



**Narodowe Centrum Badań Jądrowych**

**National Centre for Nuclear Research**

**Świerk**

Narodowe Centrum Badań Jądrowych:  
kompetencje oraz zaangażowanie  
w programy badawcze  
w zakresie energetyki jądrowej

**Narodowe Centrum Badań Jądrowych**

ul. Andrzeja Sołtana 7  
05-400 Otwock-Świerk

tel. +48 22 71 80 001  
fax +48 22 779 34 81

e-mail: [ncbj@ncbj.gov.pl](mailto:ncbj@ncbj.gov.pl)

[www.ncbj.gov.pl](http://www.ncbj.gov.pl)

## **Narodowe Centrum Badań Jądrowych: kompetencje oraz zaangażowanie w programy badawcze w zakresie energetyki jądrowej**

I. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna (dozymetria, symulacje, analizy ryzyka...)	3
II. Monitoring radiologiczny otoczenia obiektów jądrowych	10
III. Ekspertyzy dotyczące pracy instalacji jądrowych	12
IV. Badania lokalizacyjne przyszłych EJ (analizy geologiczne, hydrologiczne, sejsmiczne, środowiskowe)	15
V. Badania jakościowe oraz kwalifikacja materiałów i urządzeń do instalacji jądrowych, inżynieria materiałowa	16
VI. Postępowanie z wypalonym paliwem jądrowym i gospodarka odpadami promieniotwórczymi	17
VII. Opracowania eksperckie	18
VIII. Działalność szkoleniowa, edukacyjna i popularyzatorska	19
IX. Bieżące zaangażowania NCBJ w programach krajowych i międzynarodowych z obszaru energetyki jądrowej	24
X. Kluczowa Infrastruktura	27
XI. Załączniki	29
A. Zaangażowanie osobowe:	29
B. Kompetencje NCBJ w zakresie kodów obliczeniowych:	30

## Wstęp

Ośrodek jądrowy w Świerku od początku swojego istnienia w 1956 r rozwija kompetencje w zakresie energetyki jądrowej i jej fizycznych podstaw. Po przerwaniu budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu środek ciężkości prac w Świerku przesunął się w kierunku zastosowań medycznych i materiałowych. Po decyzji rządu z 13.01.2009 r. o rozpoczęciu prac nad Programem Polskiej Energetyki Jądrowej, instytuty ze Świerku niezwłocznie rozpoczęły przygotowania do wsparcia tego programu.

Przełomowym punktem było połączenie instytutów i utworzenie Narodowego Centrum Badań Jądrowych. Powstał największy w Polsce instytut badawczy z ponad 1000-osobowym personelem. Dzięki środkom z funduszy unijnych istotnie odmłodzono kadrę i rozpoczęto modernizację infrastruktury badawczej i technicznej. Zintensyfikowano współpracę z organizacjami międzynarodowymi (MAEA, Euratom, SNETP, OECD NEA), wiodącymi ośrodkami badawczymi (zwłaszcza francuskim CEA) oraz producentami reaktorów. Wspólnie z instytutami z Czech, Węgier i Słowacji utworzono stowarzyszenie *Vysegrad-4 for Generation-4 Reactors (V4G4)*, służące rozwojowi nowych technologii reaktorowych.

Dzięki tym działaniom NCBJ dysponuje dziś zespołami eksperckimi zdominowanymi przez młodych ludzi, kierowanych przez ekspertów z dużym doświadczeniem. Posiada i ciągle rozwija unikalną infrastrukturę badawczą (reaktor MARIA, Laboratorium Badań Materiałowych, i.in.) i obliczeniową (Centrum Informatyczne Świerk). Aktywnie uczestniczy w wielu programach europejskich, a jeden z nich - dotyczący kogeneracji jądrowej – koordynuje.

Obecnie potencjał NCBJ jest wykorzystywany głównie we współpracy międzynarodowej. Celem niniejszego opracowania, przygotowanego w 2 lata po utworzeniu NCBJ, jest przedstawienie możliwości zaangażowania instytutu w budowę polskiej energetyki jądrowej – jednego z głównych celów do jakiego został utworzony.

# I. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna (dozymetria, symulacje, analizy ryzyka...)

## A. *Probabilistyczne analizy bezpieczeństwa (Probabilistic Safety Assessment – PSA)*

Probabilistyczne analizy bezpieczeństwa instalacji jądrowych, składowisk odpadów i przewozu materiałów promieniotwórczych oraz zastosowanie PSA w podejmowaniu decyzji dotyczących bezpieczeństwa instalacji w oparciu o wielkość ryzyka (RIDM – Risk Informed Decision Making). Analizy podatności na działania stron trzecich dotyczące bezpieczeństwa instalacji jądrowych (tzw. SVA – Security Vulnerability Analysis).

**Doświadczenie:** Jedyny w Polsce zespół (8 osób) z doświadczeniem w wykonywaniu analiz PSA dla elektrowni jądrowych (m.in. prace jeszcze dla EJ Żarnowiec i w ramach programów koordynowanych przez MAEA), głównie w zakresie analiz niezawodności systemów EJ, błędów ludzkich oraz obliczeń prawdopodobieństwa wystąpienia ciągów awaryjnych. Wykonywanie ekspertyz dla PAA, udział w pracach MAEA dotyczących rozwoju metodyki IRIDM (Integrated Risk Informed Decision Making), udział w projekcie UE ASAMPSA\_E (Advanced Safety Assessment: Extended PSA) obejmującym w szczególności zagadnienia uwzględnienia naturalnych, ekstremalnych zdarzeń zewnętrznych w analizach PSA, oraz w stowarzyszeniu ESReDA (European Safety, Reliability & Data Association).

Ponadto brano udział w ekspertyzach wykonywanych dla Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w zakresie zagrożeń związanych z lokalizacją i możliwymi skutkami transgranicznymi planowanych EJ w obwodzie kaliningradzkim oraz na Ukrainie nowych bloków EJ Chmielnicki.

**Dostępne oprogramowanie:** US NRC SAPHIRE do analiz PSA Poziomu 1 (udostępniony przez PAA), COSYMA do analiz skutków uwolnień – PSA Poziom 3 wraz z zestawem generycznych danych niezawodnościowych łącznie z danymi do analiz błędów ludzkich.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora.

## B. *Deterministyczne analizy bezpieczeństwa (Deterministic Safety Assessment – DSA) w zakresie analiz cieplno-przepływowych instalacji jądrowych dla awarii projektowych z wykorzystaniem kodów systemowych i komponentowych*

Analizy te obejmują:

- Opracowywanie matematycznych modeli reaktorów, obiegów chłodzenia, systemów bezpieczeństwa, zarówno przy podejściu konserwatywnym, jak i najdokładniejszej oceny wyników, z wykorzystaniem analiz niepewności i wrażliwości;
- Walidacja i weryfikacja narzędzi obliczeniowych do analiz awarii projektowych, w szczególności analiz cieplno-przepływowych; rozwój tych narzędzi (np. poprzez udział w programie NURISP/NURESAFE);
- Symulacja awarii projektowych z wykorzystywaniem obliczeniowych kodów systemowych oraz kodów komponentowych, pozwalających na modelowanie i symulowanie zjawisk zachodzących podczas eksploatacji elektrowni jądrowej.

**Doświadczenie:** Członkowie 9-osobowego zespołu mają kilkuletnie doświadczenie w przeprowadzaniu deterministycznych analiz bezpieczeństwa. Brali oni udział w wielu szkoleniach międzynarodowych, w tym organizowanych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA), podczas których mieli szansę doskonalić umiejętności w wykorzystaniu kodów systemowych, neutronowych oraz w modelowaniu zachowania paliwa jądrowego. Zespół posiada doświadczenie w modelowaniu instalacji eksperymentalnych, co pozwala porównywać otrzymane wyniki z danymi eksperymentalnymi, weryfikować narzędzia obliczeniowe stosowane w analizach i metody tworzenia modeli. Członkowie zespołu brali również udział w szkoleniach z zakresu przeprowadzania inspekcji w elektrowni jądrowej Zwentendorf w Austrii. Ostatnio zrealizowane projekty – przykłady zamodelowanych instalacji/komponentów:

- Przy użyciu programu RELAP5:
  - Model instalacji eksperymentalnej LOFT – największej instalacji eksperymentalnej z paliwem tlenkowym, będącej odpowiedzią systemu chłodzenia reaktora na szeroki zakres scenariuszy awarii.
  - Model kasety paliwowej reaktora VVER 440.
  - Model instalacji ZION przeskalowany metodą Kv Scaling dla warunków LOFT L2-5 – istotny element oceny bezpieczeństwa, będący fragmentem weryfikacji przeprowadzonych obliczeń i utworzonego modelu obiektu rzeczywistego.
  - Model kasety paliwowej (szczegółowy) reaktora EPR.
  - Analiza modelu instalacji eksperymentalnej BETHSY.
  - Model poziomego kanału do badania zjawiska spadku ciśnienia przy przepływie dwufazowym.
- Przy użyciu programu CATHARE2:
  - Model kasety paliwowej reaktora wodnego wrzącego (BWR).
  - Model kanału paliwowego reaktora MARIA.
  - Model eksperymentalnej instalacji Marviken (w 2D i 3D).
  - Model rdzenia i jednej pętli reaktora PWR (2D).
- Przy użyciu programu TRANSURANUS:
  - Model kasety paliwowej reaktora VVER 440.
  - Model instalacji eksperymentalnej PIPER dedykowanej przepływowi krytycznym.
  - Model pionowej U-rurowej wytwornicy pary.

**Dostępne oprogramowanie:** RELAP5, CATHARE2, TRANSURANUS, FLICA4, URANIE

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego, operatora lub dostawcy technologii.

### **C. Deterministyczne analizy bezpieczeństwa w zakresie analiz awarii ponadprojektowych i ciężkich**

Analizy te obejmują:

- symulacje kodami do ciężkich awarii procesów takich jak:
  - degradacja rdzenia reaktora i topienie się paliwa jądrowego;
  - interakcje paliwo-chłodziwo (włączając wybuchy parowe);
  - utrzymanie materiału stopionego rdzenia w zbiorniku reaktora;
  - przetopienie zbiornika reaktora przez stopiony rdzeń;
  - generowanie ciepła w obiegu chłodzenia reaktora;
  - wyrzut stopionego materiału rdzenia pod wysokim ciśnieniem, w tym także prowadzący do bezpośredniego grzania obudowy bezpieczeństwa;
  - wydzielanie, spalanie lub detonacja gazów palnych;
  - uszkodzenie lub omińnięcie obudowy bezpieczeństwa;
  - interakcja materiału stopionego rdzenia z betonem;
  - uwolnienie i przenoszenie produktów rozszczepienia;
  - zdolność do chłodzenia stopionego rdzenia wewnątrz i na zewnątrz zbiornika reaktora.
- symulacje parametrów reaktora jądrowego kodami neutronowymi celem wyznaczenia podstawowych współczynników bezpieczeństwa oraz parametrów paliwa w czasie eksploatacji reaktora. Symulacje te pozwalają na uzyskanie ilościowej i jakościowej informacji na temat składu izotopowego rdzenia po czasie eksploatacji, niezbędnych jako dane wejściowe do dalszego przetwarzania w kodach do ciężkich awarii:
  - Przy użyciu programu SERPENT:
    - Model rdzenia reaktora EPR dla różnych warunków eksploatacyjnych.
    - Model kaset reaktora EPR - A1-C3 różnego rodzaju wzbogacenia.
  - Przy użyciu programu DRAGON:
    - Model kaset reaktora EPR dla różnych warunków eksploatacyjnych.

- Modele kaset reaktora EPR - A1-C3 różnego rodzaju wzbogacenia.
- Model wytwornicy pary reaktora PWR (2D)

**Doświadczenie:** 4-osobowy zespół realizuje obliczenia zgodnie z podejściem opartym na najlepszym oszacowaniu, używając do tego dedykowanych narzędzi obliczeniowych. Wśród realizowanych ostatnio projektów wymienić należy:

**Dostępne oprogramowanie:** RELAP5/SCADAPSIM, MELCOR, Serpent, DRAGON,

**Potencjalni odbiorcy:** Prace te mogą być wykonywane na potrzeby urzędu regulacyjnego lub operatora.

#### ***D. Analizy ciepłno-przepływowe z wykorzystaniem obliczeniowej mechaniki płynów (CFD)***

Analizy bezpieczeństwa wiernie odwzorowujące lokalne zjawiska fizyczne w konkretnych komponentach obiegu reaktorowego, w szczególności do prowadzenia analiz ciepłno-przepływowych, szczegółowo odwzorowujących zjawiska fizyczne w rurociągach, rdzeniu reaktora, naczyniu ciśnieniowym czy też obudowie bezpieczeństwa. Znajdują zastosowanie zarówno w fazie projektowania EJ, celem optymalizacji procesów technologicznych, jak również do szacowania awarii projektowych i ponadprojektowych.

**Doświadczenie:** Grupa Analiz CFD licząca 5 osób, dostarcza ekspertyzy na potrzeby prac projektowych i eksploatacyjnych załogi reaktora badawczego MARIA:

- Wysokorozdzielcza analiza ciepłno-przepływowa specjalnej kasety paliwowej (zwanej konwerterem pasma neutronów) dla reaktora MARIA projektowana na potrzeby eksperymentalnej instalacji medycznej.
- Warunki stacjonarne i niestacjonarne chłodzenia kalorymetru aluminiowo-berylowego w matrycy rdzenia reaktora MARIA

Grupa bierze również czynny udział w projekcie HTR-PL (*Rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych*) w zakresie modelowania i wykorzystania oprogramowania do analiz bezpieczeństwa. W swoich pracach wykorzystuje zasoby sprzętowe i oprogramowanie projektu Centrum Informatyczne Świerk.

**Dostępne oprogramowanie:** Fluent oraz CFX (oba firmy ANSYS), CEA Trio\_U, OpenFoam, Nek5000

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dostawcy technologii, dozoru jądrowego, jak również i operatora instalacji.

#### ***E. Analizy różnych technologii reaktorowych IV generacji w aspekcie oceny bezpieczeństwa reaktorów HTR, GFR, SMR***

Prace nad technologiami IV generacji, w szczególności reaktorami wysokotemperaturowymi ze złożem usypanym.

**Doświadczenie:** Zespół (4 osoby) prowadzi w chwili obecnej prace w tej dziedzinie w ramach projektu NCBiR pt. „HTRPL”. Prace koncentrują się na modelowaniu przemieszczania się paliwa w złożu usypanym i przepływie gazu przez to złożo. Dodatkowo wykonano modele komponentów pętli helowej HE-FUS3 - instalacji chłodzonej helem, będącej częścią pracy rozwojowej na rzecz tworzenia gazowego reaktora energetycznego generacji IV.

**Dostępne oprogramowanie:** CEA SALOME, SCALE, RELAP/SCDAPSIM, MELCOR, Code\_Saturne i SYRTHES (oba EDF) + oprogramowanie własne.

**Potencjalni odbiorcy:** Wyniki badań mogą posłużyć do rozwoju małych reaktorów jądrowych z zastosowaniem jako źródło energii dla przemysłu czy też do produkcji pary o wysokich parametrach

## **F. Symulatory obiektów jądrowych (reaktorów energetycznych i badawczych)**

Tworzenie komputerowych symulatorów analitycznych i szkoleniowych;

**Doświadczenie:** 2-osobowy zespół koncentruje swoje działania na symulowaniu procesów zachodzących w paliwie jądrowym i odpadach promieniotwórczych, powstających w trakcie eksploatacji w reaktorze ciśnieniowym, obrazując takie parametry jak czas ich aktywności lub skład izotopowy. Do ww. analiz wykorzystywana jest duża moc obliczeniowa Centrum Informatycznego Świerk.

Ponadto Zespół z Zakładu EJ1 w ramach projektu Transition Facility pn. „Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna” realizował w 2008 roku, długoletni Program Szkoleniowy w Zakresie Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej i w efekcie powstał uproszczony symulator Reaktora MARIA używany obecnie do celów szkoleniowych i demonstracyjnych.

**Dostępne oprogramowanie:** Oprogramowanie własne w oparciu o modele stworzone w aplikacji Serpent oraz Symulator Reaktora MARIA.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace te w zależności od poziomu skomplikowania mogą być wykorzystywane na potrzeby operatora lub w wersjach uproszczonych na potrzeby informacyjne (wizualizacja procesów w reaktorze może być drogą edukacji społeczeństwa).

## **G. Metody kompleksowej oceny zagrożeń radiacyjnych dla ludzi i środowiska w wyniku eksploatacji instalacji jądrowych i zdarzeń awaryjnych**

Modelowanie transportu i dyspersji skażeń promieniotwórczych w środowisku (powietrze, woda, gleba) oraz w łańcuchach żywieniowych człowieka. Wykonywanie symulacji transportu uwolnień dla terenów o złożonej rzeźbie terenu za pomocą modeli mechaniki obliczeniowej płynów. Modelowanie niepewności modeli transportu i dyspersji skażeń w środowisku za pomocą techniki ensemblingu.

**Doświadczenie:** Zespół (7-osobowy) wykorzystuje swoje wieloletnie doświadczenie oraz szereg aplikacji komputerowych m.in. do analiz skutków uwolnień (COSYMA), do modelowania transportu skażeń w atmosferze (FLEXPART i HYSPLIT), do modelowania transportu skażeń w wodzie (THREETOX), do wielo-skalowego modelowania transportu skażeń w glebie i ośrodkach porowatych (PFLOTRAN) zainstalowane na klastrze komputerowym projektu Centrum Informatyczne Świerk. Wieloletnie doświadczenie uzyskane dzięki udziałowi w wielu programach krajowych i UE, w szczególności w ramach działalności Centrum Doskonałości UE MANHAZ (Management of Health and Environmental Hazards). Szeroka współpraca międzynarodowa m.in. z Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability oraz Institute for Protection and Security. Wieloletni udział w programach UE dotyczący ensemblingu.

**Dostępne oprogramowanie:** COSYMA, FLEXPART, HYSPLIT, THREETOX, PFLOTRAN.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora.

## **H. Systemy wspomaganie decyzji po awarii jądrowej oraz zarządzania kryzysowego w sytuacji zagrożenia radiacyjnego**

Prognozowanie skuteczności działań interwencyjnych krótko- i długo-terminowych w następstwie incydentów radiacyjnych i awarii jądrowych. Stochastyczne metody identyfikacji źródła zagrożeń w oparciu o dane pomiarowe.

**Doświadczenie:** Zespół (5 osób) wykorzystuje system RODOS (Real Time On-Line Decision Support System for nuclear emergencies in Europe), rozwijany od 1991 roku w ramach kolejnych programów ramowych UE. Uczestnictwo w tych projektach od 1993 roku (w sumie 9 projektów), udział w platformie NERIS (European Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies), pełnienie roli organizacji odpowiedzialnej w Polsce za dalszy rozwój systemu RODOS oraz implementacje nowych wersji w ramach corocznych umów dla PAA. System RODOS prognozuje rozwój sytuacji radiologicznej kraju w oparciu o dane o źródle uwolnienia gdziekolwiek w Europie, modelowanie transportu skażeń w powietrzu, wodzie, glebie i ciągach żywieniowych zwierząt oraz



człowieka, mapy numeryczne gleb, dane o pokryciu terenu oraz wspomaga ocenę skuteczności różnych możliwych działań profilaktycznych. Prace wykonywane dla dozoru jądrowego oraz centrum zarządzania kryzysowego.

**Dostępne oprogramowanie:** RODOS.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora EJ.

### **I. Systemy eksperckie wspomaganie decyzji oparte na sztucznej inteligencji do prognozowania przebiegu awarii**

Przewidywanie parametrów przebiegu awarii jądrowej na podstawie danych z systemów uczących się. Estymacja wpływu, jaki na przewidywany przebieg awarii mogą mieć dane działania operatorów elektrowni, wydajność systemów bezpieczeństwa itp. Wczesne wykrywanie nieprawidłowości w działającym układzie i ocena stopnia zagrożenia jakie ze sobą niosą. Wykorzystanie sieci neuronowych, algorytmów genetycznych, maszyn wektorów nośnych itp.

**Doświadczenie:** 2-osobowy zespół przygotowuje oprogramowanie do oceny szczelności kanałów paliwowych reaktora badawczego oraz przewidywania czasu pozostałego do poważnego uszkodzenia reaktora podczas awarii ubytku chłodziwa z obiegu pierwotnego.

**Dostępne oprogramowanie:** Oprogramowanie własne z wykorzystaniem kodów systemowych

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane na potrzeby operatora lub dla dozoru jądrowego.

### **J. Wzorcowanie aparatury dozymetrycznej:**

W Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych działa akredytowane laboratorium wzorcujące, nr akredytacji AP-070, uprawnione do kalibracji aparatury dozymetrycznej do pomiarów dawki i mocy dawki promieniowania gamma, wzorcowania przyrządów do pomiarów skażeń powierzchniowych emiterami alfa, beta i gamma oraz jako jedyne w kraju do wzorcowania aparatury dozymetrycznej do pomiarów promieniowania neutronowego.

**Doświadczenie:** Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych dysponuje doświadczoną i wykwalifikowaną kadrą niezbędną do świadczenia tego typu usług. Wysoki poziom świadczonych usług potwierdzają wyniki porównań międzylaboratoryjnych, w których LPD bierze udział.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane na potrzeby operatora.

### **K. Pomiary promieniotwórczych skażeń wewnętrznych personelu obiektu jądrowego**

W Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych działa akredytowane laboratorium badawcze, nr akredytacji AB-567, uprawnione do wykonywania pomiarów skażeń wewnętrznych ludzi metodami „in-vivo” i „in-vitro” wraz z oceną skutecznej dawki obciążającej – w tej dziedzinie jest to jedyne w chwili obecnej laboratorium posiadające takie uprawnienia w kraju.

**Dostępne wyposażenie:** Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych dysponuje: laboratoriami spektrometrii promieniowania gamma w tym licznikiem promieniowania ciała człowieka i licznikiem promieniowania tarczycy (w tym mobilnym) wyposażonym w cztery detektory HpGe (w tym dwa opisane numerycznie umożliwiające stosowanie kodów obliczeniowych pozwalających na bezpośrednie pomiary bez konieczności kalibracji ich wzorcami promieniowania) oraz wielokanałowe analizatory amplitudy ze stosownym oprogramowaniem; laboratorium spektrometrii promieniowania alfa (cztery tory pomiarowe) oraz analizator amplitudy z oprogramowaniem.

**Doświadczenie:** Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych dysponuje doświadczoną i wykwalifikowaną kadrą niezbędną do świadczenia tego typu usług. Wysoki poziom świadczonych usług potwierdzają wyniki porównań międzylaboratoryjnych, w których LPD bierze udział.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane na potrzeby operatora lub dla dozoru jądrowego.

## **L. Dozymetria promieniowania mieszanego, metody pomiarowe skażeń wewnętrznych oraz skażeń środowiska**

Dozymetria i systemy dozymetryczne w polach promieniowania mieszanego (neutrony + gamma) konieczna do zapewnienia ochrony radiologicznej w otoczeniu reaktora i jego otoczeniu oraz monitoring radiologiczny miejsc pracy. Metody i przyrządy pomiarowe, które będą mogły być wykorzystane w monitorowaniu dawek indywidualnych i środowiskowych. Akredytowane procedury pomiarowe i badawcze przeznaczone do oceny dawki skutecznej od skażeń wewnętrznych, wraz z oceną dawki obciążającej. Monitorowanie substancji promieniotwórczych w środowisku i mediach technologicznych od poziomu tła naturalnego do poziomów awaryjnych.

**Doświadczenie:** Zespół opracowuje oryginalne metody rekombinacyjne, unikalne na skalę światową rekomendowane przez Międzynarodową Komisję Jednostek i Pomiarów Promieniowania (ICRU) oraz nanodozymetrię.

Aktualnie prowadzone są następujące projekty:

- Program strategiczny Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” Zadanie 6. Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej (lider sieci naukowej – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej). Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych jest wykonawcą 4 spośród 18 etapów projektu.
- Rekombinacyjny dawkomierz nowej generacji do oceny narażenia na stanowiskach pracy w polach promieniowania reaktorów i akceleratorów
- Opracowanie mikrodozymetrycznego detektora rekombinacyjnego do dozymetrycznej analizy promieniowania reaktorowego
- Rozpoczynający się projekt NCBiR w ramach Lider IV: „Nowej generacji beton osłonowy przed promieniowaniem jonizującym”.
- Projekt NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych „Trwałość i skuteczność betonowych osłon przed promieniowaniem jonizującym w obiektach energetyki jądrowej”. Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych jest członkiem konsorcjum, którego liderem jest Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN.
- Nadzór dozymetryczny ośrodka – realizacja funkcji Inspektora Ochrony Radiologicznej w ośrodku jądrowym. Nadzór nad przestrzeganiem zasad bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w ośrodku jądrowym, ewidencja źródeł promieniotwórczych, ewidencja dawek indywidualnych.
- Udział w pracach dotyczących analizy własności materiałów poddanych defektowaniu: tworzenie baz danych niezbędnych do oceny aktualnego stanu instalacji jądrowej na potrzeby programów symulujących eksploatację instalacji jądrowych.

**Dostępne wyposażenie:** Zasoby aparaturowe: detektory, systemy dozymetryczne, systemy archiwizacji automatyzacji pomiarów oraz metody pomiarowe i metody szacowania dawek. Wzorcowe pola promieniowania neutronowego i gamma w hali kalibracyjnej LPD oraz dostęp do pól promieniowania wokół reaktora MARIA.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane na potrzeby operatora lub dla dozoru jądrowego.

## **M. Walidacja i weryfikacja narzędzi obliczeniowych związanych z zagadnieniami transportu neutronów**

Przykład: Narzędzia prostsze (WIMS, REBUS, GNOMER) są weryfikowane za pomocą programów Monte Carlo (MCNP i SERPENT), natomiast programy Monte Carlo są weryfikowane za pomocą obliczeń specjalnie budowanych do tego celu zestawów krytycznych.

**Doświadczenie:** Zespół 8-osobowy w ramach Pracowni Numerycznych Zagadnień Transportu Neutronów. Kod MCNP był weryfikowany w ramach programu ICSBEP (International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project) na zestawie AGATA (zbudowanym jeszcze w IBJ) i zawierającym gadolin amerykańskim zestawie PLANET w Los Alamos Critical Experiments Facility.

**Dostępne oprogramowanie:**

WIMS	1-wymiarowe obliczenia transportowe w 68-127 grupach neutronów, generacja efektywnych kilka-grupowych stałych materiałowych do obliczeń dyfuzyjnych
REBUS	1-2-3 wymiarowe obliczenia dyfuzyjne; równania dyfuzyjne rozwiązywane metodą różnicową w geometrii, m.in. prostokątnej, trójkątnej, sześciokątnej, r-theta-z; dowolna liczba grup.
GNOMER	2-3 wymiarowe, 2-grupowe obliczenia dyfuzyjne z uwzględnieniem sprzężeń moc-strumień neutronów w reaktorze energetycznym.
MCNP	3-wymiarowe obliczenia Monte Carlo z wiernym odwzorowaniem geometrii, ciągłe widmo energetyczne, weryfikacja wyników obliczeń kodem WIMS.

## II. Monitoring radiologiczny otoczenia obiektów jądrowych

### A. Modelowanie geoprzestrzenne danych monitoringowych z uwzględnieniem niepewności za pomocą metod geostatystycznych

Wykorzystanie krigingu bayesowskiego na potrzeby systemów wczesnego ostrzegania. Stochastyczne metody identyfikacji źródła zagrożeń w oparciu o dane pomiarowe.

**Doświadczenie:** Wieloletnia współpraca z grupą REM (Radioactivity Environmental Monitoring), obecnie w Institute for Transuranium Elements, JRC UE. Obecnie zespół (5 osób) realizuje projekt „Opracowanie systemu informacji w czasie rzeczywistym o zagrożeniach poważnymi awariami na potrzeby wczesnego ostrzegania oraz zarządzania kryzysowego” w ramach programu „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy – II etap”.

**Dostępne oprogramowanie:** Pakiet INTAMAP (opracowany w wyniku programu UE) oraz własne oprogramowanie.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla operatora, dozoru jądrowego oraz centrum zarządzania kryzysowego.

### B. Analizy radiochemiczne próbek środowiskowych (wody, ścieki, mułu, powietrze, gleba, szata roślinna, żywność i inne oraz próbek biologicznych)

Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych dysponuje Centralnym Systemem Kontroli Radiologicznej (kilkanaście torów pomiarowych wyposażonych w inteligentne sondy pomiarowe bazujące na licznikach GM, licznika proporcjonalnych, sondach scyntylicyjnych, detektorach PIPS, oprogramowaniu, bezpiecznych systemach zasilania).

**Doświadczenie:** stale prowadzony jest monitoring radiologiczny wokół ośrodka jądrowego w Świerku oraz terenu składowiska odpadów promieniotwórczych w Różanie. W ramach monitoring on-line obiektu jądrowego Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych wykonuje prace koncepcyjne dotyczące organizacji monitoringu, projekty systemów pomiarowych stosowanych w monitoringu radiologicznym, budowę takich systemów. W ramach monitoringu off-line obiektu jądrowego wykonywane są identyfikacja zagrożeń, planowanie monitoringu i jego zakresu.

Aktualnie prowadzone są prace nad akredytacją kolejnych procedur pomiarowych wykorzystywanych do monitoringu środowiska prowadzonego przez Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych na potrzeby ośrodka w Świerku oraz terenu składowiska odpadów promieniotwórczych w Różanie.

**Dostępne wyposażenie:** Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych jest wyposażone w pomiarowy sprzęt laboratoryjny do prowadzenia analiz w zakresie oznaczania izotopów alfa, beta i gamma promieniotwórczych w próbkach środowiskowych i biologicznych w pełnym zakresie wymaganym w monitoringu środowiska wokół obiektów jądrowych, ale także do analiz mediów technologicznych i odpadów występujących w takim obiekcie.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora.

### C. Lokalizacja i diagnozowanie materiałów radioaktywnych

Badania mogą być wykonywane zarówno w laboratorium, jak i w terenie. Prace były organizowane w ramach powołanego przez dyrektora IEA POLATOM Centrum Diagnostyczno-Materiałowego.

**Doświadczenie:** Laboratorium Badań Materiałowych posiada aparaturę specjalistyczną oraz przeszkolony personel.

**Dostępne wyposażenie:** Aparatura do wykrywania i identyfikacji materiałów radioaktywnych i jądrowych:

- przenośny system spektrometru gamma ISOCS z detektorem germanowym BG3830, umożliwiający szybką ocenę cech fizyko-chemicznych badanego materiału w terenie oraz precyzyjną analizę w warunkach laboratoryjnych,
- monitor do wykrywania źródeł promieniowania gamma – podręczny przenośny spektrometr scyntylacyjny promieniowania gamma wyposażony dodatkowo w detektor neutronów,
- dozometr RADIAGEM 2000 wyposażony w dwie inteligentne sondy pomiarowe firmy Canberra: sondę SAGB 15 do pomiaru skażeń powierzchni radionuklidami alfa, beta i gamma oraz sondę SAB 100 do pomiaru skażenia powierzchni radionuklidami promieniotwórczymi cząstki alfa lub beta, względnie zarówno cząstki alfa, jak i beta.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora.

***D. Rola aerozoli atmosferycznych w elektryczności atmosfery i wpływ uwolnień z elektrowni jądrowych na zjawiska klimatyczne.***

Wysokowydajna stacja poboru powietrza AZA-1000 zbudowana i obsługiwana przez NCBJ, zlokalizowana na Spitzbergenie w Polskiej Stacji Polarnej PAN dostarcza wyników o uwolnieniach radioaktywnych m.in. z Fukushimy, Jest to najbardziej na Północ zlokalizowana stacja poboru aerozoli działająca 11lat i jej wyniki w przyszłości też będą istotne dla detekcji uwolnień radioaktywnych na półkuli PN.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub Ministerstwa Środowiska.

### III. Ekspertyzy dotyczące pracy instalacji jądrowych

#### A. Wyznaczanie neutronowo-fizycznych parametrów rdzenia reaktora energetycznego dla potrzeb licencjonowania i eksploatacji

- Wyznaczanie zapasu reaktywności na początku i w trakcie kampanii paliwowej, wraz z jego składowymi: wagami prętów regulacyjnych, wagą zatrucia kwasem borowym, ewolucją reaktywności wypalających się truczyn.
- Wyznaczanie współczynników reaktywnościowych temperatury moderatora i temperatury paliwa, wkładu neutronów opóźnionych itp. niezbędnych do obliczeń kinetycznych i dynamicznych rdzenia w trakcie normalnej eksploatacji i procesów awaryjnych typu anticipated transients without scram, kiedy zawodzi system wyłączania reaktora.
- Analizę kampanii paliwowej reaktora w warunkach projektowych i po ewentualnym zaburzeniu planowanego cyklu pracy (np. w trakcie uruchamiania nowego obiektu).
- Analizę modyfikacji w budowie rdzenia, np. poprzez wprowadzenie nowych, bardziej odpornych na awarię koszulek.

**Doświadczenie:** Zespół 8-osobowy w ramach Pracowni Numerycznych Zagadnień Transportu Neutronów. Wykonane prace i udział w projektach:

- W latach 2009-2011 Zespół wykonał obliczenia dotyczące transmutacji Th-232 na U-233 w projekcie „Analiza efektów wykorzystania toru w jądrowym reaktorze energetycznym” (UDA-POIG.01.03.01-00-076/08-00, z dnia 20 lutego 2009). Dla potrzeb tego projektu powstał wariant systemu obliczeniowego WIMS-GNOMER dostosowany do silnie niejednorodnych kaset reaktora EPR. Opracowanie tego systemu było wsparte obliczeniami Monte-Carlo weryfikującymi jego dokładność, m. in. trójwymiarowe, kasetowe obliczenia kontrolne. Wyniki obliczeń z systemu WIMS-GNOMER oraz kodu MCNP porównywano z wynikami zamieszczonymi w Raporcie Bezpieczeństwa EPR (UK-EPR, Fundamental Safety Overview)
- W latach 2007-2012 Zespół wykonał, za pomocą systemu obliczeniowego WIMS-REBUS, analizy bezpieczeństwa neutronowo-fizycznego związane z konwersją reaktora MARIA na paliwo nisko wzbogacone. Prace te były wykonywane w ramach programu RERTR (Reduced Enrichment for Research and Test Reactors) koordynowanego przez Argonne National Laboratory. ANL był współwykonawcą obliczeń i analiz. Konwersja reaktora na paliwo nisko wzbogacone odbywała się w dwóch fazach. W fazie przygotowawczej obliczono charakterystyki neutronowo-fizyczne reaktora MARIA na nowym paliwie i stwierdzono możliwość bezpiecznego przejścia na nowy typ paliwa. W drugiej fazie testowano pilotowe elementy paliwa francuskiego i rosyjskiego, przy czym na drodze obliczeniowej opracowano procedurę bezpiecznego załadunku i przeładunku tych elementów. Po zakończeniu testów przygotowano plan konwersji całego rdzenia na paliwo francuskie.
- Dotychczas wszystkie ingerencje techniczne w rdzeniu reaktora MARIA, takie jak np. konwersja na paliwo nisko-wzbogacone, napromieniania folii do produkcji Mo-99, były poprzedzane studium ich wykonalności w sensie zachowania parametrów fizycznych bezpiecznej eksploatacji. Miało to na celu akceptację lub odrzucenie, ze względów bezpieczeństwa, proponowanych zmian w rdzeniu.
- Od roku 2004 Zespół wykonuje nadążne analizy zapasu reaktywności, rozkładów mocy i zatrucia berylu przez Li-6 i He-3 w reaktorze MARIA.
- Od roku 2009 wykonywane są (w miarę potrzeb) obliczenia związane z napromienianiem płytek uranowych w reaktorze MARIA w celu pozyskania Mo-99. Na początku były to obliczenia Monte Carlo mające na celu sprawdzenie efektywności procesu napromieniania i optymalizację rozłożenia płytek w kapsule technologicznej. Po stwierdzeniu, że do tego typu obliczeń wystarczy system WIMS-REBUS obliczenia warunków napromieniania płytek uranowych są prowadzone za jego pomocą. W ostatnim okresie zostały wykonane obliczenia efektywności napromieniania płytek w przypadku przejścia na paliwo nisko wzbogacone (19,7% U-235).

**Dostępne oprogramowanie:** WIMS-GNOMER (3-wymiarowy, transportowo-dyfuzyjny system obliczeniowy rdzenia w dwóch grupach neutronów). MCNP (kod oparty na metodzie Monte Carlo m.in. do weryfikowania stałych materiałowych z wykorzystaniem 2- wymiarowych obliczeń kaset paliwowych).

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora EJ.

## **B. Badania materiałowe na potrzeby energetyki jądrowej i wykrywania skażeń**

- Badania wytrzymałości mechanicznej materiałów konstrukcyjnych (odporność na zrywanie, twardość, uderność) w tym pomiary próbek aktywnych w komorach gorących.
- Badania odporności korozyjnej i analiza procesu korozji materiałów konstrukcyjnych.
- Badania nieniszczące instalacji jądrowych (metody prądów wirowych, magnetyczna i ultradźwiękowa).
- Analiza próbek-świadków pobieranych z kluczowych fragmentów instalacji jądrowych.
- Badania własności strukturalnych i mechanicznych koszulek paliwowych ze stopów cyrkonu.
- Diagnostyka ciśnieniowych urządzeń poddozorowych na potrzeby energetyki konwencjonalnej i jądrowej.
- Analiza i identyfikacja rodzaju skażeń radioaktywnych, w tym pomiary w warunkach polowych.
- Zamykanie pojemników z niewielkimi ilościami odpadów radioaktywnych (zużyte próbki, źródła itp.)
- Badania wpływu defektowania radiacyjnego na własności strukturalne i funkcjonalne materiałów do zastosowań jądrowych, w szczególności materiały konstrukcyjne i matryce immobilizacji odpadów radioaktywnych.

**Doświadczenie:** Zespół 20-osobowy. Laboratorium gorące wchodzi w skład akredytowanego Laboratorium Badań Materiałowych Narodowego Centrum Badań Jądrowych, które posiada następujące uprawnienia:

- Certyfikat Akredytacji Laboratorium Badawczego Nr AB 025 wydany przez Polskie Centrum Akredytacji (dawniej Polskie Centrum Badań i Certyfikacji), zgodny z wymaganiami PN-EN ISO/IEC 17025: 2005. Procedury systemu zapewnienia jakości obejmują zarówno badania materiałów przed jak i po napromienieniu,
- Zezwolenie nr 1/93/"MET" Państwowego Dozoru Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej na eksploatację laboratorium gorącego do badań materiałowych,
- Świadectwo Uznania Laboratorium Badawczego II - go stopnia nr LBU-038/27, wydane przez Urząd Dozoru Technicznego,
- Świadectwo Podwykonawcy Urzędu Dozoru Technicznego w zakresie wykonywania badań laboratoryjnych – Nr LB – 038/27.
- Zezwolenie nr D-13824 Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki na działanie pracowni badań radiograficznych do prowadzenia badań nieniszczących materiałów metodami rentgenowskimi i z zastosowaniem aparatów gammagraficznych zawierających źródła promieniotwórcze,
- Licencja na użytkowanie programu diagnostycznego elementów konstrukcyjnych z wadami (np. pęknięciem) – SACC version 4.0 wydana przez SAQ Controll AB Szwecja.

**Dostępne wyposażenie:** Laboratorium Badań Materiałów Aktywnych (Komory Gorące) jest unikalnym laboratorium w skali kraju. W żadnym innym ośrodku badawczym w Polsce nie istnieje możliwość wykonywania kompleksowych badań materiałów aktywnych, w tym próbek materiałów napromieniowanych w reaktorze.

Podstawowym wyposażeniem laboratorium jest zespół 12 komór gorących o osłonności pozwalającej na operowanie materiałami o aktywności do  $3,7 \times 10^{12}$  Bq (100 Ci - Co60). Poszczególne komory są wyposażone w nowoczesną aparaturę badawczą i technologiczną, co umożliwia prowadzenie

najistotniejszych, z punktu widzenia zastosowań i potrzeb techniki jądrowej, badań metaloznawczych i fizyko-chemicznych napromienionych materiałów konstrukcyjnych.

Ważniejsze pozycje wyposażenia aparaturowego komór gorących:

- **System INSTRON** do badań wytrzymałościowych dynamicznych i statycznych, oparty na dwuramowej (100 kN) hydraulicznej maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8501. System umożliwia prowadzenie badań odporności na kruche pękanie metodami COD,  $K_{1C}$ ,  $J_{1C}$ ,  $dA/dN$ , badań zmęczenia niskocyklowego, statycznej próby rozciągania i ściskania oraz trójpunktowego zginania w zakresie temperatur od  $-150^{\circ}\text{C}$  do  $+1000^{\circ}\text{C}$ ,
- **System INSTRON 1185** umożliwiający prowadzenie badań na próbkach typu „small punch” szczególnie przydatnych w badaniach materiałów napromienionych (mała objętość materiału do napromieniania oraz niska aktywność materiału napromienionego).
- **System WOLPERT** do badań udarnościowych, dający możliwość określania odporności materiałów na kruche pękanie poprzez wyznaczenie współczynnika intensywności naprężeń  $K_{1D}$  oraz  $J_{1D}$  w próbie zginania udarowego próbek typu Charpy-V z wypropagowaną szczeliną zmęczeniową. W skład systemu wchodzi skomputeryzowany i oprzyrządowany w czujniki siły, odkształcenia i pęknięcia próbki, młot udarowościowy PW 30/15. Próby zginania udarowego można prowadzić w zakresie temperatur od  $-150^{\circ}\text{C}$  do  $+800^{\circ}\text{C}$ ,
- **Twardościomierz DIA-TESTOR 7521** firmy WOLPERT do badań twardości materiałów metodami Rockwella, Brinella i Vickersa,

Urządzenia te są w pełni zautomatyzowane, wyposażone w komputery z oprogramowaniem do sterowania przebiegiem badań, rejestracji, wizualizacji i statystycznej obróbki wyników badań.

Pozostałe wyposażenie komór gorących:

- mikroskop metalograficzny TELATOM-REICHERT do obserwacji i fotomikrografii struktur metali przy powiększeniach do 1000 x, wyposażony w przystawkę do pomiarów mikrotwardości,
- przecinarka do zgrubnego cięcia materiałów aktywnych,
- urządzenia do przygotowywania złądów metalograficznych dla mikroskopii optycznej (praski do inkludowania próbek, szlifierko-polerki mechaniczne, polerki elektrolityczne, stanowisko do trawienia chemicznego i elektrolitycznego, płuczki ultradźwiękowe), próbek dla mikroskopii elektronowej (stanowisko do ścieniania próbek, stanowisko do przygotowywania replik) oraz próbek i preparatów do badań na dyfraktometrze rentgenowskim (stanowisko do drobnego wiórkowania),
- stanowisko do pomiarów gęstości materiałów napromienionych wyposażone w specjalną elektroniczną wagę analityczną SARTORIUS,
- piec do obróbki cieplnej napromienionych materiałów w zakresie temperatur od  $50^{\circ}\text{C}$  do  $1000^{\circ}\text{C}$  w atmosferze kontrolowanej. Między innymi prowadzone są badania nad wyżarzaniem defektów radiacyjnych w materiałach po długim okresie eksploatacji w rdzeniu reaktorowym.
- przenośny system spektrometru gamma ISOCS z detektorem germanowym BG3830, umożliwiający szybką ocenę cech fizyko-chemicznych badanego materiału w terenie oraz precyzyjną analizę w warunkach laboratoryjnych,
- monitor do wykrywania źródeł promieniowania gamma – podręczny przenośny spektrometr scyntylacyjny promieniowania gamma wyposażony dodatkowo w detektor neutronów,
- dozometr RADIAGEM 2000 wyposażony w dwie inteligentne sondy pomiarowe firmy Canberra:
  - Sonda SAGB 15 do pomiaru skażeń powierzchni radionuklidami alfa, beta i gamma,
  - Sonda SAB 100 do pomiaru skażenia powierzchni radionuklidami promieniotwórczymi cząstki alfa lub beta, względnie zarówno cząstki alfa, jak i beta.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla operatora EJ, dozoru jądrowego lub odpowiednich służb państwowych, np. służby celne, straż graniczna, kontrola lotnisk.



## **IV. Badania lokalizacyjne przyszłych EJ (analizy geologiczne, hydrologiczne, sejsmiczne, środowiskowe)**

### **A. Metody kompleksowej oceny zagrożeń radiacyjnych dla ludzi i środowiska w wyniku eksploatacji instalacji jądrowych i zdarzeń awaryjnych**

Modelowanie transportu i dyspersji skażeń promieniotwórczych w środowisku (powietrze, woda, gleba) oraz w łańcuchach żywieniowych człowieka. Wykonywanie symulacji transportu uwolnień dla terenów o złożonej rzeźbie terenu za pomocą modeli mechaniki obliczeniowej płynów. Modelowanie niepewności modeli transportu i dyspersji skażeń w środowisku za pomocą techniki ensemblingu.

**Doświadczenie:** Zespół (7-osobowy) wykorzystuje swoje wieloletnie doświadczenie oraz szereg aplikacji komputerowych m.in. do analiz skutków uwolnień (COSYMA), do modelowania transportu skażeń w atmosferze (FLEXPART i HYSPLIT), do modelowania transportu skażeń w wodzie (THREETOX), do wielo-skalowego modelowania transportu skażeń w glebie i ośrodkach porowatych (PFLOTRAN) zainstalowane na klastrze komputerowym projektu Centrum Informatyczne Świerk. Wieloletnie doświadczenie uzyskane dzięki udziałowi w wielu programach krajowych i UE, w szczególności w ramach działalności Centrum Doskonałości UE MANHAZ (Management of Health and Environmental Hazards) Instytutu Energii Atomowej. Szeroka współpraca międzynarodowa m.in. z Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability oraz Institute for Protection and Security. Wieloletni udział w programach UE m.in. dotyczący metod ensemblingu.

**Dostępne oprogramowanie:** COSYMA, FLEXPART, HYSPLIT, THREETOX, PFLOTRAN.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora.

### **B. Pomiary pól promieniowania gamma oraz analizy radiochemiczne próbek środowiskowych w ramach procesu lokalizacji obiektu jądrowego.**

Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych wykonuje pomiary pól promieniowania gamma oraz analizy radiochemiczne próbek środowiskowych (wody, ścieki, mułu, powietrze, gleba, szata roślinna, żywność i inne) w zakresie oznaczania izotopów alfa, beta i gamma promieniotwórczych na niskich poziomach charakterystycznych dla środowiska naturalnego.

**Doświadczenie:** Laboratorium posiada odpowiedni sprzęt laboratoryjny oraz wykwalifikowany personel do prowadzenia tego typu analiz w ramach procesu lokalizacji obiektu jądrowego.

**Potencjalni odbiorcy:** Prace mogą być wykonywane dla dozoru jądrowego lub operatora.

## V. Badania jakościowe oraz kwalifikacja materiałów i urządzeń do instalacji jądrowych, inżynieria materiałowa

### A. Procedury systemu zarządzania jakością badań materiałowych przed i po napromienieniu

W ramach działalności Laboratorium Badań Materiałowych NCBJ opracowywane są procedury systemu zarządzania jakością obejmujące badania materiałów zarówno przed jak i po napromienieniu. W tym zakresie NCBJ jest przygotowane do weryfikacji próbek świadków pobieranych z instalacji jądrowych w całym okresie ich eksploatacji. Jest to niezbędna część PPEJ i może być realizowana zarówno na potrzeby dozoru jądrowego jak i operatora dla wszystkich technologii jądrowych. Prowadzone są również prace nad zastosowaniem metod jądrowych w innych działach inżynierii materiałowej na potrzeby gospodarki.

**Doświadczenie:** W NCBJ istnieje bogata baza doświadczalno-pomiarowa, dzięki której Laboratorium Badań Materiałowych prowadzi prace naukowo-badawcze, reatestacyjne i diagnostyczne materiałów konstrukcyjnych i ich połączeń spawanych, w zakresie szeroko pojętego materiałoznawstwa, stosując metody niszczące i nieniszczące.

Laboratorium Badań Materiałowych uczestniczy w dwóch zadaniach realizowanych w ramach Strategicznego Projektu Badawczego finansowanego przez NCBiR: „Technologie dla rozwoju bezpiecznej energetyki jądrowej”. Są to:

- zadanie nr 2: „Badania i rozwój technologii dla kontrolowanej fuzji termojądrowej”, w którym LBM wykonuje prace w etapie 4.3 pt. *Badanie wytrzymałości radiacyjnej materiałów przewidywanych do zastosowania w konstrukcjach reaktorów termojądrowych (napromienienie wybranych materiałów neutronami 14MeV w warunkach dużych fluencji).*
- zadanie nr 5: „Analiza możliwości i kryteriów udziału polskiego przemysłu w rozwoju energetyki jądrowej”, w którym Laboratorium Badań Materiałowych prowadzi prace w etapie 2 pt. *Opracowanie warunków i specyfikacji technicznych inspekcji, testowania, odbiorów, rozruchu i eksploatacji reaktorów jądrowych i urządzeń pierwotnego obiegu technologicznego bloku jądrowego i w etapie 3 pt. Określenie standardów technicznych i jakościowych odbiorów, rozruchu, prób przedeksploatacyjnych i eksploatacji jądrowych bloków energetycznych oraz świadczenia usług na rzecz tych procesów.*

**Dostępne wyposażenie:** Laboratorium Badań Materiałowych posiada jedyny w Polsce zespół 12 komór gorących do badań napromieniowanych materiałów reaktorowych, ma odpowiednią aparaturę i co najważniejsze dysponuje jeszcze zespołem doświadczonych pracowników, zarówno inżynierów jak i techników, umiejących obsługiwać urządzenia pomiarowe zainstalowane w komorach. Laboratorium Badań Materiałowych ma Certyfikat Akredytacji Laboratorium Badawczego wydany przez Polskie Centrum Akredytacji Nr AB 025, Świadectwo Podwykonawcy UDT, Świadectwo Uznania Laboratorium Nr LBU-038/27 wydane przez Urząd Dozoru Technicznego Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego i Zezwolenie Inspektoratu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej na wykonywanie badań napromienionych materiałów konstrukcyjnych Nr 1/93/”MET”.

Szczegółowy opis możliwości Laboratorium Badań Materiałowych został zawarty w Rozdziale III.

**Potencjalni odbiorcy:** Laboratorium Badań Materiałowych może wykonywać usługi dla Zleceniodawców spoza NCBJ, w tym badania certyfikowane zgodnie z zakresem posiadanej akredytacji.

## **VI. Postępowanie z wypalonym paliwem jądrowym i gospodarka odpadami promieniotwórczymi**

### ***A. Analizy neutronowo-fizyczne przechowalników wypalonego paliwa w celu zapewnienia ich podkrytyczności w warunkach normalnych i awaryjnych oraz obliczenia składu izotopowego wypalonego paliwa dla potrzeb ochrony radiologicznej.***

Analizy te wykonywane są za pomocą narzędzi opisanych w Rozdziale III. Na ich podstawie projektowane są warunki i ilość przechowywanego wypalonego paliwa oraz warunki jego transportu. W obliczeniach uwzględniana jest nie tylko normalna eksploatacja przechowalników, ale także sytuacje awaryjne, polegające na przykład na utracie chłodziwa bądź przemieszczeniach elementów paliwowych.

#### ***Doświadczenie:***

- Od roku 1991 wykonywano analizy bezpieczeństwa przechowalników wypalonego paliwa, dla paliw EK-10, MR-6/80%, MR-6/36%. Analizy wykonywane były na zlecenie instytucji nadzorujących i Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych. W ostatnim okresie wykonano takie obliczenia dla potrzeb wywozu wypalonego paliwa produkcji ZSRR do Rosji i zwrotu paliwa MR-6/36% do producenta rosyjskiego.
- W grudniu 2011 roku Zespół wykonał na potrzeby Ministerstwa Gospodarki opracowanie: „Gospodarowanie odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym z likwidacji obiektów jądrowych” obejmujące zagadnienia organizacyjno-prawne, ocenę rodzajów i ilości zgromadzonych odpadów promieniotwórczych, także niepaliwowych, opcje gospodarki odpadami promieniotwórczymi z opisem środków technicznych i szacunek kosztów poszczególnych operacji przy likwidacji obiektu jądrowego.

***Potencjalni odbiorcy:*** dozór jądrowy, operator EJ.

## VII. Opracowania eksperckie

### A. Opracowania własne

**Oferta:** analizy, raporty, ekspertyzy, opinie i inne opracowania dotyczące energetyki jądrowej, w szczególności w zakresie bezpieczeństwa, technologii, zagadnień ekonomicznych i społecznych, a także porównań energetyki jądrowej z innymi źródłami energii.

Doświadczenie: eksperci NCBJ regularnie przygotowują opracowania w wyżej wymienionym zakresie. Wybrane opracowania można znaleźć na stronie internetowej [www.ncbj.gov.pl/raporty](http://www.ncbj.gov.pl/raporty).

Przykładowo:

#### ***Analiza gospodarki odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem w opcji wykorzystania w Polsce paliw jądrowych do produkcji energii elektrycznej***

Ekspertyza wykonana wspólnie z PSE i Instytutem Energetyki pt.: „Analiza gospodarki odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem w opcji wykorzystania w Polsce paliw jądrowych do produkcji energii elektrycznej”. W pracy określono mix paliw w elektroenergetyce Polski do 2050 roku – w tym harmonogram rozwoju energetyki jądrowej. Zakładając wykorzystanie w kraju obiektów energetyki jądrowej, które odpowiadają wymogom EUR (European Utility Requirements) oceniono ilość odpadów promieniotwórczych oraz ilość wypalonego paliwa w dwóch wariantach: składowania bez przerobu oraz przy przerobie wypalonego paliwa i wykorzystaniu paliwa MOX. Oceniono zależność czasową aktywności wypalonego paliwa, wytwarzanego ciepła powyłączeniowego oraz aktywność i ilość odpadów promieniotwórczych. Przeprowadzono szacunek kosztów postępowania z wypalonym paliwem i postępowania z odpadami promieniotwórczymi przy różnych stopach dyskonta w odniesieniu do jednostki wytworzonej energii elektrycznej.

Ponadto NCBJ aktywnie uczestniczy w pracach zespołu Ministerstwa Gospodarki do Opracowania Krajowego Planu Postępowania z Odpadami Promieniotwórczymi i Wypalonym Paliwem Jądrowym.

#### ***Ekspertyza wysokości odpisów operatorów elektrowni jądrowej na tzw. fundusz likwidacyjny elektrowni jądrowej***

W 2007 roku, na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki wykonano analizę jednostkowych kosztów likwidacji elektrowni jądrowej. W 2011 roku, na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki wykonano ekspertyzę wysokości odpisów operatorów elektrowni jądrowej na tzw. fundusz likwidacyjny elektrowni jądrowej, z którego – zgodnie z zapisami w Prawie atomowym są pokrywane koszty likwidacji elektrowni, instalacji gospodarki wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi znajdującymi się na terenie elektrowni jądrowej, koszty składowania odpadów promieniotwórczych zarówno z okresu eksploatacji elektrowni jak i z jej likwidacji oraz koszty składowania wypalonego paliwa. Ekspertyza ta stanowiła podstawę do określenia wysokości odpisów na fundusz likwidacyjny w wydanym w 2012 r. Rozporządzeniu Prezesa Rady Ministrów w tej sprawie. *Małe reaktory modułowe SMR, Wykorzystanie probabilistycznych analiz bezpieczeństwa (PSA) w tworzeniu wymogów bezpieczeństwa dla elektrowni jądrowych, Ocena programów komputerowych do analiz drzew błędów/zdarzeń na potrzeby probabilistycznej oceny bezpieczeństwa elektrowni jądrowych.*

#### ***Inne:***

- *Perspektywy wykorzystania toru w energetyce jądrowej*
- *Małe Reaktory Modułowe SMR*
- *Wykorzystanie probabilistycznych analiz bezpieczeństwa (PSA) w tworzeniu wymogów bezpieczeństwa dla elektrowni jądrowych*
- *Ocena programów komputerowych do analiz drzew błędów/zdarzeń na potrzeby probabilistycznej oceny bezpieczeństwa elektrowni jądrowych*

## **B. Opracowania krajowe i międzynarodowe**

- Strategic Research Agenda 2009, Sustainable Nuclear Energy Technology Platform.
- Ocena stanu i perspektywy gospodarki energetycznej w Polsce, Międzywydziałowy Zespół Ekspertski ds. Gospodarki Energetycznej PAN, Warszawa 2010, ISBN 978-83-61236-36-8
- UNSCEAR 2006 Report
  - "Effects of Ionizing Radiation", "Sources and Effects of Ionizing Radiation", United Nations Report to the General Assembly
  - Epidemiological studies of radiation and cancer
  - Epidemiological evaluation of cardiovascular disease and other non-cancer diseases following radiation exposure
  - Non-targeted and delayed effects of exposure to ionizing radiation
  - Effects of ionizing radiation on the immune system
  - Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces
- UNSCEAR 2008 Report
  - Medical radiation exposures
  - Exposures of the public and workers from various sources of radiation
  - Radiation exposures in accidents
  - Health Effects due to radiation from the Chernobyl accident
  - Effects of ionizing radiation on non-human biota
- UNSCEAR 2012 "Biological Mechanisms of Radiation Actions at Low Doses" - A white paper

## VIII. Działalność szkoleniowa, edukacyjna i popularyzatorska

### 1. Baza dydaktyczna

- **Reaktor MARIA.**

Jedyny reaktor badawczy w Polsce, który służy prowadzeniu prac naukowych i stosowanych, w szczególności wytwarzaniu izotopów promieniotwórczych na potrzeby nauki, techniki i medycyny. Reaktor jest unikatowym narzędziem dydaktycznym dla każdego, kto chce poznać pracę reaktora od podstaw, procedury obowiązujące w pracy z takim urządzeniem, a także specyfika dozymetrii reaktorowej.

- **Wystawy:**

- 1) „Jak działa elektrownia jądrowa”: wystawa zawierająca ruchomy model dużej skali (ok. 4x4x2,5 m) reaktora WWER, który był planowany do wykorzystania w Żarnowcu. Na wystawie pokazana jest też sprzężona z modelem tablica świetlna pokazująca poszczególne węzły elektrowni: od części jądrowej do turbogeneratora, rozmieszczenie elektrowni jądrowych na świecie, różne rodzaje reaktorów energetycznych, przemiany energii itp.
- 2) „Odpady promieniotwórcze: problemy, rozwiązania”. Wystawa pokazuje klasyfikację odpadów promieniotwórczych i cykl postępowania z nimi, aż do technologii ich składowania w Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych w miejscowości Różan. Prócz licznych zdjęć pokazujących prace Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów promieniotwórczymi, wystawa pokazuje modele typowych opakowań na odpady.
- 3) „Synteza jądrowa”. Wystawa pokazująca czym jest plazma, jakie są sposoby utrzymywania plazmy wysokotemperaturowej, jak może pracować przyszły reaktor termojądrowy, a także ile paliwa potrzebnego jest w różnego typu elektrowniach i jakie odpady są w nich produkowane.

- **Laboratorium Fizyki Atomowej i Jądrowej:**

Unikatowe laboratorium przeznaczone dla uczniów szkół ponadpodstawowych, studentów wyższych uczelni, słuchaczy kursów dla nauczycieli i studiów podyplomowych, a także dla pracowników mających do czynienia z promieniowaniem jonizującym. Laboratorium oferuje ponad 30 ćwiczeń, które pokazują własności promieniowania jonizującego, sposoby jego detekcji, charakterystyczne oddziaływania z materią, podstawy wykrywania skażeń promieniotwórczych itp.

- **Sala wykładowa**

wyposażona w liczne urządzenia i eksponaty do ilustracji wykładów

### 2. Działalność szkoleniowa

#### **Szkolenia pracowników firm zaangażowanych w program energetyki jądrowej**

Oferta: NCBJ prowadzi szkolenia z zakresu podstaw energetyki jądrowej. Szkolenia obejmują aspekty fizyczne i techniczne, ekonomiczne, bezpieczeństwo, w tym – radiologiczne, postępowanie z odpadami promieniotwórczymi, a także serię ćwiczeń praktycznych w Laboratorium Fizyki Atomowej i Jądrowej.

Doświadczenie: W ostatnim okresie NCBJ prowadził szkolenia dla grup pracowniczych z PGE (w tym Zarządu) i EDF. Wszystkie szkolenia uzyskały wysoką ocenę uczestników (w sumie ok. 130). Szkolenia obejmowały podstawy fizyczne, technologiczne oraz ekonomiczne m.in.: promieniowanie jonizujące, dozymetria, biologiczne działanie promieniowania, zasady działania reaktorów jądrowych, detektory i analizatory, budowa elektrowni jądrowej, postępowanie z odpadami promieniotwórczymi, analizy deterministyczne i probabilistyczne w zakresie bezpieczeństwa

jądrowego, awarie jądrowe, bezpieczeństwo lokalizacji, struktura kosztów pozyskiwania energii jądrowej oraz modele finansowania energetyki jądrowej.

### **Szkolenia w zakresie ochrony radiologicznej**

Oferta: NCBJ prowadzi szkolenia pracowników pracujących w warunkach zagrożenia radiologicznego, operatorów akceleratorów, a w najbliższym czasie planowane jest uruchomienie kursów dla Inspektorów Ochrony Radiologicznej.

Doświadczenie: Nasi kursanci pomyślnie przechodzą przez egzaminy, w tym państwowe, prowadzone przez komisje egzaminacyjne z PAA.

### **Międzynarodowa Szkoła Energetyki Jądrowej**

Szkoły, w których bierze udział średnio ok. 200 uczestników odbywają się od siedmiu lat.

Prowadzone są przez ekspertów polskich i zagranicznych, a uczestnicy mają też okazję wykonania ćwiczeń praktycznych na reaktorze MARIA. Szkoły cieszą się niezmiennym powodzeniem.

## **3. Działalność dydaktyczna**

Mocną stroną NCBJ jest baza dydaktyczna, która przeznaczona jest do prowadzenia edukacji społecznej i fachowej. Dział Edukacji i Szkoleń inicjujący i koordynujący działania dydaktyczne na terenie NCBJ, ma 15-letnie doświadczenie w tej materii. Dysponuje ono unikatowym Laboratorium Fizyki Atomowej i Jądrowej, oferującym ćwiczenia na poziomie szkolnym i uniwersyteckim. Dwie stałe wystawy, poświęcone postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi i energetyce jądrowej stanowią cenny środek dydaktyczny. Ponadto wydawane są broszury popularno-naukowe i plakaty dydaktyczne. Dział ten przyjmuje rocznie ok. 7000 wizytujących.

W NCBJ organizowane są kursy akademickie z zakresu fizyki i techniki reaktorowej, energetyki w szczególności, a także liczne kursy ochrony radiologicznej. Rozwijaniu wiedzy z zakresu energetyki jądrowej służą tradycyjne, cieszące się dużym powodzeniem Międzynarodowe Szkoły Energetyki Jądrowej oraz Laboratorium Reaktorowe (przy reaktorze MARIA) i zespół komór gorących. Wysokowyzkwalifikowany zespół NCBJ oferuje możliwości szkolenia w zakresie cyklu paliwowego, badania własności materiałów silnie aktywnych w unikatowym Laboratorium Badań Materiałowych, przeszkolenia w zakresie dozymetrii w Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, a także możliwości szkoleń w zakresie ochrony fizycznej obiektu jądrowego. Tu szkolą się nauczyciele nauk przyrodniczych. NCBJ dysponuje także dużym ośrodkiem obliczeniowym, którego zasoby służą także rozwojowi kadr w energetyce.

Specjalnością NCBJ są też obliczenia z zakresu fizyki reaktorowej, neutroniki w szczególności, a także unikatowe umiejętności prowadzenia analiz bezpieczeństwa. Nowoczesny ośrodek obliczeniowy zapewnia w obu wypadkach możliwość wykonania prac, których nie da się wykonać w żadnym innym polskim ośrodku naukowym.

### **Studium doktoranckie**

NCBJ prowadzi stacjonarne studia doktoranckie (III stopnia) z fizyki jądrowej, cząstek elementarnych, plazmy, fizyki ciała stałego, astrofizyki i kosmologii. Studia trwają 4 lata z możliwością przedłużenia o rok. nabór na studia odbywa się dwa razy do roku, w lutym i we wrześniu. Obecnie na studiach doktoranckich NCBJ studiuje 20 osób. Studium doktoranckie NCBJ uczestniczy w międzynarodowym studium doktoranckim III Wydziału PAN (Nauki Matematyczne, Fizyczne i Chemiczne). W bieżącym roku planowane jest podpisanie umowy z Politechniką Warszawską o uruchomieniu wspólnych studiów doktoranckich z energetyki jądrowej. Obecnie kompletowane są potrzebne dokumenty i program merytoryczny studiów.

W najbliższym czasie ma zostać podpisane porozumienie z Politechniką Warszawską, na mocy którego NCBJ będzie prowadziło wspólnie z PW Studium kształcące doktorów z zakresu energetyki jądrowej.

### **Studia podyplomowe**

Oferta: NCBJ organizuje we współpracy z uczelniami studia podyplomowe z zakresu energetyki jądrowej. Do chwili obecnej zorganizowany został jeden kurs, w tym roku spodziewamy się rozpocząć kolejny.

Doświadczenie: Studia zorganizowane we współpracy z Politechniką Wrocławską. Około 20 absolwentów.

### **Praktyki i staże**

Oferta: NCBJ oferuje praktyki i staże w zakresie fizyki wysokich energii, fizyki materiałów, fizyki i techniki reaktorowej, techniki akceleratorowej (w tym dla potrzeb medycyny i przemysłu), fizyki i techniki plazmy wysokotemperaturowej, produkcji radiofarmaceutyków, elektroniki jądrowej itp.

Doświadczenie: Rokrocznie przyjmowani są stażyści i praktykanci na okres od kilku tygodni do kilku miesięcy, w zależności od potrzeb.

### **Kształcenie nauczycieli**

Oferta: Prowadzimy kursy dla nauczycieli przedmiotów przyrodniczych dotyczące podstaw fizyki współczesnej, źródeł, własności i wykorzystania promieniowania jonizującego, podstaw energetyki jądrowej

Doświadczenie: Średnio w kursach uczestniczy ok. 20 nauczycieli w każdym roku

### **Projekt „Szkoła z przyszłością”**

Projekt, finansowany ze środków Unii Europejskiej, ma na celu kształcenie personelu średniego szczebla technicznego, który niezbędny jest w elektrowniach jądrowych oraz w innych placówkach, jak np. medyczne, w których wykorzystuje się promieniowanie jonizujące. Zawód technika-nukleonika, jak zawód o wysokim stopniu odpowiedzialności, wymaga bardzo wnikliwego przeanalizowania treści programowych. W ramach Projektu ma powstać propozycja programu nauczania i model podręcznika, przeszkolenie grupy nauczycieli i uczniów techników. Choć obecny projekt obejmuje tylko teren Mazowsza, jego wyniki będą mogły być w przyszłości wykorzystane w całej Polsce.

### **Współpraca w zakresie edukacji z Polską Grupą Energetyczną**

W związku z projektem PGE większego zaangażowania się studentów i kadry akademickiej w rozwój energetyki jądrowej w Polsce, została nawiązana współpraca NCBJ w tym zamierzeniu z PGE

## **4. Edukacja społeczna i działalność popularyzatorska**

### **Wycieczki edukacyjne**

Oferta: Dział Edukacji i Szkoleń przyjmuje grupy wycieczkowe na nietypowe lekcje fizyki, a także na zwiedzenie reaktora MARIA, Laboratorium Badań Materiałowych czy Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych

Doświadczenie: 6000-7000 wizytujących rocznie

### **Imprezy otwarte**

Oferta: udział w szerokiej popularyzacji fizyki i techniki jądrowej

Doświadczenie: Festiwale Nauki, Pikniki Naukowe, Dni Otwarte. Podczas Festiwali i Pikników Naukowych NCBJ od wielu lat pokazuje źródła i zastosowania promieniowania jonizującego ze szczególnym uwzględnieniem energetyki jądrowej. Odwiedzający mają okazję zapoznać się z symulatorem reaktora AGATA i samemu popробować zasady sterowania reaktorem. Wykłady obejmują promieniotwórczość środowiska, udział fizyki jądrowej w medycynie, biologiczne działanie promieniowania jonizującego, podstawowe odkrycia w zakresie fizyki wysokich energii itp. Towarzysza im też pokazy fizyki w najprostszym wydaniu, skierowane do najmłodszych uczestników imprez. W wypadku Dni Otwartych, do stałego repertuaru festiwalowo-piknikowego dochodzi możliwość zwiedzenia reaktora MARIA, zapoznanie się z postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi oraz zwiedzanie niektórych laboratoriów NCBJ.

### **Konkursy tematyczne**

NCBJ prowadzi konkurs fizyczny „Fizyczne Ścieżki”, przeznaczony dla młodzieży szkolnej: Włącza się także swą wiedzą ekspercką w konkurs PGE na pracę dot. Energetyki jądrowej. Ogólnopolski Konkurs „Fizyczne Ścieżki” organizowany jest wspólnie z Instytutem Fizyki PAN w Warszawie od 8 lat, ostatnio pod patronatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, prof. dr hab. Barbary



Kudryckiej. Konkurs przeznaczony jest dla uczniów szkół ponadpodstawowych i prowadzony jest w trzech kategoriach: pracy naukowej, pokazu zjawiska fizycznego i eseju na temat związków fizyki z cywilizacją. Prace recenzowane są przez co najmniej dwóch ekspertów i przechodzą przez trzy etapy. Na ostatnim, finałowym decydują się kolejności nagród w poszczególnych kategoriach. W Konkursie uczestniczy z reguły około 100 - 120 uczestników.

### **Edukacyjne serwisy internetowe**

[www.ncbj.edu.pl](http://www.ncbj.edu.pl), popularno-naukowy serwis bieżących wydarzeń w energetyce jądrowej (choć nie tylko), a także opisy wielu zagadnień związanych z energetyką tego typu

[www.atom.edu.pl](http://www.atom.edu.pl), podobnie jak poprzedni serwis, ale przeznaczony dla bardziej zaawansowanego czytelnika

[www.ncbj.gov.pl/edukacja](http://www.ncbj.gov.pl/edukacja), głównie opis działań Działu Edukacji i Szkoleń oraz zestaw materiałów dydaktycznych na tematy jądrowe

### **Działalność wydawnicza**

**Oferta:** Oferujemy pomoc w przygotowywaniu i wydawaniu tekstów popularno-naukowych o tematyce jądrowej

**Doświadczenie:**

3 broszury: „Spotkanie z promieniotwórczością”, „Słońce na Ziemi. Energetyka termojądrowa Ante Portas”, „Energetyka jądrowa. Spotkanie pierwsze”. Raporty roczne NCBJ, Seria rozpraw habilitacyjnych NCBJ.

7 plakatów edukacyjnych: „Promieniotwórczość”, „Reaktory energetyczne”, „Elektrownie jądrowe na świecie”, „Elektrownie konwencjonalne”, „Przemiany energii”, „Paliwo i odpady”, „Synteza jądrowa”, „Plazma – czwarty stan skupienia”

### **Współpraca z mediami**

Narodowe Centrum Badań Jądrowych od wielu lat prowadzi aktywną politykę informacyjną. M.in. poprzez bieżącą współpracę z dziennikarzami (agencji informacyjnych, prasy, radia, telewizji i internetu) staramy się dotrzeć z informacjami naukowymi i popularyzować wiedzę z zakresu fizyki jądrowej docierając do możliwie największej liczby odbiorców. W ciągu ostatniego roku ukazały się 2164 informacje o NCBJ (ich szacunkowa wartość to niemal 8 300 000 zł.), z których niemal połowa dotyczyła energetyki jądrowej.

NCBJ współpracuje przede wszystkim z dwiema grupami dziennikarzy:

- Zajmujących się gospodarką (w szczególności energetyką) – zarówno w mediach ogólnopolskich, regionalnych jak i branżowych
- Zajmujących się nauką (w szczególności fizyką) – zarówno w mediach ogólnopolskich, regionalnych jak i uczelnianych

Bieżącą współpracą z mediami zajmuje się rzecznik instytutu (Marek Sieczkowski) oraz rzecznik ds. energetyki jądrowej (prof. Andrzej Strupczewski). Do ich zadań należy: udzielanie bieżących informacji jak i aranżowanie wypowiedzi wszystkich ekspertów Instytutu. Jesteśmy gotowi świadczyć usługi typu „gorącej linii”, bieżącego monitoringu mediów i branży energetycznej, wypowiedzi eksperckich dla mediów itp.

### **Udział w debatach eksperckich i spotkaniach ze społeczeństwem**

Eksperti NCBJ regularnie uczestniczą w debatach eksperckich dotyczących energetyki. Biorą także udział w spotkaniach ze społeczeństwem organizowanych w ramach kampanii informacyjnych PGE i Ministerstwa Gospodarki. W ramach Projektu EURATOM FP7 Grant nr 269849 pt. „Wdrażanie polityki współuczestnictwa społeczeństwa w procesach decyzyjnych związanych ze składowaniem odpadów radioaktywnych” organizowane są seminaria międzynarodowe, wysłuchania, szkolenia i uczestniczy w działaniach Grupy Referencyjnej przygotowującej dialog społeczny konieczny przy planach budowy nowego składowiska. Działania te poza częścią informacyjno-edukacyjną obejmują badania opinii społecznej, przygotowania ankietowe i wprowadzanie nowoczesnych metod dialogu ze społeczeństwem.

## IX. Bieżące zaangażowania NCBJ w programach krajowych i międzynarodowych z obszaru energetyki jądrowej

### A. *Udział w projektach/programach krajowych i zagranicznych:*

- Udział w projekcie UE: ASAMPSPA - Advanced Safety Assessment: Extended PSA.
- W ramach programu NCBiR „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy – II etap”, realizacja projektu pt. „Opracowanie systemu informacji w czasie rzeczywistym o zagrożeniach poważnymi awariami na potrzeby wczesnego ostrzegania oraz zarządzania kryzysowego”.
- W ramach programu NCBiR „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” udział w projekcie HTR-PL „Rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych”.
- Projekt Euratom „ALLIANCE” – prace przygotowawcze do budowy demonstratora technologii reaktora gazowego – prędkiego. Większość prac NCBJ skupia się na opracowywaniu wymogów bezpieczeństwa dla instalacji.
- Projekt Euratom „ESNII+” – prace nad reaktorami IV generacji. Projekt wystartuje na jesieni br. Celem prac NCBJ będzie opracowanie koncepcji przemysłowego (kogeneracja) wykorzystania reaktorów prędkich.
- Projekt Euratom „NC2I-R” – projekt w przygotowaniu (start na jesieni br.). NCBJ koordynuje projekt. Celem projektu jest opracowanie planu implementacji kogeneracji jądrowej w instalacji przemysłowej. W tym celu przewiduje się przeprowadzenie szeregu analiz ekonomicznych i technicznych. W następnej kolejności planuje się zawiązanie konsorcjum mającego być w stanie zrealizować budowę demonstratora jądrowej kogeneracji przemysłowej w praktyce.
- NURESAFE Projekt NURESAFE dotyczy inżynierskich aspektów bezpieczeństwa jądrowego, przede wszystkim w zakresie awarii projektowych. Opierając się na założeniu obrony-w-głąb, podnoszenie poziomu bezpieczeństwa jądrowego polega na zapobieganiu awariom oraz ograniczaniu ich rozwoju i skutków. Opiera się to na precyzyjnym modelowaniu zjawisk zachodzących w elektrowni przy pomocy zweryfikowanych narzędzi obliczeniowych.
- "Fast running tools - CSNI/WGAMA and CRPPH /WPNEM benchmarking project" projekt, którego celem jest przeprowadzenie benchmarków / weryfikacji „szybkich narzędzi” służących do obliczeń uwolnień produktów roszczepienia w trakcie awarii reaktora. Narzędzia są zweryfikowane przy pomocy kodów takich jak MELCOR, ASTEC.
- HEFUS3 benchmark. W ramach projektu Allegro Zespół Deterministycznych Analiz Bezpieczeństwa bierze udział w pracach nad zamodelowaniem pętli helowej HE-FUS3 za pomocą kodów obliczeniowych RELAP5/SCDAPSIM oraz MELCOR. Uzyskane wyniki zostaną porównane z innymi grupami roboczymi pracującymi nad modelem. Pozwoli to na weryfikację kodów odpowiedzialnych za przewidywanie sekwencji awarii wykraczających poza projektowe oraz możliwości ich zastosowania w analizach reaktorów chłodzonych gazem (w tym przypadku helem).
- Udział w programie Reduced Enrichment for Research and Test Reactors (od 1989).
- Udział w programie polsko-francuskim: „Rozwój i walidacja deterministycznego systemu obliczeń grzania promieniowania gamma w reaktorach doświadczalnych na przykładzie reaktorów MARIA oraz JHR (Jules Horowitz Reactor).
- Pracownicy Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych są członkami międzynarodowego stowarzyszenia EURADOS (European Radiation Dosimetry Group) i biorą udział w projektach wykonywanych przez grupy robocze:
  - WG6 – Computational dosimetry – obliczenia numeryczne dla potrzeb dozymetrii.
  - WG7 – Internal dosimetry – pomiary i szacowanie skażeń wewnętrznych.

- WG9 – Radiation protection dosimetry in medicine – pomiary dozymetryczne dla potrzeb medycyny.

Badania i pomiary są wykonywane również we współpracy z CERN (Szwajcaria), UJV (Czechy) i Zjednoczony Instytut Badań Jądrowych Dubna (Rosja).

Publikacje i wystąpienia w zakresie tematyki energetyki jądrowej m.in. monografia „Energetyka jądrowa w Polsce” (wyd. 2012) oraz tematyczne zgłoszenia patentowe P.400679 „Komora mikroszczelinowa” jako detektor do sytuacji awaryjnych reaktora jądrowego, P.404072 „Wielosygnałowa komora jonizacyjna jako spektrometr neutronów” do wyznaczenia energetycznego widma neutronów ukierunkowanych z kanału reaktora oraz P-382433 „Sposób wyznaczania stosunku mocy dawki w polu dwuskładnikowego promieniowania jonizującego” potrzebny przy określaniu dawek w otoczeniu reaktora jądrowego.

- Projekt V4G4: (Vysegrad 4 Generation 4). Projekt współpracy polsko-czesko-słowacko-węgierskiej przy udziale Francji poświęcony rozwojowi reaktorów 4 generacji, w szczególności reaktorów na prędkich neutronach chłodzonych gazem (GFR – projekt ALLEGRO). W ramach tego porozumienia strona słowacka projektuje reaktor, strona czeska układ chłodzenia gazem, Węgry zajmują się paliwem do reaktora, a strona polska badaniami materiałów konstrukcyjnych.
- Program MINOS: tworzenie spójnej bazy danych o materiałach do zastosowań jądrowych obejmujący kompletny opis procesów zachodzących w materiałach od obliczeń ab-initio i symulacji metodą dynamiki molekularnej po obliczenia metodą elementów skończonych konstrukcji reaktorów i budynków. Program MINOS koordynowany jest przez CEA Saclay, Francja. W ramach projektu w DFM NCBJ realizowane są trzy zadania: walidacja obliczeń metodą dynamiki molekularnej transformacji defektowych w kryształach tlenkowych o strukturze fluorytu ( $ZrO_2$ ,  $UO_2$ ), analiza wpływu defektowania radiacyjnego na własności nanomechaniczne ziaren i granic międzyziarnowych ceramik do zastosowań jądrowych oraz rozwój procedur symulacji Monte Carlo procesu rozpraszania wstecz dla ilościowej analizy defektów złożonych w kryształach.
- Projekt W7-X: budowa elementów injektora wiązki neutralnej dla stellaratora W7-X w Greifswaldzie, Niemcy. Projekt jest realizacją polskiego wkładu in-kind w budowę urządzenia W7-X.
- Laboratorium Badań Materiałowych od wielu lat współpracuje ze Zjednoczonym Instytutem Badań Jądrowych w Dubnej w zakresie badania zjawisk radiacyjnych w modelowych konstrukcyjnych materiałach dla jądrowej i termojądrowej energetyki oraz opracowywania podstawowych zasad radiacyjnie symulowanych metod tworzenia obiektów nanostrukturalnych i badania ich własności. Praca realizowana we współpracy z ZIBJ-Dubna w ramach tematu nr 04-05-1076-2012/2014: Efekty radiacyjne i fizyczne podstawy nanotechnologii, radiacyjnoanalityczne i radioizotopowe badania w akceleratorach LJAR G.N.Florowa.
- Program strategiczny Narodowego Centrum Badań i Rozwoju „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” Zadanie 6. Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej (lider sieci naukowej – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej). Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych jest wykonawcą 4 spośród 18 etapów projektu.
- Rekombinacyjny dawkomierz nowej generacji do oceny narażenia na stanowiskach pracy w polach promieniowania reaktorów i akceleratorów (grant MNiSW, umowa 1350/B/P01/2010/39).
- Opracowanie mikrodozymetrycznego detektora rekombinacyjnego do dozymetrycznej analizy promieniowania reaktorowego (grant MNiSW, umowa 4261/B/TO2/2009).
- Rozpoczynający się projekt NCBiR w ramach Lider IV: „Nowej generacji beton osłonowy przed promieniowaniem jonizującym”.
- Przyznane zostało również finansowanie na projekt NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych „Trwałość i skuteczność betonowych osłon przed promieniowaniem jonizującym w obiektach energetyki jądrowej”. Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych jest członkiem konsorcjum, którego liderem jest Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN.

## **B. Udział w organizacjach międzynarodowych i stowarzyszeniach:**

- Instytut Energii Atomowej w okresie od 2001 do końca 2010 roku był członkiem Światowego Stowarzyszenia Operatorów Elektrowni Jądrowych - WANO. W tym okresie, Stefan Chwaszczewski był członkiem Rady Zarządzających Moskiewskiego Centrum WANO. W 2010 roku, po zasadniczych zmianach statutu tej organizacji oraz w wyniku radykalnej zmiany składek członkowskich z poziomu 13 000 € rocznie do 130 000 £ Instytut Energii Atomowej w porozumieniu z dyrektorem Departamentu Energii Jądrowej MG zrezygnował z członkostwa w WANO.
- Udział w platformie UE NERIS (European Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies).
- Udział w stowarzyszeniu ESReDA (European Safety, Reliability & Data Association).
- NUGENIA jest to zrzeszenie skierowane do zainteresowanych tematyką badawczo-rozwojowych z zakresu technologii jądrowych, skupiające swoją uwagę na reaktorach II i III generacji. Łączy ono w sobie partnerów z przemysłu, instytutów badawczo- rozwojowych, ośrodków akademickich i organizacji zajmujących się bezpieczeństwem.
- SNETP(The Sustainable Nuclear Energy Technology Platform) promuje badania, rozwój i rozpowszechnianie technologii jądrowej koniecznej do osiągnięcia założeń SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan) ustanowionego przez Unię Europejską m.in. w celach zredukowania do roku 2020 emisji gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do roku 1990 i osiągnięcia gospodarki niskoemisyjnej. SNETP stawia sobie takie cele jak:
  - do roku 2020 – utrzymanie bezpieczeństwa i konkurencyjności w dziedzinie technologii jądrowej, zapewnienie długoterminowych rozwiązań w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi.
  - do roku 2050 – zakończyć demonstrację IV generacji reaktorów jądrowych, powiększyć zakres zastosowania technologii jądrowej poza produkcję elektryczności.
- Udział w pracach Grup Roboczych OECD-NEA (np. Working Party on Nuclear Criticality Safety).
- Członkostwo w MELODI (Multidisciplinary European Low Dose Initiative), IRPA (International Radiation Protection Association) oraz COST (European Cooperation in Science and Technology).
- Współpraca bilateralna z dostawcami elektrowni jądrowych: GE-Hitachi, Westinghouse.
- Podpisane porozumienia o współpracy z zagranicznymi i krajowymi instytutami oraz uczelniami.

## **C. Porozumienia i umowy NDA:**

- MoU (Memorandum of Understanding) z CEA (10.2009);
- Porozumienie dwustronne z CEA (11.2011);
- Porozumienie dwustronne z GE-Hitachi (04.2013);
- Porozumienie dwustronne z Westinghouse;
- Negocjacje MoU z IRSN;
- MoU z UJV Rez – w przygotowaniu;
- MoU z VUJE Trnava – w przygotowaniu;

## X. Kluczowa Infrastruktura

### A. Reaktor Maria

„Maria” to jedyny w Polsce i piąty co do mocy w Europie badawczy reaktor jądrowy. Jego moc wynosi 30MW. Zbudowany w latach 1970-1974, zmodernizowany w latach 90-tych. Wykorzystywany jest do:

- Napromieniania materiałów tarczowych do produkcji radioizotopów,
- Badań materiałowych i technologicznych,
- Neutronowego domieszkania materiałów półprzewodnikowych,
- Neutronowej modyfikacji materiałów,
- Badań fizycznych i neutronograficznych,
- Wykorzystania wiązek neutronów dla celów medycznych,
- Celów szkoleniowych w zakresie fizyki i techniki reaktorowej.

### B. Centrum Informatyczne Świerk (CIŚ)

Centrum Informatyczne Świerk jest projektem mającym na celu stworzenie infrastruktury obliczeniowej na potrzeby energetyki jądrowej, konwencjonalnej oraz badań w zakresie fizyki i technologii jądrowych. Podstawowe elementy stanowią:

- Infrastruktura obliczeniowa:
  - obecnie 1920 rdzeni obliczeniowych (tj. ok. 20 TFLOPS), 7,5 TB pamięci RAM i 560 TB przestrzeni dyskowej,
  - początek 2014: moc ok. 80 TFLOPS, 2 PB przestrzeni dyskowej,
  - docelowo: moc ok. 500 TFLOPS, 4 PB przestrzeni dyskowej.Istnieje możliwość udostępnienia mocy obliczeniowej klastra podmiotom zewnętrznym.
- Serwisy informatyczne: udostępnianie zasobów w formie dedykowanych usług aplikacyjnych dla zarejestrowanych użytkowników. Aplikacje dotyczą m.in.:
  - analiz bezpieczeństwa reaktorów jądrowych,
  - symulacji procesów paliwowych,
  - modelowania transportu i dyspersji substancji promieniotwórczych i chemicznych w środowisku oparte na dedykowanej prognozie pogody
  - modelowania skutków uwolnień niebezpiecznych substancji i energii do otoczenia
  - zastosowań mechaniki obliczeniowej płynów (CFD)
  - optymalizacji dystrybucji energii
- Zespoły ekspertów: współpraca w rozwiązywaniu problemów wymagających wykorzystania dużych mocy obliczeniowych na potrzeby energetyki jądrowej, obliczeń środowiskowych oraz szeroko pojętych zastosowań technologii jądrowej. Obsługa baz danych utworzonych na rzecz rozwoju i kontroli bezpieczeństwa, a także serwisów operacyjnych o znaczeniu strategicznym dla interesów państwa, zapewnienie bezpieczeństwa sieciowego.

### C. Laboratorium Badań Materiałowych

Laboratorium Badań Materiałowych prowadzi badania z dziedziny materiałoznawstwa takie jak badania zmian struktury, wytrzymałości materiałów konstrukcyjnych napromienionych i nie napromienionych, korozji oraz innych własności. W Laboratorium obowiązuje system zarządzania jakością potwierdzony Certyfikatem Akredytacji Laboratorium Badawczego wydanym przez Centrum Akredytacji oraz system zarządzania jakością potwierdzony Świadectwem Podwykonawcy UDT w zakresie wykonywania badań laboratoryjnych. Szczegółowy opis Laboratorium wraz z dostępnymi akredytacjami i wyposażeniem znajduje się w rozdziale III B.

#### **D. Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych**

Laboratorium stworzone w wyniku połączenia dwóch jednostek: Służby Ochrony Radiologicznej i Samodzielnego Laboratorium Dozymetrii Promieniowania Mieszanego.

Zakres działania:

- Wzorcowanie (kalibracja) dozymetrycznej aparatury kontrolno-pomiarowej promieniowania gamma i neutronowego, mierników skażeń powierzchniowych alfa- i beta-promieniotwórczych,
- Badania w zakresie dozymetrii promieniowania mieszanego i zastosowań medycznych promieniowania,
- Monitoring Środowiska i nadzór radiologiczny terenu ośrodka jądrowego Świerk i Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie (analiza próbek środowiskowych, dozymetryczne pomiary operacyjne) a także ocena wpływu ośrodka na otoczenie,
- Pomiary skażeń wewnętrznych ludzi za pomocą Licznika Promieniowania Ciała Człowieka, Licznika Promieniowania Tarczycy i pomiarów radiochemicznych moczu a także ocenę równoważnej i skutecznej dawki obciążającej.

Szczegółowy opis laboratoriów akredytowanych i dostępnego w nich wyposażenia znajduje się w rozdziale 1: J, K, L, a także w rozdziale 2: B.

## XI. Załączniki

### A. Zaangażowanie osobowe:

Temat	Personel (liczba osób)
<b>Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna (dozymetria, symulacje, analizy ryzyka...)</b>	
A. Probabilistyczne analizy bezpieczeństwa (Probabilistic Safety Assessment – PSA)	8
B. Deterministyczne analizy bezpieczeństwa (Deterministic Safety Assessment – DSA) w zakresie analiz ciepłoprzepływowych z wykorzystaniem kodów systemowych i komponentowych instalacji jądrowych dla awarii projektowych	9
C. Deterministyczne analizy bezpieczeństwa w zakresie analiz awarii ponadprojektowych i ciężkich	4
D. Analizy ciepłoprzepływowe z wykorzystaniem obliczeniowej mechaniki płynów (CFD)	5
E. Analizy różnych technologii reaktorowych IV generacji w aspekcie oceny bezpieczeństwa reaktorów HTR, GFR, SMR	9
F. Symulatory obiektów jądrowych (reaktorów energetycznych i badawczych)	2
G. Metody kompleksowej oceny zagrożeń radiacyjnych dla ludzi i środowiska w wyniku eksploatacji instalacji jądrowych i zdarzeń awaryjnych	7
H. Systemy wspomaganie decyzji po awarii jądrowej oraz zarządzania kryzysowego w sytuacji zagrożenia radiacyjnego	5
I. Systemy eksperckie wspomaganie decyzji oparte na sztucznej inteligencji do prognozowania przebiegu awarii	2
J. Wzorcowanie aparatury dozymetrycznej	6
K. Pomiary promieniotwórczych skażeń wewnętrznych personelu obiektu jądrowego	16
L. Dozymetria promieniowania mieszanego, metody pomiarowe skażeń wewnętrznych oraz skażeń środowiska	19
M. Walidacja i weryfikacja narzędzi obliczeniowych związanych z zagadnieniami transportu neutronów	8
<b>Monitoring radiologiczny otoczenia obiektów jądrowych</b>	
A. Modelowanie geoprzestrzenne danych monitoringowych z uwzględnieniem niepewności za pomocą metod geostatystycznych	5
B. Analizy radiochemiczne próbek środowiskowych (wody, ścieki, mułu, powietrze, gleba, szata roślinna, żywność i inne oraz próbek biologicznych)	20
C. Lokalizacja i diagnozowanie materiałów radioaktywnych	11
D. Rola aerozoli atmosferycznych w elektryczności atmosfery i wpływ uwolnień z elektrowni jądrowych na zjawiska klimatyczne.	2
<b>Ekspertyzy dotyczące pracy instalacji jądrowych</b>	

A. Wyznaczanie neutronowo-fizycznych parametrów rdzenia reaktora energetycznego dla potrzeb licencjonowania i eksploatacji	13
B. Badania materiałowe na potrzeby energetyki jądrowej i wykrywania skażeń	39
<b>Badania lokalizacyjne przyszłych EJ (analizy geologiczne, hydrologiczne, sejsmiczne, środowiskowe)</b>	
A. Metody kompleksowej oceny zagrożeń radiacyjnych dla ludzi i środowiska w wyniku eksploatacji instalacji jądrowych i zdarzeń awaryjnych	7
B. Pomiary pól promieniowania gamma oraz analizy radiochemiczne próbek środowiskowych w ramach procesu lokalizacji obiektu jądrowego.	5
<b>Badania jakościowe oraz kwalifikacja materiałów i urządzeń do instalacji jądrowych, inżynieria materiałowa</b>	
A. Procedury systemu zarządzania jakością badań materiałowych przed i po napromienianiu	18
<b>Postępowanie z wypalonym paliwem jądrowym i gospodarka odpadami promieniotwórczymi</b>	
A. Analizy neutronowo-fizyczne przechowalników wypalonego paliwa w celu zapewnienia ich podkrytyczności w warunkach normalnych i awaryjnych oraz obliczenia składu izotopowego wypalonego paliwa dla potrzeb ochrony radiologicznej.	2
<b>Inne (badania socjologiczne, rynkowe.....)</b>	
A. Analiza gospodarki odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem w opcji wykorzystania w Polsce paliw jądrowych do produkcji energii elektrycznej	2
B. Ekspertyza wysokości odpisów operatorów elektrowni jądrowej na tzw. fundusz likwidacyjny elektrowni jądrowej	2
C. Działalność szkoleniowa, edukacyjna i popularyzatorska	31

**B. Kompetencje NCBJ w zakresie kodów obliczeniowych:**

Nazwa	Funkcja
CATHARE2/3	Kod systemowy do analiz ciepło-przepływowych chłodziwa w reaktorze jądrowym
URANIE	Zbiór narzędzi programistycznych służących do przeprowadzania analiz wrażliwości i niepewności dla kodów obliczeniowych
APOLLO2	Kod obliczeniowy służący do wykonywania obliczeń deterministycznych dla zagadnień związanych z rdzeniem reaktora jądrowego
CRONOS2	Modelowanie strumienia neutronów
TRIPOLI-4	Kod Monte-Carlo służący do obliczeń związanych transportem neutronów w rdzeniu reaktora jądrowego. Wykorzystuje modele trójwymiarowe.
TRIO_U	Kod ciepło-przepływowy typu CFD do analizy zjawisk zachodzących w systemie chłodzenia reaktora jądrowego w skali mikro.



<b>FLICA 4</b>	Kod ciepło-przepływowo do analizy zjawisk zachodzących w zbiorniku ciśnieniowym reaktora jądrowego.
<b>RELAP5 with ITAAS</b>	Kod systemowy do analiz ciepło-przepływowych chłodziwa w reaktorze jądrowym
<b>MELCOR (MELSIM)</b>	Kod systemowy parametryczny do analiz ciężkich awarii reaktorów jądrowych
<b>DRAGON</b>	Modelowanie paliwa jądrowego, wypalanie, skład izotopowy
<b>SERPENT</b>	Kod Monte-Carlo do wyznaczania wypalenia paliwa jądrowego podczas pracy reaktora
<b>WIMS</b>	Kod neutronowy: 1-wymiarowe obliczenia transportowe w 68-127 grupach neutronów, generacja efektywnych kilka-grupowych stałych materiałowych do obliczeń dyfuzyjnych
<b>GNOMER</b>	Kod neutronowy: 1-2-3 wymiarowe obliczenia dyfuzyjne; równania dyfuzyjne rozwiązywane metodą różnicową w geometrii, m.in. prostokątnej, trójkątnej, sześciokątnej, r-theta-z; dowolna liczba grup.
<b>REBUS</b>	Kod neutronowy, dyfuzyjny: 2-3 wymiarowe, 2-grupowe obliczenia dyfuzyjne z uwzględnieniem sprzężeń moc-strumień neutronów w reaktorze energetycznym.
<b>SCALE</b>	System pakietów do wykonywania obliczeń w zakresie: fizyki reaktorowej, bezpieczeństwa krytyczności, osłon radiologicznych oraz charakterystyki wypalonego paliwa
<b>MCNP</b>	Kod Monte Carlo: 3-wymiarowe z wiernym odwzorowaniem geometrii, ciągłe widmo energetyczne, weryfikacja wyników obliczeń kodem WIMS.
<b>SATURNE</b>	Kod ciepło-przepływowo do analizy zjawisk z dziedziny dynamiki płynów zachodzących w w systemie chłodzenia reaktora jądrowego.
<b>SYRHTES</b>	Kod obliczeniowy to wyznaczania przepływu ciepła w stanach nieustalonych.
<b>ASTER</b>	Kod służący do analiz strukturalnych (szeroki zakres zastosowań)
<b>NEPTUN_CFD</b>	Kod ciepło-przepływowo klasy CFD do analizy zjawisk zachodzących w systemie chłodzenia reaktora jądrowego.
<b>SCDAPSIM</b>	Kod systemowy deterministyczny do analiz ciężkich awarii reaktorów jądrowych
<b>FLUENT</b>	Kod ciepło-przepływowo klasy CFD do analizy zjawisk z dziedziny dynamiki płynów.
<b>OpenFoam</b>	Kod ciepło-przepływowo klasy CFD do analizy zjawisk z dziedziny dynamiki płynów.
<b>WRF</b>	Dedykowana numeryczna prognoza pogody na potrzeby modeli dyspersyjnych
<b>Flexpart, Hysplit (NOAA), Eulag</b>	Modelowanie transportu i dyspersji skażeń w atmosferze w różnych skalach
<b>PFlotran</b>	Modelowanie ośrodków porowatych
<b>Saphire</b>	PSA Poziom 1
<b>COSYMA</b>	Modelowanie skutków potencjalnych awarii jądrowych
<b>RODOS</b>	System wspomaganie decyzji czasu rzeczywistego po awarii jądrowej
<b>HPAC</b>	Modelowanie zagrożeń N/C/B/R
<b>R / własny</b>	Stochastyczna rekonstrukcja zdarzeń
<b>R / Intamap</b>	Modelowanie danych geoprzestrzennych
<b>Nek500</b>	Kod ciepło-przepływowo klasy CFD do analizy zjawisk z dziedziny dynamiki płynów.

