwarunkowania historyczne, kulturę, styl życia, integrację społeczeństwa, klimat polityczny, podział władzy, orienta-

cję polityczną obecnych władz, stopień zainteresowania i wiedzy polityków i społeczeństwa energetyką oraz zaangażowanie w sprawy energii. Za Zbigniewem Łuckim² uważamy, że jednym z czynników spowalniających procesy wdrażania nowoczesnych technologii energetycznych w Polsce jest niedostateczne zainteresowanie polskiej nauki społecznej (ekonomii, politologii, socjologii, psychologii) problemami energii. Potwierdza to jeden z niewielu polskich badaczy relacji nauka-technika-społeczeństwo Lech Zacher pisząc, że: *ciagle jeszcze w polskiej i nie tylko tradycji socjologicznej i politologicznej ani technika, ani jej relacja ze społeczeństwem nie stanowią znaczącego obiektu analizy*³. Do pozostałych barier rozwoju należy niski poziom świadomości energetycznej polskiego społeczeństwa⁴.

Problematykę społecznego rozumienia nauki i technologii (Public Understanding Science Technology – PUS lub Science, Technology, Society - STS⁵), jako ko-

* Artykuł powstał w związku z realizacją przez Pomorską Specjalną Strefę Ekonomiczną sp. z o.o. działania badawczego p.t. Analiza społecznych uwarunkowań wdrożenia technologii HTR w Polsce w ramach odcinka badawczego p.t. Rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych w badawczym projekcie strategicznym Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

nieczności dla funkcjonowania we współczesnym społeczeństwie przemysłowym - podjęto w latach 70. XX w. Perspektywa PUS wykracza poza kwestię rozumienia procesów i metod nauki i techniki oraz poziomu ich znajomości w społeczeństwie, mierzonej badaniami opinii publicznej, dotyczy również wiedzy o instytucjach naukowych i organizacjach, strategiach komunikacyjnych i formach absorpcji nowej wiedzy przez opinię publiczną. Przegląd wyników dotychczasowych badań w obszarze PUS i STS pozwala wyróżnić najważniejsze czynniki psychologiczne i społeczne, które są szczególnie istotne dla kształtowania się postaw wobec nauki i technologii oraz wpływają na percepcję zagrożeń z nimi związanych.

W artykule koncentrujemy się tylko na jednym z elementów społecznego odbioru technologii – społecznej percepcji ryzyka. Przywołując koncepcję wzmocnienia społecznego Jeanne X. Kasperson i Rogera E. Kasperson podkreślamy jak złożony i wieloaspektowy jest proces uzyskiwania poparcia społecznego dla kontrowersyjnych technologii. W przypadku Polski proces ten może okazać się szczególnie dużym wyzwaniem.

RYZYKO A ENERGIA JĄDROWA

Ulrich Beck we wprowadzeniu do *Spoleczeństwa światowego ryzyka. W poszukiwaniu utraconego bezpieczeństwa*⁶ po ponad dwudziestu latach od publikacji *Spoleczeństwa ryzyka* podkreśla, że w społeczeństwach ryzyka wraz z szybkością i radykalnością procesów modernizacji tematyzuje się skutki jej sukcesów. Powstaje nowa ryzykowność ryzyka, gdyż po części zawodzą możliwości jego kalkulacji i instytucjonalnego ujęcia (...) W dyskusjach o ryzyku, podczas których stawia się też kwestię normatywnego (samo)ograniczenia, prawo wypowiedzenia się uzyskują mass media, parlamenty, ruchy społeczne, rządy, filozofowie, prawnicy, literaci i tak dalej⁷.

Europejczycy myślą o energetyce jądrowej w kontekście ryzyka co potwierdzają liczne badania sondażowe. Ponad połowa ankietowanych w Special Eurobarometr *Europeans and Nuclear Safety 2010*⁸ przeprowadzonym na terenie całej Unii Europejskiej postrzegala energię jądrową jako zagrożenie a nie jako neutralne źródło energii. Badanie dotyczyło ogólnego postrzegania energii jądrowej w kontekście kosztów, możliwości zastąpienia odnawialnymi źródłami energii; bezpieczeństwa jądrowego, w tym postrzegania ryzyka energii jądrowej i elektrowni atomowych, ogólnego znaczenia czynnika ryzyka i jego wpływu na postawy względem energetyki jądrowej; znajomości zagadnień jądrowych i bezpieczeństwa jądrowego: wiedzy na temat energii jądrowej i bezpieczeństwa, poczucia bycia poinformowanym, źródeł informacji w szkole, preferowa-

nych źródeł informacji oraz oczekiwań względem partycypacji w decyzjach dotyczących energetyki jądrowej. Wyniki Eurobarometru wykazały, że Europejczycy są skłonni poprzeć energetykę jądrową, ale przede wszystkim jako środka do zmniejszenia zależności energetycznej i w trochę mniejszym zakresie jako środka zapewnienia bardziej konkurencyjnych i stabilnych cen energii oraz aby sprostać wyzwaniom związanym ze zmianami klimatycznymi. Mniej niż 20% respondentów uważało, że udział energii jądrowej w koszyku energetycznym powinien zostać zwiększony. Ważnym czynnikiem dla respondentów, wpływającym na ich postawę względem energetyki jądrowej okazała się być kwestia bezpieczeństwa elektrowni. Badani obawiali się awarii związanych z długoletnim działaniem elektrowni. Za poważny problem respondenci uznali możliwość ataków terrorystycznych na elektrownie jądrowe. Poziom wiedzy respondentów w kwestiach energetyki jądrowej okazał się umiarkowany. Niewielu respondentów wiedziało, że Unia Europejska ma największą liczbę elektrowni jądrowych na świecie. Większa część Europejczyków wiedzę na temat energii jądrowej czerpie z mediów, głównie z telewizji. Respondenci chcieliby wiedzieć więcej na temat utylizacji odpadów radioaktywnych. Do najbardziej zaufanych źródeł informacji ankietowani zaliczyli naukowców oraz organizacje krajowe i międzynarodowe zajmujące się energetyką jądrową. 24% Europejczyków chciałoby brać udział w procesie podejmowania decyzji dotyczących rozwoju i aktualizacji strategii energetycznych. 25% uważało za konieczne, że decyzje te powinny podejmować odpowiednie władze, 18% respondentów było zdania, że problematyka ta powinna być konsultowana w parlamentach krajowych, a 25% z organizacjami pozarządowymi. W tym względzie ponad jedna trzecia respondentów (33%) z Polski opowiedziała się za udziałem w podejmowaniu decyzji przez obywateli, w dalszej kolejności wskazano branżowe organizacje (22%), organizacje pozarządowe (20%) i tylko 12% opowiedziało się że decyzja taka powinna być podjęta przez parlament krajowy.

W Polsce w latach 2006-13 realizowano 9 ogólnopolskich badań sondażowych⁹ w zakresie pomiaru aprobaty koncepcji budowy w Polsce elektrowni atomowej oraz akceptacji jej lokalizacji w niedalekiej odległości od miejsca zamieszkania badanych. Odsetek aprobujących inwestycje generalnie (w 2009 48% do 35% w 2013) i lokalnie (w 2009 36% na 25% w 2013) po awarii w Japonii wyraźnie zmalał, co niewątpliwie ma związek z poczuciem zagrożenia.

MODEL WZMOCNIENIA SPOŁECZNEGO

W ODNIESIENIU DO RYZYKA (SARF)

Za społecznym ujęciem ryzyka przemawia kilka argumentów. Po pierwsze ryzyko to problem społeczny lub polityczny, tak jak w obecnej debacie nad kwestią przyszłego ekologicznego społeczeństwa¹⁰. Po drugie wiąże się z kontekstem społeczno-kulturowym: ludzie różnie postrzegają ryzyko ponieważ pochodzą z różnych środowisk i kultur¹¹. Zakładając, że nauka i polityka znajdują się w obrębie kultury wiemy, że odmienność kulturowa wpływa na ocenę ryzyka. Po trzecie ryzyko jest konstruowane w strategiach i dyskursach (również medialnych), a za jego pomocą kształtuje się społeczną kontrolę i funkcjonowanie społeczeństwa¹².

Spoleczna ocena ryzyka zastosowania danej technologii ma kluczowe znaczenie dla jej akceptacji bądź odrzucenia. W przeciwieństwie do eksperckiej oceny ryzyka nie da się jej przewidzieć na podstawie rachunku kosztów i zysków, zgodnie z paradygmatem teorii racjonalnego podejmowania decyzji, ponieważ na ocenę poznawczą nakładają się m.in. emocje. Czasami z pozoru blahe zagrożenia skupiają na sobie nieproporcjonalnie większą uwagę niż zagrożenia dobrze udokumentowane w nauce i znacznie poważniejsze. Przykładem jest technologia jądrowa, która jest tak silnie skojarzona z ryzykiem, że jest ona napiętnowana społecznie¹³.

Złożone schematy interpretacji ryzyka w sferze publicznej przedstawia interdyscyplinarna koncepcja społecznego wzmocnienia ryzyka (SARF) autorstwa Jeanne X. Kasperson i Rogera E. Kasperson. Wzmocnienie społeczne zwraca uwagę na fakt, że społeczna i polityczna interpretacja ryzyka jest w istocie procesem komunikacji, w którym dużą rolę odgrywają aktorzy społeczni i instytucje. W jego trakcie ryzyko podlega dekodowaniu z udziałem wartości i symbolicznych modeli interpretacji¹⁴.

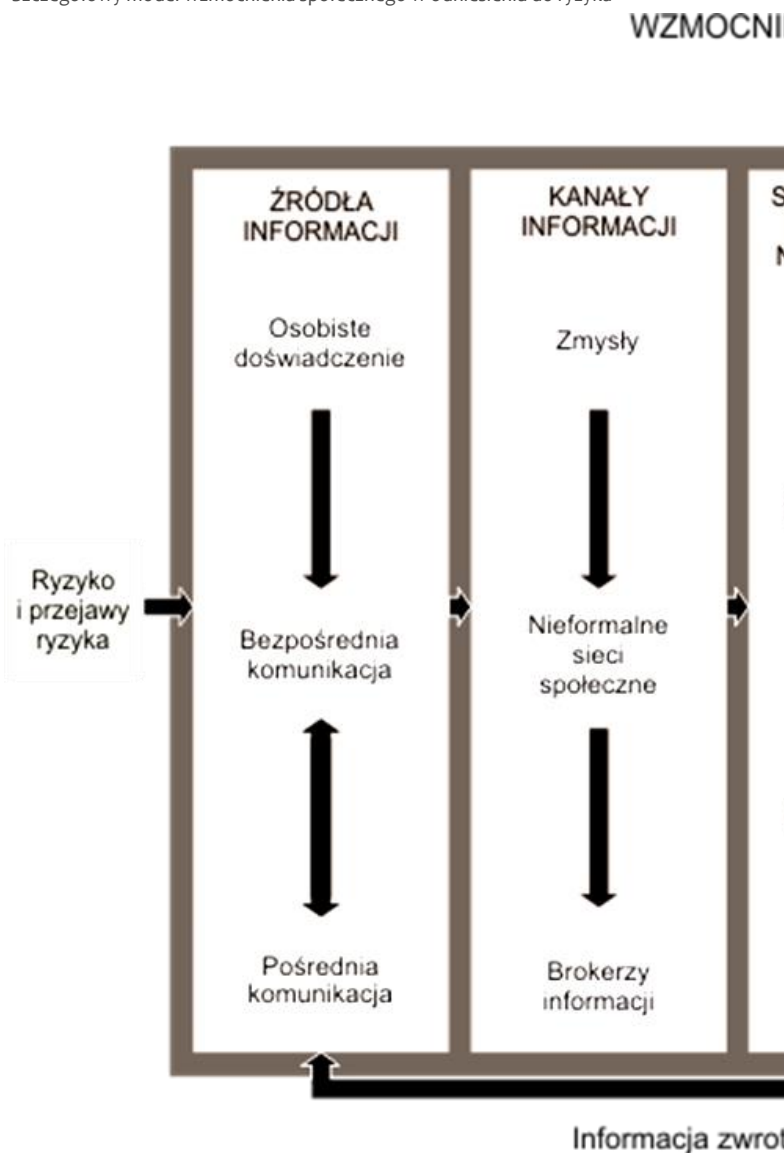
Autorzy modelu zakładają, że informacja o zagrożeniu może zostać "zmanipulowana" przez wzmocnienie lub zmniejszenie mocy „sygnałów”, ich filtrowanie i wypuklenie wybranych aspektów (zastosowanie schematów interpretacji). W rezultacie dochodzi do wzmocnienia lub zlekceważenia wybranych informacji na temat zagrożeń. W procesie tym uczestniczy wielu aktorów i instytucji (stacje nadawcze): grupy naukowców; instytucje zarządzające ryzykiem; środki przekazu; działacze i grupy na rzecz ochrony środowiska; grupy rówieśników; agendy rządowe oraz poszczególne etapy (stadia) wzmacniania informacji: filtrowanie sygnałów; dekodowanie sygnału; przetwarzanie informacji o ryzyku; wiązanie informacji ze społecznymi wartościami w celu wyciągnięcia wniosków w kwestii za-

ządzania ryzykiem i bieżącej polityki; wchodzenie w interakcje między grupami kulturowymi i rówieśniczymi w celu interpretacji i potwierdzenia sygnałów; formułowanie zamiaru tolerowania określonego zagrożenia lub podjęcia działań na rzecz jego zniesienia lub wycelowanych przeciwko zarządzającym ryzykiem; zaangażowanie w działania indywidualne lub zbiorowe mające na celu akceptację zagrożenia, ignorowanie, tolerowanie lub zmianę¹⁵.

Przegląd badań psychologicznych i socjologicznych nad społecznym odbiorem technologii pozwala wyróżnić kilka najważniejszych czynników związanych z ukazanymi na powyższym schemacie społecznymi i indywidualnymi stacjami nadawczymi. Pierwszą istotną zmienną wpływającą na ocenę sposobu implementacji nowych odkryć naukowych jest poziom zaufania do władz, które angażują się w promocję danej technologii. W badaniach okazało się na przykład, że osoby, które przejawiały niższy poziom zaufania do rządu, bardziej obawiały się zagrożenia związanego z awarią elektrowni atomowej¹⁶. Ważnym

Rysunek 1.

Szczegółowy model wzmocnienia społecznego w odniesieniu do ryzyka



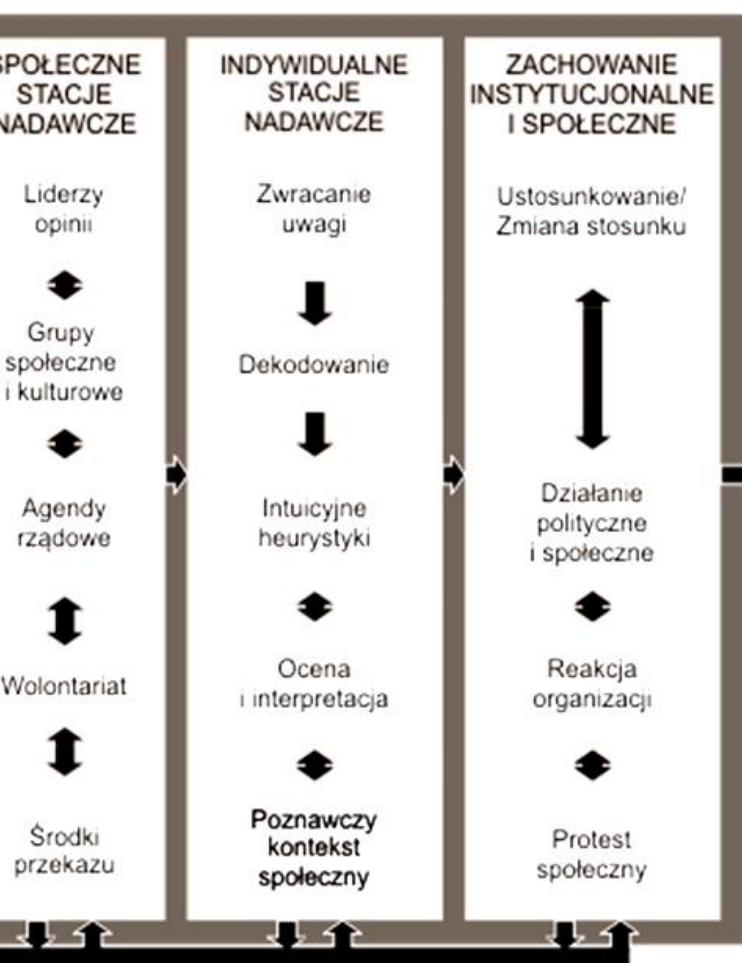
Źródło: J.X. Kasperson, R.E. Kasperson, *The Social Contours of Risk*, t. 2, Risk Analysis, Corpo

czynnikiem związanym z zaufaniem do rządzących jest także spostrzegane ryzyko korupcji oraz malwersacji finansowych.

Drugim obszarem ludzkiego funkcjonowania, który wiąże się z poziomem spostrzeganego ryzyka oraz z postawami wobec nauki i technologii są wyznawane wartości, na których ludzie opierają swoje decyzje i które kształtują ich percepcję świata społecznego. Wartości, które ludzie cenią (np. uniwersalizm, tradycja, władza, wartości materialistyczne, samorozwój) wskazują na te obszary życia, które są najwyżej cenione przez jednostki. Można je określić jako szeroko zdefiniowane cele życiowe, których funkcją jest kierowanie wyborami jakich dokonujemy w życiu, naszymi postawami i zachowaniami. Jedną z szerzej przyjętych koncepcji dotyczących podziału wartości, jest teoria struktury wartości Schwartza. Zaproponował on model dziesięciu głównych wartości. Struktura wartości wg Schwartza jest zorganizowana wokół dwóch dwubiegunowych wymiarów. Bieguny jednego wymiaru to z jednej strony otwartość na zmiany

(poszukiwanie stymulacji i nowości, wartości hedonistyczne), z drugiej strony wartości konserwatywne (tradycja, bezpieczeństwo, konformizm). Drugi wymiar opisany jest przez biegun transcendencji Ja - przekraczania własnego egoistycznego interesu (np. zwracanie uwagi na wartość natury, czy dbanie o dobro innych ludzi), oraz biegun wartości ukierunkowanych na rozwój Ja (władza, osiągnięcia). Ten model wartości został potwierdzony w wielu badaniach prowadzonych w zróżnicowanych obszarach kulturowych na całym świecie¹⁷. W kontekście percepcji ryzyka i zagrożeń, wartości okazały się ważnymi predyktorami poziomu lęku związanego z różnymi technologiami. Na przykład wcześniejsze badania wykazały, że wartości, które podkreślają rolę tradycji, konformizmu społecznego i poczucia bezpieczeństwa związane były z obawami przejawianymi wobec różnych zjawisk społecznych i naturalnych¹⁸. W innych badaniach osoby, które wykazywały wysoki poziom wartości konserwatywnych były spostrzegaly większe obawy związane z zarażeniem się w okresie pandemią grypy H1N1¹⁹.

WNIOSKI I OSŁABIENIE



KOLISTE FALE

WPŁYW



Trzecią zmienną mogącą wpływać na postawy odnośnie nauki i implementacji nowych technologii jest siła przywiązania do lokalnej społeczności, do własnej grupy społecznej. Silna identyfikacja grupowa w wielu badaniach okazywała się predyktorem działania w interesie lokalnej społeczności. Badania psychologiczne i socjologiczne wykazały również, że silnie rozwinięta tożsamość grupowa jest predyktorem gotowości do działania w interesie członków grupy własnej²⁰. Na przykład rolnicy, tym chętniej zaangażowali się w protesty organizacji rolniczych, im bardziej identyfikowali się oni ze społecznością rolników. Mechanizm ten znajduje odzwierciedlenie także w odniesieniu do innych tożsamości społecznych, takich jak identyfikacja ze związkami zawodowymi, czy identyfikacja płciowa, która okazywała się istotnym determinantem zaangażowania się w akcje społeczne i polityczne w kontekście zrównania praw mężczyzn i kobiet. Tak więc siła związku z lokalną społecznością może być predyktorem zaangażowania się w protesty przeciw technologiom, które wydają się zagrażać grupie, lub w działania na rzecz poprawy statusu materialnego grupy i lobbowanie na rzecz technologii, które wydają się być korzystne dla lokalnej społeczności.

Kolejną zmienną ważną w omawianym kontekście jest poczucie kontroli zarówno osobistej jak i grupowej. Poczucie wpływu na otoczenie i kontroli jest bardzo ważną ludzką potrzebą i jej zaspokojenie wielokrotnie wiązano z ogólnym lepszym funkcjonowaniem psychicznym²¹. Większe poczucie kontroli koreluje na przykład ze spostrzeganiem mniejszego ryzyka związanego z awarią elektrowni atomowej, a osoby które wykazują niższy poziom zaspokojenia poczucia kontroli odnośnie swojego bezpieczeństwa, wykazują większy lęk z nim związany. Poczucie kontroli grupowej wiąże się natomiast z tendencją do angażowania się w zachowania chroniące grupę i przynoszące jej wymierne korzyści. Tak więc poczucie wpływu na lokalną społeczność może wiązać się z większą tendencją do przejawiania pozytywnych postaw wobec technologii, jeśli przyniosą one korzyści dla społeczności²².

Analizować powinno się również rolę emocji w kształtowaniu postaw wobec technologii. Przesłanek do tego dają badania nad tzw. motywowanym poznaniem, czyli tendencyjnym rozumowaniem ("*motivated reasoning*")²³. Rozumowanie takie może być formą wewnętrznej regulacji emocji, przy której przetwarzanie informacji dochodzących ze świata, prowadzi do takiego ich interpretowania, które służy zmniejszaniu negatywnych lub zwiększaniu pozytywnych emocji. Wynikiem tego jest psychologiczny mechanizm, polegający na tym, że zazwyczaj szukamy potwierdzenia naszych przekonań i tez, a informacje z nimi

sprzeczne ignorujemy albo pomijamy w naszych rozważaniach. W kontekście odbioru nauki i technologii, wiele badań wykazało, że ludzie mają tendencję do dostrzegania głównie pozytywnych aspektów rzeczy, zjawisk czy technologii, które są przez nich lubiane oraz głównie negatywnych charakterystyk zjawisk, które są przez nich nielubiane²⁴.

Kolejnym obszarem na którym koncentrują się badacze z obszaru PUS i STS jest rola społecznych reprezentacji, czyli sposób jak ludzie reagują na sposób przedstawiania i oceniania nauki i technologii w mediach i dyskursie publicznym²⁵. Społeczne reprezentacje mogą być traktowane jako zbiór "zdroworozsądkowej wiedzy", czy "naiwnych teorii" i zakorzenione są w szerszym kontekście dominujących w danej grupie społecznej poglądów na świat i na mechanizmy nim kierujące. Cytując prace Robina Goodwina należy podkreślić, iż reprezentacje społeczne pełnią istotne funkcje społeczne w kierowaniu i uzasadnianiu działania. Pomagają na przykład wyjaśnić często pozornie "irracjonalne" poglądy na temat chorób zakaźnych, prezentowane przez osoby i całe wspólnoty. Reprezentacje społeczne pomagają ludziom wyjaśniać skomplikowane zjawiska i nowe technologie zakotwiczać je w ramach istniejącej wiedzy i stereotypów, co może być przyczyną kształtowania się nowych problemów społecznych, wpływać na odbiór kampanii informacyjnych czy zniekształcać i utrudniać dyskusje nad zaletami i wadami technologii²⁶.

Powyższe przykłady pokazują, jak wiele czynników i mechanizmów psychologicznych odpowiada za rozwój postaw wobec nauki i technologii. Pokazują również, iż nie ma prostej odpowiedzi na pytania o to, jak ludzie rozumieją naukę i co kształtuje ich postawy i nastawienia wobec innowacji technologicznych. Tym ważniejsze stają się praktyki mające na celu rozwinięcie publicznego rozumienia nauki i rozwinięcie dyskursu na temat faktycznych szans i zagrożeń związanych z technologiami.

Publiczne rozumienie nauki i technologii może służyć wielu celom. Po pierwsze wiedza ułatwia zaangażowanie obywateli w publiczne debaty m.in. z zakresu energii jądrowej, utylizacji odpadów jądrowych, roli i finansowania badań nad komórkami macierzystymi. Po drugie wiedza ułatwia podejmowanie decyzji w życiu codziennym. Przykładem mogą być decyzje dotyczące leków, antybiotyków i ich odpowiednie stosowanie czy też zasad korzystania z energii elektrycznej. Po trzecie wiedząc więcej na temat otaczającego nas świata jesteśmy bardziej świadomi tego, co wokół nas się dzieje. Przeszkodą jest fakt, że problematyka określana jako nauka-technika-społeczeństwo

nigdy nie rozwinęła się w polskich badaniach naukowych. Lech Zacher wyjaśnia tę sytuację w swojej najnowszej publikacji:

„Stalo się tak najprawdopodobniej dlatego, iż niejako z natury jest to dziedzina interdyscyplinarna, wymagająca przekraczania granic instytucjonalnych. Niezbędna wiedza o technice i naukach ścisłych nie znajduje się „w posiadaniu” przedstawicieli nauk społecznych i humanistycznych, którzy od niej stronią i mówią „zostawmy problemy techniki inżynierom”, podczas gdy problematyka STS zabacza – i to mocno – o problemy polityki, edukacji, transferu techniki, inwestycji czy nakładów na B+R”²⁷.

IDEA WARTOŚCIOWANIA TECHNIKI

Technologie, które społecznie postrzegane są jako ryzykowne lub wręcz niebezpieczne (biotechnologie – GMO, komórki macierzyste, biometria; technologie energetyczne – od technologii pozyskiwania gazu z łupek, farm wiatrakowych po termojądrowe) stanowić mogą (stanowią) zarzewie poważnych konfliktów społecznych. W tym względzie istotną rolę odgrywa koncepcja wartościowania techniki (*technology assessment* TA). Idea ta rozwinęła się w drugiej połowie lat 60. w Stanach Zjednoczonych i została sprecyzowana przez Narodową Fundację Nauki. Działania te były zdefiniowane jako studia polityki (*policy studies*) zaprojektowane dla lepszego zrozumienia konsekwencji społecznych rozwoju istniejących lub wprowadzenia nowych technologii, z naciskiem na efekty, które zwykle są nieplanowane i nieprzewidywalne²⁸.

U podstaw wartościowania techniki leży przekonanie, iż technika i upowszechnienie jej w społeczeństwie prowadzą do różnorodnych następstw, które trzeba przewidywać, odpowiednio opisać i w konsekwencji dokonać ich oceny. Obejmuje ono w ogólności część analityczną oraz część ewaluacyjną i szczególnie ta ostatnia, ze względu na uwikłanie w różnorodne systemy wartości, wiąże się z wieloma problemami konfliktowymi o charakterze aksjologicznym²⁹.

Obecnie TA w wielu państwach została zinstytucjonalizowana i funkcjonuje jako proces polityczno-społeczny, do którego włącza się także obywatele. Wśród instytucji europejskich zajmujących się analizą wpływu technologii na społeczeństwo należy wymienić funkcjonującą od kilkunastu lat sieć European Parliamentary Technology Assessment (EPTA), która stanowi międzyparlamentarne forum współpracy w kwestiach dotyczących rozwoju nowych technologii. Działalność EPTA jest postrzegana jako wsparcie demokratycznej kontroli nad naukowymi oraz technologicznymi innowacjami. EPTA została

formalnie utworzona w 1990 r. pod patronatem Przewodniczącego Parlamentu Europejskiego. Obecnie w jej skład wchodzi 13 instytucji³⁰ powiązanych z parlamentami krajowymi i ośrodkami badawczymi. Polska obecnie ma status jedynie członka stowarzyszonego (Biuro Analiz Sejmowych przy Kancelarii Sejmu (BAS)). W listopadzie 2013r. powołano w Polsce Towarzystwo Oceny Technologii, które zapowiedziało dążenie do członkostwa w EPTA.

Rozwój koncepcji wartościowania techniki (TA) związany był m.in. z kryzysem ekspertów, co wywołało wzmocnienie naukowego doradztwa politycznego, wzmocnienie procesów komunikowania i przekazywania wiedzy dla laików i udział w procesach podejmowania decyzji, przedstawicieli organizacji pozarządowych, laików i osób dotkniętych określonymi skutkami (zainteresowanych kontrowersyjną kwestią). Z pierwszą i drugą reakcją wiązały się modele decyzyjne. Wynikiem drugiej i trzeciej reakcji było partycypacyjne (uczestniczące; *participatory Technology Assessment* - pTA) wartościowanie techniki. Polityka akceptacji, oparta o model partycypacyjnej komunikacji powstała w latach 90. XX w., pojmowana jako proces dialogu pomiędzy stronami (politycy, eksperci, podmioty zainteresowane wdrożeniem technologii - stakeholders, organizacje pozarządowe, mieszkańcy. Andrzej Kiepas wyjaśnia genezę partycypacyjnego wartościowania techniki odwołując się do założenia o istnieniu różnorodnych konfliktów w obszarze techniki (tabela1).

Technology Assessment jest - według Andrzeja Kiepasa – może przybierać różne postaci: dyskursu kooperacyjnego - jego cel to zmniejszenie deficytów zarządzania pojawiających się w pluralistycznym społeczeństwie; dyskursu nieograniczonego - wszyscy uczestnicy mogą dzięki temu kontrolować następstwa upowszechniania techniki czy konferencji konsensualnych rozwijanych w Ameryce i w Danii. Autor zauważa, że modele partycypacyjne mają również swoje ograniczenia i negatywne strony. Otwierają określone możliwości, ale zarazem nie rozwiązują określonych problemów. Wartościowanie techniki może przyczynić się do poszerzenia wiedzy o skutkach techniki, prowadzić do wzrostu systemowego zaufania czy też uczynić procesy podejmowania decyzji bardziej transparentnymi. Nie jest ono natomiast w stanie rozwiązać wszystkich problemów legitymizacyjnych oraz konfliktów wartości bądź wyeliminować w praktyce problem ograniczonego uczestnictwa w procesach ewaluacji techniki i jej następstw³¹.

Przykładowe i bardzo aktualne zagadnienie obarczone du-

żym potencjałem ryzyka społecznego stanowi problematyka energetyczna³². Z jednej strony wyzwania związane ze zmianami klimatycznymi i przyjmowanymi przez rządy i instytucje strategiami energetycznymi obniżającymi emisję CO₂³³ z drugiej zaś stały wzrost zapotrzebowania energetycznego³⁴ na poziomie indywidualnym i przemysłowym w

wiarygodny. Badania Magdaleny Gadomskiej pokazują, że wiarygodność komunikacji odnosi się do relacji do komunikującego, a nie treści komunikacji. Brak zaufania do komunikującego może zaprzepaścić najlepszy komunikat. Z kolei zwiększenie wiarygodności może nastąpić poprzez partycypację społeczności lokalnych oraz otwartość nego-

Tabela 1. Konflikty wokół techniki - klasyfikacja według funkcji

Rodzaj konfliktu	Treść i przedmiot	Sposoby rozwiązywania
Konflikt interesów	Interesy, potrzeby	Prawne i etyczne zasady, polityczne procedury, Zasada sprawiedliwości, Technology Assessment jako transfer wiedzy, polityczne doradztwo, dyskurs partycypacyjny
Konflikt podziałów	Oczekiwane korzyści i straty	Prawne i etyczne zasady, polityczne procedury, dystrybutywna sprawiedliwość, Technology Assessment jako transfer wiedzy, polityczne doradztwo, dyskurs partycypacyjny
Konflikt ocen	Wartości, metody opisu	Dyskurs teoretyczny, dyskurs partycypacyjny, polityczny, Technology Assessment jako transfer wiedzy

Źródło: A. Kiepas, *Wartościowanie techniki jako proceduralna metoda rozwiązywania konfliktów* [w:] L. Zacher (red.), *Nauka technika społeczeństwo. Podejścia i koncepcje metodologiczne, wyzwania innowacyjne i ewaluacyjne*, Warszawa 6456, s. 861.

związku z polityką reindustrializacji Europy wikłają się w społeczne zachowania i percepcję zagrożeń inwestycji energetycznych. Jest to problematyka wieloaspektowa, łącząca zagadnienia nie tylko natury technologicznej i ekonomicznej ale też politycznej (na wszystkich szczeblach władzy) i społecznej. Społeczne podejście do energetyki, wykracza poza pomiary sondażowe akceptacji dla inwestycji budowlanych siłowni energetycznych. Wiąże się z szeroko pojętą kulturą energetyczną definiowaną przez Zbigniewa Łuckiego i Władysława Misiaka³⁵ jako humanistyczne podejście do spraw energii ze strony jej producentów, jak i jej konsumentów, umożliwiającą rozwiązywanie problemów społecznych.

KOMUNIKOWANIE O RYZYKU

Główne problemy związane z komunikacją o ryzyku formułuje Magdalena Gadomska³⁶ podkreślając, że główna trudność z przekonaniem społeczeństwa do akceptacji ryzyka wiąże się z tym, że każda ze stron: inwestorzy, eksperci, społeczeństwo – zwykle mówi o czym innym: co innego chce społeczeństwo, co innego badają eksperci, a co innego demonstrują zwolennicy nowej techniki. Według autorki najważniejszym elementem prawidłowej komunikacji jest „przetłumaczenie” informacji naukowej na temat ryzyka na język zrozumiały dla ogółu ludności, gdyż informacje mają dotrzeć do ludzi o różnym poziomie kultury naukowej i do ludzi pozbawionych tej kultury. Ponadto przekaz powinien być zrozumiały, relewantny, adekwatny i

inwestorów z władzami centralnymi, regionalnymi i lokalnymi³⁷.

Rolę komunikacji w procesie wdrażania programu polskiej energetyki jądrowej podnoszą również badania autorstwa Piotra Stankiewicza i Aleksandry Lis p.t. *Opinia publiczna o planach rozwoju energetyki jądrowej w Polsce i wybranych województwach w latach 2010-2011*. Badania te objęły zagadnienia związane bezpośrednio z oczekiwaniami społeczeństwa w obszarze komunikacji społecznej i dostępu do informacji wydarzeniach w Fukushima. Autorzy opracowania wskazują, że w kwestii komunikacyjnej poparcie dla elektrowni jądrowej nie jest bezwarunkowe, ani tym bardziej „dane raz na zawsze”. Z uzyskanych wypowiedzi wylania się potrzeba wyjścia poza klasyczną kampanię informacyjno-edukacyjną, opartą na doksztalcaniu obywateli w zakresie zagadnień związanych z energetyką jądrową. Mieszkańcy nie tyle oczekują nowej wiedzy z zakresu funkcjonowania elektrowni jądrowej, a dostępu do informacji, możliwości zadawania pytań, wyjaśniania wątpliwości, rozwiązywania spornych i niejasnych kwestii.

Autorzy wskazują na możliwość wyróżnienia trzech podstawowych poziomów komunikacji z obywatelami:

- pierwszy to jednokierunkowe informowanie o planach i działaniach podejmowanych przez władze oraz o ich ewentualnych konsekwencjach;
- drugi poziom zakłada wzajemną komunikację, na przy-

kład w postaci konsultacji społecznych. Na tym poziomie decydenci i inwestorzy mogą wysłuchać głosów obywateli, nie są jednak zobligowani, by głosy te uwzględnić;

- trzeci poziom zakłada współdecydowanie obywateli. Autorzy wnioskuje, że porzucenie na pierwszym poziomie, informowania i edukowania społeczeństwa nie odpowiada oczekiwaniom społeczeństwa i może przyczynić się wręcz do zaognienia konfliktu i zantagonizowania społeczeństwa³⁸.

WNIOSKI

Spółczesne polskie po raz pierwszy styka się z sytuacją, w której w sposób publiczny rozważa się realizację wielu inwestycji w zakresie energetyki z zastosowaniem nowych, nieznanych szerokiej publiczności technologii energetycznych. Wśród nich są technologie budzące obawy i kontrowersje: energetyka jądrowa, gaz z łupków czy odnawialne źródła energii np. bazujące na sile wiatru. Brakuje usystematyzowanej wiedzy, w jaki sposób przy podejmowaniu decyzji dotyczących lokalizacji inwestycji uwzględnić formy partycypacji społecznej. Analiza inwestycji energetycznych „zablokowanych” przez protesty pokazuje, że główną przeszkodą w ich realizacji były błędy w komunikacji społecznej. Raport *Energetyka wiatrowa w Polsce*³⁹ potwierdza, że w obszarze dyskusji ze społeczeństwem często mamy do czynienia z mitami, stereotypami, sprzecznymi poglądami, przekłamaniami i oskarżeniami. Autorzy raportu wyraźnie podkreślają, że *opór społeczny może opóźnić lub nawet wstrzymać przygotowanie i realizację inwestycji* dlatego należy kierować dyskurs społeczny na tory dyskusji merytorycznej, opartej na bogatym i dobrze udokumentowanym dorobku naukowym.

Do pozostałych przyczyn braku społecznej akceptacji inwestycji energetycznych zalicza się: próby narzucenia niechcianej inwestycji „siłą”, nieznanostwo proponowanej techniki przez społeczeństwo, pominięcie obaw społecznych i nieuwzględnienie ich w procesie decyzyjnym, brak korzyści dla lokalnej społeczności i biznesu. Z drugiej strony wśród atrybutów sukcesu partycypacji społecznej w projektach energetycznych znajdują się: akceptacja legalnych procedur procesu decyzyjnego przez interesariuszy, rozumienie przez inwestorów obaw społecznych, zapewnienie pełnej i adekwatnej reprezentacji interesariuszy przez dostosowanie narzędzi komunikacyjnych do wymogów i potrzeb danej grupy społecznej⁴⁰.

Program polskiej energetyki jądrowej zakłada, iż *w pro-*

*cesie planowania i wdrażania energetyki jądrowej bardzo ważnym zadaniem będzie prowadzenie rzetelnych i profesjonalnych działań informacyjnych, popularyzatorskich i umożliwiających partycypację społeczeństwa w podejmowaniu decyzji, które realizowane będą na zasadach i w trybie ustawy Prawo atomowe oraz ustawy o udostępnianiu informacji o środowisku jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko*⁴¹. Ponadto przygotowano dokument *Koncepcja kampanii informacyjnej dotyczącej energetyki jądrowej: Bezpieczeństwo, które się opłaca*⁴² stanowiący zbiór podstawowych założeń niezbędnych do przygotowania i przeprowadzenia kampanii informacyjnej na rzecz energii jądrowej w Polsce.

Analiza dotychczasowych działań komunikacyjno-informacyjnych podejmowanych w związku z programem polskiej energetyki jądrowej prowadzi do konstatacji, że bez pogłębionego zrozumienia percepcji ryzyka technologii energetycznych w polskim społeczeństwie nie ma możliwości prowadzenia dialogu i konsultacji społecznych. Uzasadnione jest prowadzenie działań zmierzających do zapobiegania konfliktom i protestom poprzez dogłębne poznanie ich przyczyn i konfrontowanie sprzecznych poglądów oraz działania edukacyjne. Pomimo deklaracyjnych wezwań ze strony różnych podmiotów do dialogu społecznego, większość prowadzonych kampanii informacyjnych koncentruje się na prostym przekonywaniu „przeciwników” inwestycji nie bazując na wielopłaszczyznowych analizach społeczności lokalnych. Brak wypracowanych na naukowych podstawach spójnych narzędzi partycypacji deliberatywnej związanych z włączeniem społeczności lokalnych w procesy decyzyjne prowadzić może do poczucia niesprawiedliwości procesualnej wśród mieszkańców i protestów nie względem samej technologii ale sposobu jej wdrażania.

LITERATURA

¹ Program polskiej energetyki jądrowej, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2014, http://www.mg.gov.pl/files/upload/19990/PPEJ%2028_01_2014.pdf (data odczytu: 01.03.2014).

² Z. Lucki, Wyzwania energetyczne Polski w świetle spójności społeczno-ekonomicznej, *Nierówności społeczne a wzrost gospodarczy*, 2011, nr 18, s. 373.

³ L. Zacher, *Relacja technika-społeczeństwo jako przedmiot badań i ewaluacji (przegląd problematyki)*, w: *Nauka, technika, społeczeństwo. Podejścia i koncepcje metodologiczne, wyzwania innowacyjne i ewaluacyjne pod red. L. Zachera*, Warszawa 2012, s. 16.

⁴ Z. Lucki, A. Byrska-Rapala, B. Soliński, I. Stach, *Badanie świadomości energetycznej społeczeństwa polskiego, „Polityka Energetyczna”* 2006 T. 9, z. 2, s. 5-63 dostęp: <http://www.minpan.krakow.pl/Wydawnictwa/PE092/lucki.pdf> [11.01.2014].

⁵ Szerzej na ten temat: G. Gauchat, *The cultural authority of science: Public trust and acceptance of organized science*, *Public Under-*

- standing of Science 2011, nr 20 (6), s. 751–77; E. Griessle, *One size fits all? On the institutionalization of participatory technology assessment and its interconnection with national ways of policy-making: the cases of Switzerland and Austria*, *Poiesis Prax* 2012, nr 9, s. 61–80; N. Gupta, A. Fischer, L.J. Frewer, *Socio-psychological determinants of public acceptance of technologies: A review*, *Public Understanding of Science* 2011, nr 21(7), s. 782–795; J.C. Besley, *Public Engagement and the Impact of Fairness Perceptions on Decision Favorability and Acceptance*, *Science Communication* 2010, s. 32(2), s. 256–28.; S. Joss, *Toward the Public Sphere - Reflections on the Development of Participatory Technology Assessment*, *Bulletin of Science Technology & Society* 2002, s. 219–231; M.C., Nisbet, K. Goidel, *Understanding citizen perceptions of science controversy: Bridging the ethnographic-survey research divide*, *Public Understanding of Science* 2007, nr 16, s. 421–440; A. Prades López, T. Horlick-Jones, Ch. Oltra, R. Solá, *Lay perceptions of nuclear fusion: multiple modes of understanding*, *Science and Public Policy* 2008, nr 35(2), s. 95–105; G.R., Flynn, P. Slovic, *Technological stigma*, *American Scientist* 1995, nr 83, s. 220–223.
- ⁶ U. Beck, *Spoleczeństwo światowego ryzyka. W poszukiwaniu utraconego bezpieczeństwa*, Warszawa 2012
- ⁷ U. Beck, *Spoleczeństwo ryzyka. W drodze do innej nowoczesności*, Warszawa 2002, s. 18–19.
- ⁸ *Special EUROBAROMETER 324 “EUROPEANS AND NUCLEAR SAFETY”*, European Commission 2010.
- ⁹ CBOS - VI 2006, VII 2008, IV 2011, IV 2013; *Badanie Ambasady Brytyjskiej II 2009; Badanie dla Ministerstwa Gospodarki - IX 2009, IX 2010; TNS OBOP – VII 2011r., XI 2013; Millward Brown SMG/KRC - XI 2012r; obecnie rozstrzygnięto przetarg na kolejne badania sondażowe dla Polskiego Instytutu Spraw Międzynarodowych.*
- ¹⁰ U. Beck, *Spoleczeństwo ryzyka. W drodze do innej rzeczywistości*, Warszawa 2002; *Spoleczeństwo światowego ryzyka. W poszukiwaniu utraconego bezpieczeństwa*, Warszawa 2012.
- ¹¹ M. Douglas, *Risk and Blame*, London 1992.
- ¹² M. Foucault, *Governality*, [w:] G. Burchell, C. Gordon, P. Miller (red.), *The Foucault Effect*, London 1991.
- ¹³ J. Flynn, P. Slovic, H. Kunreuther, (red.), *Risk, Media and Stigma. Understanding Public Challenges to Modern Science and Technology*, London 2001.
- ¹⁴ J. Arnoldi, *Ryzyko*, Warszawa 2011, s. 146.
- ¹⁵ *Op. cit.*, s. 143–144.
- ¹⁶ R. Goodwin, T. Masahito, S. Shaojing, i G. O. Stanley Jr., *Modeling Psychological Responses to the Great East Japan Earthquake and Nuclear Incident*, *PLoS ONE* 2012, nr 7 (5), s. e37690.
- ¹⁷ S.H. Schwartz, *A Theory of Cultural Values and Some Implications for Work*, *Applied Psychology* 1999, nr 48 (1), s. 23–47.
- ¹⁸ S. H. Schwartz, L. Sagiv, and K. Boehnke, *Worries and Values*, *Journal of Personality* 2000, nr 68 (2), s. 309–46.
- ¹⁹ R. Goodwin, S. O. Gaines Jr, L. Myers, and F. Neto, *Initial Psychological Responses to Swine Flu*, *International Journal of Behavioral Medicine* 2011, nr 18, (2), s. 88–92.
- ²⁰ *Zobacz na przykład: B. Klandermans, How Group Identification Helps to Overcome the Dilemma of Collective Action*, *American Behavioral Scientist*, 2002, 45 (5); 887–900; C. Kelly, J. Kelly, *Who Gets Involved in Collective Action? Social Psychological Determinants of Individual Participation in Trade Unions*, *Human Relations* 1994, nr 47 (1), s. 63–88.
- ²¹ R. F. Baumeister, *Meanings in Life*. New York: Guilford, 1991.
- ²² *Więcej na ten temat zobacz w: A. Gómez, M.L. Brooks, M.D. Buhrmester, A. Vázquez, J. Jetten, and W.B. Swann, Jr., On the Nature of Identity Fusion: Insights Into the Construct and a New Measure*, *Journal of Personality and Social Psychology* 2011, nr 100 (5), s. 918–33; E. Vaughan, *Chronic Exposure to an Environmental Hazard: Risk Perceptions and Self-protective Behavior*, *Health Psychology* 1993, nr 12 (1), s. 74–85.
- ²³ Z. Kunda, *The Case for Motivated Reasoning*, *Psychological Bulletin* 1990, nr 108 (3), s. 480–98.
- ²⁴ L. Sjöberg, *Factors in Risk Perception*, *Risk Analysis* 2000, nr 20 (1), s. 1–12.
- ²⁵ S. Moscovici, *Notes Towards a Description of Social Representations*, *European Journal of Social Psychology* 1988, nr 18 (3), s. 211–50.
- ²⁶ *Więcej na ten temat piszą: G. Elcheroth, W. Doise, and S. Reicher, On the Knowledge of Politics and the Politics of Knowledge: How a Social Representations Approach Helps Us Rethink the Subject of Political Psychology*, *Political Psychology* 2011, 32 (5), 729–758; R. Goodwin, S. Haque, S. B. S. Hassan, A. Dhanoa, *Representations of Swine Flu: Perspectives From a Malaysian Pig Farm*, *Public Understanding of Science* 2011, 20 (4), 477–90; W. Wagner, *Description, Explanation and Method in Social Representation Research*, *Papers on Social Representations* 1995, nr 4 (2), s. 156–76.
- ²⁷ L.W. Zacher (red.), *Nauka-technika-społeczeństwo. Podejścia i koncepcje metodologiczne, wyzwania innowacyjne i ewaluacyjne*, Warszawa 2012, s. 7. *Zobacz również tego autora w: Sterowanie procesami rewolucji naukowo-technicznej – Przesłanki i założenia ogólne*, Ossolineum, Wrocław – Warszawa 1978; *Globalne problemy współczesności - interpretacje i przykłady*, UMCS, Lublin 1992; *Gry o przyszłe światy*, Warszawa 2006, PAN; *Transformacje społeczeństw – od informacji do wiedzy*, Warszawa 2007; *Spoleczne wartościowanie techniki – Przegląd zagadnień (redakcja i współautorstwo)*, seria Komitetu „Polska 2000” PAN, Wrocław – Warszawa, t. 2, 1984; *Spoleczeństwo informacyjne – Aspekty techniczne, społeczne i polityczne*, (red. i współautorstwo), UMCS - FE Transformacje, Lublin – Warszawa 1992; *Spoleczeństwo a ryzyko – Multidyscyplinarne studia o człowieku i społeczeństwie w sytuacji niepewności i zagrożenia (współautorstwo i współredakcja z A. Kiepasem)*, Warszawa – Katowice 1994, i inne.
- ²⁸ J. F. Coates, *Wartościowanie techniki - próba agendy na XXI wiek*, [w:] L. Zacher (red.), *Nauka technika społeczeństwo. Podejścia i koncepcje metodologiczne, wyzwania innowacyjne i ewaluacyjne*, Warszawa 2012, s. 410.
- ²⁹ A. Kiepas, *Wartościowanie techniki jako proceduralna metoda rozwiązywania konfliktów*, [w:] L. Zacher (red.), *Nauka technika społeczeństwo. Podejścia i koncepcje metodologiczne, wyzwania innowacyjne i ewaluacyjne*, Warszawa 2012, s. 427.
- ³⁰ *W skład EPTA wchodzi: Scientific and Technological Options Assessment (STOA), European Parliament, Teknologirådet - Danish Board of Technology (DBT), Tulevaisuusvaliokunta - Committee for the Future, Finnish Parliament, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (OPECST) - Parliamentary Office for Evaluation of Scientific and Technological Options, Assemblée Nationale and Sénat, France, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) - Office of Technology Assessment at the German Parliament, Committee on Technology Assessment, Greek Parliament, Comitato per la Valutazione delle Scelte Scientifiche e Tecnologiche (VAST) - Committee for Science and Technology Assessment, Italian Parliament, Rathenau Instituut, Netherlands, Teknologirådet - Norwegian Board of Technology (NBT), Centre for Technology Assessment / Zentrum für Technolo-*

giefolgen-Abschätzung (TA-SWISS), Switzerland, Parliamentary Office of Science and Technology (POST), UK Parliament, Consell Assessor del Parlament sobre Ciència i Tecnologia (CAPCIT) - The Advisory Board of the Parliament of Catalonia for Science and Technology.

³¹ A. Kiepas, *op.cit.*, s. 429.

³² W artykule pojęcie „energetyka” obejmuje wszystkie źródła energii pierwotne (ropę, gaz, węgiel, źródła odnawialne, energię jądrową itd.) i finalne (energia elektryczna, paliwa) jak również ich konsumpcję i społeczną percepcję.

³³ Np. na poziomie Unii Europejskiej: Porozumienie Kopenhaskie, „Energy Roadmap 2050”, Pakiet klimatyczno-energetyczny do 2030,

³⁴ W Scenariuszu Nowych Polityk szacuje się, że światowy popyt na energię elektryczną będzie wzrastał rocznie o 2,2% rocznie w latach 2008 – 2035, *World Energy Outlook, 2010*, s. 9, dostęp: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2010_es_polish.pdf [11.01.2014]; Ministerstwo Gospodarki szacuje, że w latach 2006–2030 zapotrzebowanie na energię finalną w Polsce wzrośnie o 29 % (najbardziej w sektorze usług – o 90 % – i w transporcie – o 75 %), dostęp: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza%20zapotrzebowania%20na%20paliwa%20i%20energie-ost.pdf>.

³⁵ Z. Łucki, W. Misiak, *Energetyka a społeczeństwo*, Warszawa 2010, s. 72.

³⁶ M. Gadomska, *Potoczna percepcja i społeczna akceptacja skomplikowanych technologii. Przypadek syntezy termojądrowej*, „Postępy Techniki Jądrowej”, t. 51, z. 1, s. 5-9.

³⁷ M. Gadomska, *Potoczna percepcja i społeczna akceptacja skomplikowanych technologii. Przypadek syntezy termojądrowej*, „Postępy Techniki Jądrowej”, t. 51, z. 1, s. 5-9.

³⁸ P. Stankiewicz, A. Lis, *Dla kogo elektrownia jądrowa? Opinia publiczna o planach rozwoju energetyki jądrowej w Polsce i wybranych województwach w latach 2010-2011*, dostęp: <http://www.energetyka.gpnt.pl/doc/raport.pdf> [11.01.2014].

³⁹ *Raport Energetyka wiatrowa w Polsce*, dostęp: http://www.paiz.gov.pl/files/?id_plik=21375, [data odczytu: 12.03.2014].

⁴⁰ Z. Łucki, W. Misiak, *Energetyka a społeczeństwo. Aspekty socjologiczne*, Warszawa 2012, s. 131.

⁴¹ *Program polskiej energetyki ...*, *op. cit.*, s. 144.

⁴² Dostęp: http://bip.mg.gov.pl/files/5.KONCEPCJA%20PO%20MODYFIKACJI_0.pdf [12.02.2014].

Daniel Jankowski

Przegląd detektorów promieniowania

Licznik Geigera - Mullera

***Abstract:** The Geiger-Müller (GM) belongs to a group of detectors which operation principle is based on the fact that charged particle crossing a gas medium deposit energy and create electron-ion pairs. Geiger-Muller counters are the widest used ionization radiation detectors. There is no doubt that their significance will be maintained in future, even though there is a huge development of other kind of detectors especially semiconductor ones. In this work one provides a short description of G-M work mode and their different applications. In order to better understanding of G-M work mode one shows how gas-filled detector works taking into account Gas Ionization Curve.*

The application and use of a Geiger-Muller counter is described by an example of portable radiometer RK-100-2 produced by Polon Alfa.

SŁOWA KLUCZOWE (KEY WORDS): G-M counter, gas – filled detector, ionization, ionizing radiation, radiometr, dosimeter, dozometr, radiometr, miernik promieniowania, miernik radioaktywności, mierniki promieniowania jonizującego, liczniki G-M, liczniki Geigera-Müllera, pomiary promieniowania, pomiar promieniowania, licznik Geigera, sonda do skażeń, ochrona radiologiczna, skażenia powierzchniowe, wzorcowanie

Detekcja promieniowania jonizującego polega na wykorzystaniu zjawisk towarzyszących jego przejściu przez materię (jonizacja, wzbudzenie) do wytworzenia innych wielkości, które są możliwe do zmierzenia. Jest to zawsze tzw. pomiar pośredni. W ostatnich kilkudziesięciu latach liczniki Geigera - Mullera (G-M) były najszerzej stosowanymi detektorami promieniowania jonizującego. Nie ulega wątpliwości, że ich znaczenie utrzyma się także w przyszłości, pomimo rozwoju innych rodzajów detektorów a zwłaszcza detektorów półprzewodnikowych.

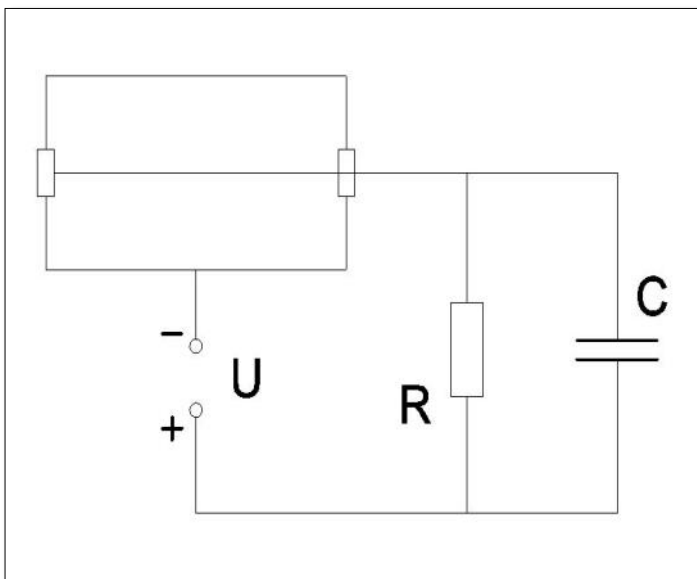
DETEKTORY NAPEŁNIONE GAZEM

Licznik Geigera – Mullera jest szczególnym przypadkiem detektora, którego wnętrze jest wypełnione gazem. Do tego typu detektorów oprócz wyżej wspomnianego zaliczają się również komora jonizacyjna oraz licznik proporcjonalny. Reprezentują trzy najstarsze i wciąż bardzo użyteczne typy detektorów promieniowania jonizującego.

Układ detektora napełnionego gazem przedstawiony jest na Rys. 1.

Stanowi on komorę napełnioną gazem z dobrze izolowaną od ścianki elektrodą centralną. Napięcie U jest doprowadzone pomiędzy ściankę a elektrodę centralną przez rezystor R bocznikowany kondensatorem C .

Przy wejściu cząstki jądrowej do wnętrza komory rozpoczyna się proces jonizacji. Powstałe ładunki dodatnie i ujemne poruszają się pod wpływem pola elektrycznego odpowiednio w kierunku ścianek komory i elektrody centralnej, zgodnie z orientacją pola elektrycznego. Temu procesowi towarzyszy jednocześnie proces rekombinacji, gdy ładunki o przeciwnych znakach spotykają się ze sobą na swojej drodze do ścianki i elektrody centralnej. Im większa jest różnica potencjału pomiędzy ścianką i elektrodą centralną komory tym większa jest prędkość przesuwania się jonów i mniejsza jest rekombinacja. Wzrasta przy tym ta część ładunku, którą zbierają elektrody.



Rysunek 1 Schemat detektora napełnionego gazem

zwolone wskutek pierwotnej jonizacji doznają przyspieszenia w stopniu dostatecznym do wywołania dodatkowej jonizacji, powiększającej zbierany ładunek. Na początku obszaru III współczynnik wzmocnienia nie zależy od jonizacji pierwot-

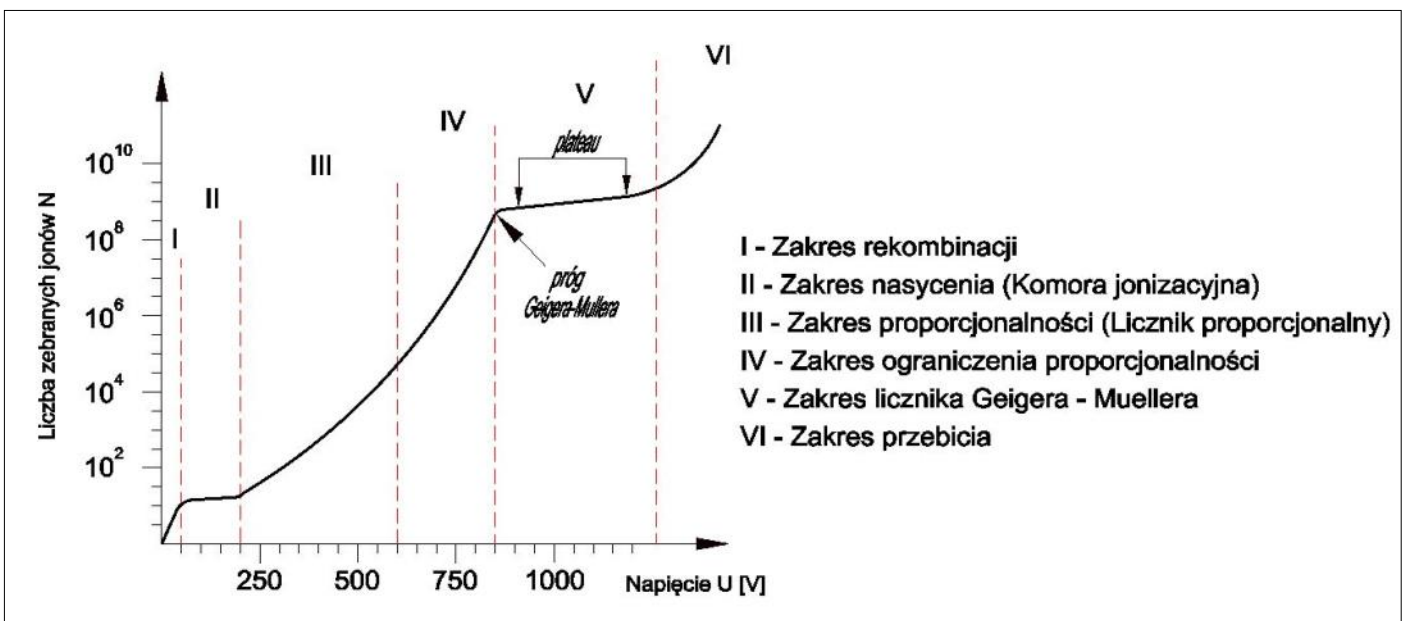
Do prawidłowego zrozumienia działania licznika G-M można posłużyć się Rys. 2, za pomocą którego wyjaśnić również można istniejące różnice pomiędzy wymienionymi typami detektorów poprzez opis procesu zachodzącego w komorze napełnionej gazem.

W obszarze I procesowi wydobywania jonów i gromadzenia ich na elektrodach przeciwdziała proces utraty par jonów wskutek rekombinacji.

Proces rekombinacji maleje ze wzrostem natężenia pola w komorze (napięcia na elektrodach).

Obszar II nosi nazwę obszaru nasycenia lub *komory jonizacyjnej*. W tym obszarze praktycznie wszystkie pary jonów docierają do elektrod.

W obszarze III zbierany ładunek rośnie wraz z napięciem dzięki zjawisku wzmocnienia gazowego. Elektrony wy-



Rysunek. 2 Wykres przedstawiający przebieg procesu jonizacji w komorze napełnionej gazem.

nej, dzięki czemu zachowana jest proporcjonalność wielkości impulsu od rozmiarów pierwotnej jonizacji. W miarę wzrostu doprowadzanego napięcia ta proporcjonalność zanika i wielkość impulsu zaczyna być niezależna od pierwotnej jonizacji. Zakres, w którym istnieje wzmocnienie gazowe i utrzymana jest zależność zbieranego ładunku od wielkości jonizacji pierwotnej nazywany jest *zakresem proporcjonalności*. Przy końcu obszaru III przechodzi on w *zakres ograniczonej proporcjonalności* IV.

W obszarze V zbierany ładunek jest niezależny od rozmiarów jonizacji początkowej, a tylko od parametrów komory i obrotu zewnętrznego. Obszar V jest nazywany *zakresem Geigera-Mullera*.

Obszar VI to już tzw. zakres przebiccia. W obszarze wyładowania ciągłego zachodzącym przy bardzo dużym napięciu licznik przestaje działać i może ulec zniszczeniu. Dlatego też w tym obszarze stosuje się liczniki iskrowe z zastrzeżeniem, iż traci się informacje o energii cząstki.

ZASADA DZIAŁANIA

Duża użyteczność liczników G-M wiąże się głównie z ich wysoką czułością, przydatnością do detekcji różnych odmian promieniowania, dużą różnorodnością kształtów i okienek, znaczną amplitudą sygnału wyjściowego oraz umiarkowaną ceną.

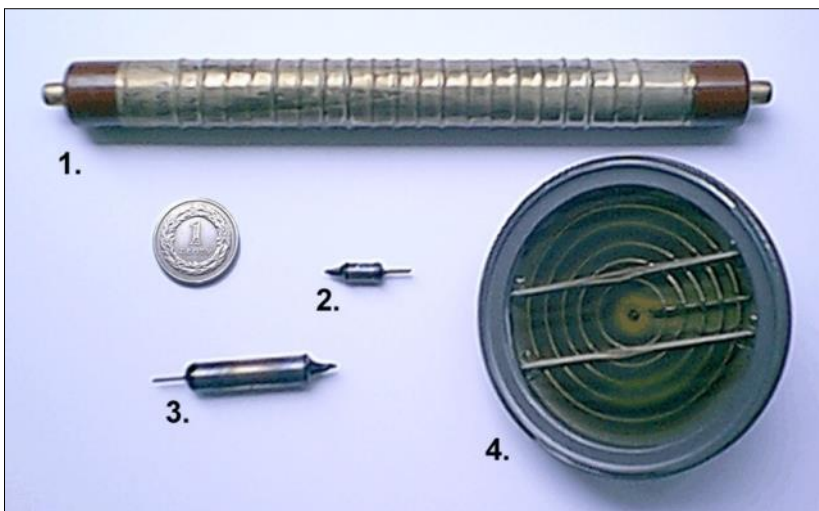
Duża czułość liczników G-M jest wynikiem faktu, że promieniowanie jonizujące działa jedynie, jako czynnik wywołujący proces wyładowania. Każda cząstka tworząca jony w liczniku powoduje wyładowanie w całej objętości licznika. Licznik G-M może zatem rejestrować cząstki dowolnego rodzaju, wytwarzające w jego wnętrzu ładunki elektryczne tj. wszelkiego rodzaju cząstki naładowane oraz kwanty X i γ , tworzące ładunki w wyniku procesów wtórnych.

Zasada działania licznika G-M pozwala na wykonanie go w różnych odmianach konstrukcyjnych. Zbudowano liczniki o średnicy od 2 do kilkudziesięciu mm i o długości od ok. 1 cm do (1 ÷ 2) m.

Amplituda impulsu na rezystancji obciążenia licznika G-M waha się od ułamku wolta do kilku wolt, co znakomicie ułatwia dalszą obróbkę sygnału. Wysoka czułość, wynikająca z niezależności sygnału wyjściowego od rozmiarów inicjującej go jonizacji pierwotnej jest jednocześnie źródłem jego wady, polegającej na braku możliwości rozróżnienia mierzonego

promieniowania. Wady tej nie mają liczniki proporcjonalne, scyntylacyjne i półprzewodnikowe.

Współczesny licznik G-M składa się zazwyczaj z metalowej cylindrycznej obudowy - katody, wewnątrz której umieszczony jest cienki drut - zwykle wolframowy, stanowiący anodę licznika. Czasami cylindryczna obudowa jest wykonana ze szkła i wówczas katoda jest pokryta warstwą przewodzącą, naniesioną na wewnętrzną ściankę rurki szklanej.



Rysunek. 3. Przykłady liczników GM; dla porównania pokazana moneta 1 zł.

- 1 - licznik STS-6 do pomiaru mocy dawki promieniowania γ oraz do pomiaru skażeń powierzchni emiterami promieniowania (β i γ);
- 2, 3 - liczniki DOI-30 i DOI-80 (odpowiednio), do pomiaru mocy dawki promieniowania γ ;
- 4 - okienkowy licznik SI-8B do pomiaru skażeń powierzchni emiterami Promieniowania α i β .

Do napełniania liczników używa się przeważnie gazów szlachetnych, zwykle neonu lub argonu, z niewielkim dodatkiem gazów gaszących wielokrotne wyładowania. Mogą to być związki organiczne lub chlorowce.

Liczniki chlorowcowe są łatwiejsze w użytkowaniu, gdyż wymagają niższego napięcia zasilającego, (300 -÷- 500) V w zależności od konstrukcji licznika.

Mierząc częstość impulsów na rezystorze obciążenia licznika w funkcji przykładanego napięcia zasilającego zauważa się, że impulsy wyjściowe pojawiają się dopiero od pewnej wartości napięcia.

Jego wartość jest różna dla różnych typów liczników. Zwiększając dalej napięcie zasilania (przy stałym napromienieniu) zauważa się wzrost częstości impulsów aż do zagięcia charakterystyki. Zagięcie odpowiada stanowi, w którym wszystkie cząstki, nawet przy najmniejszej jonizacji pierwotnej, dają impulsy o zbliżonych amplitudach - jest to tzw. próg Geigera – Mullera [Rys. 2].

Od tego napięcia zaczyna się płaski odcinek charakterystyki zwany plateau. Jest to obszar roboczy charakterystyki, o nachyleniu kilku procent/100 V. Przy wzroście napięcia powyżej plateau następuje gwałtowny wzrost częstości impulsów, spowodowany przez impulsy wielokrotne. W okresie następującym bezpośrednio po wyladowaniu, natężenia pola elektrycznego w liczniku G-M maleje ze względu na istnienie otoczki dodatnich jonów. Dlatego każdy licznik charakteryzuje się tzw. czasem martwym, w którym licznik nie reaguje na przychodzące cząstki. Czas martwy określa dolną granicę odstępów pomiędzy następującymi po sobie rejestrowanymi cząstkami jądrowymi, przy założeniu, że licznik powinien reagować na każdą cząstkę wywołującą jonizację.

Inną wielkością określającą właściwości układu detekcyjnego jest czas rozdzielczy, który jest większy niż czas martwy i zależy od ustawionego poziomu dyskryminacji urządzenia rejestrującego.

Jest to okres czasu, który musi upłynąć od chwili formowania się pierwszego impulsu do chwili, gdy licznik będzie w stanie zareagować na kolejną cząstkę.

PRZYKŁADY RÓŻNEGO WYKORZYSTANIA LICZNIKÓW G-M

Duża różnorodność budowy liczników G-M wynika z mnogości możliwych ich zastosowań. Poniżej przytoczono kilka przykładów praktycznego wykorzystania liczników G-M.

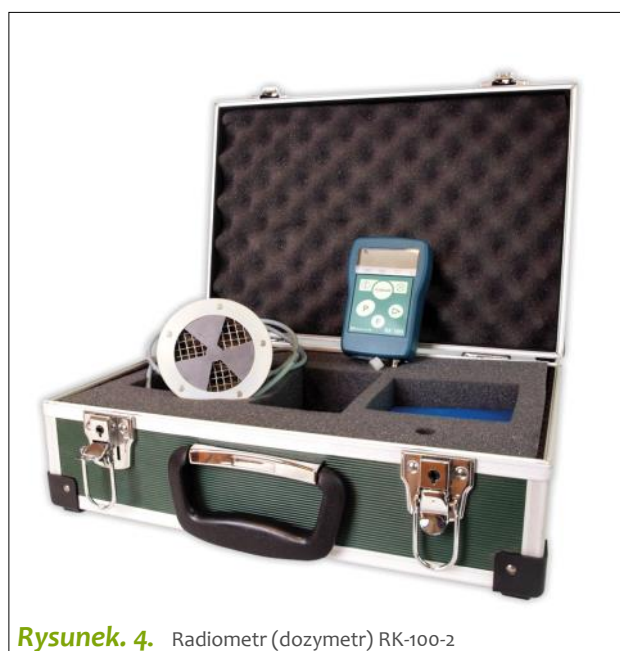
MIERNIKI MOCY DAWKI I DAWKI PROMIENIOWANIA FOTONOWEGO

W tej dziedzinie w najszerszym stopniu wykorzystuje się od lat liczniki G-M.

W zależności od wymaganego zakresu pomiarowego, używa się liczników o małych wymiarach (mały czas martwy — pomiar dużych mocy dawek) lub dużych (wyższy czas martwy, ale większa czułość - pomiar małych mocy dawki). W ostatnich latach, dzięki rozwojowi elektroniki, możliwa była budowa mierników dawki, opartych o liczniki G-M. Dostępne są na rynku różne wykonania wielofunkcyjnych, kieszonkowych mierników dawki/mocy dawki wykorzystujących liczniki G-M, jako detektory np.: Radiometr RK-100-2 produkcji Polon- Alfa z siedzibą w Bydgoszczy, który jest w wykonaniu z sondą wewnętrzną [liczniki Geigera-Müllera (G-M)] do pomiaru mocy przestrzennego równoważnika dawki, mocy dawki pochłoniętej w powietrzu (moc kermy w powietrzu), przestrzennego równoważnika dawki i dawki pochłoniętej w powietrzu (kerma w powietrzu) promieniowania gamma oraz po podłączeniu sondy zewnętrznej RK-100 (okienkowy licznik Geigera-Müllera – okienko mikowe) do pomiaru skażeń powierzchni substancjami alfa, beta i gamma promieniotwórczymi.

Prosta i bardzo trwała obudowa, mała masa i łatwa obsługa umożliwiają szerokie stosowanie dozymetru przy wykrywaniu źródeł promieniowania i ocenie poziomu skażeń oraz jako przyrząd pomiarowy wszędzie tam gdzie stosuje się źródła promieniowania. Dozymetr używany jest m.in. przy tego typu aplikacjach:

- sprawdzenie skuteczności osłon przed promieniowaniem joni-



Rysunek. 4. Radiometr (dozymetr) RK-100-2

zującym w pracowniach (Z, O, RTG, CT, PET)

- ocena narażenia zewnętrznego personelu na stanowiskach pracy (np.: zakłady przemysłowe, laboratoria, gabinety dentystryczne, weterynaryjne, pracownie fizyki medycznej, służa sanitarno-dozymetryczna itd.)
- monitorowanie warunków pracy z możliwością bezpośredniego odczytu mierzonych wartości i sygnalizacji przekroczenia ustawionych progów alarmowych
- wytyczenie granic terenu nadzorowanego, terenu kontrolowanego oraz strefy awaryjnej
- kontrola szczelności zamkniętych źródeł promieniotwórczych znajdujących się w różnych urządzeniach (np.: czujka dymu, miernik grubości, waga izotopowa, defektoskop, miernik zapylenia powietrza)
- pomiar mocy dawki przy urządzeniach wytwarzających promieniowanie jonizujące (np.: spektrometr XRF, aparat RTG);
- w kontroli granicznej i celnej, straży pożarnej, centrach zarządzania kryzysowego, obronie cywilnej oraz służbach ratownictwa technicznego (straż pożarna, państwowe ratownictwo chemiczne, techniczne morskie, radiacyjne)

MIERNIKI SKAŻEŃ POWIERZCHNI

Cechą charakterystyczną liczników G-M przeznaczonych do detekcji cząstek α i β jest mała grubość ścianki lub okienka wbudowanego do licznika. Wynika to ze stosunkowo krótkiego zasięgu tego rodzaju promieniowania, zwłaszcza promieniowania α .

Okienko jest wykonane zasadniczo z miki i ma gęstość powierzchniową $(1 \div 2)$ mg/cm² dla promieniowania α , lub $(2 \div 5)$ mg/cm² dla promieniowania β . Im większa jest grubość okienka tym większa jest trwałość licznika (odporność na narażenia mechaniczne), ale tym gorsza czułość, zwłaszcza na promieniowanie o niskich energiach.

Na Rys. 3 poz. 1 jest licznikiem o grubej ściance metalowej (60 mg/cm²), zaś poz. 4 jest licznikiem z okienkiem mikowym o gęstości powierzchniowej 5 mg/cm² oraz średnicy czynnej 60 mm. Jest to typowy licznik G-M do detekcji promieniowania α i β .

Przykładowym detektorem używanym również, jako miernik skażeń jest zestaw radiometr RK-100-2 + sonda zewnętrzna RK-100.



Rysunek. 5. Radiometr RK-100-2 z sondą zewnętrzną do pomiaru skażeń RK-100

Zestaw ten można wykorzystać m.in. do:

- kontrola szczelności zamkniętych źródeł promieniotwórczych znajdujących się w różnych urządzeniach (np.: czujka dymu, miernik grubości, waga izotopowa, defektoskop, miernik zapylenia powietrza)
- kontrola skażeń promieniotwórczych (powierzchni np.: rąk, odzieży roboczej, stołów roboczych w inspektoratach sanitarno – epidemiologicznych, pracowniach radiobiologicznych oraz pracowniach medycyny nuklearnej, służach sanitarno- dozymetrycznych itd.)
- stwierdzenie zawartości substancji promieniotwórczych w tamponach używanych do odkażania powierzchni stołów roboczych lub sprzętu w pracowniach laboratoryjnych

ZESTAWY LICZNIKÓW G-M DO POMIARÓW PRÓBEK

Godnym uwagi zastosowaniem liczników G-M są specjalne zestawy liczników używane do pomiarów bardzo małych aktywności próbek, zawierających emiterzy promieniowania α lub β . Taki zestaw składa się z dwóch liczników: okienkowego, o średnicy zazwyczaj od 1 do 2 cali, z okienkiem o gęstości powierzchniowej jak w przypadku detektorów opisanych wyżej oraz specjalnego licznika osłonnego, pracującego w układzie antykoincydencyjnym z licznikiem okienkowym. Taki układ, uzupełniony o osłonę z czystego ołowiu umożliwia redukcję biegu własnego zestawu pomiarowego i pomiar bardzo małych aktywności próbek.

LITERATURA

[1] – *Współczesne metody detekcji promieniowania w zastosowaniach cywilnych i wojskowych – Ogólnopolskie seminarium Zamek Książ 2005*
– Adam Piliszczyk

[2] - http://pl.wikibooks.org/wiki/Wst%C4%99p_do_fizyki_j%C4%85dra_atomowego/Oddzia%C5%82ywanie_promieniowania_z_materi%C4%85

[3] - http://www.lip.pt/~patricia/FisicaDaRadiacao/Guide-GM_2013-2014.pdf

Daniel Jankowski

Polon – Alfa Sp. z o.o. Spółka komandytowa

ul. Glinki 155 85-861 Bydgoszcz

e-mail: polonalfa@polon-alfa.pl

II KONGRES ELEKTRYKI POLSKIEJ

3 - 6 września 2014

Gmach Główny Politechniki Warszawskiej

*Elektryka podstawą rozwoju cywilizacyjnego Polski
Elektronizacja i informatyzacja miarą nowoczesności*



**ENERGETYKA
ELEKTRONIKA
INFORMATYKA
ELEKTROTECHNIKA
TELEKOMUNIKACJA
ELEKTROENERGETYKA**

Honorowy Patronat
Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej
Bronisława Komorowskiego



**Największe wydarzenie w branży elektrycznej w roku 2014
Zostań wystawcą, uczestnikiem, słuchaczem, sponsorem
— bądź wśród nas**



INFORMACJE
22 556 43 09

Biurowy Kongresu
Stowarzyszenie Elektryków Polskich
www.kongres-sep.pl
biuro@kongres-sep.pl



Krzysztof Rzymkowski

Przerób wypalonego paliwa

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono podstawowe informacje o technologii przerobu paliwa, jej rozwoju i modyfikacjach, o organizacji zakładów przerobu i międzynarodowych inicjatywach dotyczących bezpieczeństwa.

Abstract: The publication presents basic information on the technology of nuclear fuel reprocessing, its development and modification, characteristic features of fuel reprocessing plant and international nuclear safety initiatives.

Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną przy jednoczesnym dążeniu do jak najwydajniejszego wykorzystania naturalnych surowców i ochronie środowiska przy jej wytwarzaniu, wymaga poszukiwania najlepszych rozwiązań. Konieczność oszczędzania naturalnych zasobów materiałów używanych w energetyce - głównie węgla, gazu, ropy zainicjowała próby wykorzystania do wytwarzania energii elektrycznej energii słonecznej, wiatru a nawet pływów morskich. Nie wszystkie rozwiązania okazały się uzasadnione ekonomicznie i nie mogą, za wyjątkiem hydroelektrowni, dostarczać energii elektrycznej w sposób ciągły. Dodatkowym powodem szukania nowych rozwiązań jest również chęć uniezależnienia się od kopalnych nośników energii.

Jednym z najmniej szkodzących środowisku i najekonomiczniejszych sposobów wytwarzania energii elektrycznej jest energetyka jądrowa. Rozwój energetyki jądrowej jest utrudniony ponieważ, każda działalność dotycząca techniki jądrowej wywołuje negatywne emocje i jest kojarzona zwykle z tragicznymi skutkami użycia broni jądrowej i wyolbrzymianymi skutkami awarii jądrowych. Negatywny obraz energetyki jądrowej jest dodatkowo podtrzymywany przez media przedstawiające każde zdarzenie na terenie obiektu jądrowego jako awarię jądrową.

Dodatkowym powodem lęków jest również promieniowanie związane z techniką jądrową – dominują tu obawy związane z transportem paliwa, składowaniem odpadów, oraz, nierzadko, z samą obecnością obiektu jądrowego na danym terenie.

Energetyka jądrowa opiera się na możliwie jak najwydajniejszym wykorzystaniu uranu jako źródła energii. Uran jest pierwiastkiem powszechnie występującym w skorupie ziemskiej. Charakterystyczną cechą energetyki jądrowej jest cykl paliwowy polegający na zamkniętym obiegu paliwa uranowego, przetwarzanego po jego wykorzystaniu w reaktorze do postaci umożliwiającej powtórne wykorzystanie jego elementów do wytwarzania energii elektrycznej. Pełny cykl paliwowy stanowi ciąg operacji obejmujących wydobywanie uranu, jego wzbogacanie, produkcję paliwa i jego wykorzystanie w elektrowni, przechowywanie wypalonego paliwa, przerób, składowanie odpadów. Cykl ten jest realizowany w niezależnych zakładach tworzących przemysł jądrowy.

Są dwa rodzaje cyklu paliwowego: cykl zamknięty i otwarty. Różnica między zamkniętym i otwartym cyklem paliwowym polega na sposobie wykorzystania paliwa po jego użyciu w reaktorze.

W cyklu zamkniętym paliwo jest poddawane (przerobowi) recyklingowi

W cyklu otwartym wypalone paliwo traktuje się jako odpad.

Wypalone w reaktorze paliwo jest wysoko radioaktywne i przed dalszym przetwarzaniem w zakładach przerobu paliwa

(tzw. cykl zamknięty) musi być „schładzane” (czego nie należy mylić z chłodzeniem reaktora lub paliwa). Schładzanie polega na wieloletnim przechowywaniu w basenie wypalonego paliwa. W tym czasie krótko życiowe promieniotwórcze izotopy ulegają znacznej redukcji co ułatwia transport i dalszą obróbkę wypalonego paliwa. Paliwo pracujące w reaktorze ulega również bardzo znacznemu rozgrzaniu. Wysoką temperaturę może ono utrzymywać przez długi okres czasu – określa się, że nawet po upływie 10 lat 1 tona wypalonego paliwa nadal wydziela około 1 kW ciepła. W związku z tym przed poddaniem go dalszym procesom musi ono zostać wychłodzone w sensie fizycznym.

Składowiska tymczasowe przeznaczone do schładzania wypalonego paliwa są najczęściej lokalizowane w pobliżu reaktora lub innych miejscach na terenie elektrowni. Alternatywą jest przechowywanie całych zestawów paliwowych w magazynach wypalonego paliwa (tzw. cykl otwarty) – tak składowane paliwo (**składowiska ostateczne** (np. wyrobiska kopalniane)) nie jest już wykorzystywane.

W cyklu zamkniętym w procesie przerobu paliwa odzyskiwane są przede wszystkim dwa pierwiastki - uran i pluton - które mogą być następnie użyte do produkcji nowego paliwa. W takim wypadku około 97 % wypalonego paliwa wraca do elektrowni, a tylko 3% stanowi odpady wysokoaktywne. Proces przerobu umożliwia również wyodrębnić inne użyteczne pierwiastki np. metale ziem rzadkich, Cs¹³⁷, Te⁹⁹ (otrzymywany praktycznie tylko tą drogą), Sr¹⁴⁷. Są one zagęszczane i magazynowane. Odpady wysokoaktywne są składowane w specjalnie wyznaczonych i przystosowanych do tego magazynach centralnych dla całego kraju.

Należy podkreślić że wpływ zjawiska promieniowania, w czasie normalnej pracy zakładów związanych z energetyką jądrową jest pomijalny - pomiary tego promieniowania w ich pobliżu nie wykazują istotnej zmiany w stosunku do naturalnego promieniowania tła. Większy wpływ na środowisko mają natomiast inne czynniki, wspólne dla wszystkich gałęzi związanych energetyką np. budowa nowego obiektu wymaga przygotowania obszaru o powierzchni około 2 km² włączając w to powstanie nowych dróg, budynków, przystosowanie zbiorników wodnych, tam, ujęć wodnych. Powoduje to zwiększenie natężenia ruchu na istniejących już drogach, hałasu, wycinkę drzew, migracji zwierząt itp. Dodatkowym utrudnieniem może być konieczność prowadzenia archeologicznych i innych prac pomocniczych.

ODZYSKIWANIE NIEWYKORZYSTANYCH PIERWIASTKÓW W PROCESIE PRZEROBU

Pierwsze prace związane z przerobem paliwa są ściśle związane z opracowywaniem technologii pozyskiwania plutonu potrzebnego do budowy broni jądrowej. Pluton został wykryty w czasie eksperymentów przeprowadzanych w na uniwersytecie kalifornijskim Berkeley w latach 1940 -1941 w wyniku bombardowania tarczy uranowej deuterem. Badając właściwości chemiczne i fizyczne nowo odkrytego pierwiastka zwrócono uwagę możliwość uwalniania ogromnej energii jądrowej. Zapotrzebowanie na materiał jądrowy, który mógłby być wykorzystany do budowy broni jądrowej spowodowało uruchomienie prac pozwalających wyodrębnić użyteczny do tego celu pluton. Początkowo niewielkie jego ilości uzyskiwano przy użyciu cyklotronu. W 1943 zaproponowano różne metody wydzielenia Pu²³⁹ z wypalonego paliwa uranowego. Do produkcji paliwa wykorzystywano uran naturalny i aby osiągnąć możliwie dużą ilość plutonu proces wypalania paliwa był skrócony. Mimo to jego ilość była niewielka. W Narodowym Laboratorium w Oak Ridge (*Oak Ridge National Laboratory –ORNL*) w Stanach Zjednoczonych opracowano i przetestowano metodę przemysłowej ekstrakcji plutonu w tzw. procesie fosforano bizmutowym polegającym na wielokrotnym wytrącaniu, oczyszczaniu i destylacji. Wypalone paliwo uranowe było rozpuszczane w kwasie azotowym. Następnie dodawano kwas siarkowy powstrzymujący wytrącanie się uranu oraz dodawano fosforan bizmutu reagujący z plutonem. Z powstałego fosforanu plutonu po szeregu dalszych procesach wyodrębniano pluton. Opracowana metoda pozwalała na uzyskanie znacznej większej ilości plutonu niż przy użyciu cyklotronu. Wykorzystano ją 1943 w ośrodku badań jądrowych Hanford (Stan Waszyngton) w ramach projektu Manhattan (*Manhattan Project*) budowy bomby jądrowej. Wadą tej metody jest niewydolność odzyskiwania uranu.

Dążąc do ulepszenia metody odzyskiwanych izotopów, zwiększenia jej wydajności, dokładności, zmniejszenia ilości zanieczyszczeń w 1949 roku w Narodowym Laboratorium w Oak Ridge wykorzystano metodę ekstrakcji rozpuszczalnikowej opracowaną H.H. Andresona i L.B. Aspreya z Metalurgicznego Laboratorium Uniwersytetu Chicago w ramach projektu Manhattan.



Rysunek 1. Ośrodek badań jądrowych Hanford

Autor: United States Department of Energy Zdjęcie z Wikimedia Commons.

Przerób paliwa umożliwia nie tylko odzyskanie pierwiastków, które mogą być powtórnie wykorzystane w reaktorze ale również pozwala na wyizolowanie innych odpadów powstałych przy demontażu zestawów paliwowych.

Przerób paliwa pozwalający na wydzielenie użytecznych dla produkcji nowego paliwa elementów jest przeprowadzany w następujących etapach:

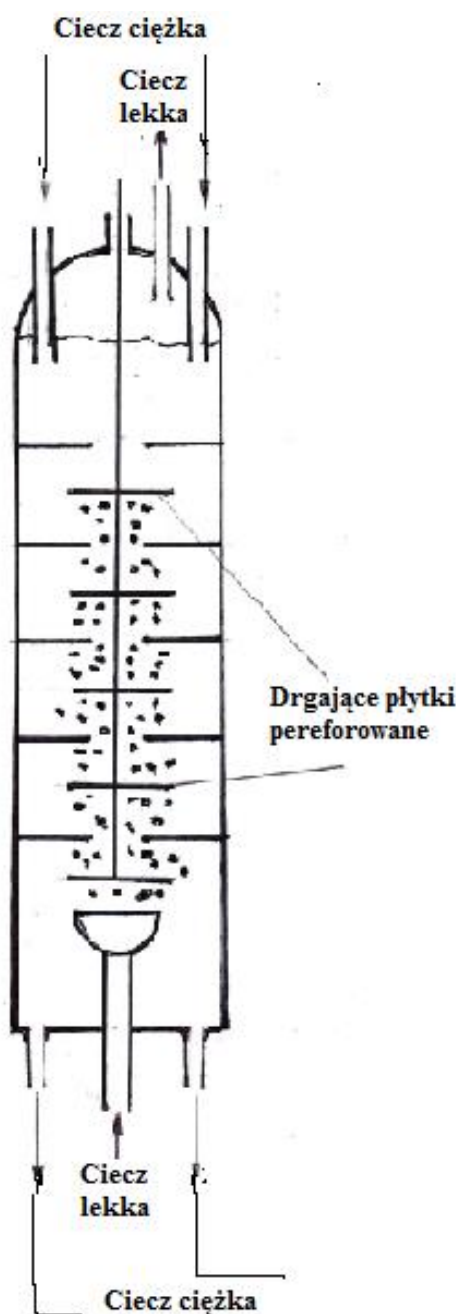
- *wydobycie materiału jądrowego z zestawów paliwowych (pozbycie się elementów konstrukcyjnych, koszułek cyrkonowych itd.)*
- *odseparowanie użytecznych dla dalszych celów izotopów od innych traktowanych jako odpady*
- *wyselekcjonowanie grup izotopów wykorzystywanych do produkcji paliwa*
- *oczyszczenie i wytworzenie potrzebnych związków chemicznych zawierających izotopy umożliwiające powstanie reakcji łańcuchowej*
- *oddzielenie i przygotowanie (zageszczenie) do składowania produktów odpadowych*

METODA PRZEROBU PALIWA WYKORZYSTUJĄCA EKSTRAKCJĘ ROZPUSZCZALNIKOWĄ (SOLVENT EXTRACTION)

Ekstrakcja polega wyodrębnianiu składnika lub kilku składników z ich mieszaniny. Ekstrakcja rozpuszczalnikowa zwana również ekstrakcją ciecz – ciecz polega na wyodrębnianiu składników z mieszaniny cieczy. Tego typu proces stanowi podstawę większości współczesnych metod odzyskiwania uranu, plutonu i innych pierwiastków z wypalonego paliwa jądrowego.

W uproszczeniu w ekstrakcji rozpuszczalnikowej biorą udział dwie nie mieszające wzajemnie się ciecz (tzn. jedna nie rozpuszcza się drugiej). Może to być np. woda stanowiąca tzw. rozpuszczalnik pierwotny i jakiś rozpuszczalnik organiczny tzw. rozpuszczalnik wtórny (ekstrahent). Rozpuszczalnik wtórny powinien posiadać właściwość selektywnego pochłaniania wyodrębnianej substancji rozpuszczanej. Do roztworu w obu zmieszanych cieczy dodaje się substancję zawierającą materiały, które mają być wyodrębnione. W wyniku zachodzących reakcji po osiągnięciu stanu równowagi rozpuszczalnik pierwotny będzie zawierał mniej wyodrębnianej substancji (tzw. rafinat) w porównaniu do ilości pochłoniętej substancji zawartej w rozpuszczalniku wtórnym (ekstrahencie). Po oddzieleniu ekstrahentu, za pomocą specjalistycznych separatorów, wyodrębnianie rozpuszczonej substancji można przeprowadzać różnymi metodami np. drogą destylacji. Efektywność procesu zależy od wielu czynników przede wszystkim od rodzaju rozpuszczalników, wzajemnej powierzchni wymiany (rozpuszczalniki są niemieszające się) temperatury, wielokrotności powtarzania niektórych operacji, dodawania substancji przyspieszających wymianę jonową itd.

Rysunek 2 Zasada działania kolumny ekstrakcyjnej



Zasada działania kolumny do ekstrakcji ciągłej z perforowanymi płytkami drgającymi

Ze względu na różne właściwości chemiczne uranu i plutonu podobne procesy są wykorzystywane do ich wzajemnej separacji.

Proces ekstrakcji rozpuszczalnikowej wykorzystywany w zakładach przerobu paliwa jest procesem ciągłym przeprowadzonym w aparatach kolumnowych w których wzajemna powierzchnia wymiany substancji zawartej w obu rozpuszczalnikach zależy od wymiarów (głównie wysokości) kolumny i czasu przepływu cieczy przez kolumnę. Najczęściej ciecz biorące udział w reakcji są doprowadzane do z dwóch przeciwnych końców kolumny tworząc w jej wnętrzu dwa strumienie płynące w przeciwnych kierunkach. Wykorzystuje się siły grawitacji wprowadzając cięższy roztwór od góry. Lżejszy roztwór rozproszony do postaci kropeł prowadzony jest od dołu. W celu zapobieżenia łączenia się kropeł, co jest szczególnie istotne przy wysokich kolumnach, stosowane są dodatkowe mechaniczne urządzenia rozpraszające ułatwiające dodatkowo wzajemne mieszanie cieczy. Innym często stosowanym rozwiązaniem jest wywoływanie pulsacji w kolumnie sprężonym powietrzem.

Do ekstrakcji rozpuszczalnikowej stosowane są również urządzenia o odmiennej konstrukcji. Takim urządzeniem jest zbiornik z mieszadłem w którym dokonuje się mieszanie, a po jego zakończeniu następuje separacja albo bezpośrednio w zbiorniku albo po wyprowadzeniu mieszaniny w oddzielnym separatorze. Jeszcze innym rozwiązaniem jest zastosowanie wirówki, której zaletą jest znaczne skrócenie czasu mieszania składników ekstrakcji, co jest szczególnie istotne przy wyodrębnianiu uranu i plutonu z wysokoaktywnych związków mieszanin w których użyto substancji organicznych ulegających degradacji pod wpływem promieniowania.

Zastosowana po raz pierwszy w Narodowym Laboratorium Oak Ridge metoda ekstrakcji rozpuszczalnikowej znana pod nazwą **PUREX** (*Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction*) jest jedną z najważniejszych i najszerszej stosowanych do dziś metod odzyskiwania uranu i plutonu z wypalonego paliwa jądrowego i jest powszechnie uznanym standardem. Jej istotną zaletą z punktu widzenia układu o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej umożliwiającą jej rozpowszechnienie jest fakt, że odzyskany tą metodą pluton zawiera zbyt dużo izotopu Pu^{240} co uniemożliwia jego użycie do produkcji broni jądrowej.

W wyniku modyfikacji procesu PUREX powstało szereg jego wariantów umożliwiających precyzyjniejsze odzyskiwanie różnych izotopów głównie w celu ułatwienia gospodarki odpadami radioaktywnymi, zmniejszenia ich objętości, selekcji pod względem poziomu promieniowania. Precyzyjne wydzielenie niektórych izotopów pozwala uzyskać większą czystość materiału przeznaczonego do produkcji nowego paliwa.

UREX (*Uranium EXtraction*) jest zmodyfikowanym procesem PUREX przystosowanym przede wszystkim do odzyskiwania uranu z pominięciem plutonu. Zmiana polega na dodaniu środków redukujących w pierwszym stopniu ekstrakcji. Proces pozwala wydobyć z wypalonego paliwa około 99,9 % uranu i 95% technetu separując oba izotopy od innych produktów rozpadu i aktywności. (Dodanie w procesie kwasu acetohydroksamowego (AHA) obniża znacznie możliwość ekstrakcji plutonu i neptunu zmniejszając możliwość ich użycia do produkcji broni jądrowej.)

Innym pochodnym procesu PUREX jest **TRUEX** (*TRans Uranic EXtraction*). Jego głównym przeznaczeniem jest wyodrębnianie metali transuranowych głównie ameryku (Am) i kiuru (Cm) głównie w celu obniżenia promieniowania α w odpadach radioaktywnych.

Kolejnym procesem alternatywnym do TRUEX jest **DIAMEX** (*DIAMide EXtraction*) pozwalającym uniknąć powstawania odpadów zawierających węgiel, wodór, azot czy tlen, które przy spalaniu tworzą związków mogące być przyczyną tzw. kwaśnych deszczy.

Proces **SANEX** (*Selective ActiNide EXtraction*) będący uzupełnieniem TRUEX i DIAMEX umożliwia usuwanie lantanowców i niektórych aktywności w procesie PUREX szczególnie z tych partii odzyskanego materiału która jest przygotowywana do produkcji nowego paliwa, ponieważ te pierwiastki mogą obniżyć jego wydajność. Proces jest w trakcie badań.

Opracowany w Rosji i Czechach proces **UNEX** (*Universal EXtraction*) jest procesem uniwersalnym usuwającym większość zbędnych a czasem szkodliwych dla nowego paliwa pierwiastków pozostałych w końcowym etapie odzyskiwania uranu i plutonu z wypalonego paliwa.

Mimo wielu zalet stosowanych obecnie metod ekstrakcji opartych o proces PUREX prowadzone są rozległe badania nad innymi metodami wykorzystującymi np. wymianę jonową, metody wysoko temperaturowe. Innym kierunkiem poszukiwań jest znalezienie takich metod przerobu wypalonego paliwa by mogło być ono przetwarzane na terenie elektrowni unikając w ten sposób problemów związanych z transportem. Problem lepszego wykorzystania paliwa i jego przerobu jest ściśle powiązany z konstrukcją reaktorów IV generacji.

Bardzo wiele państw rozbudowując swoją energetykę jądrową zdecydowało się na budowę własnych zakładów przerobu paliwa. Niektóre z nich zaczęły budowę od małych pilotujących zakładów jak np. w Japonii TRP (*Tokai Reprocessing Plant*) z zamiarem wybudowania w miarę narastających potrzeb dużych zakładów przemysłowych. W 1993 w Japonii w Prefekturze Aomori rozpoczęto budowę zakładów przerobu, której zakończenie i uruchomienie przewidziano na koniec 2014 roku.

Obecnie w wielu krajach o rozwiniętej energetyce jądrowej pracuje około 10 zakładów przerobu paliwa. Głównie we Francji, Indiach, Rosji, Wielkiej Brytanii, Japonii, Chinach, Pakistanie. Część z nich wykorzystywana jest do celów militarnych (Indie, Pakistan, Rosja, Francja). W ostatnich latach wiele zakładów zostało wyłączonych i nawet likwidowanych: Niemcy, Belgia Włochy, Stany Zjednoczone, Hiszpania, Tajwan. Powodem rezygnacji było odejście od rozwijania energetyki jądrowej (Włochy, Niemcy), niedoszacowanie wpływu na środowisko (Hiszpania), zastosowanie otwartego cyklu paliwowego (Stany Zjednoczone), względy polityczne (Tajwan, Belgia). Należy podkreślić, że przerób paliwa jest procesem kosztownym i staje się opłacalny dopiero przy bardzo rozwiniętej energetyce jądrowej np. Japonia, Francja. Przerób paliwa może być czasem wymuszony względami polityki zbrojeniowej (Indie, Pakistan).

ZAKŁADY PRZEROBU PALIWA

Wymagania dotyczące ochrony środowiska przy projektowaniu kompleksu przemysłowego jakim są zakłady przerobu muszą uwzględniać prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk destrukcyjnych (silnych wiatrów, opadów, trzęsień ziemi), rozkład cieków wodnych, sposobów dostarczania energii, składowania odpadów toksycznych oraz spełniać warunki bezpieczeństwa stosowanych w przemyśle chemicznym.

Zakład przerobu paliwa jest dużym zakładem przemysłowym zajmującym znaczną powierzchnię przekraczającą nawet 10 km². W rzeczywistości na tym terenie znajduje się kilka zakładów. Najbardziej rozbudowany mieszczący się w jednym budynku jest zakład w którym przeprowadzany jest proces przerobu nazywany często Budynkiem Przerobu. Wynika to między innymi z chęci ograniczenia transportu wysoko aktywnych materiałów jądrowych na terenie obiektu. Materiał - wypalone paliwo jest dostarczane z przechowalników elektrowni jądrowej do magazynu w budynku przerobu. Następnie po wstępnym przygotowaniu jest poddawane rozległej obróbce chemicznej w wyniku czego powstają produkty w płynnej postaci wymagające dalszych procesów (roztwory zawierające uran, pluton i odpady). W Budynku Przerobu znajduje się również laboratorium analityczne i oczywiście sterownia. Materiał z elektrowni dostarczany jest w specjalnych pojemnikach kontenerach wymagających do ich przenoszenia dźwigów. Kontenery muszą być opróżniane w basenie będącym magazynem paliwa. Po rozładowaniu muszą być one dekontaminowane. Kolejnym etapem jest demontaż kaset paliwowych, który jest przeprowadzany przy pomocy zdalnie sterowanych przyrządów. W następnym etapie pręty paliwowe z kaset są rozdrabniane i rozpuszczane w kwasie azotowym. Operacje są przeprowadzane automatycznie. W obu etapach powstają odpady stałe, które są transportowane do innego pomieszczenia przeznaczonego do ich przygotowania do transportu i składowania w przechowalnikach odpadów wysokoaktywnych. Odpady stałe są ładowane do specjalnych pojemników i kontenerów transportowych. Przed opuszczeniem budynku muszą być poddane dekontaminacji. Pomieszczenie jest izolowane (podobnie jak i kolejne pomieszczenie w których przeprowadzany jest proces ekstrakcji) by promieniowanie jądrowe było wytłumione i nie wpływało podniesienie tła na zewnątrz. Powstałe w procesie roztwory są poddawane dalszym procesom polegającym na filtracji, oczyszczaniu, wytrącaniu, zagęszczaniu aż do uzyskania uranu i plutonu w postaci tlenków. Odpady płynne są oczyszczane, odparowywane, zagęszczane tak by jak najbardziej zmniejszyć ich objętość. Początkowe stadia procesu ekstrakcji są wykonywane przez urządzenia automatyczne lub sterowane zdalnie. W końcowej fazie poziom promieniowania jest na tyle niski, że nie są stosowane specjalne zabezpieczenia. Wszystkie przeprowadzane czynności są kontrolowane w sterowni. Wszystkie działania w strefie podwyższonego promieniowania wymagają zdalnego sterowania i automatycznej kontroli oraz stałej obserwacji. Część procesu gdzie poziom promieniowania nie jest wysoki może być kontrolowana bezpośrednio. Wszystkie pomieszczenia i nawet ważniejsze ich części są monitorowane przez systemy TV, mierniki promieniowania, temperatury, ciśnienia i nawet wilgotności. W la-



Rysunek 3. Rokkasho Japonia — Zakład przerobu paliwa jądrowego (六ヶ所 村核 燃料 再 処理 施設 Rokkasho Kakunenryō Saishori Shisetsu) w ilości 800 ton uranu lub 8 ton plutonu. rocznie . Autor: Wikimedia Commons

laboratorium analitycznym jest kilka niezależnych wyspecjalizowanych działów przeprowadzających na bieżąco kontrolę zgodności z przyjętymi standardami, analizy jakości - dokładność i precyzję metod analitycznych. Podział prac w laboratorium uwzględnia poziom promieniowania i związane z tym problemy pozyskiwania próbek do analizy i pomiarów. Budynek Przerobu jest największym budynkiem wymagającym dużej przestrzeni ze względu na rozmiar używanej aparatury, używania wielu dźwigów, zabezpieczenia przed promieniowaniem itd.

W budynku pomocniczym powiązany z Budynkiem Przerobu jest dział unieszkodliwiania gazów i odzyskiwania rozpuszczalników używanych w procesie ekstrakcji.

Innym ważnym laboratorium mieszczącym się na terenie zakładu przerobu jest Laboratorium Kontroli Środowiska, którego zadaniem jest śledzenie wpływu działalności zakładu na środowisko w jego pobliżu i na jego terenie ze szczególnym uwzględnieniem poziomu promieniowania i zanieczyszczeń chemicznych. Pozwala to również wykrywać ewentualne wycieki płynów, uwolnienia gazów itp.

W zakładach przerobu paliwa, ze względu na bardzo wysoki poziom promieniowania przetwarzanych materiałów, zwraca się szczególną uwagę na bezpieczeństwo pracy. Wysoki poziom promieniowania wymusza konieczność stosowania kilku barier chroniących pracowników przed bezpośrednim kontaktem z przerabianym materiałem. Wszystkie procesy są wykonywane automatycznie przez zdalnie sterowane urządzenia, które muszą być niezawodne, przystosowane do długotrwałej pracy ciągłej i odporne na różne rodzaje promieniowania. Są to unikalne konstrukcje opracowane specjalnie dla potrzeb danego zakładu przerobu i dostosowane do rodzaju przerabianego paliwa. Nawet jeśli procesy przerobu są identyczne w dwóch budowanych zakładach urządzenia są projektowane i wykonywane niezależnie. Przed uruchomieniem przeprowadzane są rozliczne testy co często powoduje opóźnienia ostatecznego terminu rozpoczęcia przerobu. Przy budowie muszą być uwzględnione nie tylko elementy dotyczące samego procesu przerobu ale również kompleksy różnych systemów zabezpieczeń np. przed atakami terrorystycznymi, zabezpieczenia przed nielegalnym uprowadzeniem materiałów, zabezpieczeń awaryjnych itd. Odrębnym bardzo problemem jest zaprojektowanie sposobu prowadzenia okresowych przeglądów technicznych, wymiany uszkodzonych elementów itp. Przewidywane są różne rozwiązania operacje wykonywane zdalnie przez urządzenia automatyczne bez udziału ludzi w strefie podwyższonego promieniowania, przegląd (wymiana) bezpośrednia przez pracowników co wymaga dodatkowych zabezpieczeń, dekontaminacji, usunięcia potencjalnych źródeł promieniowania, lub stosowania takich urządzeń które nie wymagają konserwacji i napraw. Muszą to być urządzenia niezwykle niezawodne lub takie, które można wymienić w całości zastępując je nowymi. W celu zapewnienia większej niezawodności część urządzeń biorących bezpośredni udział w procesie jest dublowana zapewniając możliwość natychmiastowego wyeliminowania uszkodzonego fragmentu procesu bez jego przerywania. Ponadto żadna substancja mająca według obecnej wiedzy szkodliwy wpływ na środowisko nie powinna się ulatniać i przenikać do środowiska w większym stopniu niż to dopuszczają wymogi krajowe i międzynarodowe. Promieniowanie jądrowe w pobliżu obiektów jądrowych a nawet na ich terenie nie przekracza promieniowania tła.

Każdy zakład przerobu posiada własne zakłady unieszkodliwiania odpadów wysoko i nisko aktywnych, zakład dekontaminacji zużytych lub uszkodzonych urządzeń, składowisko odpadów stałych. Odpady powstające w procesie przerobu paliwa są najbardziej uciążliwymi i najbardziej promieniotwórczymi odpadami powstającymi w całym cyklu paliwowym. Opady wysoko aktywne pochodzące z pierwszej fazy przerobu mogą zawierać pluton i inne pierwiastki ciężkie, jak i fragmenty koszulek cyrkonowych. Odpady średnio i nisko aktywne pochodzą z dalszych etapów technologicznych i również mogą zawierać pierwiastki ciężkie. Są one łączone one z innym ściekami pochodzącymi z basenów dekontaminacyjnych, pralni, przemywania filtrów i odparowywane lub po dodatkowym filtrowaniu uwalniane do środowiska. Odpady gazowe powstają w procesach odgazowywania w czasie cięcia rurek – koszulek cyrkonowych, które były prętami paliwowymi. Uwalniany w tym procesie jod i gazy szlachetne są odzyskiwane. Po przefiltrowaniu gazy odprowadza się do kominów. Najbardziej objętościowe w procesie przerobu są odpady stałe. Jest wiele technologii ich zabezpieczania. Najpopularniejsza polega na jak największym ich rozdrobnieniu i zmieszaniu ze sproszkowanym szkłem boro-krzemianowym i stopieniu, co zapobiega wymywaniu odpadów. Największym jednak problemem związanym ze składowaniem odpadów jest utylizacja zużytych skażonych narzędzi, lub dużych urządzeń, używanych bezpośrednio w procesie technologicznym odzyskiwania plutonu.



Rysunek 4. Przywóz wypalonego paliwa w konteinerze do zakładów Rokkasho Japonia (JNFL)

Na terenie zakładów przerobu paliwa mieszczą się ponadto systemy wspomaganie techniczne oczyszczalni wody dla użytku zakładu, kompresory, pompownie wieże chłodnicze, pralnia, itp.

Jak już wspomniano zakłady przerobu paliwa znajdują się w krajach o rozwiniętej energetyce jądrowej. W krajach wprowadzających energetykę jądrową rozważana jest budowa nowych. Aspekty ekonomiczne i konieczność ściślejszej kontroli materiałów nasuwa rozwiązanie polegające na ograniczeniu ilości zakładów przy takim wykorzystaniu już istniejących, by obsługiwały one potrzeby energetyki jądrowej w kilku krajach. Idea polega na tym, by po wykorzystaniu paliwa jądrowego wracało ono do producenta, który przekazywałby je do zakładów przerobu i prowadziłby jego rejestrację i kontrolę.

Propozycja takiego rozwiązania pod nazwą *Światowe Partnerstwo Energii Jądrowej GNEP (Global Nuclear Energy Partnership)* była częścią prezydenckiego programu jądrowego ogłoszonego w lutym 2006 roku przez Departament Energii Stanów Zjednoczonych i maju 2007 roku powołano pod tą nazwą organizację międzynarodową. W październiku 2009 roku postanowiono przekształcić GNEP w nową organizację pod nazwą Międzynarodowe Ramy Współpracy w zakresie Energii Jądrowej (*International Framework for Nuclear Energy Cooperation*). W IFNEC powołano dwie Grupy Robocze:

- I. *Rozwoju Infrastruktury, zajmującej się, szkoleniem, gospodarceą (zarządzanie) odpadami, budową małych reaktorów energetycznych, finansami, współpracą z organizacjami zrzeszającymi specjalistów z powyższych dziedzin.*
- II. *Usług Paliwowych, opracowująca zasady systemu „wypożyczenia” paliwa przez jego producenta producentom energii i zwrotu paliwa do przerobu wraz z jego kontrolą*

Cel działania I grupy nie budzi szczególnych emocji ponieważ IFNEC proponuje szersze wprowadzenie zmodyfikowanej wersji stosowanej obecnie technologii PUREX. Ponieważ końcowe produkty tych nowych technologii zawierają różne produkty rozpadu („domieszki” aktynowców, lantanowców), nadają się one do produkcji paliwa przeznaczonego do reaktorów powielających pozwalających na lepsze jego wykorzystanie przy produkcji energii elektrycznej. Jest to kolejny element programu IFNEC popierający badania i rozwój nowych technologii reaktorowych w tym Szybkich Reaktorów Powielających (*Fast Breeder Reactors*).

Cel działania II Grupy budzi dużo zastrzeżeń związanych z tym do kogo mają należeć powstałe odpady, czy jeżeli właścicielem jest::

1. *użytkownik, tzn. państwo używające paliwo wyprodukowane w innym kraju i wysyłające je do przerobu w jeszcze innym kraju – to powstałe odpady muszą być przetransportowane do użytkownika.*

2. dostawca paliwa, tzn. kraj dostarczający paliwo do użytkownika - to powstałe odpady niezależnie od tego, kto przerabia paliwo, wracają do dostawcy.
3. kraj, w którym utworzono centralne składowisko z uwagi na najkorzystniejsze warunki np. geologiczne - do którego będą przesyłane odpady pochodzące z kilku zakładów przerobu z innych krajów.

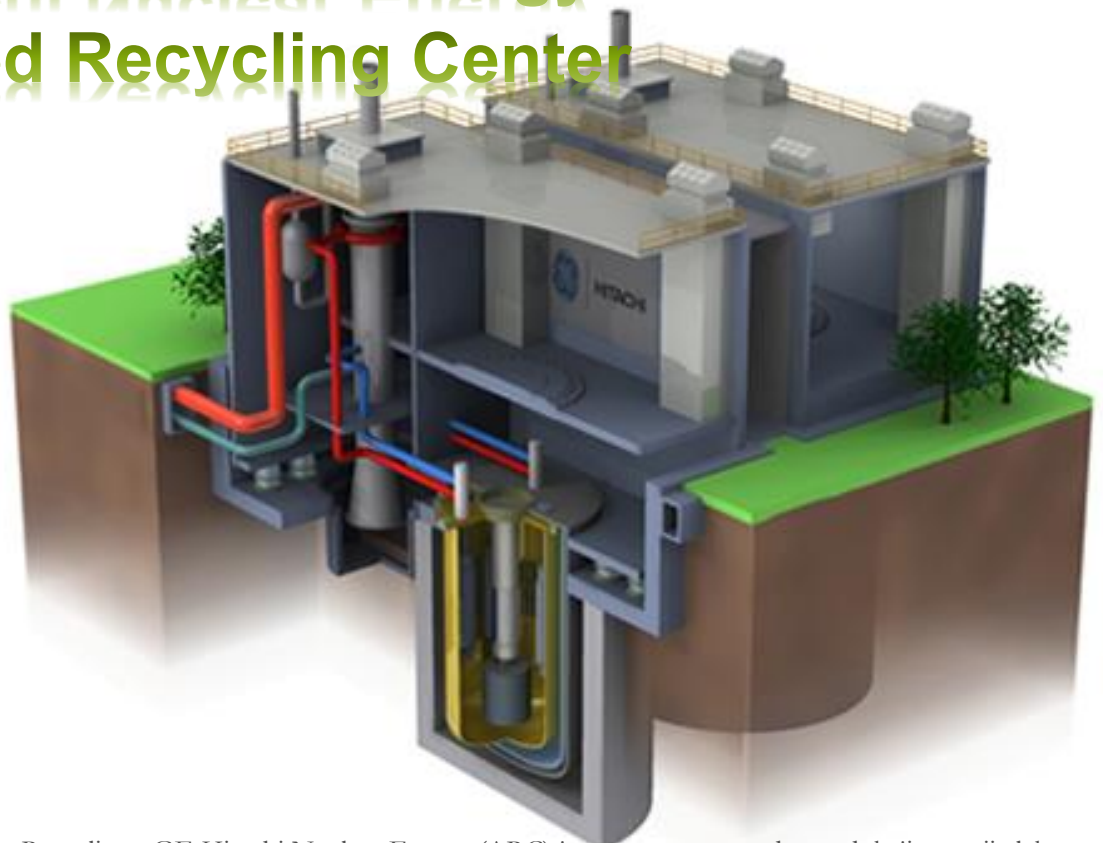
Oprócz wielu problemów o charakterze politycznym powstaje np. zagadnienie zapewnienia bezpieczeństwa licznych i zróżnicowanych transportów (na ogół międzynarodowych) np. świeżego paliwa z zakładów produkcji do oddalonych elektrowni usytuowanych w innych krajach i zwrótny transport wypalonego paliwa do zakładów przerobu w innym państwie. Rośnie ryzyko aktów terroryzmu związanych z transportem powstają problemy własności paliwa, odszkodowań itd.

Jednakże mimo tych różnych zastrzeżeń widoczna jest konieczność nawiązania form współpracy międzynarodowej np. ze względów ekonomicznych i ochrony środowiska.

LITERATURA

1. G.W.Dixon, A Carson, *Reprocessing plant characteristics IAEA 1985*
2. *Ekstrakcja* bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/144/sgpp_II4.pdf
3. *Ekstrakcja* <http://pl.wikipedia.org/wiki/Ekstrakcja>
4. *Nuclear reprocessing* en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_Reprocessing
5. *Nuclear Reprocessing IAEA-TEDOC 1587 2008*
6. *Glen T. Seaborg, The first nuclear reactor, the production of plutonium and its chemical extraction* www.iaea.org/Publications/.../04004701517su.pdf
7. *Grzegorz Jezierski, Energia jądrowa wczoraj i dziś WNT Warszawa 2005*
8. *Krzysztof Rzymkowski, Międzynarodowa kontrola materiałów jądrowych EKOATO 6 /wrzesień 2012* www.EKOATOM.com.pl

GE Hitachi Nuclear Energy Advanced Recycling Center (ARC)



Zaawansowane Centrum Recyklingu GE Hitachi Nuclear Energy (ARC) jest przeznaczone do produkcji energii elektrycznej poprzez recykling zużytego paliwa jądrowego (UNF) z obecnych elektrowni jądrowych i podczas wzbogacania uranu.

Łukasz Sokołowski, Piotr Mazgaj

Przegląd szwedzkiego przemysłu jądrowego

Abstrakt: Zgodnie z założeniami Programu Polskiej Energetyki Jądrowej przyjętego przez Radę Ministrów w styczniu br. [1], energia z atomu może stanowić nawet 11% udziału w polskich źródłach wytwórczych do 2030 roku. Przykładem udanego wdrożenia podobnego programu jest Szwecja, gdzie energetyka jądrowa stanowi stabilne i bezpieczne źródło energii elektrycznej, zaspokajając prawie 40% zapotrzebowania kraju. Obecnie kraj ten stoi przed nowymi wyzwaniami związanymi z modernizacją starzejących się jednostek wybudowanych w latach 70. i 80. ubiegłego wieku, których czas eksploatacji będzie wydłużony do 60 lat. W niniejszym artykule dokonano krótkiej analizy i opisu szwedzkiego przemysłu jądrowego odnosząc się m.in. do historii wdrożenia programu jądrowego, strukturze produkcji energii elektrycznej i jej zużycia, technologii elektrowni jądrowych i wyzwaniach, jakie wiążą się z modernizacją 10. pracujących w nich komercyjnych reaktorów lekkowodnych, głównych podmiotach działających w przemyśle jądrowym oraz czynnikach, które przyczyniły się do sukcesu szwedzkiego programu jądrowego.

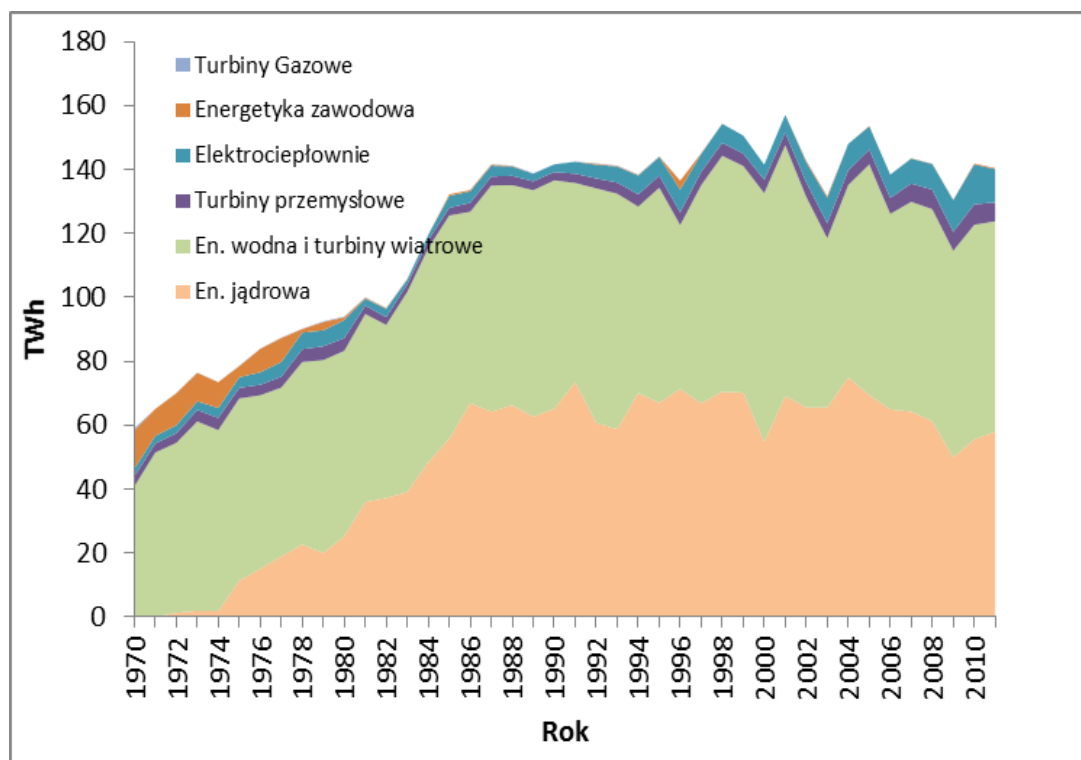
Abstract: According to Polish Nuclear Power Program [1] which was approved by the Polish government in January this year, the energy from nuclear reactors will provide up to 11% of the country's energy by 2030. Sweden is an example where the similar program was successfully introduced and today 40% of the energy production is generated by Nuclear Power Plants (NPPs). This Scandinavian country is facing new challenges related to retrofitting and upgrades of its ageing nuclear fleet, which were built and constructed in 1970' and 1980'. This will allow extending the lifetime of certain units for up to 60 years. The article conducts a brief analysis and description of the Swedish nuclear industry, focusing on its history, share changes of energy supply sources over last decades, installed capacity in NPPs and challenges related to retrofitting and uprate activities of 10 operating reactors, main parties of the industry, and factors which have contributed to the successful outcome of the Swedish nuclear program.

Tabela 1. Porównanie zużycia energii elektrycznej per capita (2011), PKB per capita (2012), emisja dwutlenku węgla CO₂ per capita (2009), udział energii jądrowej w całkowitym zużyciu energii (2011) między Szwecją, trzema najbogatszymi gospodarkami Unii Europejskiej (Niemiec, Francji, Zjednoczonego Królestwa), Polską oraz średnią państw OECD [3].

Kraj	Zużycie energii per capita (ton ekwiwalentu oleju) ¹⁾	PKB per capita (\$)	Emisja CO ₂ per capita (ton)	Udział energii jądrowej w całkowitym zużyciu energii (%)
Szwecja	5228,0	55246,6	4,7	39,3
Niemcy	3755,1	41514,2	9,0	17,8
Francja	3846,5	39771,8	5,6	79,4
Zjednoczone Królestwo	3011,9	38514,5	7,7	19,0
Polska	2663,2	12707,9	7,8	0
Średnia OECD	4246,6	36721,6	10,0	-

1) paliwo o kaloryczności 10000 kcal/kg

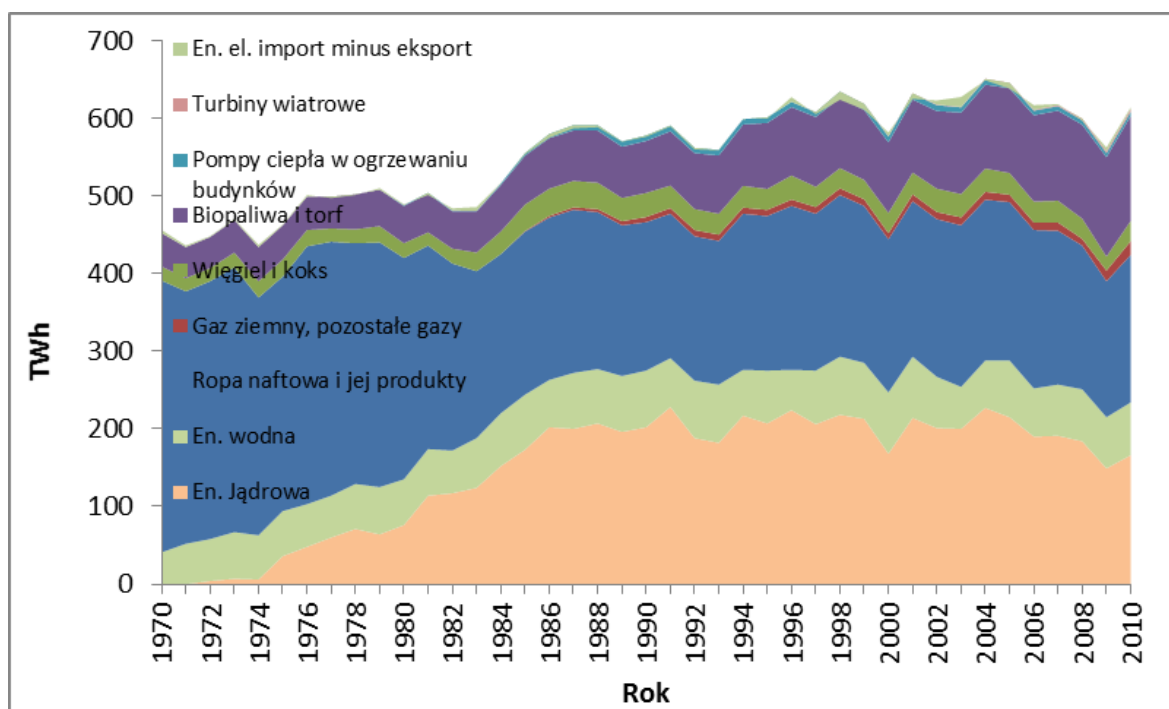
Szwecja jest liderem wielu rankingów Banku Światowego dotyczących m.in. energetyki, dobrobytu społeczeństwa oraz ochrony środowiska. Roczne zużycie energii na mieszkańca w Szwecji wyniosło w 2011 roku 5228 kg ekwiwalentu oleju (Tabela 1), co plasuje ten kraj na 8. miejscu rankingu w tej kategorii. Dla porównania Polska w tym samym zestawieniu zajmuje 28. miejsce z 2663 kg ekwiwalentu oleju. Na tak wysokie zużycie energii per capita w Szwecji składa się wysokie zużycie energii w gospodarstwach domowych i przemyśle, m.in. 51,6% zużycia energii w 2010 roku przypadło na przemysł papierniczy, 14,3% hutniczy, 6,1% chemiczny, 6% mechaniczny i 22% na pozostałe gałęzie przemysłu [2]. Nasz północny sąsiad jest również pionierem w pozostałych kategoriach, m.in. za sprawą wysokiego produktu krajowego brutto na osobę (PKB per capita) oraz niskiej emisji dwutlenku węgla CO₂ na osobę. PKB Szwecji na mieszkańca jest ponad czterokrotnie większy niż polski oraz o ponad 30% wyższy od PKB per capita najsilniejszej gospodarki Unii Europejskiej, Niemiec. Kolejną kolumną w Tabeli 1 jest emisja dwutlenku węgla CO₂. W 2009 roku roczna emisja dwutlenku węgla per capita była w Szwecji ponad dwukrotnie niższa od średniej wszystkich krajów OECD (Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju, 34 państwa). Niemcy oraz Wielka Brytania miały wyższy współczynnik emisji niż Szwecji i Francja. Tak niski współczynnik emisji CO₂ Szwecja zawdzięcza obecności m.in. energetyki jądrowej i wodnej.



Rysunek 1. Produkcja energii elektrycznej w zależności od rodzaju wytwarzania [1].

Szwecja jest liderem wspomnianych rankingów m.in. dzięki stabilnemu przemysłowi elektroenergetycznemu, w którego skład wchodzi przemysł jądrowy. Kraj ten nie posiada bogatych złóż surowców energetycznych jak ropa czy gaz, co wpłynęło na kierunek rozwoju programu energetycznego po wojnie. Na lata 70. ubiegłego wieku czego pochodną był

wzrost zużycia energii elektrycznej. Na Rys. 1. widać, że udział energetyki wodnej i turbin wiatrowych w całkowitej produkcji tego kraju praktycznie nie zmienił się od wspomnianych lat 70. To co można zaobserwować to gwałtowny wzrost udziału energetyki jądrowej od połowy lat siedemdziesiątych, czyli w okresie, w którym krytyczność osiągnął pierwszy szwedzki reaktor służący do komercyjnej produkcji energii elektrycznej w Szwecji (Oskarshamn 1, o mocy początkowej netto 440 MW_e, został podłączony do sieci elektrycznej w lutym 1972 roku). Udział energii z reaktorów jądrowych stabilizuje się w połowie lat 80., kiedy do sieci przyłączone zostały ostatnie, pobudowane w tej samej technologii reaktory wrzące, Oskarshamn 3 oraz Forsmark 3, o mocy odpowiednio 1063 i 1070 MW_e.



Rysunek 2. Całkowite zużycie energii w zależności od rodzaju wytwarzania [1].

Udział „niskoemisyjnych” źródeł wytwarzania, tj. energetyki jądrowej, turbin wiatrowych i wodnych wyniósł w 2011 roku 84,5%, w tym 39,3% pochodziło z samej energetyki jądrowej. Biorąc pod uwagę całkowite zużycie energii w Szwecji (Rys.2.), udział energetyki jądrowej, turbin wiatrowych i wodnych wyniósł w 2010 roku 38,7%, w tym 27% z samej energetyki jądrowej. W tym samym rankingu udział energii pochodzącej z paliw kopalnych wyniósł 38,1% całkowitego zużycia. Jeżeli chodzi o samą ropę naftową to jej udział w całkowitym bilansie zmniejszył się z 76,6% w 1970 roku do 30,9% w 2010 roku.

POCZĄTKI PROGRAMU JĄDROWEGO

Tuż po wojnie w 1945 roku rząd Szwecji zainicjował program mający na celu wyprodukowanie broni jądrowej oraz, w późniejszym okresie, pokojowe wykorzystanie energii z reakcji rozszczepienia. Program nazwano „Szwedzkim kierunkiem” („Den svenska linjen”).

W początkowej fazie programu nastąpił podział na grupy robocze pracujące na poszczególnych uczelniach w kraju, które prowadziły badania w dziedzinie: fizyki neutronów, fizyki reaktorów, chemii jądrowej, konstrukcji reaktorów oraz ochrony radiologicznej. Mimo zaawansowanych prac wiele podstawowych faktów i informacji potrzebnych do skonstruowania reaktora było nieznanymi szwedzkim konstruktorom, m.in. właściwości materiałowe zbiornika reaktora w strumieniu neutronów oraz szczegółowe dane eksperymentalne dotyczące przekroju czynnego paliwa. Szczególnie bez znajomości tego drugiego parametru szwedzcy naukowcy i technicy nie byli w stanie zaprojektować poprawnie rdzenia



Rysunek 3. Rozmieszczenie szwedzkich elektrowni jądrowych (Forsmark, Oskarshamn i Ringhals) i fabryki paliwa jądrowego (Västerås).

reaktora. Prace nad reaktorem przyspieszyły, gdy Skandynawowie uzyskali możliwość zapoznania się z dokumentacją techniczną reaktorów doświadczalnych zbudowanych w USA, w szczególności ciężkowodnego CP 3, w którym moderatorem był grafit.

W 1953 roku prezydent Stanów Zjednoczonych Dwight D. Eisenhowera w swoim przemówieniu „Atoms for Peace” (w wolnym tłumaczeniu „Atom w służbie pokoju”) przedstawił nowy kierunek w polityce USA, który zakładał pokojowe wykorzystanie energii jądrowej. Dzięki temu Szwecja otrzymała dostęp do wielu dokumentów i raportów technicznych z danymi z eksperymentów przeprowadzonych w USA. Dodatkowo, kraj ten mógł kupować technologię i materiały od Amerykanów, m.in. ciężką wodę (która była tańsza od norweskiej, pochodzącej z Rjukan). Niemniej jednak program współpracy z Amerykanami miał pewne obostrzenia związane z tym, iż nabywający technologię musiał zadeklarować, iż nie prowadzi badań w zakresie produkcji broni jądrowej. To kolidowało ze szwedzkim programem „Den svenska linjen” i w 1972 roku Szwecja definitywnie zamknęła program budowy broni jądrowej.

Pierwsze budowane w Szwecji reaktory były jednostkami ciężkowodnymi, wykorzystującymi ciężką wodę (D_2O) jako chłodziwo i moderator. Zaletą tego rozwiązania był niski koszt paliwa, gdyż takie rozwiązanie pozwalało na stosowanie tańszego paliwa z naturalnym uranem, nie wymagającego wykorzystania

drogiego procesu wzbogacania uranu. Poza tym reaktory ciężkowodne dostarczały materiałów rozszczepialnych potrzebnych do produkcji bomby jądrowej, co było jednym z założeń programu jądrowego. Wadą stosowania konstrukcji z ciężką wodą była i ciągle jest wysoka cena tego surowca.

Pierwszymi niekomercyjnymi reaktorami były R1 i R0/R2. Umieszczony 27 metrów pod powierzchnią ziemi na terenie kampusu uczelnianego Królewskiego Instytutu Technicznego w Sztokholmie reaktor doświadczalny R1 o mocy 50 MW_t (30 MW_t do 1969 roku), osiągnął krytyczność w 1954 i pracował aż do 2005 roku.

Reaktory R0 i R2 były również reaktorami doświadczalnymi. Pierwszy z wymienionych posiadał znikomą moc cieplną i pracował w Studsviku w latach 1959-1972 i wykorzystywano go głównie do testowania różnych konfiguracji rdzenia i testom poświęconym masie krytycznej w rdzeniu. R2 był natomiast reaktorem lekkowodnym o mocy 30 MW_t operującym w latach 1960-2005.

Pierwszym komercyjnym reaktorem jądrowym był R3 „Ågesta”. Położony był w mieście Huddinge, 15 km od centrum stolicy Szwecji, i posiadał moc 65 MW_t. Jego główną funkcją było dostarczanie energii w postaci ciepła, która była wykorzystywana w ciepłownictwie. Po dziewięciu latach eksploatacji reaktor został wyłączony z użytku. Jako główną przyczynę podaje się bliskość jednostki do dużych skupisk ludzkich (aglomeracji sztokholmskiej).

Ostatnim reaktorem z początkowej fazy szwedzkiego programu jądrowego był reaktor R4 „Marviken”. Mimo zaawansowanego stadium budowy, nigdy nie został ukończony. W latach 60-tych w USA uruchomiono pierwsze lekkowodne reaktory komercyjne, Yankee i Dresden 1. Te lekkowodne reaktory były konstrukcjami atrakcyjnymi ekonomicznie, tj. koszty inwestycyjne i eksploatacyjne były w ich przypadku niższe niż w przypadku reaktorów ciężkowodnych. Dodatkowo główny inwestor „Marviken” był zaangażowany w inne projekty związane z kupnem już gotowego reaktora lekkowodnego z USA, którego cena była atrakcyjna w porównaniu do reaktora konstruowanego w Szwecji. Na te wszystkie okoliczności nałożyła się jeszcze sprawa spadających cen gazu (w drugiej połowie lat 60 cena gazu ziemnego spadła o prawie 40%), co sprawiło że konstrukcja reaktora „Marviken” stała się jeszcze mniej opłacalna.

ERA DUŻYCH REAKTORÓW KOMERCYJNYCH

Obecnie w Szwecji działa 10 reaktorów jądrowych w tym: siedem wrzących BWR (Boiling Water Reactor) oraz trzy reaktory ciśnieniowe PWR (Pressurized Water Reactor) o parametrach pracy 155 bar(a) i 343 °C. Lokalizacja elektrowni jądrowych i fabryki paliwa do reaktorów w Västerås jest pokazana na Rys. 3.

Po wypadkach w elektrowni Three Mile Island w Harrisburgu w USA, odbyło się w Szwecji referendum, w wyniku którego do 2010 roku postanowiono wygasić wszystkie reaktory w kraju. Niemniej jednak szwedzki parlament w swoim dekreście wydanym w 2010 anulował uchwałę dotyczącą terminu wygaszenia reaktorów, co w praktyce oznacza iż mogą one pracować tak długo na ile pozwala ich stan techniczny.

Wszystkie reaktory rozpoczęły działalność operacyjną przed awarią reaktora w Czarnobylu (kwiecień 1986), wliczając w to zamknięte już bloki Barsebäck 1 i 2 (wygaszone w 1999 i 2005 roku). Główną przyczyną zamknięcia bloków Barsebäck były naciski rządu duńskiego, według którego elektrownia była zlokalizowana w zbyt bliskim sąsiedztwie stolicy Danii (reaktory położone były w odległości 25 km od Kopenhagi).

Elektrownia Forsmark, położona około 150 km na północ od stolicy kraju, dostarcza w sumie 3138 MW_e. Elektrownia Oskarshamn, zlokalizowana na wschodnim wybrzeżu 350 km na południe od Sztokholmu, dostarcza 2511 MW_e.

Tabela 2. Lista działających reaktorów w Szwecji [4].

Nazwa elektrowni (adres)	Nr bloku	Moc netto (MW _e)	Typ reaktora	Rozpoczęcie pracy operacyjnej (rok)	Dostawca technologii
Forsmark (Forsmark, Uppsala)	F1	978	BWR	1980	ASEA-Atom
	F2	990	BWR	1981	ASEA-Atom
	F3	1170	BWR	1985	ASEA-Atom
Oskarshamn (Oskarshamn, Kalmar)	O1	473	BWR	1972	ASEA-Atom
	O2	638	BWR	1975	ASEA-Atom
	O3	1400	BWR	1985	ASEA-Atom
Ringhals (Varberg, Halland)	R1	855	BWR	1976	ASEA-Atom
	R2	813	PWR	1975	Westinghouse
	R3	1051	PWR	1981	Westinghouse
	R4	935	PWR	1983	Westinghouse

Natomiast trzecia elektrownia Ringhals, usytuowana 60 km na południe od drugiego co do wielkości miasta Szwecji Göteborga, 3654 MW_e. To daje w sumie 9303 MW_e mocy netto w energetyce jądrowej. Wiele reaktorów przeszło proces modyfikacji i tzw. „power uprate”, tj. zwiększeniu mocy reaktora poprzez m.in. podniesienie parametrów pracy jak wielkość przepływu przez rdzeń czy modernizację turbiny. Moce netto funkcjonujących elektrowni są obecnie dla elektrowni Forsmark, Oskarshamn i Ringhals wyższe odpowiednio o 4,3%, 16,2% i 7,5% od pierwotnie dostępnych mocy.

Specyfikacja szwedzkich reaktorów pokazana jest w Tabeli 2.

Jednym z najstarszych bloków jest Oskarshamn 1, który zmaga się z problemami technicznymi związanymi z kruchością zbiornika reaktora. Oskarshamn 1 był pierwszą szwedzką konstrukcją reaktora i w czasie jego projektowania dane dotyczące wpływu strumienia neutronów na stal nie były znane szwedzkim konstruktorom. Dodatkowo reaktor charakteryzuje się dużą liczbą tzw. procedur SCRAM (ręczne awaryjne wyłączenie reaktora). Wynika to z tego, iż ten reaktor był, jako pierwszy komercyjny reaktor w kraju, operowany przez mało doświadczoną załogę. Ilość takich szybkich wyłączeń wpływa na żywotność reaktora, gdyż szybkie wyłączenie reaktora powodują duże gradienty temperatur w krótkim przedziale czasowym. Te gwałtowne zmiany temperatur powodują szybsze zmęczenie materiału co wpływa na jego żywotność. Liczba SCRAMów w pozostałych reaktorach jest na dużo niższym poziomie.

AKTORZY SZWEDZKIEGO RYNKU JĄDROWEGO

Największą firmą szwedzkiej branży jądrowej jest Vattenfall. Firma posiada większościowe udziały w elektrowni Forsmark, Ringhals i firmie KSU, która zajmuje się szkoleniem operatorów reaktorów jądrowych. Oprócz Vattenfall na rynku obecny jest również niemiecki Eon, który posiada 54,4% akcji w elektrowni Oskarshamn, a pozostałe udziały w tej elektrowni należą do fińskiego Fortum. Oprócz komercyjnych elektrowni jądrowych w Szwecji znajdują się inne duże firmy branży jądrowej. W mieście Vasterås znajduje się fabryka paliwa jądrowego Westinghouse, która w 2012 wyprodukowała łącznie 670 ton paliwa. Z tej liczby 470 ton przeznaczonych było do reaktorów PWR, 120 do BWR i 60 do rosyjskiego odpowiednika PWR, WWER (ros. wodno-wodny reaktor energetyczny).

Za gospodarkę odpadami jądrowymi odpowiada firma SKB AB, której akcjonariuszami są firmy Vattenfall, Forsmark, OKG i Eon. Działalność SKB finansowana jest z funduszu, zasilanego po części z przychodów pochodzących ze sprzedaży energii elektrycznej z elektrowni jądrowych. Z każdej sprzedanej kWh elektrownia odprowadza około 0,002 EUR do funduszu SKB.

Odpady krótkoterminowe ze szwedzkich instalacji jądrowych przechowywane są w specjalnych warunkach na składowisku krótkoterminowych odpadów jądrowych CLAB, które położone jest niedaleko elektrowni Oskarshamn.

Od 1988 odpady promieniotwórcze niskoaktywne przechowywane są na składowisku odpadów nisko- i średnioaktywnych (SFR) w pobliżu elektrowni Forsmark, którego pojemność to około 63000 m³ (roczne zapelnienie szacuje się na około 1000 m³).

Za zapewnienie bezpieczeństwa jądrowego, radiologicznego oraz działania zapobiegające rozprzestrzenianiu się materiałów rozszczepialnych, które mogą zostać wykorzystane do produkcji broni jądrowej jest odpowiedzialna Szwedzka Agencja Bezpieczeństwa Jądrowego (SSM). Obiekty jądrowe podlegają dozorowi na mocy ustawy SSMFS 2008:13 (przepisy SSM dotyczące komponentów mechanicznych w określonych instalacjach jądrowych). Zgodnie z tą ustawą właściciel instalacji jądrowej zobligowany jest do regularnych przeglądów instalacji przy pomocy firmy z odpowiednimi uprawnieniami. Rynek dozoru technicznego w Szwecji działa na zasadach komercyjnych i dozorem technicznym, nie tylko jądrowym, może zajmować się firma mająca uprawnienia nadane przez Szwedzką Radę Akredytacji i Oceny Zgodności (SWEDAC).

PODSUMOWANIE

Według raportu [5] wydarzenia z marca 2011. roku w japońskiej elektrowni jądrowej Fukushima, gdzie miała miejsce seria incydentów spowodowanych tsunami u wybrzeży wyspy Honsiu, nie miały wpływu na obawy Szwedów przed skażeniem radiologicznym. W 2012 roku na pytanie w badaniu opinii publicznej, jakich incydentów i katastrof obawiasz się najbardziej w ciągu najbliższych pięciu lat, 8% Szwedów odpowiedziało, że dużego wypadku związanego z transportem publicznych, 3% katastrofy tankowca na Morzu Bałtyckim i zagrożenia ze strony innego kraju oraz 2% przeciągających się dostaw energii elektrycznej, aktu terrorystycznego, braku zaopatrzenia w paliwo oraz katastrofy naturalnej. Po 1% przypadło na incydenty związane z przeciągającym się brakiem dostępu do Internetu i telewizji, masowej epidemii oraz wycieku materiałów radioaktywnych.

Szwedzki przemysł jądrowy stoi przed wyzwaniem związanym m.in. z procesem modernizacji reaktorów, które- mu poddane zostały bloki w elektrowni Forsmark i Ringhal. Dzięki obecnej i przyszłej modernizacji czas eksploatacji trzech bloków w F1, F2, F3 oraz R3 i R4 wydłużony zostanie do 60 lat [4]. Koszt modernizacji bloków to około 16 mld koron szwedzkich (1,87 mld EUR), które rozdysponowane zostaną w latach 2013-2017. Dodatkowo w 2010 roku Vattenfall złożył podanie do szwedzkiej agencji bezpieczeństwa jądrowego (SSM) o pozwolenie na zastąpienie jednego reaktora jądrowego jednym lub dwoma nowymi reaktorami. Według [6] budowa nowych bloków w elektrowni Forsmark i Oskarshamn może być problematyczna z punktu widzenia odbioru mocy za pomocą istniejącej infrastruktury sieciowej, więc najbardziej prawdopodobną lokalizacją na budowę nowych bloków jest elektrownia Ringhals.

Rząd szwedzki zdecydował również o budowie nowego końcowego podziemnego składowiska na wysokoaktywne odpady radiologiczne, które będzie położone w pobliżu elektrowni Forsmark i które ma być uruchomione do 2023 ro-

ku. Na składowisku będzie można składować do 12000 ton przepalonego paliwa (według oszacowań firmy SKB zapalenie składowiska nastąpi około 40 lat po jego otwarciu).

Według raportu jednej z wiodących firm energetycznych przy obecnej cenie energii elektrycznej inwestowanie w energetykę jest mało opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia. Najwyższą opłacalnością charakteryzują się inwestycje w węgiel i właśnie energetykę jądrową. Jednak zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju wymaga, co pokazuje przykład Szwecji, planowania w długoterminowym horyzoncie czasowym. Oprócz inwestycji w jednostki komercyjne Szwecja, poprzez firmę Vattenfall, bierze udział w finansowaniu reaktora Jules Horowitz Reactor (RJH) o mocy 100 MW_t, który powstaje we Francji w centrum badań jądrowych Cadarache i finansowany jest w ramach konsorcjum wielu krajów oraz instytucji. Dzięki tej inwestycji Szwedzi będą mieli dostęp do danych pomiarowych z reaktora RJH, dotyczących m.in. wpływu dużego strumienia neutronów na materiały znajdujące się w rdzeniu reaktora.

Szwedzki program jądrowy zapewnia stabilne i bezpieczne źródło energii już od kilku dziesięcioleci. Jego sukces był pochodną wielu sprzyjających czynników, z pośród których można wyróżnić następujące:

- *Dobra współpraca pomiędzy ośrodkami uniwersyteckimi a przemysłem i środowiskiem specjalistów (mistrzów, techników, robotników wykwalifikowanych) [7].*
- *Sprzyjająca koniunktura wynikająca po części z braku zniszczeń wojennych – w latach 1964-1972 szwedzka gospodarka była trzecią gospodarką świata w kategorii PKB per capita za Stanami Zjednoczonymi i Kuwejtem [3]. W rankingu Banku Światowego z 2012 kraj ten znajdował się na siódmym miejscu z 55247 dolarów amerykańskich na mieszkańca. Polska w tym samym rankingu zajęła 47. pozycję z 12708 dolarów na mieszkańca.*
- *Brak znaczących wysokokalorycznych surowców energetycznych, m.in. węgla i ropy naftowej, przez co Szwecja miała silną motywację do uniezależnienia się od importowanych surowców.*
- *Niska gęstość zaludnienia ułatwiająca lokalizację obiektów jądrowych – przy powierzchni 450 km² liczba ludności jest w przybliżeniu czterokrotnie niższa niż w Polsce.*
- *Pragmatyczne podejście, zdeterminowanie i ciągłość rządzącej frakcji politycznej – między 1936 a 1976 rokiem w skład rządu nieprzerwalnie wchodziła Szwedzka Socjaldemokratyczna Partia Pracy, SAP.*
- *Wysokie standardy etyki pracy, mające swoje odbicie m.in. w odbiorze, inspekcji, testowaniu kluczowych i newralgicznych komponentów obiektów jądrowych.*

Wymienione uwarunkowania i czynniki nie są jednak warunkiem koniecznym sukcesu programu jądrowego. Takie kraje jak Słowenia, Bułgaria i Rumunia przeprowadziły program budowy bloków jądrowych np. mimo mniej sprzyjających uwarunkowań ekonomicznych niż w Szwecji czy też w Polsce.

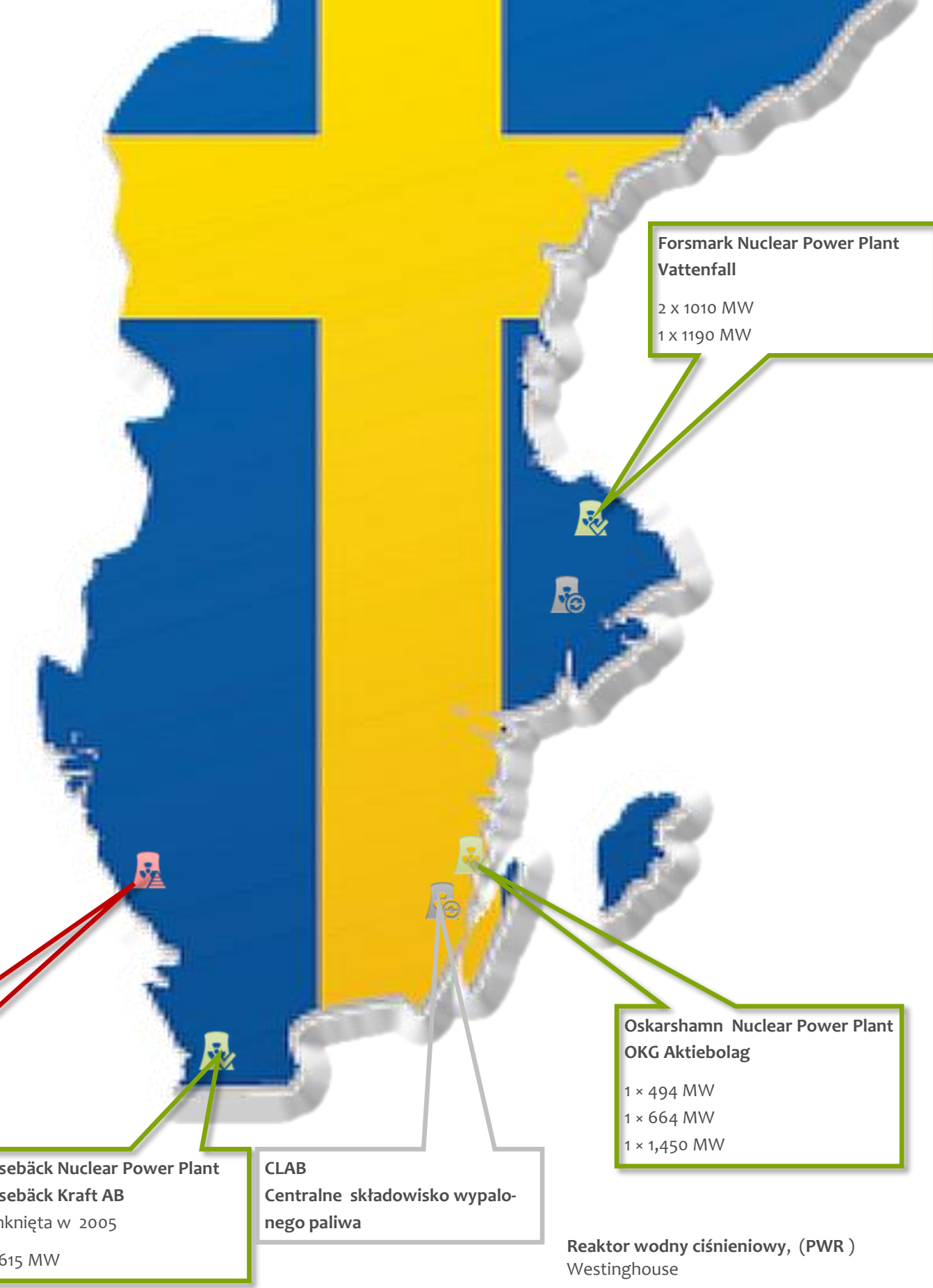
LITERATURA

- [1] Minister Gospodarki RP, "Program Polskiej energetyki jądrowej" Warszawa, styczeń 2014
- [2] Energy Markets Inspectorate, „The Swedish Electricity and Natural Gas 2011”, EI R2012:11, 2012.
- [3] World Bank, <http://data.worldbank.org>
- [4] Nuclear News 3/2013, American Nuclear Society.
- [5] Szwedzka Agencja ds. Ochrony i Mobilizacji Społeczeństwa (MSB), "Poglądy 2012: Badanie opinii publicznej dotyczące ochrony i mobilizacji społeczeństwa, oraz strategii odpowiednich agencji i obronności", 2012.
- [6] World Nuclear Association, "Nuclear Power in Sweden", <http://www.world-nuclear.org>, 2013.
- [7] M. Fjæstad, „Pierwszy szwedzki reaktor. Od planów przemysłowego zastosowania do pracy w służbie nauki”, SKI Rapport 01:1, 2001.
- [8] C-E. Wikdahl, „Reaktor Marviken – projekt badawczo-rozwojowy przemysłu i polityki, który szedł pod prąd”, SKI Rapport 2007:18, 2007.
- [9] B. Pershagen, „Light Water Reactor Safety”, Pergamon Press, 2008.

Ringhals Nuclear Power Plant Vattenfall

R1: 855 MW
R2: 866 MW
R3: 1051 MW
R4: 935 MW

Bar
Bar
zam
2 x



Barsebäck Nuclear Power Plant
Barsebäck Kraft AB
Wskazana w 2005
615 MW

CLAB
Centralne składowisko wypalnego paliwa

Oskarshamn Nuclear Power Plant
OKG Aktiebolag
1 x 494 MW
1 x 664 MW
1 x 1,450 MW

Reaktor wodny ciśnieniowy, (PWR)
Westinghouse

Reaktor wodny wrzący, (BWR)
ASEA Atom

Obiekty towarzyszące



AFRYKA

Wzbierający potęg

Jacek T. Kaniewski

ZNACZENIE KONTYNENTU AFRYKAŃSKIEGO Z PUNKTU WIDZENIA DOSTAW URANU DLA ROZWIJAJĄCEJ SIĘ ENERGETYKI JĄDROWEJ

W artykule zatytułowanym „Czy może zabraknąć uranu dla energetyki jądrowej”, który ukazał się numerze 7 EKOATOM’u, podjąłem próbę dostarczenia Czytelnikowi pozytywnej odpowiedzi na postawione w jego tytule pytanie. Między innymi ukazałem w nim na rys.2 wielkości względnego udziału 13 krajów świata w konwencjonalnych zasobach rozpoznanych uranu kwalifikujących się do wydobycia po kosztach < 130 USD/kgU. Pośród tych krajów znalazły się 3 kraje afrykańskie – Namibia, Niger i Republika Południowej Afryki (RPA) będące łącznie posiadaczami 18% zasobów światowych. Taki był obraz sytuacji na koniec 2010 r. w oparciu o dane raportu OECD/NEA - IAEA pt. Uranium 2011: Resources, Production and Demand (w potocznej nazwie Red Book 2011). Względny udział krajów tego kontynentu w światowych zasobach uranu jest jednak jeszcze większy przy określeniu górnej granicy kosztów wydobycia jako < 260 USD/kgU. Do tego zasoby rozpoznane w ciągu ostatnich trzech lat jeszcze wzrosły, a niektóre kraje posiadają także niekonwencjonalne zasoby uranu.

Uran jest w Afryce wydobywany od czasów II Wojny Światowej, ale zapowiedź „renesansu energetyki jądrowej” z 2003 roku spowodowała wzrost zainteresowania jego zasobami na tym kontynencie. Silny wzrost zapotrzebowania na energię w szybko rozwijających się krajach oraz wzrost cen uranu w okresie poprzedzającym katastrofę w Fukushima w 2011 r. spowodowały znaczne zwiększenie nakładów na jego poszukiwania i odpowiednią działalność rozwojową. Poszukiwania, które obejmowały wiele krajów afrykańskich, doprowadziły do odkrycia nowych obiecujących złóż uranu i do rozpoczęcia operacji przez nowe firmy, pochodzące także z krajów wcześniej na tym terenie nieobecnych.

Udział Afryki w światowym wydobyciu uranu w 2012 r. osiągnął poziom około 18,4%, zaś w zaspokajaniu zapotrzebowania Unii Europejskiej aż 23,1%. Tylko dwa kraje – Namibia i Niger wydobły w owym roku 9 158 ton uranu co stanowiło ponad 85% jego produkcji w Afryce, podczas gdy pozostałe 15% przypadło głównie na Malawi i w znacznie mniejszym stopniu na Republikę Południowej Afryki (RPA).

Opinie z 2013 r. podkreślają rosnące znaczenie Afryki, a szczególnie regionu południowo-afrykańskiego dla zaopatrzenia świata w uran. Wskazuje się na możliwości zwiększenia jego wydobycia w tym regionie z 6 628 ton (wobec 9 963 ton w całej Afryce) w 2010 r. nawet do 21 260 ton w 2016 r. W Namibii, RPA, Malawi, Zambii, Botswanie i Mozambiku rea-



lizuje się 13 nowych projektów o łącznej wartości 8,65 miliarda USD. Zaangażowanie dużych zagranicznych firm inwestujących w poszukiwania uranu i rozwój lub budowę nowych kopalń dotyczy także i innych państw afrykańskich.

Wszystko wskazuje na to, że wydobycie uranu w krajach afrykańskich będzie miało coraz większe znaczenie dla zaspokojenia potrzeb paliwowych rozwijającej się energetyki jądrowej na świecie. Zapotrzebowanie na uran w samej Afryce jest obecnie bardzo małe i dotyczy jedynie RPA. Jest to jedyny kraj afrykański, który eksploatuje reaktory energetyczne i myśli o rozbudowie energetyki jądrowej. W przypadku kilku innych krajów projekty wejścia na drogę jej budowy są jeszcze mało zaawansowane.

Artykuł ten ma na celu ukazanie Czytelnikowi przede wszystkim aktualnego stanu obecnych w Afryce zasobów uranu i wielkości oraz miejsc jego wydobycia, działań podejmowanych w celu podjęcia eksploatacji nowych złóż, specyficznych uwarunkowań dla działalności poszukiwawczej i wydobywczej, a także zagranicznych podmiotów zainteresowanych i aktywnych w tym obszarze działalności. Wyciągnięcie wniosków z zawartych w artykule informacji pozostawia się Czytelnikowi.

ZASOBY URANU W AFRYCE I JEGO DOTYCHCZASOWE WYDOBYCIE

W zamieszczonej niżej tabeli 1 przedstawiono wg Red Book 2011 wielkości zasobów uranu w poszczególnych krajach afrykańskich w podziale na kategorie wg klasyfikacji MAEA/NEA. Kategorie te opisano w przytoczonym we wstępie artykule z numeru 7 EKOATOM'u. Dla przypomnienia: RAR – zasoby racjonalnie pewne oraz IR – zasoby przypuszczalne składają się na zasoby rozpoznane, zaś UPR - zasoby prognozowane i USR – zasoby spekulatywne tworzą grupę zasobów nierozpoznanych.

W przypadku kilku krajów Red Book 2011 informuje o istnieniu „dodatkowych” zasobów rozpoznanych uranu, których nie zawarto w głównych zestawieniach i nie określono dla nich grup kosztowych (wg oszacowań kosztów wydobycia). Zasoby te ukazano w tabeli w szóstej kolumnie.

Podane w tabeli określenie stanu wydobycia „w planach” oznacza co najmniej uzyskanie zezwolenia na jego wydobycie, natomiast „możliwe” oznacza jedynie występowanie warunków niezbędnych do rozpoczęcia procesu prowadzącego do uruchomienia wydobycia. Pola niewypełnione należy rozumieć jako brak zasobów lub brak stosownych informacji.

Jak widać z powyższych zestawień, pod koniec 2010 r. w Afryce były znane pokaźne zasoby rozpoznane uranu, które wraz z zasobami „dodatkowymi” wynosiły co najmniej 1 624,1 tysięcy ton. Stanowiło to blisko 22,5% całych zasobów

Tabela 1. Zasoby uranu w Afryce w tysiącach ton wg OECD/NEA – IAEA Uranium 2011: Resources, Production and Demand oraz aktualne oceny stanu zaawansowania dotyczącego jego wydobycia Wytluszczonym drukiem zaznaczono kraje, w których uran wydobywano w 2013 r. W przypadku kilku krajów Red Book 2011 informuje o istnieniu „dodatkowych” zasobów rozpoznanych uranu, których nie zawarto w głównych zestawieniach i nie określono dla nich grup kosztowych (wg oszacowań kosztów wydobycia).

Kraj	RAR	IR	UPR	USR	„Dodatkowe”	Niekonwencjonalne		Oceny stanu wydobycia, luty 2014 r.
					(RAR + IR)	fosforyty	inne	
Algieria	19,5*	11,0						
Botswana	23,1*	59,1*						możliwe
Dem. Rep. Kongo	1,4*	1,3*						w przeszłości**
Egipt		1,9*			2,1	35 – 100		
Gabon	4,8*	1,0						w przeszłości**
Malawi	11,3	5,7						wstrzymane
Mali					8,6			możliwe
Maroko						> 8 500		
Mauretania					20,1			
Namibia	362,6	155,5*						obecnie
Niger	340,6	104,9	13,6*	51,3*				obecnie
RPA	192,2	179,2	110,3*	1112,9		tak	77 - 84	obecnie
Rep. Śr. Afr.	12,0*				36,5			w planach
Somalia	5,0*	2,6*						
Tanzania	30,1	15,6						w planach
Zambia	9,9*	5,7*	22*					w planach
Zimbabwe	1,4*			25*				
Łącznie	1 013,3	543,5	136,9	1211,2				
Łącznie	1 556,8		1 348,1		67,3	> 43 500	Wliczone w IR	

* - zasoby uranu należą wyłącznie lub w przeważającej części do najwyższej grupy kosztowej < 260 USD/kg U

** - niewykluczony jest powrót do wydobycia w przypadku odkrycia większych zasobów i stwierdzenia jego opłacalności.

światowych, które wg Red Book 2011 wynosiły wraz z zasobami „dodatkowymi” 7 220,7 tysięcy ton. Od czasu opracowania Red Book 2011 do chwili obecnej upłynęło około 3 lat i w tym czasie dokonano w krajach afrykańskich dalszych istotnych odkryć zasobów uranu. Ich wyniki przedstawia *tabela 2*.

Tabela 2. Zasoby rozpoznane uranu odkryte na kontynencie afrykańskim w latach 2011 – 2013, wg obliczeń autora.

Kraj	Nowo odkryte zasoby rozpoznane uranu, w tysiącach ton
Botswana	36,42
Egipt	Brak danych
Gwinea	19,50
Mali	8,85
Mauretania	9,00
Namibia	86,00 – 92,00
RPA	19,70
Tanzania	0,77
Zambia	14,27
RAZEM (co najmniej)	194,51 – 200,51

Prowadzone w ostatnich latach prace poszukiwawcze doprowadziły do znaczącego wzrostu zasobów rozpoznanych uranu, zarówno w krajach wydobywających go od dawna (szczególnie w Namibii) jak też w tych krajach, które dopiero niedawno stały się terenem intensywnych poszukiwań. Sumując liczby podane w tabelach 1 i 2 otrzymuje się wielkości zasobów w granicach około 1 819 – 1 825 tys. ton. Biorąc pod uwagę, że zmalały one w ciągu ostatnich trzech lat o ok. 30 000 ton wskutek prowadzonego wydobycia, **na koniec 2013 r. zasoby rozpoznane uranu w Afryce mogły być na poziomie 1 789 – 1 795 tys. ton.** W tabeli 2 nie ma mowy o Nigrze w którym o istnieniu nowoodkrytych zasobów w ramach projektu Daasa w ilości ponad 40 000 tU poinformowano w końcu stycznia 2014 r.

Oceniając aktualną wielkość zasobów rozpoznanych uranu w Afryce warto zauważyć, że od początków ich eksploatacji do końca 2012 r. wydobyto już około 449 700 ton uranu pochodzącego z 5 krajów: Gabonu (28 000 ton), Kongo Belgijskiego obecnie Demokratyczna Republika Kongo (25 000 ton), Namibii (113 000 ton), Nigru (123 000 ton), RPA (158 500 ton) oraz Malawi (2 700 ton). Znane na koniec 2013 r. pozostałe zasoby są zatem cztery razy większe od ilości uranu wydobytego w Afryce od czasów II Wojny Światowej. W Gabonie i DRK uran nie jest już obecnie wydobywany, ale jak wynika z tabeli 1 pozostały w nich niewielkie zasoby, które mogą jeszcze zostać wykorzystane.

Oprócz zasobów rozpoznanych uranu, wg danych tylko Red Book 2011 w Afryce mogą znajdować się zasoby nierozpoznane w ilości około 1 350 000 ton stanowiące 12,9% zasobów światowych w tej kategorii. W miarę postępu w poszukiwaniach zasoby rozpoznane mogą przez pewien czas wzrastać kosztem oszacowanych zasobów nierozpoznanych.

Dotąd była mowa tylko o zasobach konwencjonalnych (rozpoznanych i nierozpoznanych), oprócz których istnieją także zasoby niekonwencjonalne uranu. Znajdują się one głównie w dwóch krajach Afryki. Red Book 2011 wymienia pod tym względem Egipt i Maroko jako kraje posiadające wielkie zasoby uranu zawartego w fosforytach, odpowiednio, około 35 – 100 tysięcy ton oraz 6 500 tysięcy ton. Wskazuje się także na RPA jako posiadającą zasoby uranu zawarte w fosforytach, ale brak jest danych liczbowych co do jego ilości.

Oprócz zasobów uranu, na kontynencie afrykańskim obecne są także duże zasoby toru, wynoszące wg Red Book 2011 powyżej 649,5 tys. ton, co stanowi 8,5 – 10% zasobów światowych tego metalu. Znajdują się one głównie w Egipcie, RPA, Maroku, Nigerii, na Madagaskarze, w Angoli i w Mozambiku. Są one obecne także w kilku innych krajach ale w żadnym z nich nie przekraczają 10 tys. ton. Zasoby toru nie są jednak przedmiotem zainteresowania operujących obecnie w Afryce firm.

OPŁACALNOŚĆ WYDOBYCIA URANU W AFRYCE

Wydobycie uranu, a szczególnie działania w kierunku jego zwiększenia, bądź uruchomienia wydobycia w nowych kopalniach, są uzależnione przede wszystkim od ich bieżącej i oczekiwanej opłacalności, jakkolwiek istotne znaczenie ma także wiele innych czynników, nie tylko natury ekonomicznej. Będzie o nich mowa w dalszych rozdziałach.

OECD/NEA Red Book zamieszcza dane dotyczące zasobów uranu w podziale na grupy kosztowe określające górną granicę kosztów wydobycia uranu. Wg danych zawartych w tabeli 1 dwie trzecie zasobów rozpoznanych uranu w obu kategoriach - RAR i IR (łącznie 1 026 800 ton) należało na koniec 2010 r. do grupy kosztowej <130 USD/kg. Stanowiło to ponad 90% wszystkich zasobów rozpoznanych w Afryce. Zasoby należące do tej grupy kosztowej znajdują się w 7 krajach afrykańskich: Malawi, Namibii i RPA na południu kontynentu, w Gabonie, Republice Środkowo-afrykańskiej i Tanzanii w części centralnej Afryki, oraz bardziej na północ - w Nigrze.

Rok 2010 charakteryzował silny wzrost rynkowych cen uranu obiecujących znaczną opłacalność jego wydobycia po takich kosztach. Jednak katastrofa elektrowni w Fukushima w marcu 2011 r. spowodowała, głównie w wyniku długotrwałego wyłączenia z ruchu 48 japońskich reaktorów a w następstwie tego także spadku zapotrzebowania na paliwo, ponad dwukrotny spadek cen spotowych uranu do końca 2013 r., z około 192 do 93 USD/kgU. Również w przypadku kontraktów terminowych na dostawy uranu jego cena znacznie w tym okresie spadła, choć tylko do poziomu 130 USD/kg. W tej

sytuacji jego wydobycie w niektórych kopalniach zupełnie nie zapewnia zwrotu związanych z tym kosztów, nie mówiąc o zysku. W przypadku dwóch kopalń (patrz kolejny rozdział) podjęto decyzje o wstrzymaniu wydobycia uranu i ich zabezpieczeniu. Jedynie 198 000 tU w zasobach afrykańskich zaliczono do grupy kosztowej poniżej 80 USD/kgU, z czego 186 000 ton znajduje się w RPA, gdzie jednak wydobycie uranu jest obecnie bardzo niskie z innych powodów, a pozostałe 12 000 tU - w Namibii i Nigrze. W przypadku tych dwóch krajów jest to jednak tylko niewielka część ich ogromnych zasobów.

W tej sytuacji jedynie firmy, które od dłuższego czasu eksploatują swoje kopalnie, mogą to jeszcze robić w sposób opłacalny dzięki zawartym kontraktom długoterminowym. W niektórych przypadkach wprowadzane są przy tym zmiany w organizacji produkcji zapewniające zmniejszenie jej kosztów. Na przykład firma **Rössing Uranium**, należąca do brytyjsko-australijskiej **Rio Tinto** i prowadząca wydobycie uranu w kopalni Rössing w Namibii, zredukowała w 2012 r. jej koszty eksploatacyjne o 31% w porównaniu z rokiem poprzednim (WNA, czerwiec 2013).

Przy niskich cenach rynkowych uranu prowadzenie prac przygotowawczych do jego wydobycia w nowych kopalniach mogą prowadzić jedynie firmy dysponujące złożami o niższych kosztach wydobycia, lub dla których czynnik ekonomiczny nie jest decydujący. Dla niektórych krajów i firm działania te mają przede wszystkim znaczenie strategiczne, podczas gdy kwestia kosztów może być drugorzędna. Podobnie jest z nakładami na poszukiwania nowych zasobów.

Spadek cen uranu ma duże znaczenie w przypadku Algierii, Botswany, Demokratycznej Republiki Konga, Egiptu, Gabonu, Republiki Środkowo-afrykańskiej, Somali, Zambii i Zimbabwe ponieważ ich zasoby należą do najwyższej grupy kosztowej: < 260 USD/kgU. Pewien wyjątek może stanowić Zambia, w której ze złoża Kariba można będzie otrzymywać uran po niższych kosztach, ocenianych na ok. 170 USD/kgU, oraz Egipt, którego złoża odkryte już po opublikowaniu Red Book 2011 zawierają uran o stosunkowo wysokich koncentracjach.

Jest rzeczą bardzo prawdopodobną, że w ciągu kilku lat ceny uranu na tyle wzrosną, że eksploatacja zasobów należących do grupy kosztowej < 130 USD/kg stanie się znów w pełni zyskowna. Spodziewane ponowne uruchamianie większości wyłączonych reaktorów japońskich, co ma się rozpocząć w połowie 2014 r., oraz dalszy przyrost mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych na świecie spowoduje zapewne dalszy wzrost cen uranu w następnej dekadzie, tym bardziej że zacznie spadać produkcja uranu w Kazachstanie (który w 2013 r. dostarczył aż 38% wydobywanego uranu w skali światowej). Wówczas opłacalne stanie się wydobycie uranu także tam, gdzie jego koszty są przy obecnej sytuacji na rynku uranu zbyt wysokie.

WYDOBYCIE URANU W AFRYCE I POTENCJAŁ DO JEGO ZWIĘKSZENIA

Wg ESA Annual Report wydobycie uranu w Afryce w 2012 r. wzrosło aż o 26% w porównaniu z rokiem 2008 i wyniosło łącznie 10 721 ton, co stanowiło 18,34% wydobycia światowego - 58 466 ton. Potencjał produkcyjny działających w Afryce ośrodków wydobywczych był wówczas jeszcze większy i wynosił co najmniej 13 642 tU/rok. Wydobycie uranu prowadzono w czterech krajach (w nawiasach podano wielkości wydobycia w 2012 r.): Nigrze (4 654 tU), Namibii (4 504 tU), Malawi (1 101 tU) i RPA (462 tU). Wydobycie w Malawi rozpoczęto dopiero w 2009 r.

Aktualny potencjał wydobywczy uranu w Afryce oraz możliwości jego wzrostu w obecnej dekadzie ukazuje tabela 3. Podane w niej liczby pochodzą z Red Book 2011 oraz z późniejszych źródeł (biuletyny WNA i UxC z lat 2012 -2013). Liczby dotyczące zasobów już eksploatowanych kopalń należy traktować jako orientacyjne ponieważ w części przypadków wykorzystano dane Red Book 2011, a od tego czasu zasoby te zmalały wskutek prowadzonego wydobycia uranu. W przypadku kopalń Akouta, Imouraren, Rössing, Rössing South/Husab i Marenica podano zasoby już na podstawie innych, późniejszych źródeł.

Tabela 3. Kopalnie uranu w krajach Afryki (działające i przygotowywane do uruchomienia)

Kraj	Kopalnia lub złoże	Zasoby, tU	Aktualne zdolności wydobywcze, tU/rok	Docelowe Zdolności wydobywcze, tU/rok	Rok uruchomienia	Uwagi
Botswana	Letlhakane	118 615	-	1 350		
Malawi	Kayelekera	14 165	1 150	1 150	2009	Decyzja o czasowym zamknięciu w 2014 r.
Namibia	Rössing	107 270	4 000	ma być zwiększone	1976	
	Langner Heinrich	60 900	2 000	3 850	2006	
	Trekoppje	33 700		2 545		Zabezpieczona w 2013 r.
	RössingSouth Husab (wraz z Ida Dome)	238 000		5 700		Wydobycie od 2017 r.
	Valencia (wraz z Namibplaas)	40 700		1 350		Projekt Norasa
	Etango	85 000		3 050		
	Marenica	22 100		1 600		
	Omahola	48 000		850		
	Zhonghe	6-12 000		600		
Niger	Arlette/Arlit	47 700	2 900	ma być zwiększone	1971	
	Akouta	24 670	1 800		1978	
	Azelik	15 600	700	2 500 (od 2015 r.)	2010	
	Imouraren	146 000		5 000		Wydobycie od 2015 r.
RPA	South Uranium Plant	69 000	600	800	1979	
	Ezulwini Mine	81 000	500	ma być zwiększone	2009	
	MWS	23 800	300	ma być zwiększone	2012	
	Dominion Reefs	82 400			2007	
Rep. Śr. afrykańska	Bakouma	36 500		1 200		
Tanzania	Mkjuju River	46 000		1 400		
	Mtonya	770				
	Bahi	12 000				
RAZEM		> 1 359 890	13 950	> 29 945		

Sumaryczna wielkość zasobów dla złóż wyszczególnionych w tej tabeli jest oczywiście znacznie mniejsza od wielkości zasobów rozpoznanych obliczonych na podstawie poprzednich dwóch tabel ponieważ wiele odkrytych złóż nie zostało jeszcze objętych inwestycjami kopalnianymi. W tabeli 3 brakuje wielu danych, ale mimo to ukazuje ona ogromne możliwości w zakresie wydobywania uranu w Afryce w nieodległej perspektywie czasowej, które mogą jeszcze wzrosnąć gdy uwzględnimy inne kraje, odkryte w nich złoża i aktywność działających w nich firm. Aby ocenić znaczenie wykazanych w tabeli 3 możliwości wydobywczych w Afryce należy je porównać z wielkością podanego wcześniej dla 2012 roku światowego wydobywania uranu.

W 2013 r. można było zaobserwować przesuwanie na dalsze lata terminów oddania do eksploatacji nowych kopalń oraz zamykania już uruchomionych ale mniej rentownych obiektów. W takich przypadkach są one zabezpieczane dla ponownego uruchomienia w bardziej sprzyjających warunkach rynkowych. Odłożenie na późniejsze lata uruchomienia nowych kopalń, które było planowane na lata 2013 – 2014, dotyczy ośrodków wydobywczych w Namibii (kopalnie Trekoppje, Rössing South/Husab oraz Etango, o łącznych docelowych zdolnościach wydobywczych 11 745 tU/rok). W przypadku kopalni Trekoppje zdolano już wydobyć 345 ton uranu ale eksploatując ją firma Areva Resources Namibia

(należąca do francuskiej firmy **Areva NC**) podjęła w końcu 2011 r. decyzję o przerwaniu jej uruchamiania i o odpowiednim zabezpieczeniu. Z kolei w Malawi firma **Paladin Energy Ltd.** prowadząca od 2009 wydobywanie uranu w kopalni Kayelekara podjęła na początku lutego 2014 r. podobną decyzję o jej czasowym zamknięciu i zakonserwowaniu. W przypadku Zambii odłożono na późniejsze lata uruchomienie dwóch kopalń, które mogłyby zapewnić wydobywanie w skali 1 200 tU/rok.

Kopalnia Mkuju River w Tanzanii miała zostać uruchomiona w 2013 r. ale przejęcie przez rosyjską firmę **ARMZ** firmy **Mantra Tanzania Ltd.**, do której ta kopalnia należała, spowodowało zakwestionowanie przez władze kraju zasad tego przejęcia w kwestii interpretacji prawa podatkowego. Efektem tego będzie pewne opóźnienie rozpoczęcia wydobywania uranu.

W jednym przypadku, który dotyczy złoża Bakouma w Republice Środkowo-afrykańskiej, opóźnienie tłumaczy się koniecznościami natury technicznej. Obecne rozruchy w tym kraju mogą stwarzać dodatkowe trudności.

Czas uruchomienia nowych kopalń lub otwarcia czasowo zamkniętych obiektów na złożach o wyższych kosztach wydobywania jest obecnie trudny do określenia, jednak w kilku przypadkach badane źródła wskazują na lata 2015 – 2016. Opiera się to na założeniu, że ceny uranu na rynku światowym zaczną stopniowo wzrastać począwszy już od 2014 roku.

Obecne, tymczasowe zahamowanie wzrostu wydobywania uranu w Afryce przyczyni się do przedłużenia okresu eksploatacji odkrytych złóż. W ocenach tych należy uwzględnić fakt, że okres eksploatacji kopalń jest ograniczony i zależy od wielkości złoża oraz intensywności wydobywania. Na przykład w przypadku kopalni Trekoppie ma on wynosić 12 lat, Rossing South/Husab - 20 lat, Etango - 15 lat, Marenica - 16 lat, Omahola - 12 lat, Imouraren – 35 lat, Kayelekara 9 lat.

Teren budowy największej z tych kopalń - Husab w Namibii przedstawia rys. 1.



Rysunek 1. Teren budowanej przez chińską firmę wielkiej kopalni uranu Husab w Namibii
(źródło: China Guangdong Nuclear Power Corporation)

ROSNĄCE ZNACZENIE AFRYKI JAKO ŚWIATOWEGO DOSTAWCY URANU

Biorąc pod uwagę fakt rozwoju energetyki jądrowej na świecie mimo pewnego przyhamowania po katastrofie w Fukushima, a zwłaszcza plany jej budowy w kilku wiodących w tym względzie krajach – Chinach, Indiach i Rosji, jak również wielkość zasobów uranu w Afryce, oczywista staje się kontynuacja zainteresowania tym obszarem świata jako perspektywnym źródłem uranu w wielkiej skali. Afryka jest ogromnym kontynentem i można się spodziewać, że duże zasoby uranu pozostają na nim jeszcze do odkrycia. Firmy, które są zaangażowane na tym terenie i potrafią się utrzymać mimo przejściowych trudności, będą z pewnością w biznesie uranowym beneficjentami.

Aktualnie siedem krajów afrykańskich jest przedmiotem największego zainteresowania z punktu widzenia eksploatacji posiadanych przez nie zasobów uranu. Są nimi, w kolejności alfabetycznej, Malawi, Namibia, Niger i RPA, w których uran jest obecnie wydobywany, oraz Botswana, Tanzania i Zambia, w których jego wydobywanie jest przygotowywane, choć z opóźnieniami. W przypadku innych krajów afrykańskich mniej wiadomo na temat ich zasobów ale zauważono, że niektóre z nich budzą zainteresowanie krajów lub firm starających się pozyskać nowe źródła zaopatrzenia w uran.

W Red Book 2011 zawarto przypuszczenie, że prowadzone prace rozwojowe w Namibii oraz Nigrze, jak również planowane rozpoczęcie wydobywania uranu w Botswanie, Tanzanii i Zambii, a także realizacja nowych projektów wydobywczych w Republice Południowej Afryki, doprowadzą w najbliższych latach do znacznego wzrostu produkcji uranu na kontynencie afrykańskim. Wskazano, że największe znaczenie pod tym względem ma właśnie region południowo-afrykański, gdzie te kraje są zlokalizowane (rys .2) oraz Niger

Jakkolwiek powyższa ocena dotycząca szybkiego wzrostu wydobywania uranu z uwagi na nieprzewidywalne zdarzenie w Fu-



Rysunek 2. Kraje południowej Afryki będące aktualnymi producentami uranu (Malawi, Namibia i RPA) oraz głównymi producentami potencjalnymi (Botswana, Tanzania i Zambia).

kushimie okazała się nietrafna, to można zakładać, że zaangażowanie dużych zagranicznych firm w inwestowanie w Afryce (o czym jest mowa dalej), oraz zapewniony tą drogą rozwój kopalń, spowodują znaczny wzrost produkcji uranu pod koniec obecnej dekady.

AKTYWIZACJA KRAJÓW AFRYKAŃSKICH

Wzrost zainteresowania rozwojem energetyki jądrowej począwszy od 2003 roku spowodował zwiększenie zainteresowania Afryką jako źródłem uranu wywołując jednocześnie zainteresowanie niektórych rządów afrykańskich możliwościami uzyskania lub zwiększenia z tego tytułu pożądaných korzyści gospodarczych. Jednak warunkiem do tego było przede wszystkim wzmocnienie lub stworzenie od podstaw niezbędnych regulacji prawnych oraz zorganizowanie struktur administracyjnych niezbędnych do prowadzenia odpowiedniej kontroli z punktu widzenia ochrony przed promieniowaniem, ochrony środowiska itd.

W ostatnich latach państwa afrykańskie otrzymały znaczną pomoc międzynarodową w ramach dużego programu współpracy technicznej Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej na lata 2009 – 2012 (MAEA Regional Africa Project RAF/3/2007 „Strengthening Regional Capabilities for Uranium Mining, Milling and Regulation of Related Activities”). Programem tym zostały objęte: Egipt, Gabon, Ghana, Madagaskar, Malawi, Maroko, Mozambik, Namibia, Tanzania i Uganda. Obejmował on zagadnienia dotyczące przepisów i nadzoru w zakresie poszukiwań, wydobywania i przerobu rud uranowych, m.in. z uwzględnieniem ochrony środowiska. Ponadto kilka projektów pomocy technicznej MAEA dotyczących poszukiwania i wydobywania uranu, w tym szkolenia kadr, realizowano w przypadku Algierii.

Można zauważyć, że w programach tych nie partycypowały Niger i RPA, w których uran wydobywany jest od dawna. Rządy tych krajów zapewniły sobie wcześniej odpowiedni udział w działalności wydobywczej lub jej kontrolę. W Nigrze państwowa firma **SOPAMIN** posiada liczące się udziały we wszystkich ośrodkach wydobywczych uranu: trzech eksploatowanych - (Arlette/Arlik, Akouta i Azelik) oraz czwartym, przygotowywanym do eksploatacji - (Imouraren). W RPA działalność wydobywcza znajduje się obecnie całkowicie w rękach firm prywatnych, ale kraj posiada od dawna wypracowane struktury prawno-organizacyjne zapewniające mu niezbędną kontrolę nad sektorem jądrowym.

W programach współpracy technicznej MAEA partycypował natomiast drugi obok Nigru największy producent - Namibia zainteresowana dokonaniem istotnych zmian w swojej polityce uranowej. W 2007 r. rząd tego państwa ogłosił na czas nieokreślony moratorium na wydawanie zezwoleń dotyczących dalszych poszukiwań uranu uznając, że jest to konieczne dla zrewidowania jego polityki w kwestii uranu w sytuacji rosnącego popytu i uwzględnienia w tym kontekście problemów dotyczących wody i energii niezbędnych do działalności wydobywczej. Następnie w lipcu 2008 r. rząd Namibii powołał do istnienia pierwszą państwową firmę wydobywczą **Epangelo Mining**, do której należy branie udziału w nowych poszukiwaniach uranu i projektach dotyczących rozwoju jego wydobywania. Rząd, będący jej stuprocentowym udziałowcem, oświadczył że **Epangelo Mining** będzie miała wyłączne prawa do wydobywania strategicznych minerałów, do których zaliczono uran, miedź, złoto, cynk oraz węgiel. Zgodnie z tym nowe zezwolenia mogą być obecnie wydawane wyłącznie firmie **Epangelo Mining** zaś inne zainteresowane strony muszą negocjować z nią warunki wstąpienia w spółki *joint ventures*. Projekty zagraniczne uruchomione wcześniej na terytorium Namibii nie zostały jednak objęte tymi zmianami.

CZYNNIKI, KTÓRE MOGĄ MIEĆ WPŁYW NA ROZWÓJ WYDOBYCIA URANU W AFRYCE

Jak wynika z poprzednich uwag, najistotniejszym czynnikiem wpływającym na rozwój wydobywania uranu w Afryce, zwłaszcza w krajach posiadających zasoby uranu o wyższych kosztach wydobywania, będą ceny uranu na rynku światowym. Niekiedy rozwiązania organizacyjne lub technologiczne mogą jednak prowadzić do zwiększenia opłacalności wydobywania.

W przypadku co najmniej kilku krajów afrykańskich opłacalność wydobywania uranu może być zwiększona z powodu występowania w tych samych złożach wspólnie z uranem także innych cennych surowców, które mogą być co-produktem, produktem ubocznym, lub przy wydobywaniu których takim produktem może być uran. W RPA uran jest obecnie wydobywany jako produkt uboczny przy wydobywaniu złota i w przyszłości może tak być także w przypadku Ghany. W Malawi, a także częściowo w Egipcie uran występuje w towarzystwie metali ziem rzadkich. W Mali i Zambii możliwe będzie wydobywanie miedzi (w Mali także srebra), zaś w Namibii w złożu Trekoppje jest obecny wanad. W takich sytuacjach na opłacalność wydobywania uranu będą miały wpływ także ceny innych wydobywanych metali.

Oprócz zagadnienia opłacalności wydobywania występuje także szereg innych czynników, które mają lub mogą mieć znaczenie dla rozwoju produkcji uranu w Afryce. Należą do nich wymagania ochrony środowiska i nienaruszalność rezerwatów

przyrody, stan prawny i organizacyjny w danym kraju, jego interesy własne, stan infrastruktury oraz problemy techniczne dotyczące wydobycia. Istotnym elementem może być także sprawa stabilności politycznej niektórych państw oraz na niektórych obszarach - potencjalne niebezpieczeństwo działań terrorystycznych. Ten ostatni akcent może być specyficzny dla niektórych państw Afryki Północnej oraz części wybrzeża wschodniego Afryki.

Wydobycie uranu, lub prowadzone w tym kierunku prace, zaczęły napotykać w niektórych krajach Afryki na pewne trudności wywołane działalnością ugrupowań ekologicznych. Dotyczy to Malawi, Czadu, Kamerunu, Nigru, Republiki Środkowo-afrykańskiej oraz RPA. Na obecnym etapie działalność ta raczej nie zagraża wydobyciu uranu ale z biegiem czasu może powodować wzrost jego kosztów. Znamienna jest w tym względzie tzw. „Deklaracja z Bakary” ogłoszona przez Pozarządową Organizację ds. Praw Człowieka, Ochrony Środowiska i Rozwoju, zrzeszająca przedstawicieli Czadu, Kamerunu, Nigru i Republiki Środkowo-afrykańskiej. Krytykuje ona brak transparentności w zakresie wydawania zezwoleń i działalności firm wydobywczych zajmujących się produkcją uranu oraz wskazuje na fakt wykorzystywania przez firmy zagraniczne niedorozwoju prawnego i instytucjonalnego państw afrykańskich i na spowodowany tym brak odpowiedniej rekompensaty dla zatrudnionych pracowników lokalnych i ludności, jak również na zagrożenia dla środowiska naturalnego.

W Namibii i Tanzanii część złóż uranu występuje na terenach rezerwatów przyrody, ale udało się te złoża z nich wydobyć. Znalezione rozwiązania, które były korzystne także dla samych rezerwatów ponieważ uzyskały one dodatkowe środki finansowe na swoje utrzymanie.

Część krajów afrykańskich posiadających nadające się do eksploatacji zasoby uranu nie jest dostatecznie do tej eksploatacji przygotowana w sensie prawnym i organizacyjnym, nie dysponuje wymaganą do tego technologią i infrastrukturą. Obserwuje się jednak aktywizację rządów tych krajów, która ma na celu uruchomienie wzajemnej współpracy, uzyskanie pomocy międzynarodowej (m.in. 11 państw korzystało w latach 2009 – 2012 z pomocy w ramach MAEA w celu wprowadzenia niezbędnych przepisów prawnych, nadzoru państwowego oraz ochrony środowiska), o czym była mowa w poprzednim rozdziale, oraz stworzenie korzystniejszych relacji ekonomicznych z firmami zagranicznymi.

Zapowiadany renesans energetyki jądrowej oraz zapoczątkowany w 2007 r. i trwający trzy lata do katastrofy w Fukushima w 2011 r. szybki wzrost cen uranu spowodował działania rządów niektórych państw afrykańskich mające na celu podniesienie korzyści czerpanych z wydobycia uranu na ich terytoriach. Działania te obejmują kwestie wydawania określonych zezwoleń na działalność firm, udziału własnych firm państwowych w eksploatacji kopalń, ustalania cen uranu oraz podatków. Dotyczy to szczególnie Nigru, w którym 2/3 przychodów pochodzi z wydobycia uranu, a także Malawi i Namibii. Również Tanzania zaangażowała się w 2013 r. w spór prawny z rosyjską firmą w związku z przejściem przez nią firmy, która wcześniej uzyskiwała odpowiednie zezwolenia w sprawie wydobycia uranu z kopalni Mkuju River (była o tym mowa w już poprzednim rozdziale).

W niektórych krajach występują problemy z dostępem do wymaganych, znacznych ilości wody. W przypadku Namibii problemy te zostały po tymczasowym zamknięciu niedawno uruchomionej kopalni Trekoppje rozwiązane czasowo na zasadzie porozumień między różnymi firmami dotyczących korzystania z instalacji odsalania wody morskiej, która należy do firmy AREVA. Rząd namibijski rozważa możliwość budowy drugiego zakładu odsalania. Inne problemy natury technicznej mogą dotyczyć transportu koncentratu uranowego na duże odległości. Ponieważ w Afryce nie ma zakładów konwersji więc koncentrat uranowy musi być dostarczany do odpowiednich portów i dalej transportowany do krajów posiadających takie zakłady. Na przykład z kopalń w Nigrze musi on być transportowany drogą lądową przez sąsiadujący z nim na południu Benin do portu, z którego podąża drogą morską do zakładu konwersji we Francji lub gdzie indziej. Podobnie dzieje się z uranem pochodzącym z Malawi, który musi być transportowany do portu w Namibii.

W przypadku niektórych krajów czynnikiem niesprzyjającym działalności poszukiwawczej lub wydobywczej dotyczącej uranu są zakłócenia natury politycznej, działania militarne bądź ataki terrorystyczne. Na przykład kryzys polityczny na Madagaskarze w 2009 r. zniechęcił na pewien czas firmy zagraniczne do prowadzenia w tym kraju poszukiwań uranu. Podobnie wydarzenia rewolucyjne w Egipcie, wojenne w Libii oraz terroryzm ugrupowań islamskich w Mali i Nigrze, poważnie zakłóciły na pewien czas działalność w zakresie poszukiwań lub, jak w przypadku Nigru, spowodowały krótkotrwałą przerwę w wydobyciu uranu. Straty materialne spowodował zbrojny napad w czerwcu 2012 r. na budowany przez firmę Areva ośrodek wydobywczy uranu Bakouma w Republice Środkowo-afrykańskiej. Obecne niepokoje i ataki zbroj-

ne spowodują znaczne zakłócenia w przygotowaniach do wydobycia uranu w tym kraju. Niejasna jest także sytuacja dotycząca Republiki Demokratycznej Konga. Zakłócenia o charakterze militarnym lub terrorystycznym nie dotyczyły wprawdzie regionów najważniejszych z punktu widzenia obecnego oraz przygotowywanego wydobycia uranu – czyli Afryki Południowej ale, jak zauważono wyżej, miały miejsce w niemniej ważnym Nigrze.

Z kolei w Zimbabwe zainteresowanie firm zachodnich rozpoznaniem zasobów uranu jest niewielkie ponieważ kraj ten jest objęty sankcjami międzynarodowymi ze względu na brak przestrzegania praw człowieka.

PERSPEKTYWY ROZWOJU ENERGETYKI JĄDROWEJ W AFRYCE

Jednym z czynników, jakie trzeba wziąć pod uwagę analizując przyszłe znaczenie Afryki jako „zagłębia uranowego” świata, jest możliwość rozwoju energetyki jądrowej w Republice Południowej Afryki oraz zaangażowania się kilku innych państw w budowę u siebie elektrowni jądrowych. Taki rozwój sytuacji może wykluczyć te kraje częściowo lub nawet całkowicie z grona przyszłych eksporterów uranu.

OECD/NEA Red Book 2009 wskazywała na spodziewany znaczny wzrost zdolności produkcyjnych uranu w RPA w kolejnych latach co miało mieć związek z planami szybkiej rozbudowy energetyki jądrowej (obecnie w elektrowni jądrowej Koeberg działają dwa reaktory o łącznej mocy 1 840 MWe netto). Opublikowany w 2010 r. plan zapewnienia energii („Integrated Resource Plan” - IRP) wskazywał na konieczność uruchomienia nowych mocy w energetyce jądrowej do 2023 r. Zrewidowany plan z końca 2013 r. wskazuje jednak, że zapotrzebowanie na nowe moce pojawi się dopiero w 2025 r. lub później określając przy tym jako cel zainstalowanie w reaktorach jądrowych 6 900 MWe do 2030 r. Alternatywą dla nowych reaktorów energetycznych może być ogromna elektrownia wodna na zaporze Inga, której budowa w Demokratycznej Republice Konga jest obecnie rozważana. Wariant ten wymagałby przesyłania energii elektrycznej na dużą odległość. Nowy IRP ma być rozpatrywany przez rząd RPA w marcu 2014 r. Tymczasem jednak w listopadzie 2013 r. **Nuclear Energy Corporation of South Africa (Nesca)** oraz filia rosyjskiej firmy **Rosatom** podpisały porozumienie o wzajemnym zrozumieniu (Memorandum of Understanding) dotyczące współpracy strategicznej, która może pomóc w budowie nowych reaktorów w RPA. Według doniesień rosyjskich w grę może wchodzić wybudowanie w tym kraju do ośmiu reaktorów WWER-1200.

W ostatnich latach zmniejszono w RPA plany rozwoju wydobycia uranu, który nie jest uważany za znaczące źródło dochodów, będąc produktem ubocznym przy wydobyciu złota. Co więcej – jeżeli jednak zostaną podjęte decyzje o rozwoju energetyki jądrowej, wówczas zdolności produkcyjne uranu w RPA prognozowane wg Red Book 2011 na lata 2030 - 2035, będą niewystarczające dla energetyki jądrowej, nawet przy jej umiarkowanym wzroście. Jednocześnie postuluje się, że wielkość wydobycia uranu w RPA będzie uzależniona od możliwości zapewnienia wystarczającego pokrycia zapotrzebowania krajowej energetyki jądrowej ze źródeł krajowych w okresie 40 – 60 lat. Może to być rozumiane jako dążenie do ograniczenia tego wydobycia po to by własne opłacalne zasoby wystarczyły na dostatecznie długi okres czasu. W tej sytuacji, pomimo iż RPA posiada znaczne zasoby uranu, to w bliskiej lub średniej perspektywie czasowej nie można oczekiwać *per saldo* jego eksportu.

Obecnie Republika Południowej Afryki jest jedynym krajem w Afryce, który eksploatuje reaktory energetyczne i myśli o rozbudowie energetyki jądrowej. Sprawa budowy energetyki jądrowej jest także rozważana w przypadku Nigerii, Egiptu i Tanzanii, przy czym w przypadku pierwszego z tych krajów została nawiązana współpraca z Rosją, która może stać się dostawcą reaktora. W przypadku Egiptu na razie tylko armia zabezpieczyła teren pod budowę elektrowni w El-Dabaa.

PAŃSTWA LUB PAŃSTWOWE FIRMY ANGAŻUJĄCE SIĘ W POSZUKIWANIA I WYDOBYCIE URANU W AFRYCE

Podobnie jak w przypadku innych regionów świata, w poszukiwaniu i wydobycie uranu angażują się różne firmy zagraniczne, które reprezentują interesy właścicieli lub udziałowców prywatnych, albo też określonego państwa.

W pierwszym przypadku mamy do czynienia z firmami pochodzącymi z krajów zachodnich, w których od dziesięcioleci

nagromadzono doświadczenie eksploatując własne, krajowe zasoby uranu (dotyczy to głównie firm z Australii i Kanady, lub z firmami działającymi na potrzeby energetyki jądrowej (dotyczy to niektórych krajów Unii Europejskiej, jak Belgia, Hiszpania, UK i od kilku lat Rumunia, która zawarła odpowiednie umowy z Angolą w 2007 r.

W drugim przypadku państwa, dla których sprawa zapewnienia surowców paliwowych jest istotnym elementem ich polityki zagranicznej, zarówno ze względu na potrzeby własnej energetyki jądrowej, jak i na dostawy paliwa do reaktorów budowanych za granicą (szczególnie w ramach kontraktów zintegrowanych), stwarza dogodne warunki do funkcjonowania określonych firm zajmujących się poszukiwaniami i wydobywaniem uranu, lub też są właścicielami takich firm. W Afryce ma w tym względzie miejsce silna obecność Francji (od kilku dekad) oraz zapoczątkowana kilka lat temu obecność Chin, i ostatnio także Rosji.

Francja jest obecna poprzez firmę **Areva Resources Namibia**, przede wszystkim w Namibii (kopalnia Trekoppje, oraz niewielki udział w projekcie Marenica) oraz w Nigrze (większościowe udziały w spółce eksploatującej kopalnię Arlette/Arlit i w spółce przygotowującej uruchomienie wielkiej kopalni Imouraren, jak również udział mniejszościowy w spółce eksploatującej kopalnię Akouta i udział w poszukiwaniach uranu w rejonie Tchirozerine). Firma **Areva** ponadto angażuje się w Algierii, Gabonie, Demokratycznej Republice Konga, Maroko (współpraca dotyczy fosforytów), Mauretanii, Libii oraz w Republice Środkowo-afrykańskiej. Zaangażowanie w tych krajach dotyczy ogólnie biorąc poszukiwań uranu, ocen jego zasobów, a także badań możliwości jego pozyskiwania.

Chiny zaangażowały się w Afryce w związku z ogłoszonym przez nie kilka lat temu wielkim programem budowy energetyki jądrowej, która będzie wymagała znacznych ilości uranu. W 2007 r. utworzona została w Chinach fundacja pn. **China-Africa Development Fund (CAD Fund)** mająca na celu stymulowanie inwestycji chińskich w Afryce. Tworzy ona największy w Chinach fundusz prywatny, który ma wynosić docelowo 5 miliardów USD, dla wspierania takich inwestycji na drodze doradztwa oraz innych działań skierowanych na minimalizację ryzyka inwestorów. W 2010 nr. **China Uranium Corporation** (filia firmy **China National Nuclear Corporation - CNNC**) podpisała umowę z **CAD Fund** dotyczącą wspólnego rozwijania w Afryce eksploatacji zasobów uranu. W 2010 r. pojawiły się także informacje o zainteresowaniu Chin współpracą z Rosją (z firmą **Rosatom**) w kwestii rozwijania wydobywania uranu w krajach trzecich, a w szczególności w Afryce.

Firmy pochodzące z Chin są aktywne głównie w dwóch krajach o największych zasobach uranu – w Namibii i Nigrze. W pierwszym z nich chińska firma **China Guangdong Nuclear Power Corporation (CGNPC)** jest poważnym udziałowcem spółki **Areva Resources Namibia**, do której należy kopalnia Trekoppje (patrz wyżej), a ponadto weszła w marcu 2012 r. w posiadanie praw do projektu Rössing South/Husab. Obie te kopalnie będą mogły po ich uruchomieniu dostarczyć Chinom nawet około 6 000 tU/rok (35% wydobywania z pierwszej i 90% z drugiej kopalni) przez okres do 20 lat. Chińskie firmy mają też udziały w mniejszych rozwijanych projektach, mianowicie Marenica i Zhonghe. W styczniu 2014 r. państwowa firma **CNNC** zakupiła 25% udziałów w kopalni Langner Heinrich należącej do australijskiej firmy **Paladin Energy**. Pozostają do załatwienia jedynie formalności dotyczące tej transakcji. Z kolei w Nigrze chińskie firmy **CNNC** (poprzez jej filię **Sino-U**) oraz **ZXJOY** mają większość udziałów w firmie **Somina**, do której należy eksploatowana od 2010 r. kopalnia Azelik oraz pobliskie złożo Teguidda. Mniejsze zaangażowanie chińskich firm jest widoczne także w Botswanie i Zimbabwie (o czym już wspomniano wcześniej).

Rosja jest obecna w afrykańskich przedsięwzięciach uranowych od niedawna. Największe z nich dotyczy kopalni Mkuju River w Tanzanii. Kopalnia ta została nabyta przez firmę **ARMZ** w drodze przejęcia w 2011 r. australijskiej firmy **Mantra Resources Ltd.**, która posiadała do niej prawa. Eksploatacja kopalni została zlecona firmie kanadyjskiej **Uranium One**, która w 2013 r. została przejęta przez **ARMZ**.

W 2010 r. zostało zawarte między rządami Rosji i Namibii wstępne porozumienie o współpracy w poszukiwaniach uranu i rozwoju jego wydobywania, m.in. poprzez spółki *joint ventures*. Natomiast jeszcze w 2009 r. między Egiptem i Rosją została zawarta umowa o współpracy w zakresie poszukiwań i wydobywania uranu. W polu zainteresowań Rosji mogą znajdować się także Sierra Leone i Somalia.

Rosja jest również obecna w Nigrze za pośrednictwem firmy **Gazprombank NGS**, która ma pozwolenie na poszukiwanie uranu w tym kraju. Wykazuje także duże zainteresowanie **RPA**, w której uruchomiła w 2012 r. zagraniczną siedzibę

filię firmy **Rosatom** oferującej rosyjską technologię jądrową. Ma to związek z sygnalizowanymi wcześniej dążeniami RPA dotyczącymi rozwijania energetyki jądrowej

Do innych krajów, które zaangażowały się w poszukiwania i wydobycie uranu a Afryce należą Indie, Japonia oraz Korea Południowa. W przypadku Indii jedna z zarejestrowanych w tym kraju firm posiada zezwolenia na poszukiwania uranu w Nigrze. Raport WISE wskazuje również na obecność indyjskiej „niezidentyfikowanej firmy” w Namibii. Firmy z Japonii są zaangażowane w działalność w Nigrze oraz wg raportu WISE - także w Tanzanii. Z kolei Korea Południowa angażuje się w Tanzanii a ponadto posiada 10% udziałów w kopalni Imouraren w Nigrze.

Złożami uranu w Afryce interesował się także Iran (sygnalizowane były kontakty z Zimbabwe, Sierra Leone i Nigrem oraz Korea Północna (sygnalizowane były kontakty z Demokratyczną Republiką Konga, Nigrem i Tanzania).

Bezpośrednie zaangażowanie państwa-gospodarza w udziały w działających na jego terytorium prywatnych (głównie zagranicznych) firmach obserwuje się w przypadku Namibii (poprzez państwową firmę **Epangelo Mining**) oraz Nigru (poprzez firmę **SOPAMIN**).

ZAGADNIENIA NIEPROLIFERACJI

Wszystkie wymienione w tym artykule kraje afrykańskie są stronami Układu o nierozprzestrzenianiu broni jądrowej (NPT), ale niektóre z nich (Algieria, Egipt, Etiopia, Gwinea Równikowa, Kamerun, Senegal, Somalia, Sudan, Tanzania i Zimbabwe wg stanu z 13 czerwca 2013 r. nie są stronami Protokołów dodatkowych do zawartych porozumień z MAEA o stosowaniu zabezpieczeń, zaś Gwinea podpisała Protokół dodatkowy ale go nie ratyfikowała. Ratyfikowanie Protokołu dodatkowego umożliwi międzynarodowe inspekcje w ośrodkach wydobycia uranu. Nieprzystąpienie do niego może m.in. ułatwiać dostęp do uranu danego kraju przez kraje pozostające poza systemem nierozprzestrzeniania broni jądrowej utworzonym na bazie NPT. W takim przypadku wydobycie uranu nawet po kosztach znacznie przekraczających jego ceny rynkowe mogłoby zostać podjęte z powodów politycznych, np. w celach sprzecznych z zasadami nierozprzestrzeniania broni jądrowej. Wydaje się to jednak w obecnym okresie mało prawdopodobne.

ŚREDNIE ROCZNE ZAPOTRZEBOWANIE REAKTORA ENERGETYCZNEGO NA URAN NATURALNY

Średnie roczne zapotrzebowanie na uran naturalny przyjęte w opracowaniu OECD/NEA-IAEA „Uranium 2011: Resources, Production and Demand” jako podstawa do oceny zapotrzebowania na uran naturalny podstawowych typów reaktorów energetycznych przedstawia się jak w poniższej tabeli. Przyjęto uśredniony wskaźnik wykorzystania reaktorów oraz założono, że po wzbogaceniu uranu naturalnego zawartość izotopu rozszczepialnego U-235 w pozostałościach (uranie zubożonym) będzie wynosiła 0,3%. W miarę wzrostu cen uranu staje się opłacalne lepsze wykorzystanie uranu naturalnego w procesie wzbogacania izotopowego (obniżenie zawartości U-235 w pozostałościach) prowadzące do zmniejszenia zapotrzebowania jednostkowego na uran naturalny.

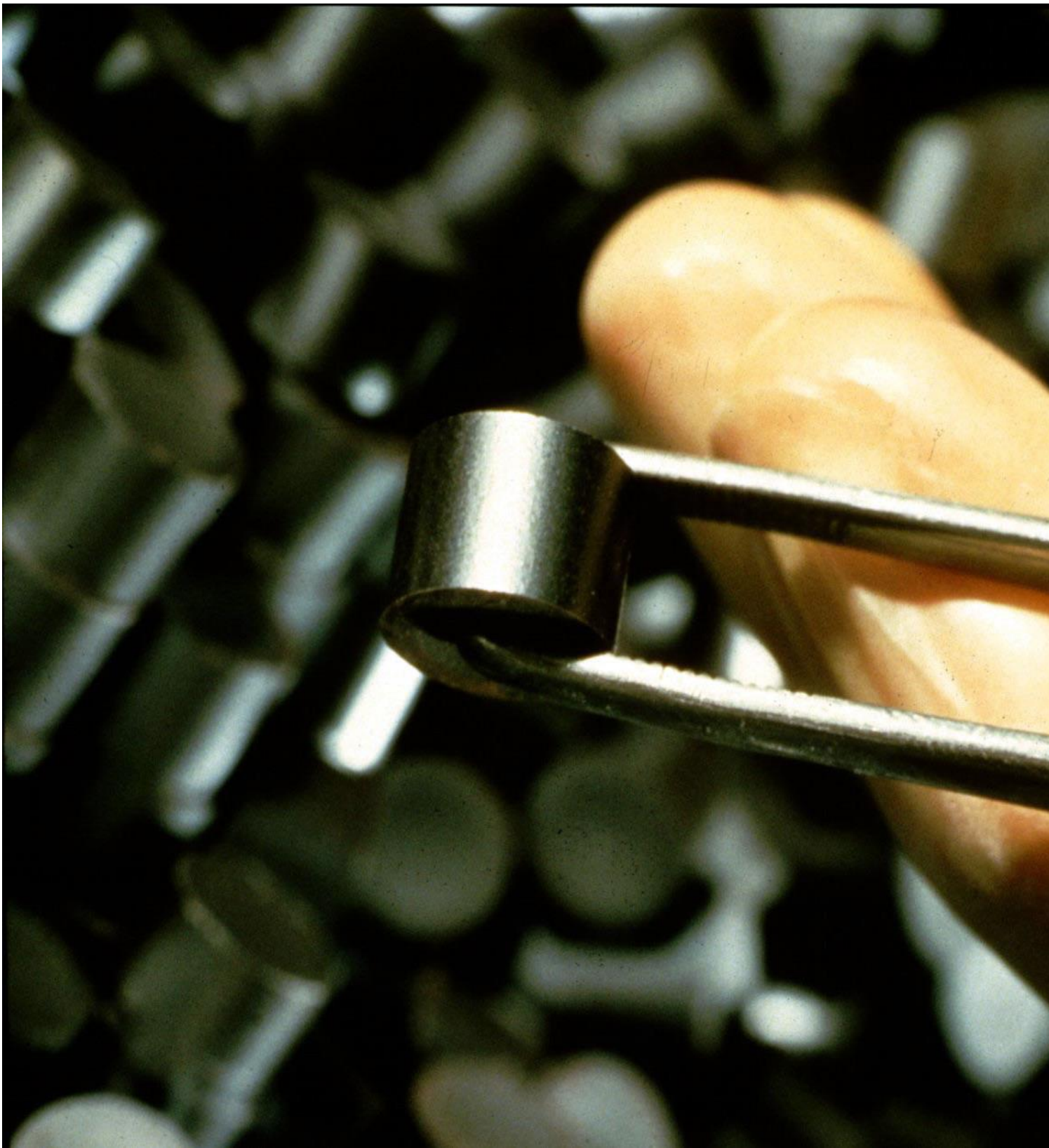
Liczby w III kolumnie tabeli podano dla reaktorów konstrukcji zachodnich. W przypadku reaktorów rosyjskich są one niższe i wynoszą: ¹ - 50 lat oraz ² - 60 lat.

Konstrukcja reaktora	Projektowy okres eksploatacji, [lata]	Przedłużony okres eksploatacji, [lata]	Roczne zapotrzebowanie na uran naturalny, tU
PHWR	30	55	145
PWR II Gen	40	60 ¹	175
BWR II Gen	40	60	185
PWR III Gen	60	80 ²	165
BWR III Gen	60	80	165

Trudno oszacować łączną ilość zasobów i czas eksploatacji gdyż odkrywano nowe złoża uranu, unowocześniany proces przerobu a nowe technologie idą w kierunku przetwarzania zużytego paliwa i „samowystarczalności” energetycznych reaktorów jądrowych

LITERATURA

1. Jacek T. Kaniewski, *Czy może zabraknąć uranu dla energetyki Jądrowej?* EKOATOM nr 7 (2013)
2. ESA (Euratom Supply Agency) *Annual Report 2012*
3. OECD/NEA - IAEA pt. *Uranium 2009: Resources, Production and Demand*
4. OECD/NEA - IAEA pt. *Uranium 2011: Resources, Production and Demand*
5. WISE: *Uranium Mining Projects/New Uranium Projects – Africa, updated 26 September 2013*
6. WNA: *Uranium in Africa, updated July 2013*
7. *Ux Weekly - biuletyny tygodniowe firmy konsultingowej UxC za okres od 1.07.2013 do 31.03.2014*
8. *Declaration of Bakara on the Occasion of the Reflection and Training Workshop on Uranium Exploitation in Bakara, Chad, from 14 to 18 September 2009*
9. IAEA: *Conclusion of Additional Protocols – Status as of 7 June 2013*



NUCLEAR ENGINEERING

INTERNATIONAL

[Home](#)

[News](#)

[Features](#)

[Opinion](#)

[Video](#)

[Events](#)

[Jobs](#)

[Newsletter Sign-Up](#)

[Subscribe](#)

[About Us](#)

[Contact Us](#)

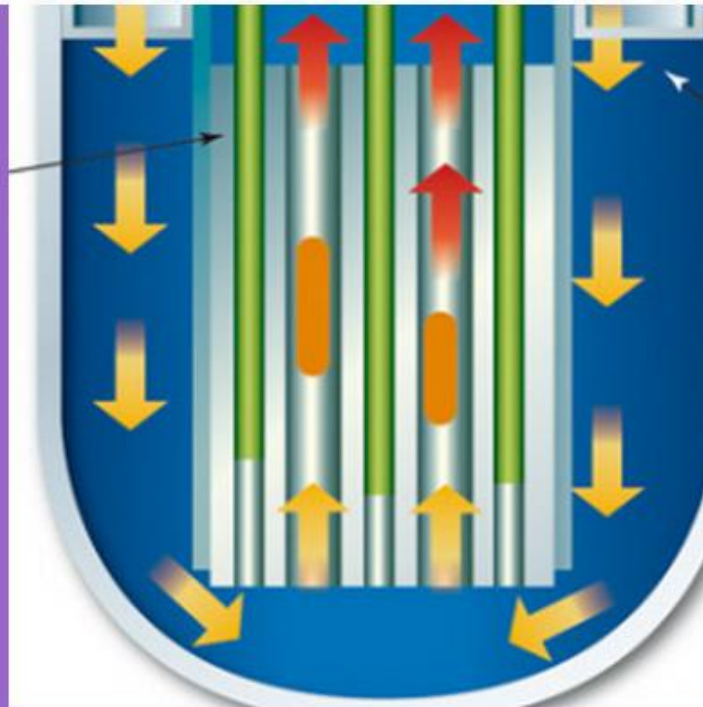
[Advertise With Us](#)

LATEST FEATURES

CAREM: Argentina's innovative SMR

First concrete was poured in
February for the prototype of...

[Read Feature](#)



elcatoon

FREE Newsletter
Latest nuclear news
& technology.



Enter Email Address

GO



LOG IN or REGISTER

Enter Keyword



Search

Buyers' Guide

Company A - Z

Subscribe Online

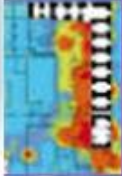
Order Publications



CAREM: Argentina's
innovative SMR



Planning for nuclear
in Poland



Characterization of
radioactive
contamination using
geostatistics



Damage limitation at
Daya Bay

DON'T MISS OUT

NUCLEAR
ENGINEERING
INTERNATIONAL

Always have the latest trends
and breakthrough technologies
at your fingertips.

Subscribe Online

in english

The future of uranium – higher prices to come?

6 May 2014 by Steve Kidd

Steve Kidd is an independent nuclear consultant and economist with 17 years of work in senior positions at the World Nuclear Association and its predecessor organization, the Uranium Institute.

Predictions of the rise in price of uranium are unjustified; they do not fully appreciate the segmented nature of the market.

The world uranium market has fallen back substantially from the highs it sustained in the period around 2005-2010, when the spot price peaked at over \$130 per pound in summer 2007. After the Fukushima accident in 2011, the price drifted down further and has been stable at the \$35 per pound level since last summer. Although this is well above the \$10 per pound that prevailed for the long period from the late 1980s up until 2003, it is universally agreed that very few (if any) new mines can be developed at today's price level. The suggestion is therefore made (particularly by uranium producers and their financial sector backers) that with rising demand, there will be shortages of supply in future unless we soon have much higher prices to encourage new production. On the demand side, a lot of attention is currently being to the upcoming Japanese reactor restart programme, in terms of timing and number of reactors.



[Cartoon by Alexey Koveynev]

A recent report from my company (East Cliff Consulting, 'The Fifth Age of Uranium') shows why the case

made by the uranium bulls is in reality full of holes. We are now more likely to see a long period of relatively low prices, in which uranium producers will find it hard to make a living.

Substantial oversupply in the Fourth Age

The starting point is to understand the full history of uranium supply and demand. This is covered in the WNA's biennial fuel market report, which identifies four distinct ages running from 1945 until today. The fourth of these began in 2003, when prices started rising sharply to mark the end of the third age, which was the long period of inventory rundown and constrained production lasting from the late 1980s. Talk in 2003 was of a "renaissance" of nuclear power and lots of new mines were apparently needed to meet their fuel requirements, while previously abundant secondary supplies would gradually wither away. Not so different from what the optimists are saying about uranium today.

World production certainly responded strongly to the obvious price signal back then and it had risen by half by 2010. One curious feature, however, was that the increase was almost entirely concentrated in only one country, namely Kazakhstan. Apart from this, hundreds of "junior" uranium companies suddenly appeared but the only company successful in establishing new large-scale production facilities was Paladin, with Langer Heinrich in Namibia and Kayelekera in Malawi. The others succeeded in mining only the financial markets.

"Despite all the hype about nuclear growth plans, the level of underlying uranium demand did not rise at all during this period"

Another remarkable fact was that despite all the hype about nuclear growth plans, the level of underlying uranium demand did not rise at all during this period. This is even without the adverse impact of the accident at Fukushima in 2011. Shutdowns of ageing reac-

tors in various countries were just balanced by the commissioning of new units (increasingly in China). Another crucial factor has been a fundamental realignment in the relationship between uranium and enrichment requirements. The closure of the inefficient gaseous diffusion enrichment plants removed the high marginal cost production which had propped up prices, while notably higher uranium prices in themselves encouraged the use of higher enrichment (through reducing the optimum "tails assay"). Enrichment is now expected to remain cheap and abundant as centrifuge plants are modular and capacity can be expanded relatively easily to meet demand, so this substitution of enrichment for uranium will continue to be important.

The impact of much higher production combined with static demand during this fourth uranium age is substantial over-supply in the world uranium market, with prices naturally falling back to lower levels. The other obvious corollary of this period has been a renewed upsurge in uranium inventory levels in the United States, Europe and (with the shutdown of reactors since Fukushima) Japan. Some of this has been entirely voluntary on the part of the fuel buyers, who want more security of supply. The biggest increase has been in China, which has been building huge inventory balances to provide security for the anticipated fuel requirements of its rapid reactor building programme. On the other hand, some of the accumulation (such as in Japan) has been involuntary and this material can be used to balance the market over the next period, effectively at the expense of fresh production.

In fact China can be seen as the mirror image of the production growth in Kazakhstan, as the majority of Chinese imports have been sourced from there. The rest of the world has continued much as before, with no overall nuclear growth and not much of any real substance happening in the development of new uranium mines, except a few key projects such as Cigar Lake in Canada.

Uranium demand to increase in China and Russia

"Uranium demand will almost certainly fall in the key markets in Western Europe and North America"

The uranium bulls continue to point to the prospects for nuclear growth to 2030. The problem is that most of this will be concentrated in China and Russia. Over half will likely be in China and the Chinese may also

become important in supplying reactors to other countries in the 2020s. The Russian domestic nuclear programme is now progressing quite well, and they too will be a key supplier of reactors to other countries in the period to 2030. When the Russians supply a reactor, they invariably include long-term fuel contracts. What is important is that uranium demand will almost certainly fall in the key markets in Western Europe and North America, which are satisfied by the established uranium producers. Many Japanese reactors will undoubtedly restart but it will take a long time to unwind the inventory accumulation there.

Those who believe in higher uranium prices take an over-optimistic demand scenario. It can now be argued that the range of possibilities has actually narrowed considerably and it is appropriate to centre discussion on just one main case to 2030. Upper scenarios showing rapid nuclear growth in many countries including plants starting up in new countries now look very unlikely, certainly before the late 2020s. If there is to be a nuclear renaissance, it is now much more likely to happen later, and with a new generation of reactors. On the other hand, predictions that another major accident would shut down nuclear in lots of countries have been negated by the experience of Fukushima. Although there remain some uncertainties, the outlying upper and lower cases are much less credible than before.

Uranium market split into three

So we are entering a fifth era of uranium, where the market is split into three.

The **Chinese** will favour investing directly in mines to satisfy their requirements. These (like Husab in Namibia) will not necessarily be at the low end of the cost curve: there are important geopolitical considerations too and the Chinese are keen to get involved directly in the economic development of many countries, particularly in Africa. They are also not going to "play ball" with the established uranium market. Although they will maintain a presence in the spot market and sign further long-term supply contracts with producers, they have learned their lesson from the iron ore market. In that sector their heavy dependence on imports from BHP Billiton, Rio Tinto and Vale has given these producers fantastic profits.

The **Russians** will continue to be significant nuclear fuel exporters but their own market will remain essentially closed to outsiders. They still have secondary supplies to tap into (plenty of surplus HEU remains to be down-blended) and they will follow the Chinese and invest directly in uranium assets if their own domestic production remains constrained. Their recent

acquisition of the producer Uranium One can be seen very much in this vein.

The **established uranium producers** will have the remainder of the market to satisfy and that will likely be declining in magnitude. There are bright spots are South Korea and the Middle East (where Saudi Arabia may join the UAE in having a nuclear programme) but the prospects in North America and Europe are not so good. In the United States, the number of operating reactors will fall by 2030, with a small number of new units not sufficient to compensate for closures due to cheap shale gas and the incursion of subsidised renewable energy into power markets. Although reactors may well be licensed for up to 80 years, they will not operate unless the economic fundamentals are right. In Canada too, it seems unlikely that all three nuclear stations in Ontario will be refurbished, and there is a strong possibility that Pickering will close. In Europe, even in France the future of the currently operating units is now in question. It is likely that there will be a gradual reduction in the nuclear share of electricity in France towards 50% and so older units (beyond Fessenheim) will likely close by 2030. New-build in the United Kingdom will only compensate for units shutting down, while further new units will only happen in a few countries such as Finland and (possibly) the Czech Republic. So with countries like Belgium and Switzerland following Germany into a nuclear phase-out, the overall European situation is one of gentle decline.

"China and Russia...will develop uranium assets wherever it best suits them. They have the confidence to bypass the conventional market, which could increasingly become merely a sideshow."

This market segmentation and the way the Chinese and Russians will operate means that the two prime analytical devices utilised in the uranium market are both now useless. First, calculated annual world supply-demand balances (miraculously often showing a shortage after 3-5 years) are irrelevant in a segmented market, where key actors with expanding demand choose to go it alone. For a time in the early 2000s, it looked as if a globalised world nuclear fuel market could emerge, but this has not happened and it is arguably now going into reverse. Secondly, uranium supply curves (based on mine cost data), demonstrating the need for higher prices as demand expands, are also invalidated. China and Russia (and probably India too, if it eventually gets its nuclear act together) will develop uranium assets wherever it best suits them. They have the confidence to bypass the conventional market, which could increasingly become merely a sideshow. Another issue to watch is the persistence of se-

condary supplies beyond Russia. Only part of the 2.5 million tonnes of uranium mined since 1945 has been utilised. Almost 2 million tonnes of depleted uranium is an attractive resource while there is overcapacity in enrichment and cheaper prices. In the very long term, China, Russia and India are committed to reprocessing their used fuel and will probably eventually succeed in tempering their uranium use by building large reprocessing plants. Any substantial replacement of uranium, however, will have to await the next generation of reactors, which will be fuelled very differently from today's large light water designs.

Fifth Age price predictions

In this fifth age of uranium, prices will essentially be determined by the cash costs of production of operating mines (and not by the full costs of future mines). This means a reversion to the long period of low (but relatively stable) uranium prices of the late 1980s and 1990s (the third age), but at a higher level to reflect the greater level of production now, the escalation of mining costs and the movements in currency exchange rates. The shortages predicted by many analysts (leading to rapid price increases to provide good rates of return on their favourite projects) are purely a mirage.

The outlook is therefore not favourable for either current or prospective uranium producers. Only those with low-cost operations will prosper. Others will struggle to stay in business and further mine closures (beyond Paladin's Kayelekera which is now on "care and maintenance") are definitely on the horizon. A high-profile mine closure is one factor that could cause the price to spike, but historical experience is actually rather different: once mines get into operation, owners will usually withstand short-term financial losses so long as they are convinced that there are better times around the corner. And they tend to be incurable optimists.



<http://www.neimagazine.com/>

GRZEGORZ
JEZERSKI

energia jądrowa

W
i d

TADEUSZ CHMIELNIAK

technologie energetyczne



Wydawnictwa Naukowo-Techniczne

czy wiesz jaka jest różnica między
elektrownią jądrową
a bombą atomową?

SERIA: COSiW Multimedia # 5

Materiały z
XII Festiwalu Nauki w Warszawie

energetyka jądrowa
ochrona radiologiczna

organizatorzy:

Instytut
Energii
Atomowej



Centralne
Laboratorium
Ochrony
Radiologicznej

20 września 2008