

Program jądrowy w Federacji Rosyjskiej

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ
ANALIZY I OPRACOWANIA





JAMAŁ

Rosyjski 150-metrowy lodołamacz wyposażony w dwa reaktory jądrowe. Jest jednym z niewielu statków, którym udało się doptłynąć do bieguna północnego, i jedynym, któremu ta sztuka udało się kilkadziesiąt razy. Jednostka jest również statkiem wycieczkowym posiadającym 50 kabin i apartamentów.

Program jądrowy w Federacji Rosyjskiej

Energia jądrowa pozostaje strategicznym priorytetem dla Rosji. Utrzymuje się stały wzrost jej udziału w bilansie energetycznym kraju zarówno poprzez budowę nowych bloków jądrowych, jak i dzięki znacznej poprawie wydajności istniejących instalacji. Obecnie FR eksploatuje 35 reaktorów energetycznych o całkowitej mocy 26,1 GWe, które dostarczają ok. 18% krajowej produkcji energii elektrycznej, a w budowie znajduje się kolejnych 8 reaktorów. Do roku 2030 planowane jest uruchomienie 15 nowych reaktorów i zwiększenie udziału energii jądrowej w bilansie energetycznym do 25-30%.

Kraj ten opanował pełny cykl paliwowy, w tym wzbogacanie uranu oraz przerób wypalonego paliwa i jest samowystarczalny pod względem zaopatrzenia w paliwo jądrowe oraz postępowania z odpadami promieniotwórczymi. Eksport urządzeń i usług jądrowych stanowi jeden z głównych celów politycznych i ekonomicznych państwa. Firmy rosyjskie oferują kompleksową dostawę technologii (budowa elektrowni, dostarczanie paliwa, demontaż) a państwo zapewnia wsparcie finansowe tych inwestycji.

Rosja jest także światowym liderem w technologii reaktorów prędkich.

1.

Bilans energetyczny

Krajowa produkcja energii elektrycznej w 2012 r. wyniosła 1071 TWh, z czego 525 TWh wyprodukowano w elektrowniach gazowych (49%), 178 TWh w jądrowych (16,6%), 169 TWh w węglowych (15,8%) i 167 TWh pochodziło z hydroelektrowni (15,6%). Udział energii jądrowej w bilansie energetycznym nieznacznie wzrastał w ubiegłych latach - w roku 2013 wyniósł 17,5% (162 TWh), 18,57% (180,5 TWh) w 2014 r. i 18,6% (185 TWh) w roku 2015 [Wykres 1].

Średni współczynnik obciążenia bloków wzrósł z 60% w latach 90. XX w. do ponad 81% w roku 2011.

Według nowej strategii energetycznej Rosji wprowadzonej w 2003 roku, **za priorytet przyjęto redukcję ilości gazu ziemnego zużywanego do produkcji energii elektrycznej.** Spowodowane jest to polityką ekonomiczną Gazpromu, który do 2020 r. zamierza o połowę zmniejszyć krajowe dostawy gazu dla celów energetycznych - uzyskuje bowiem pięciokrotnie większe zyski z jego eksportu do krajów UE niż z dostaw

na krajowe cele energetyczne.

W 2015 r. całkowita zainstalowana moc elektrowni jądrowych wynosiła 26,1 GWe. Obok Chin i Indii, Rosja jest krajem, w którym prognozuje się najszybszy przyrost zdolności wytwórczych w elektrowniach jądrowych (15 reaktorów o sumarycznej mocy 18,6 GWe) i osiągnięcie 44 GWe do 2030 r. Wdrażany Celowy Program Federalny (Federal Target Plan, FTP) **przewiduje wzrost udziału energii jądrowej w bilansie energetycznym (kosztem zużycia gazu) do 25-30% w roku 2030, 45-50% do 2050r. i 70-80% do 2100 r.**

Duże inwestycje konieczne są w najbliższym czasie w związku ze starzeniem się eksploatowanej floty reaktorów, z których ponad połowa ma więcej niż 30 lat. Pomimo programu ich modernizacji i przedłużania okresu bezpiecznej eksploatacji o ok. 15 lat do 2030 r. wyłączonych ma zostać 16,5 GWe w istniejących EJ. W bliskiej perspektywie (2025-2030) reaktory lekkowodne WWER będą stanowiły podstawowy typ

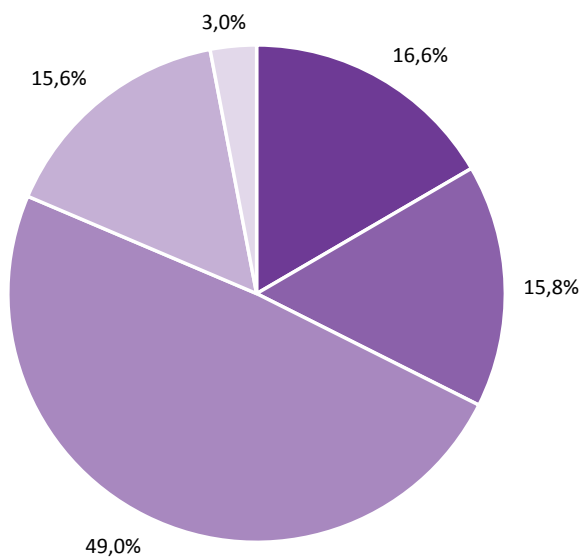
reaktora energetycznego.

W dalszej perspektywie strategia rosyjska zakłada, że ograniczone własne zasoby uranu oraz rosnąca ilość wypalonego paliwa wymagają rozwijania zamkniętego cyklu paliwowego opartego o prędkie reaktory powielające. Rosja jest jedynym krajem na świecie, który eksploatuje energetyczne reaktory prędkie. Planowany jest dalszy rozwój reaktorów tego typu - uruchomienie projektu „Прорыв”, który zakłada docelowo zamknięcie jądrowego cyklu paliwowego za pomocą reaktorów prędkich. Mają one po 2030 r. rozpocząć procesy utylizacji wypalonego paliwa pochodzącego z reaktorów termicznych pracujących obecnie oraz zmniejszenia ilości odpadów wysokoaktywnych wytwarzanych przez energetykę jądrową. Moc generowana w reaktorach prędkich ma wynosić 14 GWe do 2030 r. i 34 GWe do 2050 r.

Wykres 1.

Bilans energetyczny FR w 2012 r.

- Energia Jądrowa
- Węgiel
- Gaz
- Hydro
- Inne



2. Energetyka jądrowa

Rosja jest państwem pionierskim w dziedzinie rozwoju energetyki jądrowej. Pierwsza elektrownia na skalę eksperymentalną o mocy 5 MWe została włączona do sieci 26 czerwca 1954 roku w Obinińsku na terenie byłego ZSRR.

W 1964 r. uruchomiono pierwsze dwie elektrownie jądrowe w ZSRR: EJ Biełojarską na Uralu ze 100 MW reaktorem wrzącym kanałowym z moderatorem grafitowym (LWGR) oraz EJ Nowoworoneżką nad Wołgą z 210 MW reaktorem ciśnieniowym WWER (PWR). W 1973 r. w EJ Leningrad w Sosnowym Borze został uruchomiony pierwszy **reaktor kanałowy** dużej mocy RBMK-1000 oraz w EJ Kola oddano do użytku reaktor WWER-440.

Opracowana po 1975 roku większa wersja reaktora WWER-1000 (AES-91, AES-92) została przyjęta za standardowy model reaktora energetycznego w ZSRR/Rosji i stanowi podstawę dla rozwoju energetyki jądrowej w tym kraju do roku 2030. Reaktory tego typu posiadają obudowę bezpieczeństwa, automatyczny system kontrolny i pasywne systemy bezpieczeństwa zgodne z wymaganiami dla reaktorów III Gen. Reaktory WWER budowane były na terenie ZSRR oraz poza jego granicami. Obecnie 53 reaktory tego typu eksploatowane są w Rosji, Armenii, Bułgarii, Chinach, Czechach, Finlandii, na Węgrzech, na Słowacji, w Indiach i Iranie, z czego

28 jest typu WWER-1000.

Reaktor WWER-1200 (NPP-2006, AES-2006) jest rozwojową wersją reaktora WWER-1000 oferowaną zarówno na rynek krajowy, jak i na eksport. Okres budowy wynosi 54 mies., przewidywany czas eksploatacji – 60 lat, współczynnik obciążenia – 90%. Posiada on obudowę bezpieczeństwa i awaryjny system chłodzenia rdzenia oraz inne pasywne systemy bezpieczeństwa (w tym chwytacz stopionego rdzenia) i systemy sterowania francuskiej firmy Areva. Reaktory tego typu budowane są w EJ Leningrad II i Nowoworoneż II. W czerwcu 2012 r. Rosja podpisała kontrakt na budowę 2 reaktorów AES-2006 na Białorusi w EJ Ostrowiec oraz w styczniu 2014 r. na budowę kolejnych 2 reaktorów AES-2006 w EJ Paks na Węgrzech.

Najnowszą wersją reaktora WWER jest reaktor WWER-TOI (AES-2010) o mocy 1300 MWe cechujący się m.in. zwiększoną odpornością sejsmiczną, możliwością regulacji mocy w systemie nadążnym (manewrowością), czasem, w którym nie jest wymagana interwencja operatora (tzw. grace period) wynoszącym 72 godz., czasem budowy 40 mies., mniejszymi kosztami budowy i mniejszym zużyciem paliwa. Reaktor ten spełnia wymagania dla reaktorów Gen. III+ i Rosja planuje wystąpić o jego międzynarodową certyfikację zgod-

nie z wymaganiami EUR oraz przez dozory w UK i USA. W reaktorach tego typu przewiduje się także możliwość stosowania paliwa MOX (do 35% rdzenia).

Obecnie w Rosji eksploatowanych jest 35 reaktorów energetycznych w 10 elektrowniach o sumarycznej zainstalowanej mocy elektrycznej 26,1 GWe:

- 6 reaktorów WWER-440;
- 12 reaktorów WWER-1000;
- 11 reaktorów RBMK;
- 4 reaktory LWGR małej mocy pracujące w układzie kogeneracji ciepła;
- 2 reaktory prędkie: BN-600, BN-800.

W Rosji obecnie budowanych jest 8 reaktorów energetycznych w 5 elektrowniach o sumarycznej projektowanej mocy elektrycznej 7,1 GWe:

- 2 reaktory KLT-40;
- 1 reaktor WWER-1000;
- 5 reaktorów WWER-1200.

W roku 2015 oddano do użytku zaledwie 1 blok: BN-800 w EJ Biełojarsk. Pozostałe obiekty mają być ukończone w latach 2016-19.

Dalsze plany rozwoju energetyki jądrowej zakładają budowę kolejnych 26 reaktorów o sumarycznej projektowanej mocy ok. 28,5 GWe.

State Corporation (SC) **Rosatom** jest państwowym koncernem utworzonym w 2007 r. odpowiedzialnym za cały rosyjski sektor nuklearny: broń

Tabela 1.

Wykaz reaktorów energetycznych eksploatowanych w FR [1]

Lp.	Elektrownia	Typ reaktora	Moc zainstalowana (netto) MWe	Oddanie do eksploatacji	Termin wyłączenia
1.	Bałakowo 1-4	V-320	988	5/86	2045
		V-320	1028	1/88	2033
		V-320	988	4/89	2034
		V-320	988	12/93	2023
2.	Biełojarsk 3-4 / Zariecznyj	BN-600 FBR	560	11/81	2025
		BN-800 FBR	789	12/2015	2055
3.	Bilibino 1-4	LWGR-EGP-6	4x11	4/74-1/77	2019-21
4.	Kalinin 1-4	V-338	950	6/85	2025
		V-338	950	3/87	2032
		V-320	988	11/05	2034
		V-320	950	9/12	2042
5.	Kola 1-4	V-230	432	12/73	2019
		V-230	411	2/75	2020
		V-213	411	12/82	2026
		V-213	411	12/84	2039
6.	Kursk 1-4	RBMK	1020	10/77	2022
		RBMK	971	8/79	2024
		RBMK	971	3/84	2029
		RBMK	925	2/86	2031
7.	Leningrad I 1-4 (Sosnowy Bór)	RBMK	925	11/74	2019
		RBMK	971	2/76	2021
		RBMK	971	6/80	2025
		RBMK	925	8/81	2026
8.	Nowoworoneż I 3-5	V-179	385	6/72	2016
		V-179	385	3/73	2017
		V-187	950	2/81	2035
9.	Rostów 1-3	V-320	990	3/01	2030
		V-320	990	10/10	2040
		V-320	1011	12/14	2045
10.	Smoleńsk 1-3	RBMK	925	9/83	2022
		RBMK	925	7/85	2015
		RBMK	925	1/90	2020

Razem: 35 w eksploatacji

Moc zainstalowana: 26,1 GWe

Tabela 2.

Wykaz reaktorów energetycznych budowanych w FR [1]

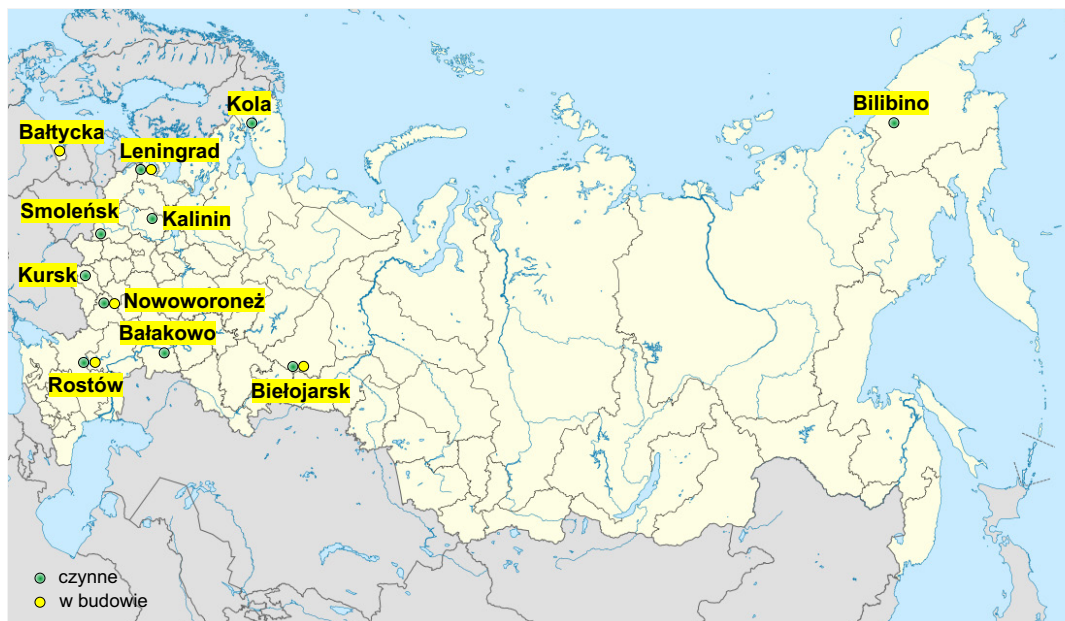
Lp.	Elektrownia	Typ reaktora	Moc projektowana (brutto) MWe	Rozpoczęcie budowy	Planowane oddanie do eksploatacji
1.	Pływająca NPP I	KLT-40S	2x35	5/09	2017-18
2.	Nowoworoneż II 1-2	WWER-1200 (V-392M)	2x1200	6/08, 7/09	2016,17
3.	Rostów 4	WWER-1000 (V-320)	1100	6/10	2017
4.	Leningrad II 1-2	WWER-1200 (V-491)	2x1170	10/08, 4/10	2017, 2019
5.	Bałtycka (Nieman)	WWER-1200 (V-491)	1194	4/12 wstrzymano	?

Razem: 8 w budowie

Moc projektowana: 7,1 GWe

Mapa 1.

Rozmieszczenie EJ w Federacji Rosyjskiej



jądrową, bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną, odpady promieniotwórcze, rozwój energetyki jądrowej, prace badawczo-rozwojowe, szkolenie oraz flotę lodołamaczy o napędzie atomowym.

Cywilna część przemysłu jądrowego jest nadzorowana przez przedsiębiorstwo Atomic Energy Power Corporation, Atomenergoprom (AEP), które skupia ponad 80 podmiotów działających w różnych obszarach jądrowego cyklu paliwowego.

Do najważniejszych z nich należą:

- ARMZ Uranium Holding Co (JSC AtomRedMetZoloto) – producent uranu;

- Techsnabexport (Tenex) – obrót międzynarodowy uranem i usługami jądrowymi;
- TVEL – wzbogacanie uranu i produkcja paliwa;
- Atomenergoproekt – projektowanie EJ;
- Atomstroyexport (ASE)

- budowa EJ za granicą;
- Rusatom Overseas – eksport projektów jądrowych, badania rynkowe i promocja zintegrowanych rozwiązań rosyjskiego przemysłu jądrowego na rynkach zagranicznych;
- JSC Rosenergoatom (Energoatom) – budowa i eksploatacja EJ. Energoatom jest jedynym właścicielem oraz operatorem wszystkich eksploatowanych i budowanych EJ w Rosji.

Tabela 3.

Wykaz reaktorów energetycznych planowanych do budowy w FR [1]

Lp.	Elektrownia	Typ reaktora	Moc projektowana (brutto) MWe	Planowane rozpoczęcie budowy	Przewidywane oddanie do eksploatacji
1.	Leningrad II 3-4	WWER-1200	2x1170	2018, 2019	2023, 2024
2.	Kursk II 1-4	WWER-TOI	2x1300 2x1300	2016, 2018 planowane	2021, 2023 2028, 2030
3.	Niżny Nowogród 1-2 (Monakowo)	WWER-TOI	2x1300	2015, 2023	2019, 2028
4.	Smoleńsk II 1-2	WWER-TOI	2x1300	2022, 2024	2027, 2029
5.	Centralna/(Buisk)	WWER-TOI	2x1300	planowane	do 2030
6.	Biełojarsk 5	BN-1200	1200	2025	2031
7.	Południowy Ural (Oziorsk)	BN-1200	2x1200	planowane	do 2033, 2035
8.	Dimitrowgrad	SVBR-100	100	2015	2018
9.	Siewiersk	BREST-300	300	2016	2020
10.	Sakha	KLT-40S	40x2	planowane	2020
11.	4 EJ z listy: Kola, Smoleńska, Tatarska, Siewiersk, Baszkirska, Primorska, Płd. Ural, Żeleznogorsk Nowoworoneż, Twer Niżny Nowogród, Centralna, Biełojarsk, Bałakowo	WWER-TOI	7x1300	planowane	2031-35
Razem: 26 planowanych reaktorów			Moc projektowana: 28,5 GWe		

3.

Projekty eksportowe Rosatomu na świecie

Rosja od dawna jest postrzegana poprzez pryzmat śmiałych i odważnych poczynań firm państwowych jako instrumentu wykorzystywanego do wywierania nacisków na różne państwa w celu realizacji swojej polityki mocarstwowej¹. Mniej uwagi przykładą się natomiast do innych działań, które znajdują się w cieniu tych spektakularnych i głośniejszych wojen energetycznych.

Ostatnio pojawiły się doniesienia o podejmowanych przez Rosatom wysiłkach w celu znacznego zwiększenia bezpośredniego dostępu do światowych złóż uranu poprzez wykup zagranicznych firm wydobywczych.

Rosatom dokonał również skutecznego silnego wejścia na rynek budowy elektrowni jądrowych pokonując takie potęgi jak Westinghouse i Areva. Obecnie posiada on **największy portfel zamówień, który wynosi 30 reaktorów w różnym stadium planowania i budowy w ponad dwunastu krajach (dla porównania Areva od 2007 r. nie sprzedała ani jednego reaktora).**

Sukces Rosatomu można przypisać silnemu poparciu, jakie otrzymuje on ze strony rządu rosyjskiego. Dostrzegł on bowiem już 10-15 lat temu, że aktywność zagraniczna tego koncernu w dziedzinie energetyki jądrowej pozwala Rosji rozszerzać swoje długookresowe polityczne strefy wpływu na inne państwa, a nie ograniczać się

tylko do państw sąsiedzkich, jak ma to miejsce w przypadku gazu czy ropy. [2], [3]

Można zdefiniować cztery główne przyczyny ostatnich sukcesów Rosatomu.

Sąto:

- **atrakcyjny sposób finansowania inwestycji**

Pomimo trudności finansowych spotęgowanych sankcjami międzynarodowymi Rosja jest stale zainteresowana realizacją projektów gwarantujących realizację celów długofalowych. Spodziewane korzyści niekoniecznie muszą mieć naturę finansową. Postrzegane są one jako fragment strategii narodowej. Moskwa gotowa jest znacznie dotować Rosatom oraz oferować pożyczki państwowym, które nie stać na jego produkty. Oznacza to, że Rosatom może sprzedawać reaktory jądrowe po dużo niższych cenach niż jego konkurenci. Atrakcyjność finansowa rosyjskich ofert w zakresie budowy nowych bloków energetycznych zwiększana jest poprzez gwarancje państwowe dla realizacji inwestycji zagranicznych, ofertę kredytów eksportowych oraz wsparcie finansowe z budżetu państwa dla Rosatomu. Jest to kluczowe szczególnie w krajach rozwijających energetykę jądrową, dla których cena oraz warunki kredytowania inwestycji są niezwykle istotne przy wyborze wykonawcy projektu.

- **schemat BOO**

- (buduj, posiadaj i eksploatuj)

Rosatom podejmuje tutaj całe ryzyko inwestycyjne związane z projektem. Wiele państw rozwijających się chce rozwijać energetykę jądrową jako źródło stosunkowo taniej energii, lecz nie są one w stanie udźwignąć kosztów budowy reaktorów. Ponadto nie są one ani zainteresowane, ani nie posiadają wystarczającej kompetencji do eksploatacji elektrowni po jej wybudowaniu. Schemat BOO pozwala ominąć te przeszkody i złożyć całą odpowiedzialność za budowę i eksploatację elektrowni na stronę rosyjską. W ramach tego porozumienia Rosatom posiada 100% akcji przedsiębiorstwa, zapewnia dostawę paliwa, jego przerób, szkolenie dla pracowników i kadry inżynierskiej, a także wszelkie dostępne unowocześnienia konstrukcji. EJ Akkuyu w Turcji ma być pierwszym obiektem budowanym wg tego schematu.

- **relatywnie duża swoboda podejmowania decyzji inwestycyjnych**

W porównaniu do innych dużych firm zaangażowanych w przemysł jądrowy takich jak: Areva, Westinghouse czy Tokio Electric Power Company, Rosatom nie ma narzuconych formalnych ograniczeń do prowadzenia inwestycji w pewnych krajach. Dla porównania firmy amerykańskie mogą inwestować jedynie

w państwach, które zawarły stosowne porozumienie z rządem USA o wykorzystaniu nabytej wiedzy w dziedzinie energii jądrowej (tzw. 123 Agreement). Państwa takie jak: Wietnam i Bangladesz, w których Rosatom buduje obecnie reaktory jądrowe, nie zawarły takiego porozumienia, co nie pozwala firmom amerykańskim nawet występować do przetargów.

• oferta dodatkowa

W pewnych warunkach porozumienie w sprawie budowy elektrowni jądrowej jest częścią większego pakietu. Dla przykładu współpraca Wietnamu z Rosją w dziedzinie energetyki jądrowej pozwala mu na zakup okrętów podwodnych i innego sprzętu wojskowego od Rosji.

Istotnym czynnikiem przy wyborze rosyjskiej technologii jądrowej jest fakt, iż Rosja jest jedynym krajem, który nieprzerwanie od kilkudziesięciu lat buduje elektrownie jądrowe, stale podnosząc ich bezpieczeństwo i niezawodność, gwarantując jednocześnie konkurencyjne ceny i krótki czas budowy.

Rosja zwiększyła swoją konkurencyjność na rynku konstrukcji reaktorów poprzez opanowanie seryjnej produkcji nowych jednostek. Pozwala to na budowę tego samego standardowego projektu w różnych państwach z różnymi opcjami uwzględniającymi lokalne warunki (np. odmienność sejsmiczną, klimat, temperaturę wody chłodzącej czy regulacje prawne). Seryjna produkcja elektrowni jądrowych w różnych lokalizacjach została osiągnięta przez Rosję w wyniku konsolidacji biur projektowych z firmami wykonawczymi², przez co uzyskano możliwość powielania tych samych rozwiązań w różnych realizacjach. Ostatnie kontrakty podpisane przez Rosatom dotyczą budowy kilku reaktorów tego samego typu w jednej lokalizacji (Indie 6xWWER-TOI, Chiny 4xAES-91, Turcja 4xAES-2006,

Egipt 4xAES-2006). Pozwala to zasadniczo obniżyć koszty inwestycji i okres budowy elektrowni poprzez uniknięcie efektu pierwszej konstrukcji (First of a Kind - FOAK). Zdolność do budowy projektów seryjnych pozwala Rosatomowi na utrzymywanie wysokiej pozycji na światowym rynku energetyki jądrowej.

Oferta rosyjska dzięki posiadanym zdolnościom w zakresie pełnego cyklu paliwowego jest ofertą kompleksową obejmującą nie tylko budowę samej elektrowni „pod klucz” (również jej finansowanie), ale także szkolenie personelu, serwis, ciągłą dostawę paliwa (za cenę 30% niższą od konkurencji) oraz jego odbiór i przerób, po zakończeniu kampanii paliwowej. Odpady powstające w czasie przerobu, po oddzieleniu uranu i plutonu, powracają następnie do klienta. Wyjątkiem są tu Indie, bowiem Rosja traktuje je jak państwo jądrowe i zezwala na przerób wypalonego paliwa.

Rosatom (ASE Group) oferuje także firmom zagranicznym pewne możliwości udziału w projektach rosyjskich. Obecnie posiada on 30 bloków jądrowych typu WWER w różnych fazach budowy w dziewięciu krajach: Bangladesz, Białoruś, Chiny, Indie, Iran, Rosja, Turcja, Węgry i Wietnam. Rola firmy rosyjskiej w tych projektach ma szerokie spektrum - kształtujące się od dostarczania usług serwisowych - do kompleksowej budowy „pod klucz”. Podczas realizacji tych kontraktów firmy lokalne mają możliwość 35-40% i większego udziału w budowie obiektu. Jedynie 10-15% (jądrowy system wytwarzania pary - tzw. wyspa jądrowa) ma być dostarczane przez Rosatom. Podwykonawcy robót i usług na rzecz Rosatomu muszą wykazywać się posiadaniem systemu zarządzania jakością zgodnego z normą ISO 9001:2008 lub jej krajowym odpowiednikiem. Program zakupu urządzeń i usług

u zagranicznych (lokalnych) producentów obejmuje m.in. projekt systemów ochrony, przyrządów i kontroli (I&C), turbogeneratorów, agregatów prądotwórczych. Ponadto zamówienia mogą objąć niezależne usługi konsultacyjne oraz w zakresie autoryzacji, badań i nadzoru. Dotychczas ASE Group zakupiła wyposażenie wyprodukowane w 33 krajach: np. system wyłaczania awaryjnego w Austrii i pompy odśrodkowe na Węgrzech. Plan zakupów u zagranicznych poddostawców tej grupy na rok 2016 wynosi ponad 100 mld RUB.

W okresie ostatnich dwunastu lat Atomstroyexport zbudował na Ukrainie dwa reaktory AES-92: w EJ Chmielnicka (2004 r.) i EJ Równie (2006 r.).

Obecnie ASE realizuje cztery projekty zagraniczne, znajdujące się w różnych fazach budowy:

- Białoruś – EJ Ostrowiec, rozpoczęto budowę 2 reaktorów AES-2006;
- Chiny – EJ Tianwan, oddano 2 reaktory AES-91, kolejne dwa znajdują się w budowie;
- Indie – EJ Kudankulam, uruchomiono pierwszy reaktor AES-92, kolejne trzy znajdują się w budowie;
- Iran – EJ Bushehr, oddano 1 reaktor AES-92, planowana jest budowa kolejnego w ramach umowy barterowej na eksport ropy naftowej (oil-for-goods).

W roku 2016 Rosatom zamierza uruchomić kolejny blok w EJ Kudankulam budowany wspólnie z Nuclear Power Corporation of India Ltd.

Rosja prowadzi agresywną politykę na rynku dostaw technologii jądrowych. W proces ten czynnie zaangażowane jest MSZ oraz spółka Rusatom Overseas. Spółka ta założona została przez Rosatom w sierpniu 2011 r. z kapitałem początkowym wynoszącym 31,5 mln USD w celu promocji wyrobów, usług i technologii oferowanych



Fot. 1.

Wyprodukowanie zbiornika reaktora WWER-1200 dla białoruskiej EJ Ostrowiec zajęło firmie Atomash jedynie 840 dni. [4]

Źródło: Atomash

przez rosyjski przemysł jądrowy na rynku globalnym. Przez kilka lat osiągnęła ona znaczny sukces i planuje do 2015 r. otworzyć ok. 20 biur na świecie. W roku 2015 przeszła restrukturyzację i została podzielona na trzy nowe firmy: JSC Rusatom Overseas Inc. – odpowiedzialna za globalną promocję kompleksowej oferty Rosatomu na budowę elektrowni jądrowych, JSC Rusatom International – odpowiedzialna za kierowanie i nadzór nad budową zagranicznych elektrowni jądrowych za pomocą modelu BOO (build-own-operate) (Turcja) lub za pomocą posiadanych akcji w przedsiębiorstwach budujących elektrownie (Finlandia). Trzecia firma odpowiedzialna będzie za rozwój nowych jądrowych projektów poza sektorem energetyki.

3.1.

Projekty energetyczne

W ostatnim okresie Rosatom podpisał szereg umów międzynarodowych na budowę bloków energetycznych. W październiku 2015 r. posiadał zamówienia na 30 reaktorów jądrowych w 12 państwach (każdy po ok. 5 mld USD)

i był w trakcie negocjacji kolejnych 10. **Całkowita wartość jego zamówień eksportowych wynosiła ok. 300 mld USD**, co znacznie umocniło pozycję Rosji wśród światowych dostawców nowoczesnych technologii jądrowych. Umowy takie zawarto z:

- **Bangladeszem:** w grudniu 2015 r. podpisane zostało międzynarodowe porozumienie, które przewiduje w 2016 r. rozpoczęcie budowy EJ Rooppur³, w której zostaną zainstalowane dwa reaktory pasywne III Gen. typu AES-2006 (V-392M), każdy o mocy 1200 MWe. Pierwszy blok zostanie oddany do eksploatacji w 2022 r., a kolejny w roku 2023. Rosatom ma przez pierwszy rok obsługiwać elektrownię i ponosić koszty paliwa. Inwestycja jest warta 12,65 mld dolarów. Projekt sfinansowany zostanie za pomocą rosyjskiego kredytu. Rosja sfinansuje 90 proc. kosztów inwestycji i zgodnie z umową Bangladesz zwróci kredyt w ciągu kolejnych 28 lat. Kontrakt przewiduje 10-letni okres karencji na spłatę.
- **Iranem:** w 2014 roku Rosja i Iran podpisały porozumienia, które przewidywały budowę przez

rosyjski Rosatom drugiego etapu EJ Bushehr, czyli dwóch nowych reaktorów. Podpisano też protokół przewidujący budowę kolejnych reaktorów (do ośmiu). W Bushehr działa elektrownia jądrowa z reaktorem o mocy 1000 MW, który zbudowali Rosjanie. Siłownia uruchomiona została po licznych opóźnieniach jesienią 2011 roku, a przekazano ją ostatecznie Irańczykom jesienią 2013 roku. Strona rosyjska zobowiązała się dostarczać elektrowni przez 10 lat paliwo jądrowe i odbierać zużyte. W lutym 2016 r. parafowano kontrakty finansowe na budowę 2 i 3 bloku EJ Bushehr. Umowa przewiduje budowę ośmiu bloków jądrowych w Iranie.

- **Indiami:** w grudniu 2015 r. rząd w Delhi podpisał umowę z Rosją, w ramach której Moskwa wybuduje w Indiach co najmniej 12 reaktorów jądrowych w ciągu 20 lat⁴. Koncern Rosatom wybudował już reaktor o mocy 1000 MWe w EJ Kudankulam i obecnie na ukończeniu w tej samej siłowni jest budowa drugiego takiego bloku. Elektrownia zostanie rozbudowana do 6 bloków jądrowych i kolejne 6 zostanie oddane do użytku w drugiej elektrowni

w nowej lokalizacji (prawdopodobnie w stanie Andhra Pradesh). Umowa zakłada m.in., że niektóre komponenty do budowanych przez Rosjan reaktorów będą produkowane w Indiach.

• **Finlandia:** w grudniu 2013 r. został podpisany kontrakt pomiędzy Państwową Korporacją Rosatom reprezentowaną przez spółkę Rusatom Overseas a fińską firmą Fennooima na budowę elektrowni jądrowej Hanhikivi-1 w pobliżu miejscowości Pyhäjoki, na północy Finlandii. Rosatom zaproponował projekt AES-2006 z reaktorem WWER - 1200 MWe, który uznano za najlepszy spośród uczestniczących w rywalizacji (także Areva i Toshiba), przy wszystkich surowych wymogach stawianych przez Finlandię, a dotyczących bezpieczeństwa ekologicznego, ekspertyzy technologicznej projektów i kontroli całego procesu produkcji i wyposażenia. Ważnym czynnikiem jest także finansowanie. Rosatom ogłosił chęć przystąpienia do akcjonariatu spółki Fennooima z udziałem wynoszącym 34 proc. W grudniu 2015 r. generalny projektant, którym jest rosyjskie biuro konstrukcyjne Atomproekt wraz z fińskim koncernem energetycznym Fortum przedstawili dokumentację techniczną elektrowni do zatwierdzenia przez fiński dozór jądrowy STUK. Wydanie pozwolenia na budowę elektrowni spodziewane jest pod koniec 2017 r., a rozpoczęcie prac w roku 2018. Według harmonogramu prac ma ona zostać uruchomiona w 2024 r. Wraz z kontraktem na budowę EJ zawarto ze spółką TVEL 10-letni kontrakt paliwowy dla przyszłej elektrowni o wartości 450 mln. euro. Będzie to pierwsza rosyjska inwestycja energetyczna na rynku UE.

• **Jordania:** w listopadzie 2013 r. FR wygrała przetarg na budowę EJ Amman (2xAES-92). Uruchomie-

nie pierwszego bloku ma nastąpić w 2024 r. Wartość projektu oszacowano na 10 mld USD. Rosja ma pokryć 49% kosztów budowy. Oficjalne porozumienie w sprawie budowy elektrowni podpisano w marcu 2015 r.

• **Kazachstanem:** zawarte w maju 2014 r. porozumienie przewiduje budowę elektrowni jądrowej o mocy 300-1200 MWe.

• **Turcja:** zawarte w maju 2010 r. porozumienie zakłada, że EJ Akkuyu ma zostać wybudowana przez Rosatom w oparciu o model finansowania BOO. Elektrownia, której budowa ma się rozpocząć w 2016 r. wyposażona zostanie w 4 reaktory AES-2006. Wartość kontraktu wynosi ok. 25 mld USD⁵. Termin uruchomienia obiektu przewiduje się na rok 2022.

• **Węgrami:** zgodnie z umową ze stycznia 2014 r. Rosjanie rozbudują EJ Paks o dwa kolejne reaktory⁶ (2xAES-2006) oraz udzielią Węgrom 30-letniej pożyczki o wartości ok. 10 mld EUR, co pokryje ok. 80% kosztów inwestycji. Budowa nowych reaktorów ma rozpocząć się w 2018 roku. Oddanie pierwszego bloku przewidywane jest na rok 2023. W lutym 2015 r. umowę rozszerzono o porozumienie ramowe w sprawie programu wspólnego kształcenia i treningu dla personelu obsługującego w przyszłości nowe reaktory. Paliwo pierwotnie miał dostarczać wyłącznie Rosatom, ale spotkało się to z zastrzeżeniami Agencji Dostaw Euratomu i Komisji Europejskiej. W rezultacie kontrakt na dostawy paliwa musiał zostać renegotjowany aby spełniał warunki dla dostępu innych dostawców⁷. Rozbudowa elektrowni będzie największą inwestycją na Węgrzech po 1989 roku.

• **Wietnamem:** Rosatom zbuduje EJ Ninh Thuan (2xAES-91). 85% kosztów inwestycji ma być pokryte z rosyjskich kredytów. Termin rozpoczęcia budowy planowany jest

na lata 2016-17. Umowa przewiduje dalszą współpracę przy budowie kolejnych dwóch reaktorów.

Rosja zainteresowana jest także budową kolejnych bloków energetycznych w Czechach (Temelin) i na Słowacji (Bohunice), gdzie eksploatowane są radzieckie bloki WWER-440.

Zamierza również zaangażować się w program jądrowy w Wielkiej Brytanii. Na początku września 2013 r. firmy Rosatom, Rolls-Royce i Fortum podpisały porozumienie ramowe (memorandum of understanding, MoU) w celu wspólnego zbadania możliwości współpracy i eksploatacji w Wielkiej Brytanii elektrowni jądrowych wyposażonych w reaktory WWER.

W lutym 2015 r. Kair i Moskwa podpisały wstępne porozumienie w sprawie budowy pierwszej elektrowni jądrowej na północy Egiptu w rejonie miasta El-Dabaa położonego blisko Morza Śródziemnego, około 300 kilometrów na północny zachód od Kairu. Na początku lat 80., za rządów prezydenta Hosniego Mubaraqa, Egipt rozważał budowę elektrowni jądrowej w tej lokalizacji, ale projekt został zawieszony po katastrofie w Czarnobylu z 1986 roku. W ramach porozumienia wstępnego Rosja zaproponowała udzielenie kredytu na budowę elektrowni. W listopadzie 2015 r. podpisano taką umowę i Rosja udostępni Egiptowi państwowy kredyt eksportowy na budowę pierwszej w tym kraju elektrowni jądrowej. Zawarte porozumienie międzyrządowe przewiduje budowę elektrowni jądrowej z użyciem rosyjskiej technologii, składającej się z czterech bloków dużej mocy typu AES-2006, każdy po 1200 MWe. Inwestycja ma zostać zrealizowana w ciągu 12 lat. Prezydent Egiptu Abd el-Fatah es-Sisi zadeklarował, że jego kraj będzie wykorzystywał energię jądrową wyłącznie do celów pokojowych, przestrzegając

postanowień układu o nierozprze-
strzenianiu broni jądrowej. Pod-
pisanie formalnego kontraktu na
budowę elektrowni spodziewane
jest w 2016 roku, niemniej jednak
już w styczniu rozpoczęto prace
przygotowawcze w zakresie badań
hydrologicznych.

3.2. Porozumienia spoza obszaru energetyki jądrowej

Rosja stara się poszerzać swoją
ofertę zagraniczną także na inne
obszary związane z energią jądrową.
W tym celu nawiązuje współ-
pracę w dziedzinie nauki i różnych
usług w ramach jądrowego cyklu
paliwowego.

W grudniu 2012 r. podpisano ze
Zjednoczonymi Emirataми Arabskimi
umowę dwustronną o współ-
pracy w dziedzinie pokojowego
wykorzystania energii jądrowej.
W ramach tego porozumienia firma
Techsnabexport (Tenex) będzie
dostarczać wzbogacony uran (ok.
połowy niezbędnego wsadu) do
produkcji paliwa dla pierwszej elek-
trowni jądrowej budowanej w ZEA
przez koreański koncern Kepco
w Barakah. Umowa zawarta na
okres 15 lat dotyczy zaopatrzenia
w uran naturalny oraz usługę jego
konwersji i wzbogacania. Zesta-
wy paliwowe mają być natomiast
wytwarzane przez koreańską firmę
Kepco Nuclear Fuels. Pierwsze
dostawy wzbogaconego uranu
przewidywane są na rok 2014.

W sierpniu 2013 r. Rosatom
Overseas podpisał porozumie-
nie w sprawie szkolenia, badań
naukowych i wymiany ekspertów
w dziedzinie energetyki jądrowej
z argentyńskim uniwersytem
w Buenos Aires. Ustanowiono gru-
pę roboczą ds. rozwoju wspólnych
programów naukowych.

Kolejnym krokiem w rozwoju
rosyjsko-fińskiej współpracy atomo-
wej było podpisanie 25 lutego 2014
r. umowy międzyrządowej o współ-

pracy w dziedzinie pokojowego
wykorzystania energii jądrowej.
Ze strony rosyjskiej dokument
podpisał dyrektor generalny Rosat-
om Siergiej Kirijenko, a ze strony
Finlandii – minister gospodarki Jan
Vapaavuori. Po podpisaniu umowy
Rosatom oświadczył, że jest gotów
do zwiększenia swojego udziału
w projekcie budowy EJ Hanhikivi
do 100 proc., jeżeli zaistnieje taka
potrzeba. W marcu 2014 r. rosyjski
koncern nabył 34% akcji spółki
Fennovoima, która ma wybudować
elektrownię Hanhikivi.

W Finlandii w elektrowni ato-
mowej Loviisa od ponad 30 lat
bezwaryjnie eksploatowane są
dwa bloki energetyczne wzoru ra-
dzieckiego – WWER, każdy o mocy
440 MWe. Wybór Rosatomu jako
dostawcy technologii dla ener-
getyki jądrowej Finlandii (AES-2006)
traktowany jest zdaniem fińskiego
ministra gospodarki jako potwier-
dzenie sukcesu stosunków rosyjsko-
fińskich.

W maju 2014 r. Rosatom podpisał
porozumienie ramowe z National
Atomic Company of Kazachstan
(Kazatomprom) o wzajemnej współ-
pracy w dziedzinie pokojowego
wykorzystania energii jądrowej.
Dotyczy ono, obok wspomnianej
wyżej budowy elektrowni jądrowej,
także możliwości produkcji
w Kazachstanie paliwa jądrowego
(w zakładach Ulba), rozwoju pól
wydobywczych uranu Khara-
san-1, Akdala i Southern Inkai oraz
współpracy w dziedzinie ochrony
radiologicznej i produkcji metali
ziem rzadkich.

W lipcu 2014 r. podczas szczy-
tu państw BRICS w Fortaleza
(Brazylia) Rosja podpisała szereg
umów o współpracy w dziedzinie
energetyki jądrowej z:

- **Argentyną** – dotyczącą udziału
w przetargu na budowę trzeciego
bloku jądrowego w EJ Atucha;
- **Brazylią** – dotyczącą budowy no-
wego przechowalnika wypalonego

paliwa w EJ Angra oraz współpracy
przy konstrukcji nowych bloków
energetycznych;

- **Indiami** – dotyczącą rozszerzenia
współpracy w sektorach energetyki
(rozbudowa EJ Kudankulam) i obro-
ny. Umowa ta sfinalizowana została
w grudniu 2015 r.

We wrześniu 2014 r. Rosja
podpisała również porozumienie
z **Republiką Pół. Afryki** o partner-
stwie strategicznym i współpracy
w dziedzinie przemysłu jądrowe-
go. Kładzie ono podwaliny pod
szeroki program rozwoju energetyki
jądrowej w RPA, który przewiduje
do roku 2030 budowę sześciu
jądrowych bloków energetycznych
o sumarycznej mocy do 9,6 GWe
(szacunkowy koszt przedsięwzięcia
wynosi od 32 do 80 mld USD).
Porozumienie obejmuje również
budowę wielozadaniowego reaktora
badawczego oraz pomoc w rozwoju
infrastruktury jądrowej, a także
szkolenie afrykańskich specjalistów
na rosyjskich uczelniach i w innych
ośrodkach naukowych. Szczegóły
przyszłej współpracy określono
w kolejnym porozumieniu ramowym
zawartym podczas szczytu BRICS
w Ufie w lipcu 2015 roku pomiędzy
koncernem Rosatom i departamen-
tem energii rządu RPA.

W listopadzie 2014 r. formalnie
rozszerzono współpracę z **Iranem**
określoną w ramach porozumie-
nia międzyrządowego zawartego
uprzednio 25 sierpnia 1992 r.
Nowa umowa obejmuje budowę
„pod klucz” kolejnych 4 reaktorów
w EJ Busher i 4 reaktorów w innej
(jeszcze nieokreślonej) lokalizacji.
Zgodnie z podpisanym protokołem
strona rosyjska dostarczy Iranowi
także paliwo jądrowe, które po
wypaleniu powróci do Rosji. Rosja
zapewni również szkolenie specja-
listów irańskich do obsługi nowych
elektrowni.

W czerwcu 2015 r. podczas
międzynarodowej konferencji VII
Atomexpo 2015 w Moskwie Rosja

Tabela 4.

Zaangażowanie Rosatomu w dostawy reaktorów jądrowych [1]

Państwo	Elektrownia	Reaktor	Koszt	Status
Ukraina	Chmielnicki 2 Równe 4	2xAES-92 (V-320)	6 mld USD	czynne
Iran	Bushehr 1	1xAES-92 (V-446)		czynny
Chiny	Tianwan 1&2	2xAES-91		czynne
Indie	Kudankulam 1	1xAES-92	1,5 mld USD	czynny
Razem: Działających 6				
Indie	Kudankulam 2	1xAES-92	1,5 mld USD	w budowie
Białoruś	Ostrowiec 1-2	2xAES-2006 (V-491)	10 mld USD	pożyczka na 90% kosztów budowy w budowie od 2013
Chiny	Tianwan 3-4	2xAES-91	4 mld USD	w budowie 12/2012
Razem: W budowie 5				
Indie	Kudankulam 3-4	2xWWER-TOI	5,8 mld USD	Pożyczka na 85% kosztów budowy
	Kudankulam 5-6 Nowa lokalizacja	2xWWER-TOI 6xWWER-TOI		Planowane Planowane
Bangladesz	Rooppur 1-2	2xAES-2006 (V-392M)	12,65 mld USD	Rozpoczęcie budowy 2016
Finlandia	Hanhikivi I	1xAES-2006 (V-491)	6 mld EUR	Rosatom 34% udziału Pożyczka na 75% kosztów budowy Budowa od 2018
Jordania	Al Azraq	2xAES-92	10 mld USD	BOO Rosja ma pokryć 49% kosztów budowy
Iran	Busher 2-3	2xAES-92		Wymiana barte- rowa za ropę lub gotówka
Armenia	Metsamor 3	1xAES-92	5 mld USD	Pożyczka na 50% kosztów budowy
Turcja	Akkuyu 1-4	4xWWER-TOI	25 mld USD	BOO Rozpoczęcie budowy 2016

Węgry	Paks 5-6	2xAES-2006	12 mld EUR	Pożyczka na 80% kosztów budowy Rozpoczęcie budowy 2016
Wietnam	Ninh Thuan 1-2	2xAES-2006 (V-491)	9 mld USD	Pożyczka na 85% kosztów budowy Rozpoczęcie budowy 2017
	Ninh Thuan 3-4	2xAES-2006		Planowane
Egipt	El-Dabaa	4xAES-2006	26 mld USD	Wstępne porozumienie
Chiny	Tianwan 5-6	2xAES-2006		Planowane
Słowacja	Bohunice 3	1xAES-2006		Planowane Możliwy udział 51%
Czechy		2xAES-2006/MIR		Propozycja
Kazachstan	Kurchatov	VBER-300		Planowane
Indonezja		FNPP		Propozycja współpracy
Płd. Afryka	Thyspunt	do 8xAES-2006		Propozycja

i **Tunezja** podpisały porozumienie ramowe (MoU) w sprawie współpracy w dziedzinie pokojowego wykorzystania energii jądrowej. Pokrywa ono szeroki zakres przyszłych wspólnych działań takich jak: pomoc przy rozwoju infrastruktury jądrowej, badania podstawowe w dziedzinie energii jądrowej, budowa i eksploatacja elektrowni jądrowych oraz reaktorów badawczych, a także produkcja i zastosowanie izotopów promieniotwórczych w przemyśle, medycynie i rolnictwie. Umowa uwzględni również gospodarkę odpadami promieniotwórczymi i szkolenie przyszłych specjalistów z fizyki i energetyki jądrowej.

Podobne kompleksowe porozumienie w dziedzinie pokojowego zastosowania energii jądrowej zostało podpisane 18 czerwca 2015 roku przez Rosatom z centrum nauko-

wym **Arabii Saudyjskiej**⁹ - King Abdullah City for Atomic and Renewable Energy (KA-CARE). Stwarza ono podwaliny dla współpracy w obszarach związanych z energią jądrową, takich jak: projektowanie, budowa, eksploatacja oraz demontaż elektrowni jądrowych i reaktorów badawczych, a także jądrowych zakładów odsalania wody i akceleratorów cząstek elementarnych. Porozumienie dotyczy również usług związanych z jądrowym cyklem paliwowym, zarządzaniem odpadami promieniotwórczymi, produkcją izotopów i ich zastosowaniem w przemyśle, medycynie i rolnictwie oraz szkolenia i treningu specjalistów w dziedzinie energii jądrowej. Porozumienie przewiduje utworzenie komitetu koordynacyjnego oraz wspólnych grup do prowadzenia projektów badawczych, wymiany ekspertów, organizacji

seminariów i warsztatów oraz wymiany informacji naukowych.

W październiku 2015 r. Rosatom podpisał porozumienie ramowe (MoU) z ministerstwem ds. węgłowodorów i energii **Boliwii** w dziedzinie pokojowego zastosowania energii jądrowej. Współpraca ma obejmować: zastosowanie radioizotopów i technologii radiacyjnych w przemyśle, medycynie, rolnictwie i innych obszarach, kształcenie personelu oraz pomoc przy tworzeniu infrastruktury i podstaw legislacyjnych dla rozwoju boliwijskiego programu jądrowego. Porozumienie przewiduje także utworzenie naukowo-technologicznego centrum badań jądrowych i prowadzenie konsultacji w sprawie budowy elektrowni jądrowej wg projektu rosyjskiego w Boliwii. Centrum badań jądrowych wyposażone zostanie w cyklotron i centrum radiofarm-

ceutyków, wielozadaniowy ośrodek napromieniania gamma oraz reaktor badawczy. Obie strony będą kontynuować rozmowy w celu podpisania stosownego porozumienia międzynarodowego. W ciągu najbliższej dekady Boliwia ma zamiar zainwestować ponad 2 mld USD w rozwój energii jądrowej.

W kwietniu 2016 r. Rosja podpisała porozumienie ramowe z **Algierią** ws. pokojowego wykorzystania energii jądrowej. Porozumienie obejmuje projektowanie, budowę, eksploatację i obsługę serwisową elektrowni jądrowej oraz reaktora badawczego. Ponadto oba państwa zamierzają wspólnie prowadzić prace poszukiwawcze i eksploatację złóż uranu, a także wykorzystywać technologie jądrowe w rolnictwie, biologii, medycynie oraz do odsalania wody. Kluczowym projektem ma być budowa elektrowni jądrowej projektu rosyjskiego oparta o reaktor Gen III+. Rząd algierski spodziewa się, że porozumienie z Rosatomem zapewni rozwój zasobów ludzkich, technologii i prac badawczych w sektorze energetycznym niezbędnych do budowy pierwszej elektrowni jądrowej w ciągu 12 lat. Wybór partnera rosyjskiego podyktowany był jego doświadczeniem w budowie elektrowni jądrowych w państwach o gorącym klimacie i wysokiej aktywności sejsmicznej (EJ Busher, Iran).

3.3.

Odsalanie wody

W roku 2015 Rusatom Overseas wszedł na rynek z nową ofertą handlową polegającą na budowie obiektów jądrowych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i wody zdatnej do spożycia poprzez jej odsalanie. Została ona po raz pierwszy złożona **Egiptowi** w ramach umowy w sprawie budowy elektrowni jądrowej w El-Dabaa. Do odsalania wody ma zostać zastosowana technologia destylacji MED (multiple-effect distillation) oparta na odparowywaniu i skraplaniu wody. Technologia ta wymaga zapewnienia stałego i wydajnego źródła energii, co gwarantuje elektrownia jądrowa. Proponowany zakład odsalania wody ma mieć zdolność produkcyjną 170.000 m³ wody pitnej/dzień przy zużyciu energii elektrycznej wynoszącym 850 MWh/dzień. Stanowić to będzie zaledwie 2% produkcji z EJ o mocy 2400 MWe, jaka ma powstać w El-Dabaa.

Budowa dwóch bloków do odsalania wody rozważana jest również w ramach propozycji rozbudowy EJ Busher w **Iranie**. Podobne porozumienie dotyczące skojarzonej produkcji energii elektrycznej i wody do picia Rosja zawarła z **Argentyną**.

Rusatom Overseas traktuje odsalanie wody przy użyciu energii jądrowej jako obiecujący nowy pro-

dukt rynkowy rosyjskiego przemysłu jądrowego. Oferta zintegrowanego odsalania wody ma zostać w przyszłości rozszerzona również na małe reaktory modułowe (SMR) i pływające elektrownie jądrowe.

O planach na przyszłość i strategii inwestycyjnej prezes Rosatomu Siergiej Kirijenko poinformował w październiku 2015 r. podczas wystąpienia na forum ATOMEX 2015 w Moskwie. Powiadomił on, że ponieważ w obecnych warunkach wzrostu gospodarczego nie jest wymagana budowa dużej ilości bloków energetycznych w Rosji, dlatego też głównym kierunkiem rozwoju w następnych latach będzie wzrost liczby zamówień w ramach kontraktów zagranicznych.

Wg prezesa Kirijenki w 2016 r. wartość zleceń Rosatomu ma wzrosnąć o 16 mld USD (12 %) uzyskując poziom ponad 1 bln rubli. Dla porównania w 2015 roku, wzrost wartości portfela zamówień oszacowano na 13 mld USD. W 2016 roku wielkość zamówień dotyczących budowy nowych zakładów będzie równoważna 132 miliardom rubli, z kolei wartość dostaw materiałów, środków technicznych i technologii będzie oscylowała na poziomie 740 mld rubli. Uwzględniając też inne rodzaje zamówień, Rosatom chce zrealizować ponad 21 tysięcy zleceń o wartości 943 mld rubli. Oszacowano, że wykonalne jest przekroczenie poziomu 1 bln rubli.

1. Np. wojny gazowe prowadzone przez Gazprom z Białorusią (2010 r.) i Ukrainą (2005 - 2009 r.).

2. Dla przykładu w roku 2012 utworzono firmę NIAEP-JSC ASE, która powstała z połączenia instytutu badawczego NIAEP z Niżnego Nowgorodu z firmą Atomstroyeksport. W 2013 roku do holdingu dołączono także firmę Atomenergoproekt, a w grudniu 2015 przekształcony on został w przedsiębiorstwo ASE Group. Holding ten konsoliduje zdolności Rosatomu w dziedzinie budowy obiektów jądrowych, projektuje oraz jest generalnym wykonawcą takich obiektów zarówno w Rosji jak i za granicą.

3. Zlokalizowana nad rzeką Ganges w odległości 160 km od stolicy w Dhace.

4. Podpisany kontrakt był jednym z pakietu 16 umów zawartych pomiędzy państwami, które dotyczyły również współpracy w dziedzinie obronności, nauki, badań kosmicznych, rolnictwa, transportu, poszukiwań ropy i gazu, a także ułatwień w wymianie osobowej. Największy koncern naftowy Rosnieft zobowiązał się do 10-letnich dostaw ropy dla indyjskiego koncernu Essar Oil. W kwestii obronności obie strony mają realizować projekty wspólnego myśliwca piątej generacji i wielozadaniowego samolotu transportowego. Rosja ma także

wybudować dla Indii zaawansowane śmigłowce. W zamian za zamówienia na dostawę reaktorów, ropy i uzbrojenia Rosja ma poprzeć starania Indii o przyznanie stałego miejsca w Radzie Bezpieczeństwa ONZ.

5. Projekt budowy EJ Akkuyu napotykał na przeszkody natury legislacyjnej i z powodów politycznych po rozpoczęciu przez Rosję ataków lotniczych na stanowiska ISIS w Syrii był zagrożony przerwaniem. W listopadzie 2015 r. strona turecka potwierdziła gotowość kontynuacji tego projektu i rozpoczęcie w 2016 r. budowy urządzeń do ujęcia/zrzutu wody chłodzącej do morza.

6. Obecnie w EJ Paks eksploatowane są cztery reaktory WWER-440 (model V-213), każdy o mocy 500 MWe. Rozpoczęły one pracę w latach 1982-1987. Blok 1 uzyskał w roku 2012 zgodę na przedłużenie eksploatacji do 2032 r., a blok 2 odpowiednio w 2014 r. do 2034 r. Bloki 3 i 4 mają uzyskać podobne zgody w roku 2016 i 2017. Elektrownia zapewni ok. 40% energii elektrycznej kraju.

7. W listopadzie 2015 r. KE wszczęła postępowanie przeciw Węgrom ws. umowy z Rosją dot. rozbudowy EJ Paks. Zakwestionowane zostało przyznanie Rosjanom kontraktu bez procedury przetargowej. KE wystosowała tzw. wezwanie do usunięcia uchybienia,

które jest jednym z etapów prowadzących do pozwania kraju przed Trybunał Sprawiedliwości UE. Zdaniem Komisji bezpośrednio złożenie zamówienia na projekt EJ Paks II jest niezgodne z unijnymi przepisami dotyczącymi zamówień publicznych. Bruksela wskazała, że rząd Węgier złożył zamówienie z wolnej ręki na budowę dwóch reaktorów oraz na odnowę dwóch kolejnych reaktorów z pominięciem przejrzystej procedury. Unijne przepisy dotyczące zamówień publicznych stanowią natomiast, iż każdy przedsiębiorca powinien mieć godziwą szansę ubiegania się o zamówienie, odpowiadając na zaproszenie do składania ofert. Węgry mają dwa miesiące na udzielenie KE formalnej odpowiedzi na te zastrzeżenia.

8. Chociaż program jądrowy Arabii Saudyjskiej znajduje się dopiero w fazie początkowej, to państwo to planuje budowę 16 reaktorów energetycznych w ciągu najbliższych 20 lat. Dekret królewski z 2010 roku identyfikuje energię jądrową jako podstawę do pokrycia rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną i odsalanie wody oraz redukcji zależności gospodarki od wydobycia węgla-wodorów.

4.

Jądrowy cykl paliwowy

Federacja Rosyjska rozwinęła pełny jądrowy cykl paliwowy zamknięty ze wzbogacaniem uranu i przerobem wypalonego paliwa. Planowany jest znaczny wzrost wydobycia uranu i wzrost eksportu usług w zakresie zaopatrzenia w paliwo jądrowe. [6]

Rosja zużywa rocznie ok. 3.800 ton uranu naturalnego. Po wzbogaceniu zużycie to kształtuje się następująco:

- 190 tU wzbogaconego do 4,3% przeznaczone jest do zasilania 12 reaktorów WWER-1000,
- 60 tU o wzbogaceniu 3,6% dla 6 reaktorów WWER-440,
- 350 tU wzbogaconego do 2,0% dla 11 reaktorów RBMK
- 6 tU o wzbogaceniu 20% (wraz z 9 tDU) dla reaktora BN-600.

Ok. 90t RepU⁹, pochodzącego z przerobu wypalonego paliwa, uzupełnia zapotrzebowanie na paliwo dla reaktorów RBMK.

4.1.

Wydobycie i produkcja uranu

Rosja posiada znaczne ilości rud uranu. Zasoby rozpoznane¹⁰ (ang. Known Recoverable Resources) na jej terytorium przy koszcie wydobycia nieprzekraczającym 130 USD/kgU wynoszą ogółem 505.900 tU [7], co stanowi ok. 9% zasobów światowych (5,9 mln tU). Rosyjskie złoża uranu rozmieszczone są w czterech głównych rejonach wydobywczych:

- Trans-Ural / region Kurgan z kopalnią Dalur (ISL);
- Streltsovskiy / region Transbajka / Czita z największym kombinatem wydobywczym Priargunsky (Krasnokamiensk) oraz nowymi kopalniami Gornoye i Olovskaya (kopalnie podziemne);
- Vitimsky / Buriacja z kopalnią Khiagda (ISL);
- Elkon / Jakucja z kopalniami Elkon i Lunnye.

Ponadto aktualnie trwają prace przygotowawcze mające na celu rozpoczęcie wydobycia uranu ze złóż cynku i ołowiu znajdujących się na wyspach archipelagu Nowa Ziemia.

Wszystkimi przedsięwzięciami związanymi z wydobyciem rudy uranu i produkcją koncentratu uranowego do roku 2013 kierowało w Federacji Rosyjskiej państwowe przedsiębiorstwo wydobywcze ARMZ Uranium Holding Co. (JSC Atomredmetzoloto). Należy ono do państwowej koncernu Rosatom i początkowo skupiało wszystkie kopalnie uranu w Rosji, jak również szereg wspólnych przedsięwzięć w ramach WNP i poza jej granicami. W grudniu 2013 r. w ramach restrukturyzacji koncernu Rosatom rozdzielono zarządzanie krajowymi i zagranicznymi zasobami uranu. Firma ARMZ od tej pory kontroluje tylko złoża i kopalnie krajowe, a do nadzoru nad zasobami zagranicznymi powołano nowy podmiot –

Uranium One Holding N.V. (U1H) zarejestrowany w Amsterdamie (Niderlandy). Dla zapewnienia efektywnej koordynacji pomiędzy ARMZ i U1H te dwie firmy w 2014 roku utworzyły wspólne przedsięwzięcie pod nazwą United Uranium Companies.

Od kilku ostatnich lat Rosja prowadzi agresywną ekspansję międzynarodową mającą na celu dywersyfikację posiadanych zasobów wydobywczych poprzez przejmowanie światowych złóż uranu. Dokonała w tym celu zakupu akcji szeregu zagranicznych firm wydobywczych uzyskując dostęp do ich zasobów. Obecnie państwowy koncern Rosatom poprzez swoje podmioty zależne ARMZ i U1H kontroluje złoża uranu zlokalizowane w Australii, Kazachstanie, Rosji, USA i Tanzanii.

Najbardziej spektakularnym sukcesem było przejście w latach 2009-2013 kanadyjskiej firmy wydobywczej Uranium One. W roku 2009 ARMZ nabył 17% akcji tej firmy, w 2010 r. przejął za 610 mln USD oraz część swoich zasobów w Kazachstanie, 51% jej akcji i w 2013 r. za kwotę 1,3 mld USD nabył pozostałe udziały - stając się jej wyłącznym właścicielem. Wszedł w ten sposób w posiadanie zagranicznych kopalni uranu należących do tej firmy, które zlokalizowane są w:

- Kazachstanie: Akdala, Inkai, Kara-

tau, Kharasan, Akbastau i Zarechnoye,

- USA: Willow Creek Project¹¹,
- Australii: Honeymoon Uranium Project¹².

W 2011 r. ARMZ przejął za kwotę 1,16 mld USD australijską firmę wydobywczą **Mantra Resources Ltd**, która posiada prawa do eksploatacji złoża uranu Mkuju River zlokalizowanego w Tanzanii.

Ponadto ARMZ w latach 2008-2011 podpisał szereg umów i porozumień międzynarodowych o współpracy, które mogą zapewnić koncernowi Rosatom w przyszłości dostęp do zagranicznych złóż uranu zlokalizowanych w:

- **Armenii** – utworzenie w 2008 r. wraz z ministerstwem energii i zasobów naturalnych Armenii wspólnego przedsiębiorstwa wydobywczego Armenian-Russian Mining Co. (ARMC);
- **Mongolii** – utworzenie w 2011 r. wraz z MonAtom wspólnego przedsiębiorstwa wydobywczego Dornod Uranium;
- **Namibii** – porozumienie podpisane w 2010 r. z namibijską firmą wydobywczą Epangelo Mining o współpracy w zakresie poszukiwań, wydobycia i produkcji uranu.

Dzięki przejęciom dokonany w latach 2010-13 Rosja umocniła swoją pozycję wśród liderów na światowym rynku wydobycia i produkcji uranu. Zagraniczne zasoby uranu będące w posiadaniu Rosatomu cechują się wysoką efektywnością ekonomiczną i posiadają jeden z najniższych kosztów produkcji uranu w świecie. Średni koszt produkcji uranu z kopalń zagranicznych w 2013 r. wyniósł 42 USD/kgU.

W 2014 r. roku rosyjskie spółki wyprodukowały w kopalniach w Rosji i w Kazachstanie łącznie 7849 tU ton uranu (3055 tU w Rosji) co daje im czwarte miejsce w świecie wśród producentów uranu.

Jednym z celów zawartych w strategii energetycznej Rosji do

2030 r. jest osiągnięcie 17 tys. tU rocznej produkcji uranu z kopalń krajowych i zagranicznych.

W przypadku, gdy rosnące zapotrzebowanie na uran (wraz z rozwojem energetyki jądrowej) przekroczy wydobycie uranu z kopalń, brakuje ca ilość uranu może zostać pokryta ze źródeł wtórnych do których zalicza się:

- Zgromadzone zapasy uranu (naturalny, LEU, HEU);
- Odpady w procesie wzbogacania uranu (uran zużożony – DU);
- Uran z przerobu wypalonego paliwa (RepU).

Rosja zgromadziła strategiczne zapasy uranu, które zapewniają stabilne dostawy na potrzeby energetyczne kraju. W 1991 roku zapasy te wynosiły ok. 200.000 tU. Podczas kryzysu ekonomicznego w latach 90. Rosja sprzedawała uran, aby utrzymać swój przemysł jądrowy i w roku 2010 wynosiły one jedynie 47.000 tU. Przewiduje się, że wyczerpane zostaną w ciągu następnych 10-15 lat. Obecnie wstrzymano sprzedaż z tych zapasów strategicznych do kontrahentów zagranicznych, lecz nadal 3.000 tU rocznie jest czerpane na krajowe potrzeby energetyki. Szacuje się, że do roku 2020 pozostanie jedynie rezerwa na sytuację kryzysową i ustanie zasilanie rynku z tego źródła.

Zubożony uran, który powstaje w procesie wzbogacania uranu mimo, że zawiera mniej uranu U-235 niż uran naturalny może podlegać ponownemu procesowi wzbogacania. Wymaga to jednak wykonania większej ilości pracy rozdzielania (SWU) i staje się ekonomicznie uzasadnione dopiero w przypadku znacznego wzrostu cen uranu pozyskiwanego bezpośrednio z kopalń. Rosja posiada nadmiar zdolności do wzbogacania uranu, które przeznaczają do przerobu zgromadzonego DU. Do roku 2013 zużyła 5,5 mln SWU na potrzeby rozcieńczania zgromadzo-

nych nadmiernych zapasów HEU (w tym dla celów militarnych).

Uran pozyskiwany z przerobu wypalonego paliwa z reaktorów WWER zawiera 1,1% U-235 i może być następnie wykorzystywany do produkcji paliwa jądrowego. Rosja przerabia wypalone paliwo pochodzące z reaktorów WWER-440 i BN-600 oraz reaktorów napędowych i badawczych. Uzyskany RepU wykorzystywany jest następnie do produkcji świeżego paliwa dla reaktorów RBMK (eksploatowanych jest 11 reaktorów tego typu). W 2006 roku zużyto ok. 500 ton RepU do produkcji takiego paliwa.

4.2.

Konwersja uranu

Konwersja koncentratu uranowego (yellowcake) do postaci sześciofluorku uranu UF₆ prowadzona jest w zakładach zlokalizowanych w:

- Siewiersku / Tomsk (Siberian Chemical Combine, SCC) – główny obiekt, a także w
- Angarsku / Irkuck (Angarsk Electrolysis & Chemical Combine, AECC);
- Glazowie / Udmurcja (Kirovo-Chepetsky Chemical Combine, KCCC).

Całkowita wydajność zakładów konwersji wynosi ok. 25000 tU/rok. Rosatom zamierza dokonać konsolidacji tych zdolności poprzez budowę nowego zakładu konwersji w Siewiersku i zamknięcie pozostałych dwóch obiektów.

W zakładach Elektrostal / Moskwa prowadzona jest konwersja RepU pochodzącego z przerobu paliwa z reaktorów WWER-440 oraz w przeszłości przeprowadzono konwersję 960 ton niemieckiego i holenderskiego RepU zgromadzonego w zakładach Sellafeld w UK.

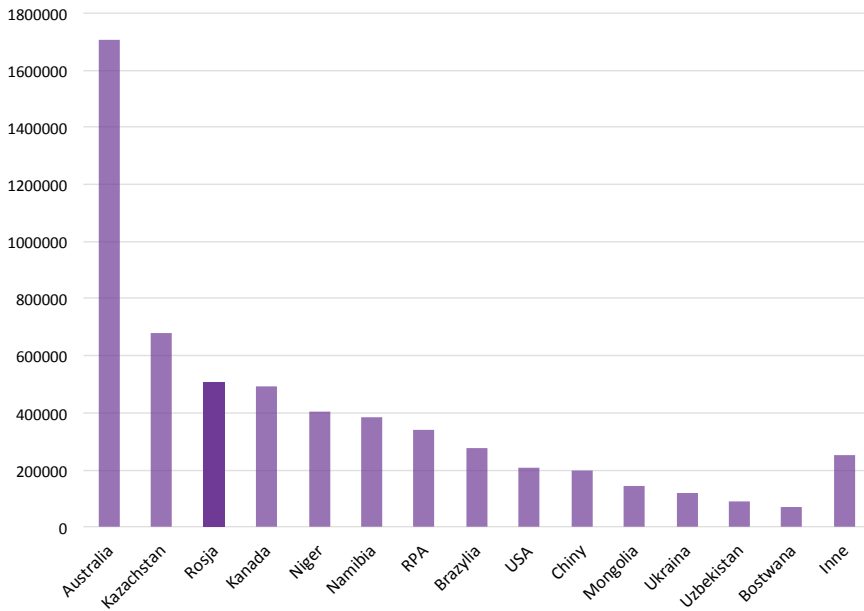
4.3.

Wzbogacanie uranu

Zdolności Federacji Rosyjskiej w zakresie wzbogacania uranu wynoszą

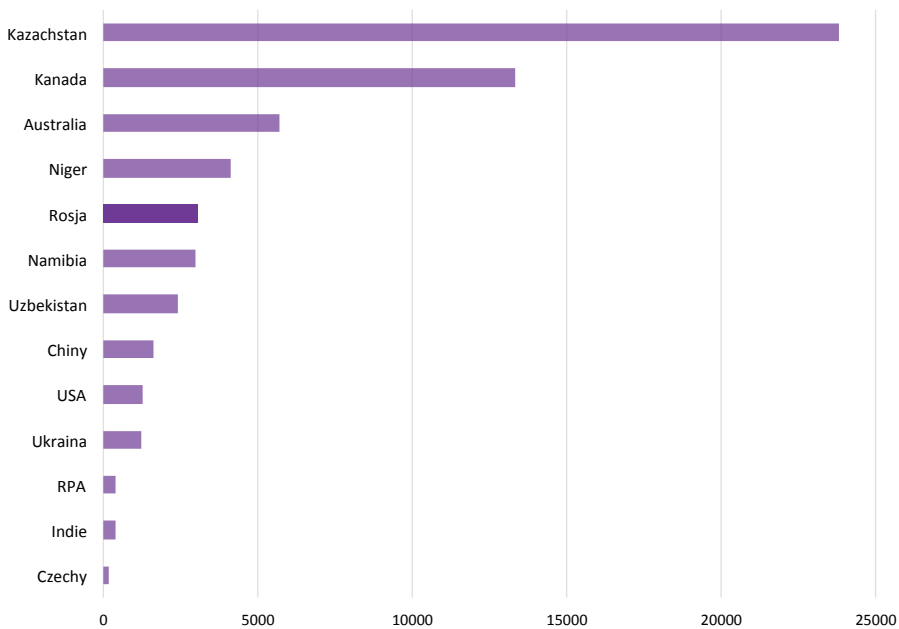
Wykres 2.

Rozpoznane światowe zasoby uranu [tU] o koszcie wydobycia < 130 USD/kgU [7]



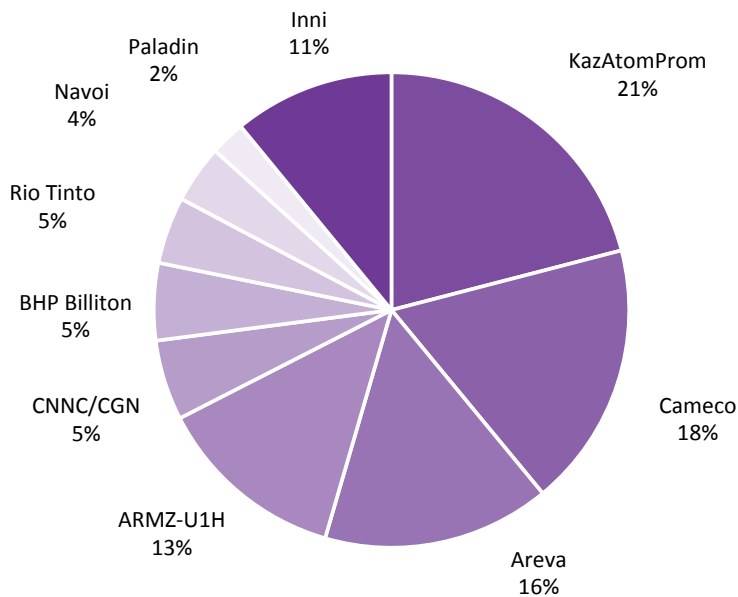
Wykres 3.

Wydobycie uranu na świecie w 2015 r. w tonach [8]



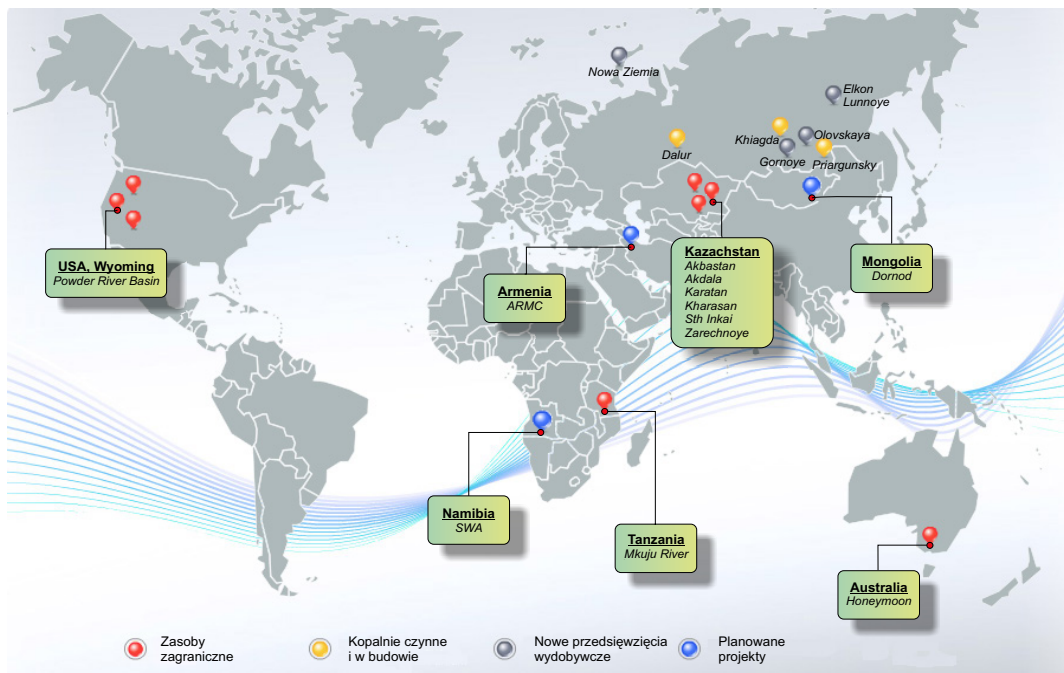
Wykres 4.

Główni producenci uranu na świecie w 2015 r. w tonach [8]



Mapa 2.

Mapa rosyjskich zasobów uranu [ARMZ, U1H]



ok. 24 mln SWU/rok¹³ i pokrywają ok. 45% globalnego zapotrzebowania na ten rodzaj usługi. Zlokalizowane są w czterech obiektach:

- Nowouralsk / Swierdłowski (Urals Electrochemical Combine, UECC);
- Zielenogorsk / Krasnojarsk (Electrochemical Plant, ECP);
- Siewiersk / Tomsk (Siberian Chemical Combine, SCC);
- Angarsk / Irkuck (Angarsk Electrolysis & Chemical Combine, AECC).

Zakłady te od 2011 r. zarządzane są przez przedsiębiorstwo JSC TVEL wchodzące w skład koncernu Rosatom. Wszystkie zakłady w Rosji do wzbogacania uranu wykorzystują metodę wirówek gazowych i posiadają zainstalowane nowoczesne urządzenia 8 i 9 generacji. Technologia ta opracowana została w instytucie VNIPIET z St. Petersburga, a urządzenia produkowane są w zakładach Kovrov Mechanical Plant (KMP) oraz Urals Gas Centrifuge Plant (UZGT) w Nowouralsku.

Zakłady UECC w Nowouralsku posiadają zdolność wzbogacania uranu do 30% U-235 przeznaczanego dla reaktorów badawczych i prędkich (BN). Pozostałe zakłady wzbogacają uran do 5% U-235. Zakłady UECC podobnie jak i ECP wzbogacają także zubożony uran o zawartości 0,25-0,4% U-235 (będący odpadem z procesu wzbogacania) do zawartości 0,7% (usługę taką wykonywano w przeszłości m.in. na zlecenie firm Urenco i Areva).

Zakłady SCC w Siewiersku są również w stanie wzbogacać uran pochodzący z przerobu wypalnego paliwa (RepU). Dokonywano tego w latach 1991-2001 na zlecenie Arevy oraz w latach 2001-2009 przerabiano uran pochodzący z brytyjskich zakładów w Sellafeld.

W zakładach AECC w Angarsku utworzono w 2007 r. wspólnie z Kazachstanem międzynarodowe centrum wzbogacania uranu An-

gorsk International Uranium Enrichment Centre (IUEC). W kolejnych latach do przedsięwzięcia kolejno przystąpiły: Ukraina w 2010 r. i Armenia w 2012 r. dzieląc udziały w następujący sposób: TVEL – 70%, Kazatomprom – 10%, Ukraina – 10% i Armenia – 10%. Centrum ma zapewnić udziałowcom spoza Rosji gwarantowane dostawy niskowzbożonego uranu (LEU) dla celów energetycznych bez dostępu do technologii jego wzbogacania. IUEC oferuje zarówno komercyjne usługi wzbogacania jak i gotowy uran LEU. TVEL wystąpił z ofertą zakupu udziałów w tym centrum do innych państw: RPA, Wietnamu, Bułgarii, ZEA i innych. Docelowo zamierza on zachować jedynie 51% udziałów w tym przedsięwzięciu. [9]

4.4.

Dekonwersja uranu

W zakładach Electrochemical Plant (ECP) w Zielenogorsku w grudniu 2009 roku uruchomiono instalację do przeprowadzania procesu przekształcania zubożonego uranu (depleted uranium, DU), powstającego jako odpad (tails) z linii wzbogacania, z postaci sześćfluorku UF_6 (agresywnego chemicznie i silnie trującego) do tlenku uranu U_3O_8 , który jest stabilny chemicznie i łatwy do dalszego przechowywania lub wykorzystania. Jako produkt uboczny powstaje fluorowodór HF, który wykorzystywany jest ponownie w procesie konwersji uranu. Rosyjskie zakłady ECP zaprojektowano na wzór zakładów Arevy W2 w Pierrelatte i wyposażone są głównie w sprzęt firm zachodnich.

4.5.

Produkcja paliwa

4.5.1.

Paliwo uranowe

Przedsiębiorstwo JSC TVEL oprócz wzbogacania uranu zajmuje się także produkcją uranowego paliwa

jądrowego. Dostarcza ono takie paliwo do 76 reaktorów energetycznych w Rosji i 13 poza jej granicami, jak również do 30 reaktorów badawczych oraz reaktorów służących do napędu okrętów wojennych i floty łodołamaczy.

Zdolności TVEL do produkcji paliwa reaktorowego wynoszą 2500 t/rok, co pokrywa 17% światowego zapotrzebowania. Zlokalizowane są one w następujących zakładach:

- Elektrostal / Moskwa (Maschinostroitelny Zavod - Elemash, MSZ);
- Nowosybirsk / Syberia (Chemical Concentrates Plant, NCCP);
- Glazov / Udmurcja (Chepetsky Mechanical Plant, CMP).

Zakłady NCCP w Nowosybirsku produkują głównie paliwo do reaktorów WWER-440 i 1000 (w tym dla Chin¹⁴). Są to nowoczesne zestawy typu TVSA, TVS-2006, TVS-T, TVS-2M o poprawionych parametrach umożliwiających zwiększenie stopnia wypalenia (do 65 MWd/kgU) i wydłużenie okresu pomiędzy przeładunkiem (kampanii) paliwa do 20 miesięcy. Paliwo to umożliwia także pracę elektrowni w systemie nadążnym wraz ze zmianą obciążenia sieci (do 25% zmian mocy nominalnej).

Obok paliwa jądrowego zakłady NCCP są największym na świecie dostawcą wodorotlenku litu Li-7 (LiOH) klasy jądrowej (o czystości 99,99%), stosowanego w przemyśle jądrowym do stabilizacji kwasowości i zapobiegania korozji w systemach chłodzenia reaktorów PWR¹⁵. Zakłady te pokrywają do 80% globalnego zapotrzebowania na ten materiał. W czerwcu 2014 r. podpisano trzyletni kontrakt na dostawę wodorotlenku litu do Chin. Modernizacja wyposażenia, jaką dokonano w latach 2012-13 pozwoli na podwojenie produkcji Li-7 i stanie się ona dla zakładów dodatkowym towarem eksportowym.

Zakłady MSZ Elemash produkują paliwo zarówno dla rosyjskich

jak i zachodnich reaktorów. We współpracy z Simensem i Arevą opracowano nowy typ paliwa TVS-K (KVADRAT o przekroju kwadratowym), które spełnia wszystkie europejskie normy jakościowe i jest stosowane w zachodnich reaktorach PWR i BWR¹⁶. W maju 2016 r. firma TVEL podpisała porozumienie z amerykańskim koncernem Global Nuclear Fuel Americas (GNF-A) o współpracy przy wprowadzaniu paliwa TVS-K na rynek USA. Ma być ono produkowane w zakładach GNF-A w Wilmington. [10]

W zakładach MSZ wytwarzane jest także paliwo do reaktorów badawczych i napędowych.

W listopadzie 2015 r. w zakładach MSZ wyprodukowano próbne paliwo ETVS-12 i ETVS-13 z prętami paliwowymi o zwiększonej średnicy, które przeznaczone ma być do zasilania reaktora prędkiego BREST-OD-300 budowanego w ramach projektu „Прорыв” w Siberian Chemical Combine w Siewiersku. Rozpoczęcie seryjnej produkcji tego paliwa przewidywane jest na rok 2017. [11]

Stop cyrkonu, z którego produkowane są koszulki paliwowe wytwarzany jest w zakładach CMP Glazov. Zakłady te otrzymały również od kanadyjskiej firmy CANDU Energy

certyfi kat jakości na produkcję rur, z których zbudowane są kanały ciśnieniowe w tych reaktorach. Umożliwia to startowanie firmy TVEL w przetargach na dostawę takich kanałów nie tylko do Kanady ale również do Argentyny, Rumunii, Indii, Korei, Chin i innych państw, które eksploatują reaktory typu CANDU.

4.5.2.

Paliwo MOX

W roku 2007 podjęto w Rosji decyzję o rozpoczęciu procesu wytwarzania paliwa MOX, w którym mają być wykorzystywane produkty pochodzące z przerobu wypalonego paliwa opartego na technologii elektrometalurgicznej (pyroprocessing) i technologii produkcji vibropack opracowanych w State Scientific Centre - Research Institute of Atomic Reactors (RIAR) w Dimitrowgradzie / Ulianowsk.

W październiku 2015 r. roku na terenie kombinatu Mining and Chemical Combine (MCC) w Żelaznogorsku / Krasnojarsk uruchomiono zakłady produkcji paliwa MOX - MOX Fuel Fabrication Facility (MFFF), w których produkowane będzie paliwo pastylkowe (zbudowane z pastylek paliwowych) dla

reaktora BN-800 uruchomionego w Biełojarsku i kolejnych reaktorów prędkich. Paliwo to zawiera do 30% plutonu. Budowa zakładów trwała 2,5 roku i jej koszt wyniósł nieco ponad 200 mln USD. Przewidywana wydajność 60 t/rok (400 zestawów paliwowych) wystarczy do zasilania pięciu takich obiektów. W zakładach we wrześniu 2014 r. wyprodukowano dwie próbne partie (10 i 20 kg) paliwa MOX dla reaktora BN-800. Na potrzeby produkcji paliwa MOX w tych zakładach zostało zaprojektowane i wykonane przez firmę Nikim-Atomstroy (filie Rosatomu z siedzibą w Moskwie) specjalne urządzenie do zdalnego spawania zestawów paliwowych, zmniejszające narażenie robotników na oddziaływanie wysokowzbożonego paliwa MOX. W dalszej perspektywie zakłady MCC będą wytwarzać granulki MOX przeznaczone do produkcji paliwa metodą vibropack w zakładach RIAR. Granulki MOX zawierają tlenek plutonu pochodzącego z zapasów cywilnych, metaliczny pluton pochodzący z zapasów militarnych i uran zubożony.

Od roku 1993 w zakładach Mayak w Oziorsku¹⁷ produkowana jest niewielka ilość pastylkowego paliwa MOX przeznaczonego do zasilania

Fotografia 1.

Paliwo MOX typu TVS-4 dla reaktorów BN-600 i BN-800
Źródło: Rosatom



reaktorów BN-350 i BN-600 (40 zestawów paliwowych rocznie). Zakład będzie dostarczał również paliwo niezbędne do rozruchu reaktora BN-800. W przyszłości na terenie tego obiektu ma powstać nowy zakład produkcji paliwa MOX o zwiększonej gęstości na bazie azotków o przewidywanej wydajności 14 t/rok. Planowany termin uruchomienia – 2018 rok.

Kolejnym zakładem, w którym ma być produkowane paliwo MOX są zakłady Siberian Chemical Combine (SCC) w Siewiersku/Tomsku. We wrześniu 2014 r. zakończono tu testy paliwa MOX typu TVS-4 opartego o azotki uranu i plutonu - przeznaczonego do zasilania reaktorów BN-600 i BN-800. Paliwo to cechuje się większą stabilnością radiacyjną, która umożliwia wydłużenie okresu kampanii reaktora i zwiększenie jego efektywności.

Niewielka instalacja do badań i produkcji paliwa MOX znajduje się na terenie instytutu RIAR w Dimitrowgradzie, w której stosowana jest własna technologia VMOX (Vibropacked MOX). Instalacja ta ma zostać wykorzystana do zasilania reaktora BN-800 w początkowym okresie jego pracy oraz we współpracy z Francją, USA i Japonią do likwidacji zapasów plutonu militarnego.

Na potrzeby reaktorów WWER opracowano w G. Khlopin Radium Institute w Petersburgu paliwo REMIX (Regenerated Mixture). Jest ono produkowane bezpośrednio z nierozdzielonej mieszaniny uranu i plutonu odzyskanego w procesie przerobu wypalonego paliwa (RepU, RepPu) uzupełnionego niskowzbożonym (16%) uranem (LEU). Paliwo to będzie mogło być wielokrotnie przerabiane i załadowywane do reaktorów WWER-1000. Jego zastosowanie pozwoli zmniejszyć o 20% zapotrzebowanie na uran naturalny w tych reaktorach. Rosatom planuje zastosować

eksperymentalnie paliwo tego typu w bloku EJ Batakowo 3 w czerwcu 2016 r. [13]

4.5.3.

Zagraniczni odbiorcy paliwa

Wysokiej jakości paliwo jądrowe oferowane przez zakłady TVEL pozwoliło mu na wejście na światowy rynek i odgrywanie znacznej roli w sieci dostaw tego paliwa. W chwili obecnej TVEL wraz z amerykańską firmą Global Nuclear Fuel z udziałem w wysokości 17% zajmują trzecie miejsce wśród dostawców paliwa jądrowego na świecie (AREVA – 30%, Westinghouse – 30%). Do roku 2030 TVEL planuje podwoić ten udział. W tym celu aktywnie uczestniczy w międzynarodowych przetargach i w ostatnim okresie uzyskał szereg kontraktów na dostawę paliwa m.in. do:

- EJ Temelin (Czechy) w 2009 r.;
 - EJ Ringhals (Szwecja) w 2012 r.;
 - EJ Tianwan (Chiny) w 2013 r.¹⁷;
 - EJ Hanhikivi (Finlandia) w 2013 r.
 - EJ Paks (Węgry) w 2014 r.,
- a także na dostawę paliwa do reaktorów badawczych w Czechach, Holandii i Uzbekistanie.

TVEL zaopatruje w paliwo także wszystkie reaktory radzieckiej konstrukcji działające na terytorium Ukrainy, Czech, Bułgarii, Węgier i Słowacji. W marcu 2015 r. TVEL zawarł kolejny kontrakt z Indian Department of Atomic Energy (IDAE) na dostawę pastylek paliwowych ze wzbogaconego uranu do zakładów Nuclear Fuel Centre w Hyderabad, które mają być wykorzystywane do produkcji paliwa dla EJ Tarapur. Rosja dostarcza komponenty do produkcji paliwa jądrowego dla indyjskich reaktorów typu BWR już od roku 2000. Reaktor w EJ Tarapur o mocy 150 MWe został skonstruowany przez firmę General Electric i jest eksploatowany przez Nuclear Power Corporation of India. Rozpoczął wytwarzanie prądu w październiku 1969. W ramach współpracy

z DAE firma TVEL dostarcza również paliwo jądrowe do reaktorów WWER eksploatowanych w EJ Kudankulam, a także dla reaktorów PHWR w EJ Rajasthan.

4.6.

Bank paliwa jądrowego

W grudniu 2010 r. MAEA oficjalnie certyfikowała utworzenie w rosyjskich zakładach wzbogacania uranu w Angarsku pierwszego międzynarodowego banku paliwa jądrowego¹⁸. W ramach tego projektu zgromadzony został zapas 120 ton niskowzbożanego uranu (LEU) w postaci sześciofluorku uranu wzbogaconego do wartości 2-5% U-235. Zgromadzone zasoby paliwa w tym międzynarodowym banku będą mogły być w każdej chwili sprzedane dowolnemu państwu należącemu do MAEA, które miałyby kłopoty z zaopatrzeniem w paliwo jądrowe. Zapasy LEU mają zagwarantować nieprzerwane, niezależne od żadnych czynników politycznych dostawy takiego paliwa. Uzyskana gwarancja ma zachęcić państwa rozwijające energetykę jądrową do niepodjemowania prac związanych z samodzielną produkcją paliwa jądrowego. Zwiększona w ten sposób zostanie odporność jądrowego cyklu paliwowego na nieproliferację broni jądrowej – co jest statutowym zadaniem MAEA.

4.7.

Przerób wypalonego paliwa [11]

Rosja przyjęła politykę zamkniętego cyklu paliwowego i wykorzystywania uranu oraz plutonu odzyskiwanych w procesie przerobu wypalonego paliwa do produkcji paliwa MOX i dla reaktorów RBMK. Niemniej jednak osiągnięcia na tym polu nie są zbyt imponujące bowiem w 2011 r. zaledwie 16% zużytego paliwa podlegało procesowi recyklingu. Rosatom przewiduje w swoich planach, że w 2020 r. 100% paliwa będzie przerabiane.

W tym celu zamierza uruchomić następujące projekty:

- W kombinacie Mayak Chemical Combine w Oziorsku - obiekt do przerobu paliwa RT-1 zostanie zmodernizowany;
- W kombinacie Mining and Chemical Combine (MCC) w Żeleznogorsku / Krasnojarsk zbudowane zostaną:

- a) zakład produkcji paliwa MOX (MFFF) - 2015 r.;

- b) pilotażowe centrum przerobu paliwa (PDC) - 2016 r.;

- c) zakład RT-2 do przerobu paliwa WWER, RBMK i BN;

- d) suche przechowalniki wypalonego paliwa.

Przewiduje się, że do czasu osiągnięcia znaczących mocy do przerobu wypalonego paliwa w 2022 r. zgromadzonych zostanie ok. 40000 ton tego materiału. Będzie ono następnie spalane w reaktorach prędkich.

W obiekcie RT-1 na terenie kombinatu Mayak w Oziorsku od roku 1971 przerabiane jest wypalone paliwo z reaktorów WWER-440 z EJ Kola i Równe (Ukraina), BN-600 z EJ Biełojarsk, reaktorów badawczych oraz niektórych typów reaktorów napędowych okrętów podwodnych. W listopadzie 2015 r. rozpoczęto również przerób wypalonego paliwa uranowo-cykonowego pochodzącego z reaktorów napędowych floty łodołamaczy¹⁹. Do przerobu paliwa wykorzystywana jest metoda PUREX i zakład posiada wydajność 400 t/rok. Odszyskany uran (2,6% wzbogacenia) jest następnie wykorzystywany do produkcji paliwa dla reaktorów RBMK, natomiast pluton jest składowany. Odpady wysokoaktywne podlegają procesowi zeszklenia (witryfikacji) i także są składowane. Do 2015 r. zakład ma zostać zmodyfikowany i przystosowany do przerobu paliwa pochodzącego także z reaktorów WWER-1000.

Paliwo z reaktorów WWER-1000 z trzech rosyjskich, trzech ukraińskich i bułgarskiej EJ jest obecnie wysyłane do zakładów MCC w Żeleznogorsku i tam przechowywane w centralnym przechowalniku mokrym. Na terenie zakładów MCC powstaje centrum pilotażowe, w którym będą demonstrowane różne innowacyjne technologie przerobu paliwa. Początkowo będzie ono przerabiać paliwo z reaktorów WWER-1000 a następnie z reaktorów prędkich. Stanowić ono będzie pierwszą fazę budowy nowego zakładu przerobu RT-2, które ma rozpocząć działanie w 2024 roku i przerabiać paliwo z reaktorów WWER, RBMK i BN.

Paliwo z reaktorów RBMK jest przechowywane na terenie elektrowni. W oczekiwaniu na decyzję odnośnie jego dalszego przerobu na terenie MCC w Żeleznogorsku budowany jest przechowalnik suchy dla tego paliwa. [11]

W grudniu 2015 r. pod nadzorem firmy TVEL przeprowadzono udany eksperyment, mający na celu wydzielenie z wypalonego paliwa pierwiastków ameryku i kiuru oraz ich rozdzielenie, co stanowi kamień milowy w procesie rozwoju zamkniętego cyklu paliwowego. W eksperymencie brały udział: A A Bochvar High-technology Research Institute of Inorganic Materials, A N Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Rosyjska Akademia Nauk i zakład przerobu paliwa Mayak. Wydzielony czysty ameryk (o zawartości kiuru poniżej 1%) będzie następnie dodawany do świeżego paliwa i spalany w reaktorach prędkich. Usunięcie ameryku z wypalonego paliwa pozwoli na zmniejszenie jego szkodliwego oddziaływania na otoczenie.

4.8. Postępowanie z odpadami promieniotwórczymi

Za gospodarkę odpadami promieniotwórczymi odpowiada

w Federacji Rosyjskiej przedsiębiorstwo państwowe National Operator for Radioactive Waste Management (NO RAO) utworzone w marcu 2012 roku. Działa ono w oparciu o ustawę Federal Law on Radioactive Waste Management przyjętą przez parlament w 2011 r. Głównym zadaniem NO RAO jest koordynacja na szczeblu krajowym gospodarki odpadami promieniotwórczymi powstałymi zarówno w sektorze cywilnym jak i wojskowym.

Technicznymi aspektami związanymi z utylizacją odpadów promieniotwórczych zajmuje się przedsiębiorstwo RosRAO, które powstało w 2009 r. na bazie sieci przedsiębiorstw Radon funkcjonującej w byłym ZSRR od 1958 r. RosRAO tworzy warunki fizyczne do składowania odpadów promieniotwórczych i dysponuje siedmioma regionalnymi centrami usuwania takich odpadów, w tym m.in. w Rozbojnik Bay na Dalekim Wschodzie, gdzie składowanych jest ponad 70 reaktorów zdemontowanych z okrętów podwodnych. Paliwo ze zdemontowanych reaktorów napędowych w oczekiwaniu na przerób w zakładach Mayak w Oziorsku składowane jest na terenie bazy Andreeva Bay na Płw. Kola.

Rosja nie posiada składowiska w głębokich formacjach geologicznych przeznaczonych do składowania odpadów wysokoaktywnych (HLW) i wypalonego paliwa. Decyzja o jego utworzeniu spodziewana jest przed rokiem 2025. Jako potencjalne miejsce takiego składowiska przyjęto w listopadzie 2013 r. Niżniekański Masyw Granitowy w Kraju Krasnojarskim²⁰, jego otwarcie przewidywane jest na rok 2035. W chwili obecnej powstaje tam na głębokości 500 m podziemne laboratorium mające ustalić możliwość składowania HLW w tych pokładach

granitu. Laboratorium ma zostać uruchomione w roku 2024.

Odpady nisko- i średnioaktywne przechowywane są podobnie jak w innych państwach w płytkich składowiskach powierzchniowych, których jest ponad 16 i są rozmieszczone na całym terytorium Rosji (m.in. Sosnowy Bór, Glazov, Gatchina, Nowoworoneż, Kirowo-chepetsk, Murmańsk, Sarov, Saratow, Bilibino, Krasnokamiensk, Zielonogorsk, Siewiersk, Dimitrowgrad, Angarsk, Udomlya).

Rosja przez wiele lat wykorzystywała również metodę składowania odpadów nisko- i średnioaktywnych w głębokich (300-1500 m) odwiertach (Siewiersk, Żelznogorsk i Dimitrowgrad). Były to odpady ciekłe pochodzące głównie z przerobu paliwa. W listopadzie 2013 r. w przyjętym planie rozmieszczenia składowisk odpadów zidentyfikowano dwa takie aktywne obiekty w rejonie: Dimitrowgrad / Uljanowski i Żelznogorsk / Krasnojarsk.

RosRAO ściśle współpracuje w zakresie bezpiecznego składowania odpadów z międzynarodowymi organizacjami takimi jak: MAEA, US Department of Energy (DOE) czy American Nuclear Society i planuje w przyszłości eksportować swoje usługi na rynku globalnym.

W ramach inicjatywy Global Partnership, z jaką wystąpiły w roku 2002 państwa G8 Rosja zawarła w 2003 r. porozumienie z Włochami w sprawie współpracy przy demontażu atomowych okrętów podwodnych oraz bezpiecznym składowaniu odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa.

W 2011 r. we Włoszech zbudowano dla potrzeb firmy Atomflot specjalistyczny statek Rossita przeznaczony do transportu paliwa jądrowego i odpadów promieniotwórczych. Przewozi on do 720 ton paliwa i odpadów ze zdemontowanych reaktorów pochodzących

z okrętów podwodnych w rejonie Arktyki oraz obsługuje flotę lodolamaczy o napędzie atomowym.

W marcu 2016 r. wypełniając warunki porozumienia zawartego w 2013 r. pomiędzy RosRAO i włoską firmą Fincantieri przekazano stronie rosyjskiej pływającą platformę transportową Itarus, która służyć ma do transportu przedziałów reaktorowych atomowych okrętów podwodnych demontowanych przez Marynarkę Wojenną FR. Platforma ma nośność 3000 ton i zdolność zanurzania się na głębokość 24,5 m podczas załadunku transportowanego elementu kadłuba okrętu podwodnego. Będzie ona kursować pomiędzy miejscem składowania kadłubów w Sayda Bay i stocznią remontową Nerpa na Płw. Kola. [16]

W lutym 2015 roku firma Atomenergomasz skonstruowała i uruchomiła dla RosRAO unikatową ruchomą instalację do przerobu odpadów niskoaktywnych (LLW), które stanowią zasadniczą część odpadów powstałych podczas likwidacji obiektów jądrowych. Wyniki pracy tej pilotażowej instalacji będą podstawą do podjęcia decyzji o jej zastosowaniu w innych obiektach jądrowych. Główną cechą instalacji jest jej mobilność (zamontowana została w kontenerze) i szybki przerób we wskazanym rejonie, co pociąga za sobą brak konieczności transportu odpadów do miejsca przerobu. Instalacja ma przerabiać 250 m³ odpadów rocznie co pozwoli 2-3 krotnie zmniejszyć ich ilość.

Na początku 2015 roku Rosja wprowadziła także zautomatyzowany system kontroli oraz rejestracji substancji promieniotwórczych i odpadów, do którego włączono już ponad 2000 instytucji. Pozwala on na automatyczny zbiór informacji nt. stanów posiadania, produkcji, przekazywania, przerobu i przygotowania do składowania odpadów.

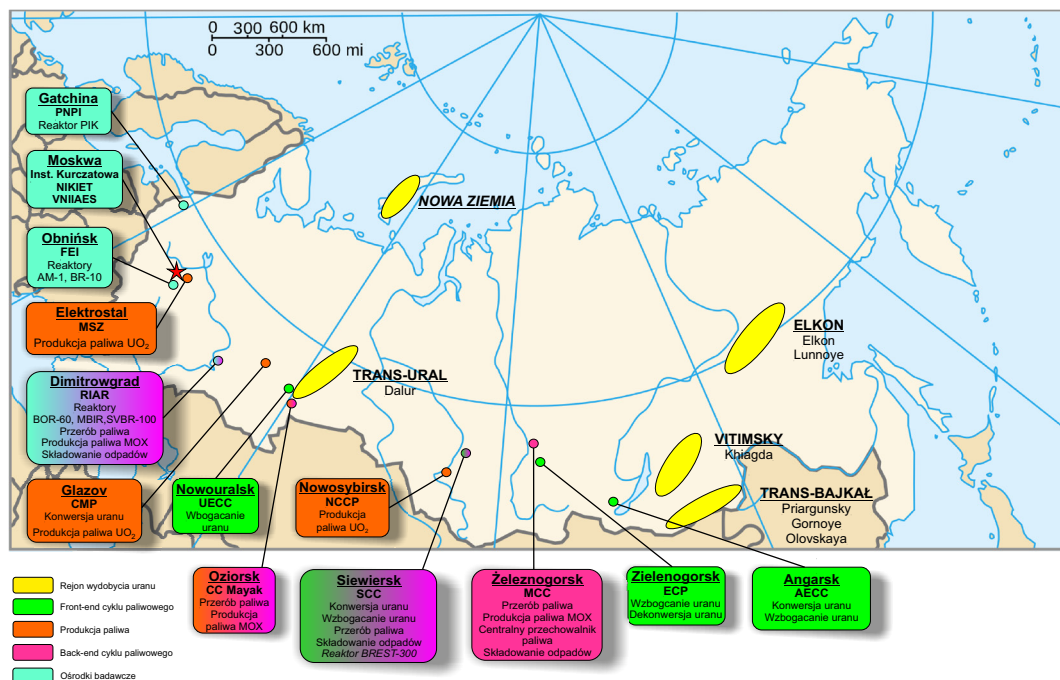
Kolejnym etapem będzie instalacja tego systemu na nowoczesnej platformie cyfrowej, co ma nastąpić pod koniec 2015 r.

W kwietniu 2015 r. firma Atomenergomasz (AEM) zaprezentowała pojemniki do transportu i suchego przechowywania wypalonego paliwa rodzimej konstrukcji TUK-146. Nowe kontenery po załadowaniu ważą 137 ton i w porównaniu do obecnych projektów można w nich pomieścić 1,5 razy więcej zestawów paliwowych pochodzących z reaktorów WWER-1000/1200, a także umożliwiają one przechowywanie paliwa z reaktorów prędkich. Testy pojemników TUK-146 zostały przeprowadzone zgodnie z normami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Sprawdzone je pod kątem mikropęknięć poprzez napełnianie azotem oraz helem. Testy obejmowały również upadek pojemników z wysokości 9 metrów, pod kątem 25° – pozycji, w której są narażone na najwięcej uszkodzeń. Następnie beczki ponownie zrzucano na przedmioty o ostrych krawędziach. Wyniki pokazują, że zewnątrz powłoka pojemnika doznała znacznych uszkodzeń, jednak jego zawartość pozostała w nie-naruszonym stanie. Model kasety paliwowej użyty w testach, był łatwy do wyciągnięcia z pojemnika i nie wykazał żadnych deformacji.

W roku 2015 zakończono re-kultywację Jez. Karaczaj w rejonie zakładów przerobu paliwa PA Mayak, które służyło dotąd jako mokry przechowalnik (zbiornik 9) ciekłych wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych powstających przy produkcji plutonu dla celów militarnych. W ZSRR, podobnie do innych państw nuklearnych, po II wojnie światowej trwał wyścig zbrojeń jądrowych, podczas którego przykładano małą wagę do problemu postępowania z odpadami promieniotwórczymi powstającymi w wojskowych programach pro-

Mapa 2.

Rozmieszczenie obiektów cyklu paliwowego Federacji Rosyjskiej



dukcji broni jądrowej. W latach 1949-51 wysokoaktywne odpady ciekłe zrzucano bezpośrednio do rzeki Tieczka, w późniejszych latach aż do roku 1956 do tego celu wykorzystywano kaskadę pobliskich naturalnych zbiorników wodnych (w tym Jez. Karaczaj). W latach 60. jezioro zaczęło wysychać i w roku 1968 na skutek panującej suszy wiatr przeniósł pył promieniotwórczy z powierzchni suchego jeziora i skażył olbrzymie obszary terenu powodując katastrofę ekologiczną. W latach 1978-86 jezioro pokryto za pomocą 10000 bloków betonowych, które miały zapobiegać dalszemu podrywaniu suchych osadów dennych. Wg ocen ekspertów amerykańskich (Worldwatch Institute) rejon Jez. Karaczaj jest najbardziej skażo-

nym promieniotwórczo miejscem na Ziemi. W jeziorze zgromadzony został materiał promieniotwórczy o aktywności 4,44 EBq²¹ zawierający niebezpieczne izotopy takie jak: cez-137 i stront-90. Zalegają one na głębokość do 3,4 m i w roku 1990 poziom promienienia w rejonie zrzutu odpadów do jeziora wynosił 6 Sv/h. [13]

Do końca 2015 roku powierzchnię jeziora ostatecznie odizolowano od otoczenia za pomocą skał i bloków betonowych. W ciągu kolejnych lat zostanie ono pokryte warstwami ziemi nieprzepuszczającymi wody. Projekt uszczelnienia Jez. Karaczaj realizowany był w ramach programu rządowego „Nuclear and Radiation Safety for 2008-2015.” i pochłonął dotychczas 275 mln USD.

4.9.

Likwidacja obiektów jądrowych

Program likwidacji elektrowni i innych obiektów jądrowych nadzoruje Rostechnadzor, który pełni rolę rosyjskiego dozoru jądrowego. Obecnie demontowanych jest sześć cywilnych reaktorów. Są to: eksperymentalne reaktory LWGR w Obninsku i Białojarsku (prototypy RBMK), VK-50 w Dimitrowgradzie (Melekeszu) i WWER-440 w Nowoworoneżu. Usunięto już z nich paliwo i ocze-kują one następnie na demontaż wyposażenia. We wrześniu 2015 r. ukończono demontaż pierwszego z nich – reaktora EI-2 typu LWGR. Paliwo z reaktorów w Nowoworoneżu zostało przewiezione do centralnego składowiska w Żeleznogorsku i ma być przerobione za ok. 10

lat. Paliwo z Białojarska pozostało na miejscu z powodu braku technologii jego przerobu.

W 2010 roku na obszarze Siberian Chemical Combine (SCC) w Siewiersku powstało pilotażowe centrum demontażu reaktorów grafitowych Pilot Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Reactors (PDC UGR), które w przeszłości służyły do

produkcji plutonu dla celów militarnych. Trzynaście takich reaktorów, z których ostatni wyłączono w kwietniu 2010 roku, działało w Oziorsku (5), Siewiersku (5) Żeleznogorsku (3). Paliwo usunięte z tych reaktorów prawie w całości zostało przerobione w zakładach Mayak w Oziorsku i SCC w Siewiersku. Według przyjętego planu reaktory te nie będą demontowane, lecz pokryte

szczelnymi sarkofagami.

Oprócz reaktorów energetycznych i produkcyjnych, jak dotąd likwidacji uległy także reaktory pochodzące z lodołamaczy atomowych Lenin, Sibir i Arktika oraz statku pomocniczego do przewozu paliwa Lepse.

9. RepU pochodzi z przerobu wypalonego paliwa z reaktora BN-600, WWER-440 oraz reaktorów napędowych i badawczych.

10. Zasoby rozpoznane (zidentyfikowane) obejmują zasoby racjonalnie pewne (ang. Reasonably Assured Resources - RAR) i zasoby przypuszczalne (ang. Inferred Resources - IR).

11. Złoża te stanowią ok. 20% amerykańskich zasobów uranu i w związku z tym transakcja przejścia firmy Uranium One musiała uzyskać aprobatę amerykańskiego komitetu ds. inwestycji zagranicznych (Committee on Foreign Investment) złożonego z przedstawicieli różnych agencji rządowych odpowiedzialnych za bezpieczeństwo narodowe.

12. Od roku 2013 z uwagi na niskie ceny uranu jego wydobycie w kopalni Honeymoon było wstrzymane i we wrześniu 2015 r. projekt ten został odsprzedany australijskiej firmie wydobywczej Boss Resources.

13. Wydajność procesu wzbogacania mierzy się w jednostkach pracy rozdzielania (Separative Work Unit - SWU). Jest to złożona funkcja ilości przetworzonego uranu i uzyskanego stopnia jego wzbogacenia oraz poziomu zubożenia odpadów. Ma ona wymiar masy i wyraża się w kg SWU. Przedstawia ona ilość energii używanej do wzbogacenia do pewnego poziomu danej ilości uranu wyrażonej w kg. Przyjmuje się, że do wyprodukowania rocznego zapasu paliwa dla typowego lekkowodnego reaktora energetycznego o mocy 1 GWe wymagane jest ok. 140 000 kg SWU.

14. W listopadzie 2013 r. TVEL wystąpił paliwo TVS-2M przeznaczone do załadunku 1 bloku w elektrowni Tianwan. Równocześnie chińskie zakłady produkcji paliwa w Yibin pozytywnie przeszły testy jakościowe i rozpoczęły produkcję paliwa tego typu z komponentów rosyjskich dla 2 bloku w tej elektrowni.

15. Oprócz tego Li-7 jest stosowany w postaci fluorku (LiF) jako składnik chłodziwa w reak-

torach IV Gen. z mieszaniną stopionych soli (molten salt reactors, MSRs). Li-7 występuje jako produkt uboczny w procesie wzbogacania izotopowego Li-6, który jest wykorzystywany do budowy ładunków termojądrowych.

16. Współpracę zakładów MSZ z Arevą zapoczątkowano w 1994 r. i dotyczyła ona głównie stosowania do produkcji paliwa uranu pochodzącego z francuskich zakładów przerobu paliwa zmieszanego z rosyjskim HEU. Obecnie 10 zachodnich reaktorów PWR i BWR (Szwecja, Szwajcaria, Niderlandy, Niemcy i UK) stosuje paliwo produkowane w zakładach MSZ.

Wyprodukowanie 1 tony paliwa z uranu odzyskanego w procesie przerobu wypalonego paliwa wymaga użycia 35 kg HEU o wzbogaceniu 90% w U-235. Przy wydajności zakładu ok. 200 zestawów paliwowych rocznie (ok. 100 ton) jest on w stanie zlikwidować 3,5 tony HEU. Do 2009 r. TVEL wyprodukował 2000 zestawów paliwowych, co umożliwiło zmniejszenie nagromadzonego rosyjskiego zapasu HEU o 35 ton.

17. Jiangsu Nuclear Power Corporation i China Nuclear Energy Industry Corporation podpisały kontrakt o wartości ok. 1 mld USD z firmą TVEL na dostawę do roku 2025 paliwa jądrowego (rdzeń pierwotny oraz 6 przeładunków) dla budowanych przez Rosję bloków 3 i 4 w EJ Tianwan. Porozumienie uwzględni także dostawę komponentów, które umożliwią Chinom produkcję paliwa dla wszystkich czterech bloków elektrowni.

18. Porozumienie w sprawie utworzenia międzynarodowego banku paliwa jądrowego MAEA podpisała z Rosją 29 marca 2010 r. Przewidywany zapas 120 ton LEU wystarczy do dwukrotnego załadunku reaktora jądrowego o mocy 1GWe.

19. Obecnie większość paliwa dla reaktorów napędowych floty lodołamaczy jest typu cermet, w którym cząsteczki tlenku uranu

są rozproszone w matrycy aluminiowej i jest ono przerabiane w zakładach RT-1. Przechowywane jest jednak, nieprodukowane już obecnie, wypalone paliwo pochodzące z 20 rdzeni lodołamaczy klasy Arktika, które jest wzbogacone do 90% i zbudowane z kosztów cyrkonowych. Z uwagi na brak odpowiedniej technologii paliwo to dotychczas nie było przerabiane i składowano je w przechowalnikach.

20. Pierwotnie ostateczne składowisko w głębokich formacjach geologicznych zamierzano zlokalizować na Płw. Kola, następnie w 2003 roku zaproponowano Krasnokamiensk w regionie Czita. Propozycja Niżniekańskiego Masywu Granitowego została przedstawiona w roku 2008 i po przeprowadzeniu publicznego wystąpienia w czerwcu 2012 r. zatwierdzona w roku 2013.

21. Bekerel (Bq) – jednostka miary aktywności promieniotwórczej w układzie SI 1EBq – eksa (trylion) bekereli = 1018 Bq. Bekerel (Bq) jest bardzo małą jednostką, dlatego w praktyce często używane są jej wielokrotności: kBq, MBq, GBq oraz TBq. Na przykład aktywność naturalnego promieniotwórczego izotopu potasu 40K w ciele ludzkim wynosi średnio około 4 kBq, a więc 4000 rozpadów na sekundę. Bomba jądrowa użyta w Hiroszimie o mocy 14 kt wydzieliła substancje promieniotwórcze o aktywności około 8-1024 Bq

22. BOR-60 jest obecnie jedynym na świecie działającym reaktorem prędkim przeznaczonym do celów badawczych. Uruchomiony w 1969 r. ma zostać wyłączony w 2020 r. W reaktorze tym na mocy porozumienia, jakie RIAR zawarł w listopadzie 2015 r. z koreańskim instytutem badawczym KAERI testowane będzie paliwo dla prototypowego reaktora prędkiego chłodzonego sodem o mocy 150 MWe, który ma zostać uruchomiony w Rep. Korei w 2028 r.

5. Organy dozоровe, bezpieczeŃstwo jądrowe i ochrona radiologiczna, kultura techniczna

W Federacji Rosyjskiej obowiązują dwa podstawowe dokumenty regulujące stosowanie energii jądrowej. Są to:

- Federal Law on the Use of Atomic Energy (listopad 1995 r.);
- Federal Law on Radiation Safety of Population (styczeŃ 1996 r.).

Są one uzupełnione o ustawy parlamentarne dotyczące ochrony środowiska (2002 r.) i gospodarki odpadami promieniotwórczymi (2011 r.).

Rolę niezależnego organu nadzoru nad programem jądrowym pełni Federal Ecological, Technological & Atomic Supervisory Service – Rostechnadzor. Instytucja ta reguluje sprawy bezpieczeŃstwa wszystkich obiektów jądrowych, wydaje zezwolenia na ich działanie oraz nadzoruje transport i rozliczenie materiałów jądrowych. Posiada uprawnienia inspekcyjne i prawo nakładania kar finansowych na operatorów obiektów i urzędów jądrowych. Posiada także uprawnienia w dziedzinie ochrony środowiska i bezpieczeŃstwa eksploatacyjnego urzędów technicznych.

W listopadzie 2015 r. rząd rosyjski przyjął program celowy (FTP) w sprawie bezpieczeŃstwa jądrowego i radiologicznego do roku 2030. Głównym zadaniem w tym okresie ma być rozwiązanie sprawy odpowiedzialności

i stworzenie podstaw prawnych do zabezpieczenia odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa nagromadzonych w okresie ZSRR. Większość nakładów finansowych (73%) skierowana będzie na demontaż i likwidację nieczynnych reaktorów oraz wyburzenie niewykorzystywanych obiektów w rejonie PA Mayak, Siberian Chemical Combine, Angarsk Electrolysis i Chemical Complex Novosibirsk Chemical Concentrates Plant, które były wykorzystywane w programie broni jądrowej. Pozostałe 20% skierowane zostanie na budowę infrastruktury niezbędnej do przerobu i ostatecznego składowania wypalonego paliwa i odpadów promieniotwórczych, 5% na monitoring i zapewnienie bezpieczeŃstwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz 2% na naukowe i technologiczne wsparcie tych procesów.

W przeszłości oprócz największej awarii w historii energetyki jądrowej, która wydarzyła się 26 kwietnia 1986 r. w Czarnobylu na terytorium ZSRR miały miejsce dwie poważne awarie jądrowe:

- **Oziorsk** /Katastrofa kysztym-ska/ (29.09.1957 r.): na terenie zakładu przerobu paliwa PA Mayak nastąpiła awaria systemu chłodzenia zbiornika z ciekłymi odpadami promieniotwórczymi i jego eksplozja, w wyniku której nastąpiło

uwolnienie 70-80 ton materiałów promieniotwórczych do otoczenia i skażenie obszaru 23 000 km², na którym zamieszkiwało 270 000 ludzi. Awarii nadano 6 stopieŃ w siedmiostopniowej skali INES;

- **Siewiersk** / Tomsk (6.04.1993 r.): w zakładach wzbogacania uranu podczas czyszczenia zbiornika zawierającego materiały promieniotwórcze nastąpiła eksplozja połączona z rozerwaniem zbiornika oraz uwolnieniem substancji do otoczenia. Skażeniu uległo 120 km² terenu. Awarii nadano 4 stopieŃ w skali INES.

W wyniku wewnętrznych działań organizacyjnych i legislacyjnych, a także przy wydatnej pomocy merytorycznej ze strony MAEA, WANO i USA DoE bezpieczeŃstwo obiektów jądrowych w Rosji uległo zdecydowanej poprawie. W 1993 roku odnotowano 29 incydentów na poziomie 1 i wyższym skali INES, w 1994 było ich tylko 9, a do roku 2003 nie więcej niż 4. Znacznie zmniejszyła się także, do zaledwie kilku, liczba przypadków otrzymania przez pracowników dawki rocznej przekraczającej 20 mSv - co było nagminne w latach poprzednich.

W następstwie awarii w Fukushima przeprowadzono natychmiastową ocenę wszystkich bloków jądrowych eksploatowanych w Rosji. Podobnego przeglądu

du (stress tests) dokonała także MAEA. Potwierdziły one, że elektrownie spełniają współczesne wymogi bezpieczeństwa i nie wymagają wprowadzania dodatkowych zmian. Niemniej

jednak większą uwagę zwraca się na utrzymywanie niezawodnego zewnętrznego zasilania elektrowni w wodę i energię elektryczną w różnych sytuacjach awaryjnych. Rosener-

goatom przeznaczył na ten cel 530 mln USD i zakupił 66 mobilnych generatorów diesla, 35 mobilnych zestawów pompowych i 80 innych pomp.

6.

Badania i rozwój technologii jądrowych

Głównym zadaniem stojącym przed jednostkami badawczo-rozwojowymi jest zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii oraz budowanie bazy technologicznej, która umożliwi Rosji eksport technologii jądrowych. Prowadzi ona nieprzerwanie od 60 lat szereg programów badawczych obejmujących m.in. projektowanie reaktorów i paliwa jądrowego, bezpieczeństwo jądrowe, gospodarkę odpadami promieniotwórczymi oraz zastosowanie radioizotopów w przemyśle i medycynie.

W latach 2010-2012 rząd rosyjski przeznaczył ponad 120 mld RUB na badania związane z nową generacją elektrowni jądrowych. Zidentyfikował trzy priorytety dla przemysłu jądrowego: w ciągu kilku najbliższych lat - zwiększenie wydajności reaktorów lekkowodnych, w średniej perspektywie - rozwój zamkniętego cyklu paliwowego opartego o budowę reaktorów prędkich oraz w dłuższym okresie - opanowanie syntezy termojądrowej.

6.1.

Ośrodki badań jądrowych

Głównym ośrodkiem realizującym postawione wyżej zadania jest utworzony w Moskwie w 1943 r. Russian Research Centre Kurchatow Institute. W jego skład wchodzi również: Petersburg Nuclear Physics Institute, Institute for High Energy Physics i Institute of The-

oretical and Experimental Physics. W roku 2016 w ramach optymalizacji i centralizacji wysiłków badawczych do ośrodka dołączono jeszcze dwie instytucje: „Prometheus” Central Research Institute of Structural Materials i Research Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemicals, które uprzednio podlegały Ministerstwu szkolnictwa i nauki. W lutym 2016 r. Centrum Kurczatowa zawarło porozumienie z Rosatomem obejmujące wspólne działania w obszarze materiałów jądrowych, bezpieczeństwa obiektów jądrowych, medycyny nuklearnej i radioterapii oraz kontrolowanej fuzji termojądrowej i badań nad plazmą. Celem tej współpracy ma być uzyskanie synergii działań na rzecz rozwoju nowych i modernizacji istniejących technologii w energetyce jądrowej i sektorze transportu energii.

W ośrodku są projektowane m.in. reaktory przeznaczone do napędu okrętów oraz zasilania pojazdów kosmicznych, a także reaktory wysokotemperaturowe. Od 1995 r. instytut koordynuje sprawę związaną z ewidencją i kontrolą oraz ochroną fizyczną materiałów jądrowych. Testowane są nowe zestawy paliwowe z perspektywą użycie toru w reaktorach WWER-1000. Od 1955 r. prowadzone są badania w zakresie fizyki plazmy i fuzji jądrowej. Tutaj też powstało pierwsze urządzenie do kontrolo-

wanej syntezy termojądrowej typu tokamak.

Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI) związany z instytutem Kurczatowa znajduje się w m. Gatchina / 45 km na płd. od St. Petersburga. Na terenie instytutu działa reaktor badawczy WWR-M o mocy 18 MWt oraz budowany jest nowy reaktor PIK o mocy 100 MWt. Krytyczność osiągnął w 2012 r. i po jego oddaniu w 2015 r. będzie największym wysokostrumieniowym reaktorem badawczym w Rosji. Na jego bazie powstanie międzynarodowe centrum badań nad neutronami.

State Scientific Centre - Research Institute of Atomic Reactors (RIAR lub NIIAR) jest największym centrum badań jądrowych w Rosji. Zlokalizowany jest w m. Dimitrowgrad / Ulianowski i posiada szeroką gamę reaktorów badawczych i eksperymentalnych, które umożliwiają prowadzenie badań w obszarze cyklu paliwowego i gospodarowania odpadami promieniotwórczymi, oraz produkcję radioizotopów. Do eksploatowanych reaktorów należy m.in.:

- SM – wykorzystywany do produkcji izotopów;
- MIR – wykorzystywany do projektowania paliwa dla reaktorów energetycznych i napędowych;
- VK-50 – jedyny reaktor wrzący w FR – obecnie nieczynny i w trakcie demontażu;

- BOR-60²² – eksperymentalny reaktor prędkości, ma zostać zastąpiony ok. 2020 r. przez reaktor prędkości chłodzony sodem o mocy 100-150 MWt – MBIR, który ma służyć do testów różnego rodzaju chłodziwa (otów, otów-bizmut, gaz, sól) i pracować w zamkniętym cyklu paliwowym wykorzystującym pilotażowy zakład przerobu paliwa metodą pyrochemiczną. Paliwo dla reaktora MBIR ma pochodzić z przerobu paliwa z reaktora BOR-60. Wytwarzane ono będzie w specjalnej instalacji zbudowanej w oparciu o rodzimą technologię VMOX (Vibropacked MOX)²³ i zawierać 38% plutonu. Program badań na tym reaktorze ma być otwarty dla współpracy międzynarodowej w ramach inicjatywy MAEA INPRO.

Na terenie ośrodka RIAR znajdują się największe laboratorium badań materiałowych w Rosji wykorzystywane głównie do badań wypalonego paliwa. Głównym zadaniem RIAR w przyszłości ma być przerób takiego paliwa.

W ośrodku RIAR w 2017 roku ma również zostać uruchomiony 100 MWt reaktor prędkości chłodzony eutektyką ołowiu-bismutową SVBR-100 pracujący w cyklu zamkniętym. Będzie to pierwszy reaktor chłodzony ciekłym metalem ciężkim wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej. Ma być reaktorem wielofunkcyjnym, stosowanym także do celów grzewczych i do odsalania wody.

W 2010 r. amerykańska firma TerraPower złożyła ofertę instytutowi na prowadzenie badań próbek materiałowych i paliwa po ich napromienieniu w planowanym do uruchomienia reaktorze z falą wędrującą (Travelling Wave Reactor, TWR). Nie doszło jednak do końcowego porozumienia w tej sprawie.

RIAR założył także spółkę z JSC Izotop do produkcji Mo-99

wykorzystując nowe wyposażenie produkcji niemieckiej. Zamierza on przejąć 20% światowej produkcji tego izotopu. W 2010 JSC Izotop podpisał umowę z kanadyjską firmą MDS Nordion, aby wykorzystywać jej biura zagraniczne do wejścia na światowy rynek radioizotopów medycznych.

W lipcu 2014 r. RIAR otrzymał zezwolenie na budowę wielofunkcyjnego laboratorium radiochemicznego Polyfunctional Radiochemical Complex (PRC), które przeznaczone ma być do badań nad cyklem paliwowym reaktorów prędkich.

Institute of Physics and Power Engineering (FEI lub IPPE) mieszczący się w Obnińsku eksploatuje reaktor grafitowy wodny AM-1 o mocy 30 MWt, który w przeszłości służył do badań nad projektem reaktora RBMK, a następnie do produkcji izotopów. FEI prowadził także badania nad reaktorami prędkimi i posiada reaktor BR-10 do prac nad reaktorami prędkimi chłodzonymi sodem. Służy on także do testowania wytrzymałości zestawów paliwowych, badań materiałowych i produkcji izotopów.

PA Mayak w Oziorsku jest obecnie głównym centrum produkcji radioizotopów. Do tego celu wykorzystywane są dwa reaktory każdy o mocy 1000 MWt (lekkowodny - Руслан z 1979 r. i ciężkowodny - Людмила z 1988 r.). W październiku 2015 rozpoczęto prace konstrukcyjne nad nowym reaktorem wielofunkcyjnym, który zastąpi do roku 2023 te dwa reaktory. Oprócz produkcji radioizotopów ma on także dostarczać energię elektryczną.

W m. Zarechny / Białojarsk znajduje się Institute for Reactor Materials (IRM).

All-Russian Scientific and Research Institute for Nuclear Power Plant Operation (VNIIAES) z siedzibą w Moskwie zapewnia wsparcie naukowe i techniczne dla działających EJ głównie w zakresie popra-

wy ich bezpieczeństwa eksploatacji, niezawodności i efektywności.

Eksploatowany na terenie kombinatu MCC w Żeleznogorsku reaktor ADE-2 początkowo służył do produkcji plutonu dla celów militarnych, jednak od 1995 r. jego głównym celem stała się produkcja energii cieplnej i elektrycznej. Doświadczenia z eksploatacji tego reaktora posłużyły następnie do przedłużenia okresu pracy reaktorów RBMK. Reaktor wyłączono po 46 latach niemal bezawaryjnej pracy.

Research & Development Institute for Power Engineering (NIKIET) z siedzibą w Moskwie prowadzi od roku 2010 wspólnie z agencją badań kosmicznych Roskosmos badania nad zastosowaniem reaktorów jądrowych do budowy raketowego silnika nuklearnego. Prototyp takiego silnika ma zostać zaprezentowany w 2018 r. NIKIET jest także zaangażowany wspólnie z Luch Scientific Production Association (SPA Luch) z Podolska i białoruskim instytutem Joint Institute for Power Engineering and Nuclear Research (Sosny) z Mińska w projekt budowy małego przewoźnego reaktora jądrowego. Projekt ten będzie czerpać z doświadczeń Sosny w konstrukcji reaktora Pamir-630D przeznaczonego do zabudowy na samochodzie. Był to reaktor wysokotemperaturowy (HTR) o mocy 300-600 kWe z tlenkiem azotu (N₂O₄) jako czynnikiem roboczym napędzający turbinę gazową w cyklu Braytona.

6.2.

Rozwój reaktorów lekkowodnych

Jak wspomniano wcześniej podstawowym reaktorem energetycznym eksploatowanym w Rosji jest obecnie reaktor WWER-1000 (AES 91, 92). Pozostałe reaktory (RBMK, VVER-440) będą sukcesywnie wyłączane ze względu na ich wiek.

Reaktor ten podlega ciągłemu

procesowi modernizacji w kierunku wydłużenia okresu eksploatacji, zwiększenia mocy, niezawodności, bezpieczeństwa (systemy pasywne), efektywności oraz zmniejszenia ilości paliwa (i odpadów), a także kosztów i czasu budowy. W ramach tego procesu opracowane zostały ewolucyjne wersje reaktora: WWER-1200 (AES-2006) i WWER-TOI (typical optimized, with enhanced information), które zaliczane są do Generacji III+. Konstrukcje AES-2006 znajdują się obecnie w różnych fazach budowy, natomiast reaktory WWER-TOI są planowane do budowy w ciągu następnych 2-3 lat.

W 2005 r. Rosatom planował wprowadzenie jeszcze większej jednostki - reaktora WWER-1500, lecz wycofał się z tego przedsięwzięcia w 2006 r. jeszcze przed ukończeniem prac projektowych.

Innymi typami reaktorów WWER o wzmocnionych cechach bezpieczeństwa (reaktory pasywne), które znajdują się obecnie w fazie projektowej są reaktory WWER-640, 600 i 300. Mają one stanowić uzupełnienie oferty eksportowej Rosji o reaktory pasywne, średniej mocy należące do Gen. III+.

W ramach inicjatywy Generation IV International Forum (GIF) biuro konstrukcyjne Gidropress opracowało wstępny projekt reaktora termicznego z wodą nadkrytyczną WWER-SKD (WWER-SCWR). Reaktory tego typu (Supercritical-Water-Cooled Reactor, SCWR) są układami wykorzystującymi wodę w stanie nadkrytycznym jako ciecz roboczą. SCWR będzie reaktorem lekkowodnym pracującym pod większym ciśnieniem i w wyższej temperaturze z obiegiem bezpośrednim. Konstrukcyjnie będzie podobny do reaktora z wodą wrzącą (BWR), ale ponieważ wykorzystuje wodę w stanie nadkrytycznym jako czynnik roboczy, ma obecną tylko jedną fazę, tak jak reaktory

ciśnieniowe (PWR). SCWR może pracować w znacznie wyższych temperaturach niż obecne reaktory PWR czy BWR. Reaktory te są obiecującymi zaawansowanymi systemami jądrowymi, dzięki ich wysokiej sprawności termicznej (ok. 45% w porównaniu do 33% wydajności obecnie działających reaktorów lekkowodnych) i znacznemu uproszczeniu konstrukcji.

6.3. Reaktory prędkie [11]

Reaktory prędkie stanowią przełom technologiczny w energetyce jądrowej i Rosja jest w tym obszarze światowym liderem. Do roku 2030 planowane jest zainstalowanie mocy 14 GWe i 34 GWe do 2050 r. w reaktorach tego typu. Reaktor prędkie chłodzony sodem BN-800 oddany do użytku w Biełojarskiej EJ w m. Zarzeczny / Swierdłowsk ma zastąpić działający tam reaktor BN-600 i wykorzystywać paliwo MOX zawierające zarówno pluton reaktorowy (RGPu) jak i klasy zbrojeniowej (WGPU)²⁴. Moc reaktora ma wynosić 880 MWe, stopień wypalenia paliwa osiągać 70-100 GWd/t. Budowa tego obiektu została już ukończona, 27 czerwca 2014 r. osiągnął on stan krytyczności, a w dniu 10 grudnia 2015 r. włączono go do sieci energetycznej. Obecnie pracuje na 25% mocy nominalnej (235 MWe). Sód do chłodzenia reaktora dostarczyła w 2013 r. francuska firma MSSA Metaux Speciaux. Reaktor osiągnie pełną moc w 2016 r. Obecnie pracuje on na paliwie mieszanym – z 576 zestawów paliwowych 33% (180) zestawów zawiera HEU, a reszta składa się z paliwa MOX (100 Vibromox i reszta pastylkowe MOX). Blok BN-800 przejdzie w całości na paliwo MOX w latach 2016-17, gdy uruchomione zostaną zakłady produkcji paliwa MOX (MFFF) w kombinacie Mining and Chemical Combine (MCC) w Żelez-

nogorsku / Krasnojarsk.

Paliwo MOX dla pierwszego zakładku rdzenia reaktora wyprodukowane zostało w instytucie NIIAR w Dimitrowgradzie - 40 z nich wykonano w oparciu o własną technologię VMOX, pozostałe wyprodukowano z pastylek MOX pochodzących z zakładów PA Mayak w Oziorsku.

Projektem reaktora BN-800 zainteresowane są Chiny, które podpisały w 2009 r. umowę w sprawie budowy dwóch reaktorów tego typu w m. Sanming. Obecnie Rosja i Chiny współpracują przy eksploatacji eksperymentalnego reaktora prędkiego chłodzonego sodem o mocy 65 MWt zbudowanego przy współudziale rosyjskich ekspertów w 2010 r. na terenie instytutu energii jądrowej zlokalizowanego w pobliżu Pekinu.

Kolejną wersją rozwojową sodowych reaktorów prędkich będzie reaktor BN-1200, który ma rozpocząć produkcję energii elektrycznej w 2020 roku. Rosatom planuje przedstawić go na forum międzynarodowej inicjatywy Generation IV International Forum (GIF) jako projekt reaktora IV Gen. Planowana moc ma wynosić 2900 MWt/1220 MWe, okres eksploatacji – 60 lat i stopień wypalenia paliwa do 120 GWd/t. Obok chłodzenia sodem przewidywane jest zastosowanie do tego celu także ołowiu. Sprawność termiczna ma osiągać 42 %, stopień wypalenia paliwa dochodzić do 1,45. Koszt budowy takiej jednostki ma być porównywalny z kosztami budowy reaktora WWER-1200. Wstępne plany zakładają rozpoczęcie budowy pierwszego bloku w EJ Biełojarsk w 2025 r. a jego uruchomienie w 2031 r. Do 2030 r. ma powstać kolejnych pięć bloków w EJ Płd. Ural i Biełojarsk. Ostatnie decyzja co do budowy tego reaktora ma zostać podjęta w oparciu o doświadczenia z eksploatacji reaktora BN-800.



Fotografia 2.

Cegły z sodu gotowe do transportu

Źródło: Rosatom



Fotografia 3.

Blok 4 (BN-800) Biełojarskiej EJ

Źródło: Rosatom



Fotografia 4.

Stępka lodotamacza Sibir

Źródło: Rosatom

Fotografia 5-6.

Lodołamacz

Źródło: Rosatom



Fotografia 7.

Yuri Dolgoruky atomowa łódź podwodna FR1

Źródło: Rosyjskie MON



Fotografia 8.

Pływające elektrownie

Źródło: Rosatom



Na terenie kombinatu SCC w m. Siewiersk / Tomsk w ramach projektu innowacyjnego „Прорыв” ma zostać zbudowany eksperymentalny reaktor prędkości BREST-OD-300 (Bystry Reaktor so Svintsovym Teplonositelem) chłodzony ciekłym ołowiem zaprojektowany przez biuro konstrukcyjne NIKIET. Głównym celem tego projektu jest zademonstrowanie możliwości zamknięcia cyklu paliwowego w oparciu o reaktor prędkości. Będzie to pierwszy reaktor nowej generacji, który pozbawiony jest płaszczu uranowego (materiału paliworodnego) wokół rdzenia, przez co posiada zwiększoną odporność na proliferację (nie ma możliwości produkcji plutonu). Rdzeń reaktora ma 2,3 m średnicy i 1,1 m wysokości i zawiera 16 ton paliwa o zwiększonej gęstości (dense fuel), wyprodukowanego na bazie azotków uranu i plutonu, którego wymiana ma odbywać się raz w roku (każdy element paliwowy ma przebywać w rdzeniu 5 lat). Reaktory tego typu mają w przyszłości zastąpić reaktory BN, a reaktor o mocy 300 MWe będzie prekursorem serii dużych komercyjnych reaktorów o mocy 1200 MWe, które będą znacznie efektywniej wykorzystywać energię zgromadzoną w paliwie jądrowym i wypalać pierwiastki długożyciowe (pomniejszające aktywność) zgromadzone w odpadach promieniotwórczych. Przewidywany okres eksploatacji wynosi 60 lat, projekt techniczny został ukończony w 2014 roku, a budowa ma być realizowana w latach 2016-20. W końcu marca 2014 r. na terenie kombinatu SCC rozpoczęto budowę zakładu produkcji paliwa dla tego reaktora (KEU-1) i w październiku 2014 r. zakończono testy próbnej partii 140 prętów paliwowych typu ETVS. Budowa ma zostać zakończona w 2017 r., tak by zakład zdążył wyprodukować pierwsze zestawy paliwowe przed uruchomieniem reaktora w 2020 r. W kombinacie ma również

powstać w 2022 r. zakład przerobu paliwa, który zamknie cykl paliwowy reaktora.

We wspomnianym instytucie NIIAR (RIAR) w Dimitrowgradzie pod koniec kwietnia 2014 r. rozpoczęto prace przygotowawcze do budowy reaktora MBIR. Jest to wielofunkcyjny badawczy reaktor prędkości o przewidywanej mocy 100-150 MWt pracujący na paliwie VMOX, w którym będzie istniała możliwość testowania sodu, ołowiu, eutektyki ołowiano-bismutowej i gazu jako chłodziwa. Ma on pracować w cyklu zamkniętym wraz z towarzyszącym pilotowym zakładem przerobu paliwa. Reaktor ten ma zostać uruchomiony w 2020 r. i działać przez 50 lat zastępując eksperymentalny model BOR-60 eksploatowany w NIIAR od 1969 r. Zgodnie z rozstrzygnięciami przetargu ogłoszonego przez Rosatom w grudniu 2013 r. firma AEM Technology z S. Petersburga – filia AtomEnergMash dostarczy zbiornik reaktora. Ma on mieć wys. 11,6 m i średnicę 2,5 m i będzie otoczony obudową bezpieczeństwa na wypadek utraty chłodziwa sodowego. Generalnym konstruktorem reaktora MBIR jest instytut VNIPIET, natomiast cały obiekt zaprojektowany został przez instytut NIKIET. Całkowity koszt projektu szacowany jest na 454 mln USD. Na generalnego wykonawcę inwestycji wybrano w listopadzie 2014 r. firmę Uralenergostroy, która obecnie kończy budowę reaktora BN-800 w EJ Biełojarsk. W maju 2015 r. rosyjski dozór jądrowy - Rostechnadzor wydał ostateczną zgodę na budowę (construction licence) obiektu i w połowie 2015 r. przewidywane jest rozpoczęcie wylewania betonu pod budynek reaktora. Reaktor MBIR będzie największym badawczym reaktorem prędkim na świecie i ma być on dostępny dla badań w ramach międzynarodowego konsorcjum po optaczeniu składki

członkowskiej (admission ticket), która umożliwi korzystanie z obiektów badawczych ośrodków. Zaangażowanie przyszłych użytkowników w fazę wyposażania obiektu pozwoli na pełniejsze wykorzystanie reaktora i na lepsze jego dopasowanie do przeprowadzanych w przyszłości badań.

Innym projektem realizowanym w ośrodku NIIAR jest budowa reaktora prędkości SVBR-100 (Lead-Bismuth Fast Reactor) o mocy 75-100 MWe chłodzonego eutektyką ołowiano-bismutową²⁵. Jest to projekt reaktora zintegrowanego, z generatorem pary znajdującym się w tym samym basenie reaktora co jego rdzeń, przystosowanego do różnorodnego paliwa. Blok ma być budowany w całości w fabryce i przewożony do miejsca przeznaczenia (wymiary obiektu: 4,5 m – średnica i 7,5 m – wysokość) a następnie montowany w zbiorniku z wodą, która zapewni pasywny odbiór ciepła i stanowi osłonę biologiczną. Wymiana paliwa ma odbywać się co 7-8 lat. Jako reaktor wielofunkcyjny może on produkować prąd elektryczny, ciepło lub służyć do odsalania wody. Ocenia się, że elektrownia składająca się z 16 takich modułów będzie dostarczać energię elektryczną po najniższych kosztach spośród dostępnych w Rosji technologii, gwarantując jednocześnie wysoki poziom bezpieczeństwa i odporności na proliferację. Do realizacji tego projektu Rosatom utworzył w 2009 r. wraz z prywatnym przedsiębiorstwem En+ Group spółkę AKME-engineering, która ma do końca 2017 r. wybudować prototyp reaktora na terenie ośrodka NIIAR. Proponuje się, aby reaktory te zainstalowano w EJ Nowoworoneż i w EJ Kozłoduż.

6.4.

Reaktory na stopione sole (MSR)

W Rosji prowadzone są prace ba-

dawcze w ramach projektu reaktora prędkiego zasilanego paliwem na bazie fluoroków transuranowców (TRU) (tzn. plutonu i mniejszych aktywności: neptun, kiur i ameryk), pochodzących z przerobu wypalonego paliwa uranowego i MOX - Molten Salt Actinide Recycler and Transmuter (MOSART). Projekt ten jest częścią programu eliminacji mniejszych aktywności z odpadów promieniotwórczych za pomocą technologii reaktorów na stopione sole MARS (Minor Actinide Recycling in Molten Salt), realizowanego wspólnie przez Instytut Kurczątowa, RIAR i inne placówki badawcze. Jest to projekt reaktora o mocy 2400 MWt, w którym zarówno paliwo (TRUF₂) jak i chłodziwo występuje w postaci mieszaniny ciekłych soli (głównie fluoroków Li-Na-Be lub Li-Be). Może on być również zasilany torem (Th występuje tu jako materiał paliworodny), jednak głównym jego zadaniem ma być wypalanie i transmutacja transuranowców, a nie powielanie paliwa.

6.5. Pływające EJ [17]

Rosja finalizuje prace nad pierwszą z elektrowni, budowanych w ramach szerokiego projektu pływających elektrowni jądrowych, które mają dostarczać prąd elektryczny w odległych, niedostępnych regionach kraju. Stępka pod pierwszą pływającą elektrownię jądrową Akademik Łomonosow została położona w kwietniu 2007 r. W końcu czerwca 2010 r. zwodowano kadłub w stoczni Bałtyckiej w Petersburgu. W październiku 2013 r. zainstalowano w kadłubie reaktory jądrowe. Oddanie do użytku przewidywane jest na rok 2016.

Elektrownia ma kształt pływającej platformy (barki) o długości 144,4 m, szerokości 30 m i wyporności 21500 DWT. Na pokładzie zainstalowane zostaną dwa reaktory jądrowe typu KTL-40S,

każdy o mocy elektrycznej 35 MWe (150 MWt), wyprodukowane przez zakłady Afrikantow OKBM w m. Niżnyj Nowgorod. Reaktory te były dotychczas stosowane do napędu północnej floty lodołamaczy atomowych. Turbiny dla elektrowni wytwarzane są w zakładach w m. Kaługa. Elektrownia po niewielkiej adaptacji może także służyć do przemysłowego odsalania wody morskiej z wydajnością 240 000 m³ wody na dobę. Założenia konstrukcyjne przewidują, iż ma być ona eksploatowana przez 38 lat (3 cykle po 12 lat) z przerwami na remont po każdym cyklu.

Elektrownie przewidziane są do rozmieszczenia w odległych, niedostępnych rejonach Płn-Wsch. Rosji i w strefie arktycznej, gdzie utrudniony jest przesył energii, a budowa konwencjonalnej elektrowni byłaby nieopłacalna ekonomicznie. Planowana jest budowa kolejnych 6 elektrowni w przeciągu następnych 10 lat. Pierwsza elektrownia przeznaczona jest do zasilania bazy atomowych okrętów podwodnych w Wiljuczyńsku na Kamczatce, kolejna do zaopatrywania w energię elektryczną m. Piewiek na Płw. Czukockim. Będą one wykorzystane również przez Gazprom do zabezpieczenia wydobycia z pól gazowych na Płw. Kolskim i Jamalskim. Następne przewidziane są do rozmieszczenia w pobliżu Jakucji i w rejonie Płw. Tajmyr.

Zakupem podobnych pływających elektrowni zainteresowanych jest wiele państw, w tym: Chiny, Indonezja, Malezja, Algieria, Namibia i Argentyna. Najdalej w swoich propozycjach idą Chiny - w lipcu 2014 r. China's CNC New Energy podpisała z Rusatom Overseas porozumienie o wspólnej budowie i eksploatacji pływających elektrowni.

W przyszłości planowana jest budowa kolejnych pływających elektrowni wyposażonych w reaktory

VBER-300 lub RITM-200 o mocach 200-400 MWe, stosowanych dotychczas przez rosyjską marynarkę do napędu floty atomowych okrętów nawodnych i podwodnych.

6.6. Flota lodołamaczy o napędzie jądrowym [18]

Energia jądrowa wykorzystywana do napędu floty rosyjskich lodołamaczy w rejonie Arktyki okazuje się technicznie i ekonomicznie najefektywniejsza. Panujące tam warunki żeglugi, moc niezbędna do kruszenia 3 m pokrywy lodu oraz trudności w zaopatrywaniu w paliwo praktycznie uniemożliwiają jakąkolwiek aktywność konwencjonalnych lodołamaczy. Dzięki flocie lodołamaczy atomowych okres nawigacyjny w Przejściu Północno-Wschodnim wydłużył się z dwu do dziesięciu miesięcy, a w Arktyce Zachodniej trwa nieprzerwanie przez cały rok. Zwiększenie aktywności floty lodołamaczy spodziewane jest wraz z rozwojem pól wydobywczych na Płw. Jamalskim. Budowany tam obecnie zakład będzie pierwszym w Rosji, gdzie wdrożona zostanie technologia do skraplania gazu ziemnego opracowana przez firmę Air Products. Będzie to największa instalacja produkująca i eksportująca gaz ziemny w Rosji i jednocześnie największy projekt tego typu zlokalizowany w strefie arktycznej oraz najdalej położony na północny biegunie świata. Skroplony gaz ziemny pochodzący z projektu Jamal LNG będzie wykorzystywany głównie do zaspokojenia rosnącego zapotrzebowania na energię ze strony państw azjatyckich oraz z obszaru Pacyfiku. Wdrożenie i uruchomienie projektu wymagać będzie przeprowadzenia 200 rejsów rocznie z portu Sabetta leżącego u ujścia rzeki Ob do odbiorców na Dalekim Wschodzie i w Azji²⁶.

Flota lodołamaczy jest zarządza-

na przez przedsiębiorstwo Atomflot, należące do Rosatomu. Od jego stanu zależy dalszy rozwój Arktyki i rosyjskich kopalni surowców oraz pól wydobywczych znajdujących się na tym obszarze.

Pierwszym lodołamaczem o napędzie nuklearnym na świecie był lodołamacz Lenin. Posiadał wyporność 20 000 DWT i napędzany był trzema reaktorami OK-155, każdy o mocy 90 MWt. Pozostawał w służbie przez 30 lat (1959-89) i obecnie jest utrzymywany jako muzeum.

Następną generację lodołamaczy rozpoczął lodołamacz Arktika zbudowany w 1975 r. Jednostki te posiadają wyporność 23-25 tys. DWT, 160 m długości i 30 m szerokości. Napędzane są dwoma reaktorami OK-900A, każdy o mocy 171 MWt, generujące moc użyteczną 54 MW, co umożliwi kruszenie lodu o grubości 2,8 m. W sumie w latach 1975-2007 zbudowano 6 statków tej klasy, w służbie pozostaje jedynie 4 z nich: Rossiya, Sovetskij Sojuz, Yamal i 50 Let Pobiedy. W 1977 r. lodołamacz Arktika jako pierwszy statek nawodny osiągnął Biegun Północny.

Oprócz tych czterech lodołamaczy operujących na Oceanie Arktycznym Atomflot dysponuje dwoma mniejszymi jednostkami o mniejszym zanurzeniu, które operują w ujściach rzek syberyjskich i w Zatoce Fińskiej na Morzu Bałtyckim. Są to lodołamacze klasy Taimyr: Taimyr i Vaigach. Zbudowane one zostały w fińskiej stoczni w Helsinkach. Posiadają wyporność 18 200 DWT i napędzane są pojedynczym reaktorem KLT-40M o mocy 171 MWt, generującym moc użyteczną 35 MW.

W lipcu 2012 r. Rosja przedstawiła plan budowy uniwersalnych lodołamaczy trzeciej generacji LK-60 (Projekt 22220), które zastąpią jednostki klasy Arktika stopniowo wycofywane ze służby do 2020

r. Mają one mieć długość 173 m, zmienne zanurzenie (dual-draught) od 8,5 do 10,8 m i wyporność 25 tys. DWT lub 33,5 tys. DWT, co umożliwi im żeglugę zarówno na oceanie, jak i w płytkich ujściach rzek. Zwiększona szerokość kadłuba do 34 m pozwoli na torowanie drogi dużym tankowcom. Napędzane mają być dwoma reaktorami RITM-200, każdy o mocy 175 MWt, generującymi moc użyteczną 60 MW, co umożliwi kruszenie lodu o grubości do 3 m. Reaktor RITM-200 jest zintegrowanym reaktorem wodnym ciśnieniowym pracującym na paliwie wzbogaconym do 20% U-235. Wymaga on przetądunku paliwa raz na 7 lat, a jego przewidywany czas eksploatacji wynosi 40 lat.

Budowa pierwszej jednostki tego typu (Arktika) rozpoczęła się w listopadzie 2013 r. w stoczni Bałtyckiej w St. Petersburgu. Stępkę pod kolejny statek (Sibir) położono w maju 2015 r. Rosatom spodziewa się wejścia do służby tych lodołamaczy w roku 2018, kolejne dwa planowane są na lata 2019 i 2020.

Rosja w dalszej perspektywie przewiduje budowę superlodołamacza LC-110YA Leader o wyporności 55 tys. DWT i mocy napędu 119 MW, zdolnego do pokonywania lodu o grubości 4,5 m, którego głównym zadaniem będzie zapewnienie całorocznej żeglugi przez Przejście Północno-Wschodnie. Dzięki kadłubowi o szerokości 50 m będzie mógł konwojować największe tankowce na świecie.

Zgodnie z planami rosyjskiego ministerstwa ds. sytuacji nadzwyczajnych flota lodołamaczy jądrowych ma być także wykorzystywana do prowadzenia akcji poszukiwawczych i ratunkowych w rejonie Arktyki. Rosja posiada tam kilkanaście baz jądrowych, chemicznych, stanowiących zagrożenie pożarowe oraz ważne centra łączności. Rocznie odnotowuje się ok. 100 poważ-

nych wypadków spowodowanych przyczynami naturalnymi lub błędami ludzkimi (głównie incydenty podczas transportu i eksplozje oraz pożary wyposażenia technicznego).

Rosja planuje do 2015 r. utworzenie w rejonie Arktyki 10 centrów reagowania na wypadek zagrożenia, zlokalizowanych w następujących miejscowościach: Dudinka, Murmańsk, Naryan-Mar, Archangielsk, Nadym, Workuta, Tiksi, Piwiewik, Provideniya i Anadyr. Będą one w gotowości do podjęcia wszelkich akcji ratunkowych z użyciem lotnictwa, pojazdów terenowych i lodołamaczy.

6.7.

Produkcja Mo-99 i generatorów Tc-99m

Wyłącznym dostawcą izotopów w Rosji jest przedsiębiorstwo JSC Izotope, które wchodzi w skład koncernu Rosatom. Od ponad 50 lat (1.12.1961 r.) zaopatruje swoich klientów w pełną gamę produktów wytwarzanych w ośrodkach badawczych w reakcjach rozszczepienia, za pomocą cyklotronów oraz innych technik elektromagnetycznych i wirowania gazowego. Przedsiębiorstwo dostarcza izotopy stabilne i promieniotwórcze, zamknięte źródła promieniowania, generatory izotopowe i inny sprzęt specjalistyczny służący do prac z materiałami radioaktywnymi.

W skali globalnej Rosja jest obecnie małym liczącym się producentem izotopów medycznych o udziale ok. 1% w rynku światowym. Kontrastuje to znacznie z sytuacją na rynku izotopów dla celów przemysłowych, gdzie Rosatom pokrywa 20% ich światowej produkcji a Rosja jest wyłącznym producentem takich izotopów jak: He-3, Ni-63 czy Am-241.

Z uwagi na fakt, iż wiele reaktorów obecnie produkujących Mo-99 jest wyłączanych ze względu na ich wiek i konieczność napraw lub w krótkiej perspektywie są one prze-

Tabela 1.

	Stosowanie HEU w paliwie (% ogólnej liczby reaktorów)	Stosowanie HEU w tarczach (% ogólnej liczby producentów)
Rosja	75%	50%
Reszta świata (na VI.2011 r.)	25%	87%

widziane do demontażu, istnieje duży potencjał dla silniejszej obecności Rosji na rynku producentów tego radiopierwiastka. Jest ona w stanie zapełnić lukę, jaka może wkrótce powstać w wyniku utraty zdolności produkcyjnych obecnych reaktorów.

Komisja prezydencka ds. modernizacji i rozwoju technologicznego przemysłu rosyjskiego zainicjowała program budowy nowego zakładu produkcji Mo-99 w centrum badań jądrowych NIIAR w Dimitrowgradzie / Uljanowsk. Całkowity koszt projektu ma wynieść ok. 30 mln USD. Pierwsza linia produkcyjna o wydajności 250-400 kiur-6d²⁷ na tydzień została uruchomiona w grudniu 2010 r. Druga linia produkcyjna została zmontowana w czerwcu 2012 r. i znajduje się jeszcze w fazie rozruchu. Docelowa wydajność obu instalacji ma wynieść 1200 kiur-6d na tydzień. Projekt ten ma zapewnić stabilizację dostaw Mo-99 w Rosji oraz jej wejście na rynek międzynarodowy. Realizacja przedsięwzięcia napotyka jednak na szereg przeszkód, z których najpoważniejszą stanowią ciągłe trudności w opanowaniu technologii produkcji. Dzieje się tak, ponieważ nie była ona stosowana dotychczas na skalę przemysłową i nie zapewnia planowanej wydajności. Przyjmując, że obecne tygodniowe krajowe zapotrzebowanie na Mo-99 wynosi zaledwie 100 kiur-6d, w krótkiej i średniej perspektywie większość produkcji NIIAR przeznaczona będzie na eksport.

Oprócz ośrodka NIIAR Rosja

disponuje jeszcze trzema innymi zakładami produkcji Mo-99:

- Nuclear Physics Research Institute w ramach Tomsk Polytechnic University, TPU (Tomsk / Syberia, reaktor IRT-T);
 - Khlopin Radium Institute, KRI (Petersburg, reaktor RBMK-1000 Leningradzka EJ);
 - Oddział Karpov Research Institute of Physical Chemistry, NIFKhI (Obnińsk / Kaluga, reaktor WWER-ts).
- Generatory Tc-99m wytwarzane w oparciu o Mo-99 produkowane są obecnie w Rosji w trzech ośrodkach:
- Oddział Karpov Research Institute of Physical Chemistry, NIFKhI (Obnińsk / Kaluga),
 - Institute of Physics and Power Engineering, IPPE (Obnińsk / Kaluga),
 - Nuclear Physics Research Institute - Tomsk Polytechnic University, TPU (Tomsk / Syberia).

Trzech spośród czterech producentów Mo-99 (NIIAR, TPU i NIFKhI) wykorzystuje do napromieniania reaktory pracujące na paliwie z HEU, dwaj (NIIAR i NIFKhI) wykorzystują tarcze zawierające HEU. W ujęciu procentowym produkcja rosyjska mniej jest oparta na tarczach z HEU, w porównaniu do reszty świata, ale w większym stopniu wykorzystuje ona paliwo z HEU [Tabela 1].

Obie linie produkcyjne nowych zakładów w NIIAR zostały zaprojektowane do stosowania tarczy z HEU. Reaktor, w którym są one napromieniane (RBT-10-2) także pracuje na paliwie HEU. Nie wzięto przy tym pod

uwagę panujących obecnie trendów w światowej polityce bezpieczeństwa jądrowego stawiającej sobie za cel całkowite wyeliminowanie HEU z użycia w zastosowaniach cywilnych. Polityka ta przekłada się na ustanowienie zachęt dla odbiorców, aby wykorzystywali produkty powstałe bez udziału HEU. W rezultacie wejście produktu rosyjskiego na rynek międzynarodowy może napotkać w przyszłości na znaczne utrudnienia.

NIFKhI jako największy z obecnych producentów Mo-99 posiada zdolność do produkcji 170 kiur-6d na tydzień i regularnie zaopatruje w Mo-99 Iran. Dotychczas zrealizowano także kilkanaście próbnych dostaw do Kanady, Indii, Filipin, Polski i Arabii Saudyjskiej. Po uzyskaniu przez NIIAR planowanej mocy produkcyjnej Rosja będzie w stanie pokryć do 15% światowego zapotrzebowania na Mo-99.

Pomimo braku możliwości (finansowych i technologicznych) szybkiego odejścia od produkcji Mo-99 opartej na HEU i przejścia do LEU, Rosatom w 2012 r. opracował program konwersji reaktorów i tarcz z HEU na LEU. W pierwszym etapie Rosja przewiduje konwersję tarcz, bowiem jest to przedsięwzięcie mniej kosztowne i technicznie łatwiejsze do przeprowadzenia niż przejście na paliwo LEU. W tym celu zakłady Novosibirsk Chemical Concentrates Plant (NZKhK), które dostarczają tarcze uranowych do produkcji Mo-99, rozważają możliwość opracowania nowego rodzaju tarcz zawierających 19,75%

U-235. Pierwsze takie tarcze mają być wyprodukowane w roku 2014, a proces przejścia na LEU zakończony w 2016 roku.

Konwersja reaktorów na paliwo LEU prowadzona jest w Rosji we współpracy z US DoE w ramach porozumienia z grudnia 2010 r. W pierwszym etapie rozpoczęto studia wykonalności dotyczące konwersji sześciu reaktorów:

- IR-8 (Kurchatov Institute, Moskwa)

- OR (Kurchatov Institute, Moskwa)
- Argus (Kurchatov Institute, Moskwa)
- IRT (Moscov Engineering Physics Institute, Moskwa)
- IRT-T (Tomsk Polytechnical Institute, Tomsk)
- MIR-M1 (Research Institute of Atomic Reactors, NIIAR, Dimitrowgrad).

Wg decyzji Rosatomu w pierwszej kolejności zostaną poddane

procesowi konwersji na paliwo LEU reaktory Argus i IRT-MEPH. Operacja ta zajmie ok. 2 lat, a jej koszt szacuje się na ponad 1 mln USD. Dalsze prace związane z tym projektem (ich tempo) zależą będzie od ilości środków finansowych wyasygnowanych na ten cel przez rząd w Moskwie.

23. Technologia VMOX polega na wibracyjnym zagęszczaniu granulatów tlenków uranu i plutonu oraz pyłu uranowego i bezpośrednim umieszczeniu ich w koszulkach paliwowych z pominięciem uprzedniego wytwarzania pastylek paliwowych. W porównaniu z tradycyjnym paliwem zbudowanym ze spiekanych pastylek MOX paliwo VMOX łatwiej poddaje się procesowi przerobu i rodzi mniej problemów z chemicznym oddziaływaniem na materiał koszulki paliwowej. We wspomnianej instalacji wytwarzane będzie także paliwo m.in. dla reaktorów BN-800.

24. Reaktory prędkie mogą również być wykorzystywane do likwidacji zapasów plutonu militarnego; nie ma dotychczas potwierdzonych informacji czy reaktor BN-800 w Biełojarsku pełnić będzie rolę w wypełnieniu zobowiązania Rosji dotyczącego likwidacji 34 ton zbędnego plutonu.

25. Rosja prowadziła eksperymenty z kilkoma

reaktorami prędkimi chłodzonymi ołowiem i przez 40 lat stosowała chłodzenie eutektyką ołowiano-bismutową w reaktorach napędowych na okrętach podwodnych klasy Alfa (reaktory BM-40A i OK-550). W reaktorach tych stosowany jest izotop ołowiu Pb-208 (54% zawartości w ołowiu naturalnym), który jest „przezroczysty” dla neutronów i nie spowalnia ich. [15]

26. W maju 2015 r. w Tokio podczas rosyjsko-japońskiego forum „Punkty styeczne: biznes, inwestycje, sport” pierwszy wiceminister ds. zasobów naturalnych oraz ekologii Denisa Hramot zaproponował stronie japońskiej dostawę gazu z zakładu Jama LNG. W obecnej sytuacji energetycznej rosyjscy eksporterzy gazu starają się wejść na japoński rynek ze względu na fakt, że część umów na dostawę tego surowca właśnie wygasła a japońskie elektrownie jądrowe zostały zamknięte. Obecnie Rosja posiada 10 procent udziałów

w japońskim rynku, które chce zwiększyć. Dalsza współpraca jest bardzo atrakcyjna i trudna do przecenienia. W ocenie rosyjskich ekspertów zaletą rynku japońskiego jest to, że znajduje się w niewielkiej odległości od złóż jamajskich (przez przejście Pn.-Wsch.), jest wypłacalny i przewidywalny. Udział gazu ziemnego na rynku zasobów energetycznych Japonii wynosi ponad 30 procent. Biorąc pod uwagę fakt, że obecnie gaz ziemny jest najczystszy paliwem kopalnym zwiększenie jego udziału w bilansie energetycznym pozwoli Japonii do utrzymania czynnika ochrony środowiska.

27. kiur-6d (ang. six-day curie) jednostka aktywności jaką posiada partia Mo-99 6 dni po opuszczeniu zakładu produkcyjnego. Służą ona powszechnie jako standardowa miara wydajności zakładów produkcji Mo-99.

7.

Zagadnienia nieproliferycyjne

Federacja Rosyjska jako sukcesor ZSRR jest jednym z 5 państw nuklearnych (NWS) w rozumieniu Układu o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej (NPT) i jednym z trzech państw depozytariuszy tego traktatu (obok USA i UK). Posiada broń jądrową rozmieszczoną na lądzie, morzu i w powietrzu (tzw. triada jądrowa). W latach 1949-1990 prowadziła intensywne testy swojego arsenału nuklearnego. W wyniku szeregu porozumień rozbrojeniowych zawartych od roku 1987 pomiędzy Stanami Zjednoczonymi i ZSRR/Rosją arsenały jądrowe tych państw zostały zredukowane o ok. 80%. Materiał rozszczepialny służący do budowy demontowanych ładunków²⁸ zadeklarowany został jako zbędna nadwyżka i jest obecnie wykorzystywany dla celów pokojowych w energetyce jądrowej.

ZSRR/Rosja dokonał także 116 pokojowych eksplozji jądrowych (81 w Rosji) dla celów badań geologicznych, budowy podziemnych zbiorników gazu, zwiększenia wydobycia gazu i ropy naftowej oraz budowy zbiorników retencyjnych i kanałów. Większość z tych eksplozji miała siłę wybuchu 3-10 kT TNT i przeprowadzana była w latach 1965-88.

Państwo to ratyfikowało Układ NPT w 1968 r. i w 1985 r. podpisało z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej (MAEA) Porozumienie o Systemie Zabezpieczeń NPT (safeguards). W 2007 r. został

podpisany Protokół Dodatkowy do tego porozumienia. Rosja traktuje jednak to porozumienie na zasadzie dobrowolności (co ma zagwarantowane przez status bycia państwem jądrowym) i z zasady nie udostępniła swoich obiektów jądrowych do kontroli MAEA. Wyjątkiem jest tu reaktor BN-600, który służy inspektorom Agencji do szkolenia.

Polityka ta w ostatnim okresie uległa jednak pewnym modyfikacjom ze względu na import uranu, bowiem na mocy dwustronnych porozumień (np. z Australią) wszystkie obiekty, gdzie uran się znajduje, muszą podlegać międzynarodowym inspekcjom MAEA (dotyczy to m.in. centrum wzbogacania uranu IUEC w Angarsku).

Ostatni z rosyjskich reaktorów do produkcji plutonu militarnego ADE-2 w Żeleznogorsku, który rozpoczął pracę w 1964 r. został ostatecznie wyłączony w kwietniu 2010 r. Ponieważ dostarczał on także ciepła do celów ogrzewczych nie został zdemontowany i pozostaje w rezerwie ciepłowniczej. Pozostałe dwa reaktory produkcyjne zostały wyłączone w 2008 r. Do tego czasu Rosja zgromadziła ok. 128 ton plutonu do celów militarnych. [14]

W 2011 r. weszło w życie dwustronne porozumienie pomiędzy Rosją i Stanami Zjednoczonymi o wzajemnej redukcji nadmiernych zapasów plutonu militarnego (U.S.-Russian Plutonium Manage-

ment and Disposition Agreement, PMDA²⁹). Zgodnie z tą umową oba państwa zobowiązały się zlikwidować po 34 tony plutonu klasy zbrojeniowej (WGPU) wycofanego ze swoich programów wojskowych, poprzez przekształcenie go w paliwo MOX przeznaczone dla reaktorów energetycznych. Proces redukcji plutonu ma rozpocząć się w 2018 r. i zakończyć w ciągu 15 lat.

Rosja zrezygnowała z wykorzystania zapasów plutonu w swoich reaktorach WWER (jak Stany Zjednoczone sugerowały w pierwotnej wersji), lecz zamierza zasilać paliwem MOX reaktory na neutronach prędkich: BN-600 i BN-800 – pierwszy w 1/3 rdzenia, a drugi w całości³⁰, a także kolejne modele BN-1200. Paliwo MOX dla tych reaktorów produkowane będzie w zakładach MFFF w Żeleznogorsku i instytucie RIAR w Dimitrowgradzie (obecnie w zakładach w Oziorsku). W reaktorze BN-600 reflektor neutronów ze zubożonego uranu ma zostać zastąpiony płaszczem wykonanym ze stali nierdzewnej, aby nie występowało zjawisko powielania paliwa (produkcja Pu-239 z U-238). Reaktor BN-800 będzie posiadać płaszcz z uranu zubożonego, lecz będzie pracował ze współczynnikami powielania mniejszym od jedności (będzie „konsumentem” plutonu). Łącznie w reaktorach tych spalane będzie 1,5 tony WGPU rocznie.

Stany Zjednoczone i Rosja zamierzają kontynuować również dalsze wspólne badania nad wykorzystaniem reaktora wysokotemperaturowego chłodzonego gazem (GC-HTR) do spalania plutonu militarnego.

Rosja zgromadziła także ok. 737 ton uranu wysokowzbożonego (HEU) utrzymywanego dla celów militarnych. Główna część służy jako zapas do produkcji nowych lub pochodzi z demontażu przestarzałych i podlegających redukcji głowic jądrowych. Pewna ilość HEU przeznaczona jest jako paliwo dla reaktorów służących do napędu okrętów wojennych. FR podobnie jak większość państw, zaprzętała produkcję HEU w latach 90. XX wieku.

Porozumienie zawarte w 1993 r. pomiędzy USA i Rosją o przekształceniu broni jądrowej w paliwo do produkcji energii elektrycznej znane jest pod nazwą Megatons to Megawatts (M2M). Rosja zadeklarowała zmniejszenie o 500 ton swoich zasobów militarnego HEU (ekwiwalent ok. 20 tys. ładunków), natomiast USA o 210 ton. W ramach

tego projektu amerykańska firma USEC Inc podpisała 20 – letnią umowę z rosyjskim przedsiębiorstwem Tenex na import 500 ton HEU pochodzącego ze zdemontowanych głowic jądrowych. Realizowany od 2000 r. kontrakt przewidywał rozcieńczanie rocznie 30 ton militarnego HEU pochodzącego z Rosji, co zastępowało produkcję 10,6 tys. ton koncentratu uranowego i pokrywało ok. 13% rocznego światowego zapotrzebowania na ten surowiec. Realizacja powyższego projektu pozwoliła otrzymać 15 tys. ton LEU dla celów energetyki jądrowej, co jest równoważne 140-150 tys. ton uranu naturalnego wydobywanego z kopalń. Porozumienie wygasło w 2013 r. i strona rosyjska nie wyraziła zainteresowania jego przedłużeniem.

Na Rosji i Stanach Zjednoczonych, jako państwach które posiadają największe arsenały nuklearne i zgromadziły największe zasoby materiałów jądrowych, spoczywa specjalna odpowiedzialność za zapewnianie bezpieczeństwa i ochrony tych materiałów w skali

globalnej, aby zapobiec ich przedostaniu się w ręce organizacji terrorystycznych. Jednym z namacalnych wysiłków w tym zakresie jest program finansowany przez USA i MAEA przekazywania Rosji świeżego i wypalonego HEU z państw posiadających taki materiał, pochodzący z reaktorów badawczych konstrukcji radzieckiej. Dotychczas 14 państw skorzystało z tej możliwości pozbycia się swoich zapasów HEU, który powrócił do Rosji, aby zostać przerobiony na nowe paliwo do reaktorów energetycznych lub jest składowany w bezpieczny sposób. Rosja przejęła już 2136 kg HEU i jeszcze ma w planach jego odzyskanie z Kazachstanu, Uzbekistanu i Polski.

Federacja Rosyjska także aktywnie działa na arenie międzynarodowej w zakresie przeciwdziałania rozprzestrzenianiu się broni jądrowej i bierze udział w systemie kontroli eksportu materiałów jądrowych poprzez uczestniczenie w inicjatywach takich jak: Komitet Zanggera i Grupa Dostawców Jądrowych.

Fotografia 8.

Logo programu
Megatons to Megawatts



8. Wykaz organizacji i podmiotów zaangażowanych w program jądrowy Federacji Rosyjskiej

AECC - Angarsk Electrolysis & Chemical Combine
AEP - Atomic Energy Power Corporation, Atomenergoprom
ARMC - Armenian-Russian Mining Co.
ARMZ Uranium Holding Co. (JSC Atomredmetzoloto)
CMP - Chepetsky Mechanical Plant,
ECP - Electrochemical Plant
FEI / IPPE - Institute of Physics and Power Engineering
FTP - Federal Target Plan
IRM - Institute for Reactor Materials
IUEC - Angarsk International Uranium Enrichment Centre
JSC Izotope
JSC TVEL
KMP - Kovrov Mechanical Plant;
MCC - Mining and Chemical Combine
MFFF - MOX Fuel Fabrication Facility
MSZ - Mashinostroitelny Zavod - Elemash
M2M - Megatons to Megawats
NCCP - Chemical Concentrates Plant
NIKIET - Research & Development Institute for Power Engineering
NO RAO - National Operator for Radioactive Waste Management
PDC UGR - Pilot Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Reactors
PMDA - U.S.-Russian Plutonium Management and Disposition Agreement
PNPI - Petersburg Nuclear Physics Institute
RIAR / NIIAR - State Scientific Centre - Research Institute of Atomic Reactors
RosRAO - Предприятие по обращению с радиоактивными отходами
Rostekhnadzor - Federal Ecological, Technological & Atomic Supervisory Service
Russian Research Centre Kurchatow Institute
SCC - Siberian Chemical Combine
UECC - Urals Electrochemical Combine,
UZGT - Urals Gas Centrifuge Plant
VNIIAES - All-Russian Scientific and Research Institute for Nuclear Power Plant Operation
W-ECP - Electrochemical Plant

Źródła

- [1] Country profile: Nuclear Power in Russian Federation, WNA, May 2016
- [2] Rosatom explains benefits of state backing to plant projects, WNN, 11 February 2016
- [3] Yu. A. Sokolov, Multiple approaches on supporting nuclear program development and contracting of NPPs, Topical Issues on Infrastructure Development: Development and Management of National Capacity for Nuclear Power Program, IAEA, 11-14 January 2013
- [4] Rosatom pursues exports and restructures, WNN, 26 January 2016
- [5] Russian nuclear engineers invite foreign suppliers to plant projects, WNN, 07 December 2015
- [6] Country profile: Nuclear Fuel Cycle in Russian Federation, WNA, May 2016
- [7] Uranium 2014: Resources, Production and Demand, OECD/NEA-IAEA
- [8] World uranium Mining Production, WNA, May 2016
- [9] Pavel Podvig, History of Highly Enriched Uranium Production in Russia, Science & Global Security, 19:46–67, 2011
- [10] Alliance brings Russian fuel to US market, WNN, 24 May 2016
- [11] Anatoli Diakov, Status and Prospects for Russia's Fuel Cycle, Science & Global Security, 21:167-188, 2013
- [12] Valery Rachkov, Fast reactor development program in Russia, ITC "PRORYV" Project, Moscow, 2013
- [13] Review of the current status and operations at Mayak Production Association, StrålevernRapport 2006:19
- [14] Russian proposal for nuclear fuel leasing and recycling, WNN, 26 April 2016
- [15] Pavel Podvig, Consolidating Fissile Materials in Russia's Nuclear Complex, Research Report No. 7, International Panel on Fissile Materials, May 2009
- [16] Itarus floating platform set for transport to Russia, WNN, 08 March 2016
- [17] Patrick J. Kiger, Russia Floats Plan for Nuclear Power Plants at Sea, National Geographic, October 23, 2013
- [18] Russia to build icebreakers to secure its Arctic power position, WNN, 7 November 2013
- [19] Russia completes second reactor vessel for Arktika, WNN, 09 May 2016

W SERII UKAZAŁY SIĘ:

1.

Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Korzyści na poziomie gospodarki narodowej.

2.

Program jądrowy we Francji.
Program jądrowy w Wielkiej Brytanii.

3.

Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Zatrudnienie.

4.

Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Korzyści na poziomie lokalnym.

5.

Wydobycie i produkcja uranu.
Program jądrowy na Ukrainie.

6.

Wpływ programu jądrowego na polską gospodarkę. Udział polskiego przemysłu.

7.

Program jądrowy w Republice Korei.
Program jądrowy w Chinach.

8.

Jądrowy cykl paliwowy.

9.

Reaktory jądrowe IV generacji.
Program jądrowy w Stanach Zjednoczonych

10.

Program jądrowy w Federacji Rosyjskiej.



MINISTERSTWO ENERGII

