



INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ



Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) został utworzony w 1983 roku w wyniku wydzielenia z Instytutu Badań Jądrowych (IBJ) zakładów naukowych zlokalizowanych w Warszawie na Żeraniu. Jest interdyscyplinarną jednostką badawczo-rozwojową prowadzącą badania podstawowe i rozwojowe w dziedzinie radiochemii, chemii jądrowej, radiobiologii, chemii radiacyjnej i jądrowej inżynierii chemicznej. Tematyka badawcza obejmuje ponadto chemiczne i technologiczne aspekty energetyki jądrowej, radiofarmaceutyki i ochronę zdrowia, zastosowanie technik jądrowych w przemyśle, ochronie środowiska i dziedzictwa kulturowego, modyfikację materiałów polimerowych oraz wolne rodniki w chemii, biologii i medycynie.

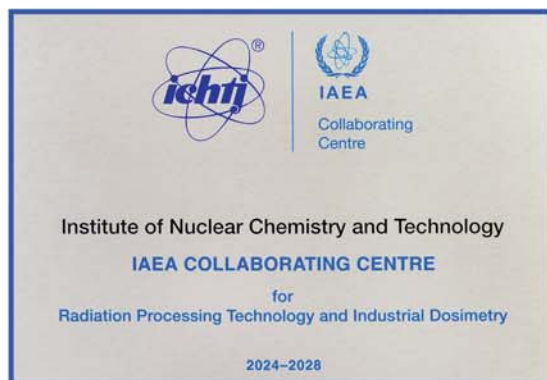
Dzięki sześciu akceleratorom elektronów Instytut jest jednym z najbardziej zaawansowanych ośrodków w dziedzinie zastosowań wiązki elektronów. Różne typy akceleratorów są wykorzystywane do sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych i przeszczepów, modyfikacji polimerów, usuwania SO_2 i NO_x ze spalin oraz napromieniowania żywności.

Od 2010 roku Instytut ma status Collaborating Centre Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA).

ICHTJ prowadzi Szkołę Doktorską i posiada uprawnienia do nadawania stopni doktora i doktora habilitowanego w dziedzinie chemii.

Wydaje czasopismo naukowe „Nukleonika”, czasopismo popularnonaukowe „Postępy Techniki Jądrowej” oraz monografie i raporty.

Biblioteka Instytutu posiada unikatowych zbiorów książek i czasopism z zakresu chemii i fizyki radiacyjnej, radiochemii, chemii izotopów.



Paliwo jądrowe i odpady promieniotwórcze

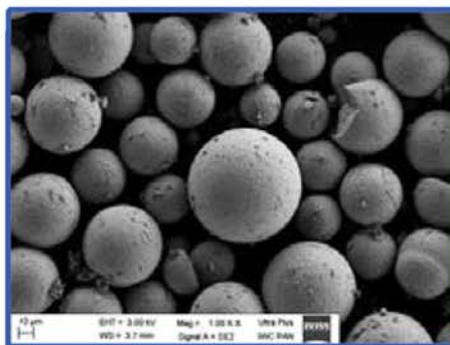
Na potrzeby energetyki jądrowej w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej prowadzone są prace nad nowymi metodami unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych, przerobem wypalonego paliwa z wydzieleniem aktywności mniejszościowych oraz paliwami dla reaktorów jądrowych nowych generacji.

Badania nad przetwarzaniem i bezpiecznym składowaniem odpadów promieniotwórczych dotyczą odpadów pochodzących z przemysłowych i medycznych zastosowań radioizotopów oraz odpadów z elektrowni jądrowych, w tym z reaktorów IV generacji i małych reaktorów modułowych (SMR). Z uwzględnieniem nowatorskich metod i nowych materiałów barierowych prowadzone są prace m.in. nad zatężaniem i zestalaniem ciekłych odpadów promieniotwórczych w procesach membranowych, ekstrakcyjnych, sorpcyjnych i hybrydowych oraz nowymi sorbentami, istotnymi z punktu widzenia projektowania składowisk odpadów promieniotwórczych.

Instytut uczestniczy w działaniach związanych z lokalizacją i budową nowego składowiska niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych oraz zamknięciem składowiska w Różanie.

W IChTJ analizowane są możliwości pozyskiwania surowców do produkcji paliwa jądrowego z zasobów krajowych. Równolegle realizowane są prace nad metodami wytwarzania paliwa dla reaktorów nowej generacji, w tym nowoczesnych paliw węglkowych i prekursorów paliwa typu TRISO. Prace te obejmują również opracowanie wstępnych założeń techniczno-ekonomicznych (ZTE) budowy instalacji do produkcji paliwa dla reaktorów wysokotemperaturowych (HTR).

Instytut prowadzi też działania związane z oceną możliwości integracji reaktorów modułowych o małej mocy z krajową infrastrukturą energetyczną.



Analiza SEM cząstek sferycznych UO_2 uzyskanych metodą zol-żel



Instalacja do destylacji membranowej wykorzystywana do przetwarzania ciekłych odpadów promieniotwórczych o dużym zasoleniu



Boks rękawicowy do pracy z otwartymi źródłami promieniotwórczości o wysokiej aktywności



Analizator węgla organicznego (TOC) i azotu

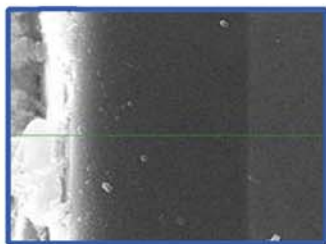
Badania odporności korozyjnej materiałów

Elementy konstrukcyjne reaktorów jądrowych muszą być odporne na kontakt z chłodziwem (woda o wysokiej temperaturze, ciekłe metale, gazy, sole w stanie ciekłym), naprężenia, drgania, wysokoenergetyczne neutrony, gradienty temperatur.

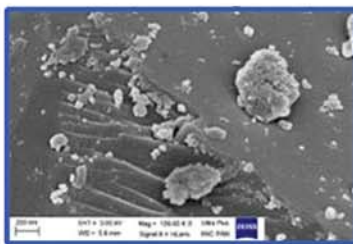
Materiały konstrukcyjne muszą być dostępne oraz mieć korzystne właściwości cieplne, odporność na działanie neutronów, dobre właściwości mechaniczne i odporność na kruche pękanie, a także być stabilne w długim czasie pracy reaktora.

Idea materiałów o podwyższonej odporności w sytuacjach awaryjnych (*accident tolerant fuels* – ATF i *accident tolerant materials* – ATM) powstała w celu zwiększenia bezpieczeństwa elektrowni jądrowych.

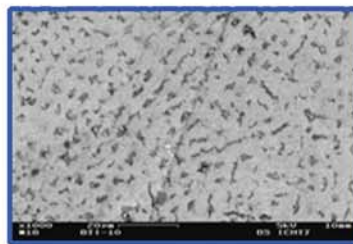
W IChTJ prowadzone są prace badawcze w zakresie modyfikacji powierzchni stopów cyrkonu, wytwarzania pokryć wielopierwiastkowych (ZrSiCr) i warstw w postaci (SiC+YAG) na stopach cyrkonu, charakteryzacji stopów o wysokiej entropii (HEA) na bazie CoCrFeNi.



$Zr_{40}Si_{24}Cr_{36}$ na Zry-2



(SiC+YAG) na Zr1Nb



HEA CoCrFeNi+Ti

Do charakteryzacji materiałów wykorzystywane są różne techniki badawcze, w tym: skaningowa mikroskopia elektronowa dla określania morfologii powierzchni, spektroskopia promieniowania rentgenowskiego (EDS) i instrumentalna neutronowa analiza aktywacyjna (INAA) dla określania składu pierwiastkowego, długoterminowe testy korozji wodnej w symulowanych warunkach pracy PWR oraz testy odporności na wysokotemperaturowe utlenianie (do 1700°C).



Autoklaw PH-B2000SS-NSCE (Parker, Autoclave Engineers, USA)

Badania izolacji kabli i przewodów

Przewody i kable elektryczne odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu stabilności i bezpieczeństwa pracy reaktorów jądrowych. W elektrowniach jądrowych instaluje się około 1500 kilometrów różnego rodzaju kabli i nie przewiduje się ich wymiany przez cały okres eksploatacji reaktora, tj. 40-60 lat. Czynniki takie jak podwyższona wilgotność, wysoka temperatura, promieniowanie gamma, obecność ozonu czy obciążenia mechaniczne przyspieszają proces starzenia się materiałów izolacyjnych i osłon wykonanych z tworzyw polimerowych. W związku z tym niezbędne są niezawodne metody pozwalające na bieżące monitorowanie stopnia degradacji oraz ocenę, jak długo kable mogą być bezpiecznie użytkowane.

W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej we współpracy z renomowanymi instytucjami europejskimi, m.in. EDF (Francja), Fraunhofer Institute for Nondestructive Testing (Niemcy), ÚJV Řež (Czechy) i Nexans France S.A.S. (Francja), badano możliwość zwiększenia niezawodności i bezpieczeństwa długoterminowego użytkowania kabli w elektrowniach jądrowych poprzez lepsze poznanie mechanizmów ich degradacji, identyfikację parametrów wpływających na tempo starzenia oraz rozwój nieniszczących technik diagnostycznych do oceny stanu technicznego kabli bez konieczności ich demontażu. Stworzono wspólną europejską bazę danych zawierającą wyniki badań nad starzeniem kabli, które mogą służyć operatorom, inżynierom i organom nadzoru jądrowego, opracowano model predykcyjny do prognozowania żywotności kabli na podstawie warunków ich eksploatacji (temperatura, promieniowanie itp.) oraz zharmonizowano standardy w zakresie zarządzania starzeniem kabli.

Prace badawcze prowadzone w IChTJ obejmowały w szczególności: identyfikację rodników w kablach i przewodach elektrycznych, oznaczenie kinetyki ich zaniku, opracowanie schematów degradacji radiacyjnej kabli poddanych działaniu promieniowania gamma i przechowywanych w różnych warunkach. Do charakteryzacji izolacji kabli i przewodów wykorzystano spektroskopię elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) oraz metody termiczne: termogravimetrię (TGA) i różnicową kalorymetrię skaningową (DSC).



Kable i przewody badane metodami opracowanymi w IChTJ

Monitoring radiacyjny

Od kilkunastu lat, na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych IChTJ prowadzi badania porównawcze dla placówek specjalistycznych wykonujących pomiary skażeń promieniotwórczych w ramach monitoringu radiacyjnego kraju. Celem tych badań jest potwierdzenie zdolności uczestniczących w nich laboratoriów do wykonywania określonych pomiarów oraz umożliwienie porównania uzyskanych wyników z wynikami innych placówek, ewentualne wykrycie źródeł błędów i ich skorygowanie.

Przygotowanie wzorców radiochemicznych do badań w ramach monitoringu radiacyjnego

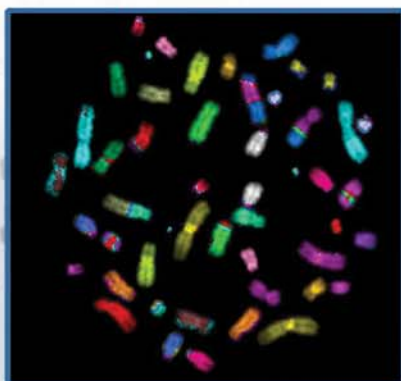


Dozymetria biologiczna

Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej IChTJ jest jednym z niewielu ośrodków naukowych w Polsce prowadzącym badania nad wpływem promieniowania jonizującego na organizmy żywe. W Centrum funkcjonuje unikatowa w skali kraju pracownia, która od ponad 20 lat stosuje metody dozymetrii biologicznej. Dozymetria biologiczna jest potrzebna do oszacowania dawki pochłoniętej u osób celowo lub przypadkowo narażonych na promieniowanie jonizujące. Przy wyższych dawkach promieniowania ustalenie jej wielkości ma znaczenie przede wszystkim dla zastosowania odpowiednich procedur medycznych, a także znaczenie prawne i psychologiczne. Centrum posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) dla metody dozymetrycznej polegającej na analizie częstości występowania chromosomów dicentrycznych (jedyne w Polsce). W Centrum stosowane są również inne metody dozymetryczne pozwalające na oszacowanie dawki pochłoniętej promieniowania jonizującego praktycznie we wszystkich możliwych scenariuszach narażenia – przy masowym narażeniu i przy dozymetrii retrospektywnej po długim czasie od narażenia oraz na oszacowanie ryzyka narażenia na wysokie dawki lub chroniczne działanie niskich dawek. Jest jedyną polską jednostką współpracującą z Europejską Siecią Dozymetrii Biologicznej i Retrospektywnej Dozymetrii Fizycznej (RENEB).

Centrum prowadzi też badania w zakresie szeroko rozumianej toksykologii, w tym nanotoksykologii. Badanie mechanizmów związanych z toksycznością nanomateriałów ma szczególne znaczenie ze względu na powszechną obecność sztucznych nanomateriałów w środowisku oraz ich coraz szersze zastosowanie w przemyśle i medycynie. W Centrum badane są mechanizmy towarzyszące odpowiedzi komórek ssaków na ekspozycję na nanosrebro i inne nanocząstki metaliczne, kropki kwantowe czy nanoplastik w kontekście występowania wybranych chorób cywilizacyjnych, jak choroba Alzheimera czy cukrzyca. Badania prowadzone są na różnych poziomach, od odpowiedzi całych komórek (toksyczność, mechanizmy śmierci komórkowej), poprzez stres oksydacyjny, funkcjonowanie poszczególnych składników komórki, a kończąc na sygnalizacji komórkowej i ekspresji genów.

*Komórka w trakcie mitozy
z chromosomami wybarwionymi
techniką m-FISH z licznymi aberracjami
chromosomowymi*



*Mikroskop Zeiss z systemem Metasystems do analizy zmian
wywołanych przez czynniki genotoksyczne w materiale
genetycznym komórek*



Sterylizacja radiacyjna wyrobów medycznych

Stacja Sterylizacji Radiacyjnej Wyrobów Medycznych i Przeszczepów IChTJ jest jedynym certyfikowanym ośrodkiem w Polsce wykonującym steryлизację radiacyjną wysokoenergetycznymi elektronami. Wyposażona jest w akceleratory generujące wiązkę elektronów o energii do 10 MeV. Działa zgodnie z wdrożonymi systemami ISO i GMP. Wykonuje badania i świadczy usługi na rzecz służby zdrowia i medycyny. Z jej usług korzystają producenci wyrobów medycznych i banki tkanek. Sterylizowane radiacyjnie są m.in. wyroby medyczne jednorazowego użytku (opatrunki hydrożelowe, pojemniki do preparatyki krwi, pojemniki bakteriologiczne), endoprotezy, implanty stomatologiczne i ortopedyczne, implanty naczyń krwionośnych, przeszczepy tkankowe i kostne, niektóre produkty farmaceutyczne (np. glukoza, hydroksyetyloceluloza, suszone konopie indyjskie), surowce do produkcji leków i kosmetyków oraz rusztowania dla inżynierii tkankowej (skafoldy).

Przykłady produktów sterylizowanych radiacyjnie



Wyroby medyczne wykonane z tworzyw sztucznych



Przeszczepy kostne

Radiofarmaceutyki

Trwałe znakowanie radionuklidami biologicznie aktywnych związków, takich jak np. peptydy i przeciwciała monoklonalne, umożliwia otrzymywanie nowych, potencjalnych radiofarmaceutyków kierujących radionuklidy do receptorów na komórkach patologicznej tkanki w organizmie.

W Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej IChTJ prowadzone są prace nad opracowaniem metod otrzymywania radionuklidów terapeutycznych i diagnostycznych oraz syntezą nowych, wysoce specyficznych radiofarmaceutyków do diagnostyki i celowanej terapii radionuklidowej. W szczególności prace te dotyczą:

- modyfikacji kompleksów i linkerów pod kątem polepszania własności farmakokinetycznych oraz zwiększania powinowactwa receptorowego radiofarmaceutyków;
- otrzymywania radionuklidów radiofarmaceutycznych o wysokiej aktywności właściwej, w tym opracowania metody otrzymywania radionuklidów do pozytonowej tomografii $^{43,44}\text{Sc}$ i ^{89}Zr oraz emiterów elektronów Augera;
- opracowania metod analitycznych do kontroli jakości nowych radiofarmaceutyków i generatorów radionuklidów;
- otrzymywania bisfosfonianowych kompleksów i receptorowych radiofarmaceutyków na bazie generatora *in vivo* $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$ do terapii elektronami Augera przerzutów nowotworowych do kości;
- badania ciprofloksacyny (Cipro) znakowanej radioaktywnie za pomocą $^{99\text{m}}\text{Tc}$ i ^{68}Ga ;
- oceny $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Cipro jako potencjalnego diagnostycznego radiofarmaceutyku w zespole stopy cukrzycowej;
- otrzymywania innowacyjnych radiofarmaceutyków opartych na emiterze promieniowania α – ^{225}Ac do terapii nowotworów neuroendokrynnych wykazujących nadekspresję receptorów somatostatyny oraz do leczenia raka gruczołu krokowego z nadekspresją antygenu PSMA.

Prace badawcze prowadzone są we współpracy m.in. z ośrodkiem JRC EC w Karlsruhe, Państwowym Instytutem Medycznym Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji w Warszawie, Instytutem Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej PAN, Narodowym Centrum Badań Jądrowych oraz Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego.

Niektóre radiofarmaceutyki zaprojektowane w Instytucie są już stosowane u ludzi w ramach medycznych badań eksperymentalnych, a inne są przygotowywane do badań przedklinicznych.

Obraz SPECT-CT pokazujący wychwyt $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Cipro w stopie cukrzycowej



Fiolka z preparatem zawierającym radiokonjugat $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Cipro



$^{99\text{m}}\text{Tc}$ - Ciprofloksa

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ - Ciproflo

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ - Ciproflo

Radiacyjna metoda utrwalania i higienizacji żywności

Bakterie, pleśnie, grzyby, pasożyty i drobnoustroje chorobotwórcze w żywności można skutecznie i bezpiecznie eliminować za pomocą promieniowania jonizującego. Mikrobiologiczna dekontaminacja żywności pozwala na wzrost jej bezpieczeństwa i wydłużenie okresu przydatności do spożycia.

Konserwacja żywności w celu ograniczenia jej strat i zapobiegania zatruciom pokarmowym jest wyzwaniem ogólnoswiatowym. Do metod zwiększających bezpieczeństwo żywności należą m.in.: fermentacja, solenie i suszenie, pasteryzacja, zamrażanie, a także stosowanie konserwantów chemicznych. Alternatywą dla powszechnie stosowanych metod chemicznych jest metoda radiacyjna. Została ona uznana w 1984 roku przez komitet ekspertów Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) oraz Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Żywności i Rolnictwa (FAO) za metodę zapewniającą bezpieczeństwo żywności pod względem mikrobiologicznym i toksykologicznym przy zachowaniu wartości odżywczych.

Międzynarodowym symbolem oznaczającym żywność poddaną napromieniowaniu i stosowanym zgodnie z normami Codex Alimentarius jest Radura.



W Polsce metodę radiacyjną wdrożono w IChTJ, gdzie działa stacja wyposażona w akcelerator elektronów emitujący wiązkę o energii do 10 MeV i mocy do 10 kW. Stacja posiada zezwolenie Głównego Inspektora Sanitarnego na napromieniowanie żywności oraz znajduje się na liście jednostek Unii Europejskiej, w których ten proces może być prowadzony. Produkty poddawane napromieniowaniu to suszone zioła aromatyczne, przyprawy warzywne i przyprawy korzenne.

Przykłady suszonych przypraw poddawanych działaniu promieniowania jonizującego



Akcelerator elektronów wykorzystywany do napromieniowywania żywności



Identyfikacja napromieniowanej żywności

W 1999 roku Samodzielne Laboratorium Wykrywania Napromieniowania Żywności IChTJ jako pierwsze w Polsce uzyskało, odnawiany co 4 lata, certyfikat Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) uprawniający do prowadzenia badań w zakresie identyfikacji napromieniowanej żywności. Zgodnie z przepisami żywność ta powinna być odpowiednio oznakowana. Laboratorium działa zgodnie z systemem zarządzania właściwym dla zakresu swojej działalności i spełniającym wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02. System zarządzania, corocznie kontrolowany przez PCA, obejmuje 5 akredytowanych metod badawczych zgodnych z normami:

- PN-EN 1786:2000 Artykuły żywnościowe – *Wykrywanie napromieniania żywności zawierającej kości – Metoda spektroskopii ESR*;
- PN-EN 1787:2022-09 Artykuły żywnościowe – *Wykrywanie napromieniania żywności zawierającej celulozę metodą spektroskopii ESR*;
- PN-EN 1788:2002 Artykuły żywnościowe – *Termoluminescencyjne wykrywanie napromieniania żywności, z której mogą być izolowane minerały krzemianowe*;
- PN-EN 13708:2022-08 Artykuły żywnościowe – *Wykrywanie napromieniania żywności zawierającej cukry krystaliczne metodą spektroskopii ESR*;
- PN-EN 13751:2009 Artykuły żywnościowe – *Wykrywanie napromieniania żywności z zastosowaniem fotoluminescencji*.



W Laboratorium badane są kości zwierząt i ryb, skorupy orzechów, suszone owoce, przyprawy, zioła, produkty ziołowe, herbaty, suszone i świeże warzywa, grzyby, owoce, krewetki, mieszanki przypraw i ziół, w tym kompozycje spożywcze, takie jak sosy, dodatki smakowe, makarony smakowe, suplementy diety, fitofarmaceutyki, ekstrakty roślinne. Próbkę są dostarczane zarówno przez klientów krajowych, jak i zagranicznych.

Od 2012 r. Laboratorium jest jednym z pięciu laboratoriów referencyjnych Ministerstwa Zdrowia (Krajowe Laboratorium Referencyjne nr 5). Do jego zadań należy koordynacja i kontrola prac laboratoriów Wojewódzkich Stacji Sanitarno-Epidemiologicznych w zakresie monitoringu napromieniowanej żywności na terenie całego kraju oraz współpraca z laboratoriami referencyjnymi Unii Europejskiej.

Aparat SURRC PPSL-Irradiated Food Screening System



Czytnik termoluminescencji RISØ TL/OSL System, model TL-DA-20



TECHNIKI JĄDROWE W OCHRONIE ŚRODOWISKA I PRZEMYSŁE

Badania radioznacznikowe

Techniki radioznacznikowe stosowane są przede wszystkim do wyznaczania rozkładu czasu przebywania – RTD (*resident time distribution*) w celu optymalizacji procesów przemysłowych oraz w badaniach środowiskowych. IChTJ uczestniczy w opracowywaniu międzynarodowych standardów ISO dotyczących wykorzystania radioznaczników w badaniach szczelności oraz do wyznaczania RTD w instalacjach przemysłowych.

W Instytucie opracowano szereg metod hydrometalurgicznych do odzysku metali krytycznych z rud metali i surowców odpadowych. Prace nad odzyskiem metali ziem rzadkich prowadzone są we współpracy z jednostkami naukowymi i przemysłowymi w ramach konsorcjów międzynarodowych.



Zestaw mixer–settler do badania ekstrakcji rozpuszczalnikowej do odzysku metali po ługowaniu



Ługowanie metali krytycznych



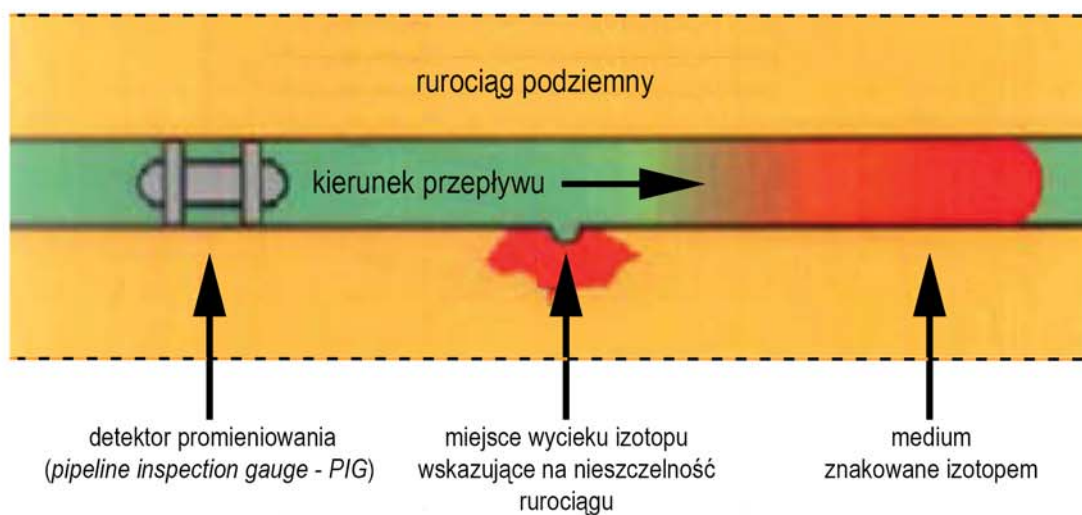
Flow-rig – reaktor chemiczny do pomiarów RTD

TECHNIKI JĄDROWE W OCHRONIE ŚRODOWISKA I PRZEMYSŁE

Badania szczelności rurociągów

ICH TJ od ponad 50 lat specjalizuje się w ocenie szczelności instalacji i urządzeń produkcyjnych, w tym zbiorników podziemnych i naziemnych oraz rurociągów przesyłowych, z wykorzystaniem opracowanej w Instytucie metody znaczników radioizotopowych. Technika ta jest uznawana przez Urząd Dozoru Technicznego (UDT) i akredytowana przez Polskie Centrum Akredytacji (PCA). Pozwala ona skutecznie wykrywać i lokalizować nieszczelności o natężeniu przepływu $150 \text{ cm}^3/\text{h}$, co potwierdziły badania prowadzone między innymi dla przemysłu petrochemicznego. Ponadto stosowanie metod radioizotopowych do badań szczelności jest często bardziej opłacalne niż metod tradycyjnych.

Wykrywanie nieszczelności



Detektor do badania szczelności obiektów technologicznych



Detektor promieniowania

TECHNIKI JĄDROWE W OCHRONIE ŚRODOWISKA I PRZEMYSŁE

Oczyszczanie spalin

W IChTJ prowadzono prace związane z rozwojem technologii oczyszczania z SO_2 i NO_x gazów spalinowych emitowanych do atmosfery, wykorzystując procesy plazmowe generowane wiązką elektronów. Instalację pilotową uruchomiono w EC Kawęczyn, a na skalę przemysłową technologię zastosowano w EC Pomorzany. W efekcie oczyszczania spalin z SO_2 i NO_x powstawał produkt będący mieszaniną siarczanu i azotanu amonu, który okazał się wartościowym nawozem sztucznym dla rolnictwa.

We współpracy z firmami Nederman (Polska), Saudi Aramco (Arabia Saudyjska) i EB TECH (Korea Południowa) technologię tę rozwijano w kierunku zastosowania do oczyszczania spalin powstających w wyniku spalania paliw ciekłych. Po etapie badań laboratoryjnych, wybudowano i uruchomiono na terenie rafinerii w Jeddah (Arabia Saudyjska) instalację pilotową, która osiągnęła sprawności usuwania zanieczyszczeń dochodzące do 98,5% dla SO_2 i 83,1% dla NO_x . Jednocześnie uzyskano wysokiej czystości produkt uboczny nadający się do zastosowania w rolnictwie jako nawóz. Uzyskane wyniki potwierdziły możliwość szerokiego wykorzystania tej technologii w przemyśle.

Kolejnym wyzwaniem było dostosowanie radiacyjnej technologii oczyszczania spalin do potrzeb źródeł mobilnych, zwłaszcza jednostek transportu morskiego. W IChTJ opracowano hybrydową metodę oczyszczania spalin łączącą napromieniowanie wiązką elektronów z absorpcją w roztworach wodnych. We współpracy ze stoczną w Rydze i Politechniką Ryską (Łotwa), Fraunhofer FEP (Niemcy) i CERN (Szwajcaria) przeprowadzono w skali pilotowej w stoczni w Rydze badania, które potwierdziły skuteczność tej metody oraz pozwalają na dalszy rozwój technologii i praktyczne zastosowanie w transporcie morskim.

Pilotowa instalacja oczyszczania spalin w Jeddah (Arabia Saudyjska)



Przemysłowa komora napromieniowania spalin (EC Pomorzany)



Instalacja pilotowa w Rydze



Instalacja laboratoryjna do badań nad hybrydową metodą oczyszczania spalin



TECHNIKI JĄDROWE W OCHRONIE ŚRODOWISKA I PRZEMYSŁE

Techniki radiacyjne w procesie produkcji biogazu i oczyszczania ścieków

W IChTJ prowadzono prace nad wzbogacaniem w metan biogazu otrzymywanego w wyniku przetwarzania odpadów rolniczych i osadów z komunalnych oczyszczalni ścieków. Wzbogacony biogaz może być wykorzystywany zarówno do zasilania sieci gazowej, jak i środków transportu, np. autobusów.

Zastosowanie nowatorskiego sposobu radiacyjnej obróbki wstępnej substratów wykorzystywanych w procesie fermentacji metanowej za pomocą wiązki elektronów znacznie przyspiesza proces fermentacji i poprawia jego parametry. Ponadto napromienianie osadów ściekowych powoduje ich higienizację. Proces ten niszczy drobnoustroje chorobotwórcze, jaja pasożytów jelitowych i inne patogeny, co pozwala na bezpieczne wykorzystanie osadów jako nawozu.

W IChTJ prowadzone są też badania nad wykorzystaniem, w skali laboratoryjnej i przemysłowej, innych rodzajów biomasy jako substratu w procesie fermentacji metanowej.

W Instytucie, we współpracy z Tsinghua University, prowadzone są prace nad usuwaniem ze ścieków antybiotyków z wykorzystaniem zarówno wiązki przyspieszonych elektronów, jak i ozonowania z zastosowaniem techniki nanopęcherzykowania. Eksperymentom poddawane są modelowe ścieki z dodatkiem antybiotyku, symulujące odpady z przemysłu pofarmaceutycznego, oraz roztwory wodne antybiotyków. Celem badań jest określenie skuteczności usuwania antybiotyków i ARGs (*antibiotic resistance genes*).



Zestaw bioreaktorów do prowadzenia procesu fermentacji w celu pozyskania biogazu



Układ AMPTS II – zestaw bioreaktorów do prowadzenia procesu fermentacji w celu pozyskania biogazu



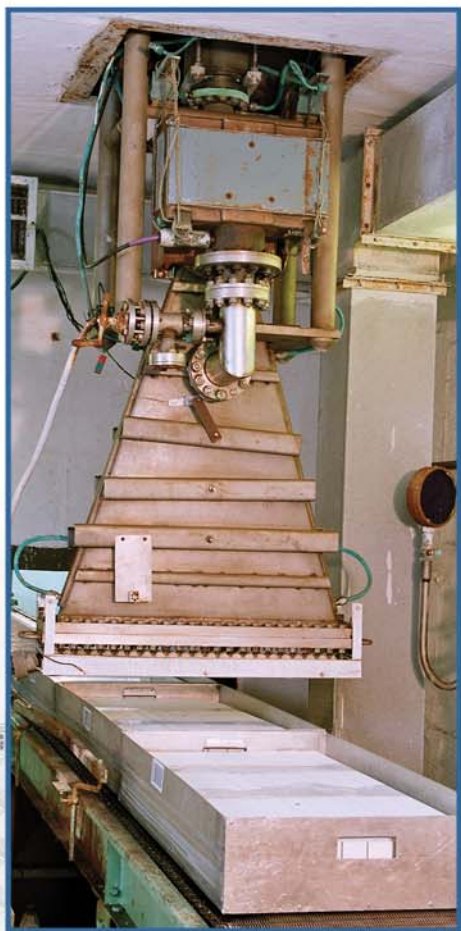
Akcelerator IŁU-6 z instalacją do przepływowego napromieniowania cieczy

TECHNIKI JĄDROWE W OCHRONIE ŚRODOWISKA I PRZEMYSŁE

Radiacyjna modyfikacja polimerów

Radiacyjna modyfikacja polimerów jest oprócz sterylizacji radiacyjnej najczęściej wykorzystywanym w warunkach przemysłowych procesem z zastosowaniem promieniowania jonizującego. Jest stosowana do sieciowania rur, folii i osłonek kabli, produkcji opon radialnych, wytwarzania materiałów specjalnych (np. opatrunków hydrożelowych, materiałów szczepionych, tj. adsorbentów metali, membran i folii opakowaniowych) oraz materiałów odpornych na działanie czynników chemicznych i atmosferycznych, a także o ograniczonej palności.

Do najczęściej sieciowanych radiacyjnie tworzyw należy polietylen, który po modyfikacji charakteryzuje się zwiększoną wytrzymałością mechaniczną oraz zwiększoną odpornością termiczną i chemiczną. Ze względu na wymaganą wysoką dawkę promieniowania, proces sieciowania prowadzi się z wykorzystaniem generowanej w akceleratorach wiązki wysokoenergetycznych elektronów. Zwykle dawka wynosi od 100 do 150 kGy i jest dostarczana w stosunkowo krótkim czasie, aby zminimalizować konkurencyjną względem sieciowania kontrolowaną dyfuzyjnie reakcję utleniania.



*Akcelerator elektronów
wykorzystywany do sterylizacji
i modyfikacji radiacyjnej materiałów*



*Przykłady materiałów modyfikowanych radiacyjnie:
folie opakowaniowe, rurki termokurczliwe
i opatrunki hydrożelowe*

TECHNIKI JĄDROWE W OCHRONIE ŚRODOWISKA I PRZEMYSŁE

Polimery koordynacyjne

Polimery koordynacyjne metali bloku s z ligandami karboksylowymi zawierającymi atom azotu w pierścieniu aromatycznym są przedmiotem badań prowadzonych w IChTJ w ostatnich kilkunastu latach.

Zsyntetyzowano ponad 100 nowych związków wapnia, magnezu, cynku i litu z ligandami pirydyno, pyrazyno- i pirymidyno-dikarboksylowymi w postaci pojedynczych kryształów oraz rozwiązano i opublikowano ich struktury.

Obecnie trwają prace nad syntezą odpornych chemicznie porowatych polimerów koordynacyjnych (zwanymi też szkieletami metaloorganicznymi), stosowanych w charakterze sorbentów dla izotopów radioaktywnych (anion technecjanowy, ruten, kobalt, cez) i metali toksycznych (rtęć, chrom) z roztworów wodnych, oraz nad pirolizą porowatych polimerów koordynacyjnych do syntezy nanomateriałów tlenkowych o unikalnej morfologii, mogących znaleźć zastosowanie jako materiały elektrodowe.

W Instytucie prowadzono też badania, które wykazały możliwość syntezy znanych struktur metaloorganicznych na bazie cyrkonu (UiO-66) lub chromu (MIL-101) z zastosowaniem liganda 1,4-benzenodikarboksylowego otrzymywanego w wyniku depolimeryzacji odpadowego PET.

Porównanie skuteczności usuwania rutenu z roztworów wodnych przy zastosowaniu sorbentów metaloorganicznych



Aparatura do syntez hydrotermalnych



Aparatura do syntez równoległych (Carouselle 6)



JĄDROWE TECHNIKI ANALITYCZNE

Jądrowe techniki analityczne

Działalność Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych IChTJ koncentruje się przede wszystkim na rozwoju nieorganicznej analizy śladowej, szczególnie w zakresie oznaczania izotopów promieniotwórczych i pierwiastków śladowych w szerokiej gamie matryc (materiały jądrowe, środowiskowe, geologiczne, przemysłowe, zabytki i artefakty itp.) oraz zapewnienia i kontroli jakości wyników analitycznych.

Laboratorium, jako jedno z niewielu na świecie, stosuje w nieorganicznej analizie śladowej dwie techniki analityczne: neutronową analizę aktywacyjną (NAA) i spektrometrię mas ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS). NAA została uznana za podstawową metodę w metrologii chemicznej i stosuje się ją do weryfikacji wyników uzyskanych innymi metodami. Komplementarne zastosowanie obu metod pozwala na uzyskanie obszernej informacji analitycznej z pojedynczej próbki o masie rzędu kilku miligramów.

Drugim kierunkiem działalności Laboratorium jest jądrowa analiza kryminalistyczna (*nuclear forensics*). Zgodnie z definicją Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA), jest to badanie materiałów jądrowych lub innych materiałów radioaktywnych w kontekście postępowania prawnego na mocy prawa związanego z bezpieczeństwem jądrowym. Celem analizy jest określenie, czym są te materiały oraz jak, kiedy lub gdzie zostały wytworzone, a także jakie było ich zamierzone zastosowanie.

Opracowane w Laboratorium metody badań stosowane w kryminalistyce jądrowej mogą być również wykorzystywane do charakteryzacji próbek pochodzących z pracy reaktora (np. chłodziwa reaktorowego), materiałów konstrukcyjnych wymienianych podczas prac modernizacyjnych, a także materiałów powstałych przy likwidacji obiektów jądrowych. Istotne jest zwłaszcza oznaczanie tzw. radionuklidów trudnych do oznaczeń, np. czystych emiterów promieniowania beta: ^{55}Fe czy ^{63}Ni .

Laboratorium działa w ramach Międzynarodowej Grupy Roboczej ds. Przeciwdziałania Terroryzmowi oraz Przestępstwom Nuklearnym (ITWG).

Od wielu lat Laboratorium prowadzi badania na rzecz bezpiecznej gospodarki zasobami wód podziemnych i rozwiązywania problemów związanych ze zmianami warunków hydrogeologicznych spowodowanych górnictwem odkrywkowym. Zajmuje się oznaczaniem wybranych parametrów fizykochemicznych (m.in. oznaczaniem radionuklidów i izotopów trwałych) wód podziemnych i innych w trakcie eksploatacji oraz na etapie rekultywacji wyrobisk kopalni odkrywkowych.



Przygotowanie i pomiary próbek środowiskowych na zawartość radionuklidów i pierwiastków śladowych

Badania obiektów dziedzictwa kulturowego

W badaniach i do dekontaminacji obiektów dziedzictwa kulturowego wykorzystuje się w IChTJ metody jądrowe.

Archiwalia, kolekcje biblioteczne, obiekty wykonane ze skóry czy małe przedmioty drewniane poddawane są dekontaminacji z zastosowaniem promieniowania wiązką elektronów.

Badania różnych szklanych artefaktów prowadzone są w celu ustalenia ich trwałości chemicznej, pochodzenia i technologii produkcji. Do badań stosuje się takie metody, jak instrumentalna neutronowa analiza aktywacyjna (INAA), rentgenowska analiza fluorescencyjna (XRF), spektrometria promieniowania gamma, skaningowa mikroskopia elektronowa, spektrometria mas z jonizacją próbek w plazmie indukcyjnie wzbudzonej po ablacji laserowej (LA-ICP-MS). Ponadto, dzięki szerokiej współpracy międzynarodowej, wykorzystywane są także: analiza aktywacyjna z natychmiastową emisją kwantu gamma (PGAA), analiza promieni X wzbudzanych cząstkami (PIXE), analiza promieniowania gamma wzbudzanego protonami (PIGE), spektrometria ramanowska oraz różne techniki synchrotronowe.

Wszystkie badania i dekontaminacja są prowadzone we współpracy z muzeami i pracowniami konserwatorskimi.



Fragmenty szkła zdobionych techniką filigranu



Fragment zabytkowego pergaminu



Starodruki

JĄDROWE TECHNIKI ANALITYCZNE

Certyfikowane materiały odniesienia

Od wielu lat Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych IChTJ prowadzi prace na rzecz zapewnienia i kontroli jakości wyników badań analitycznych. Z powodzeniem wytwarza matrycowe certyfikowane materiały odniesienia (CRM) na potrzeby nieorganicznej analizy śladowej. We współpracy z Głównym Urzędem Miar (GUM) przygotowuje i certyfikuje materiały odniesienia dla potrzeb polskiej energetyki jądrowej. Jest to wyjątkowo ważne dla laboratoriów radiochemicznych, które monitorują pracę elektrowni jądrowych oraz tereny wokół infrastruktury jądrowej – elektrowni, składowisk odpadów promieniotwórczych itp.



Certyfikowane materiały odniesienia

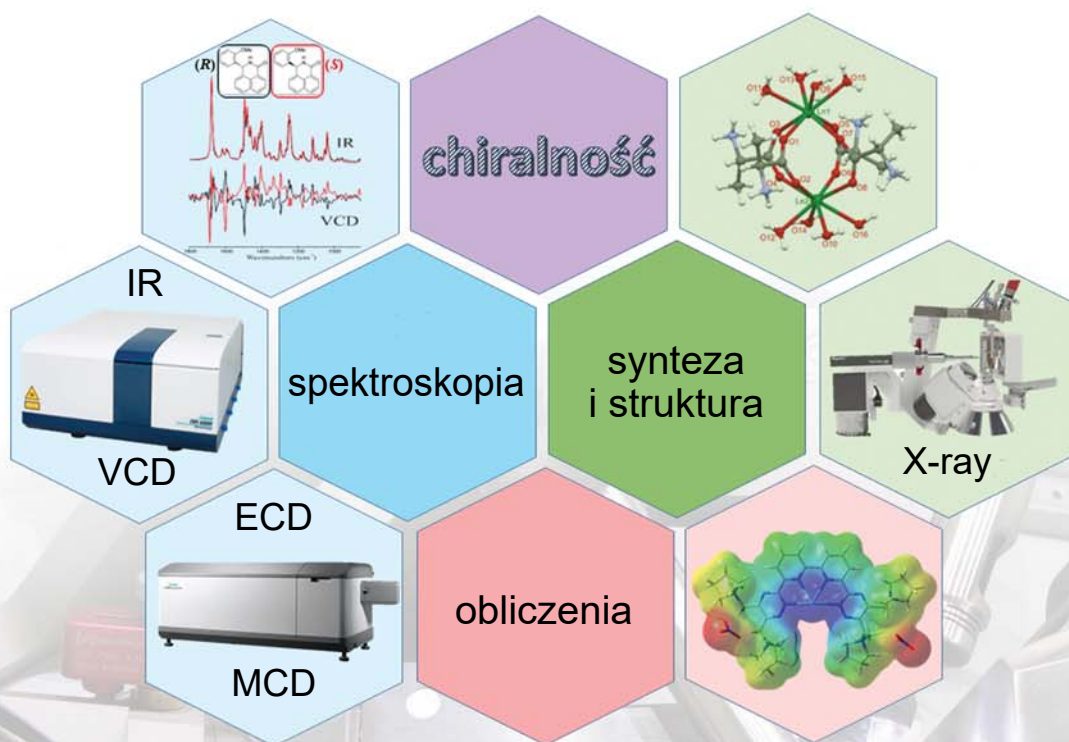


Badanie trwałości długookresowej przygotowanych w Laboratorium certyfikowanych materiałów odniesienia



Badania strukturalne i modelowanie molekularne

W Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej IChTJ badana jest struktura i gęstość elektronowa metodami dyfrakcji rentgenowskiej, chemii kwantowej i spektroskopii molekularnej. Prace obejmują zagadnienia podstawowe i fizykochemiczne, a także problemy chemii medycznej, materiałowej i analitycznej. Centrum bada kompleksy metali bloku *d* i *f* oraz chiralne związki organiczne i nieorganiczne za pomocą metod spektroskopii oscylacyjnego, elektronowego i magnetycznego dichroizmu kołowego, wspomaganych obliczeniami i krystalografią. Wspólnie z Zakładem Fizyki Chemicznej Uniwersytetu Jagiellońskiego wykonuje unikatowe pomiary ramanowskie i luminescencyjne, a obliczenia kwantowo-chemiczne realizuje głównie w Centrum Informatycznym Narodowego Centrum Badań Jądrowych. Wraz z Wydziałem Chemii Uniwersytetu Warszawskiego oraz Warszawskim Uniwersytetem Medycznym konstruuje selektywne sensory chiralnych leków (np. talidomidu, atenololu). We współpracy z Politechniką Śląską w Gliwicach prowadzi badania spektroelektrochemiczne. Centrum bada właściwości bakteriobójcze i przeciwnowotworowe kompleksów metali z ligandami syntezowanymi na Uniwersytecie w Siedlcach, które są potem testowane w Narodowym Instytucie Leków.



SZKOŁA DOKTORSKA

Z myślą o przyszłości istotne jest kształcenie młodych kadr. Od 1 października 2019 roku Instytut Chemii i Techniki Jądrowej wspólnie z Narodowym Centrum Badań Jądrowych prowadzi Szkołę Doktorską kształcącą doktorantów w dziedzinie: nauki ścisłe i przyrodnicze, w dyscyplinach: nauki fizyczne i nauki chemiczne, a w najbliższej przyszłości także w dyscyplinie związanej merytorycznie z inżynierią środowiska, górnictwem i energetyką. Kształcenie trwa 4 lata, w trakcie których studenci są zobowiązani do prowadzenia prac badawczych oraz uczestnictwa w wykładach i seminariach przewidzianych programem Szkoły. Mogą też brać udział w wykładach prowadzonych przez inne jednostki naukowe, takie jak: Uniwersytet Warszawski, Politechnika Warszawska, instytuty Polskiej Akademii Nauk. Prelegentami są zarówno polscy, jak i zagraniczni naukowcy i specjaliści.



Instytut wydaje dwa czasopisma „Nukleonika” i „Postępy Techniki Jądrowej” oraz publikacje będące wynikiem prowadzonych prac badawczych, jak monografie czy raporty.

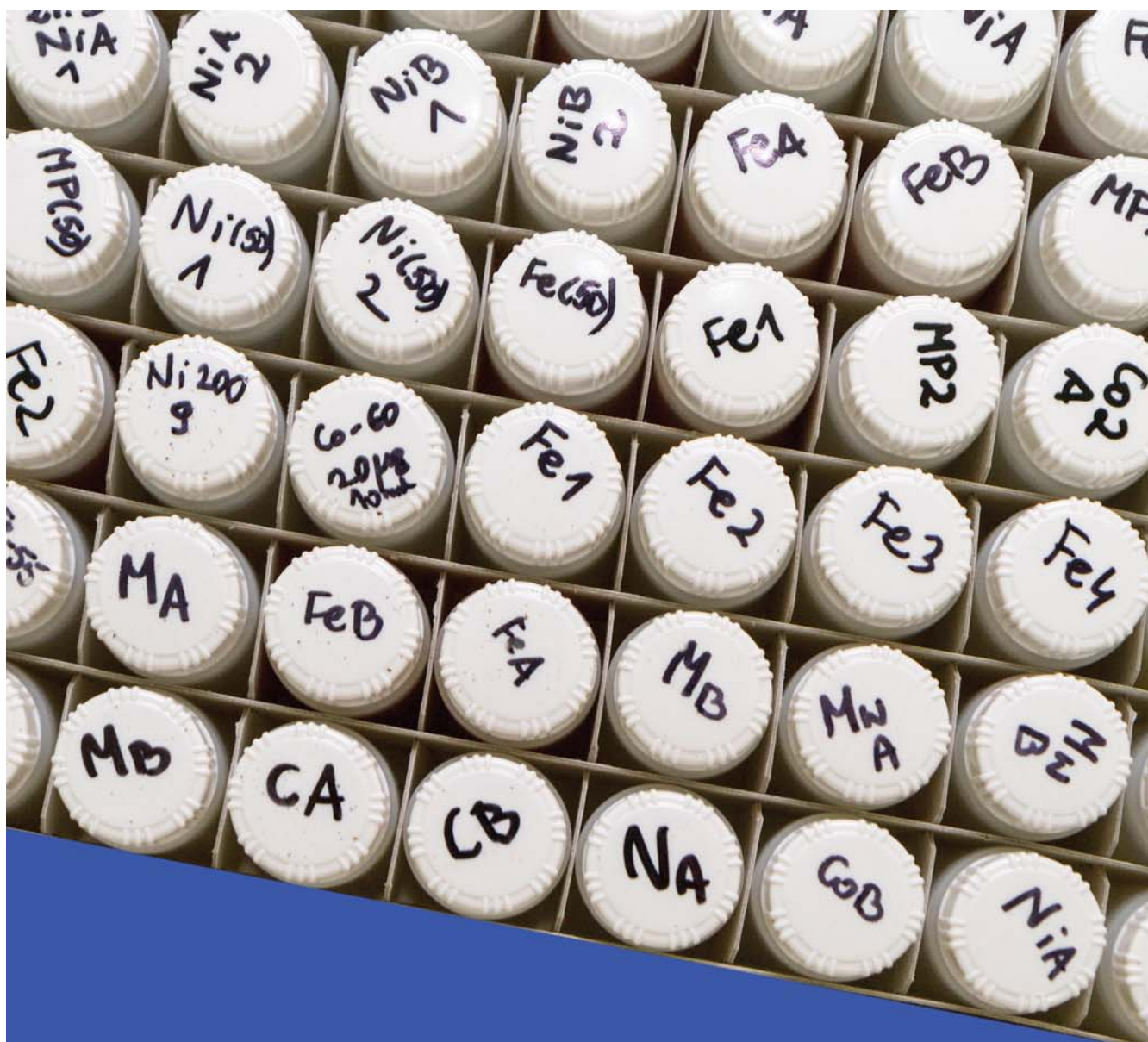
„Nukleonika” (www.nukleonika.pl) jest renomowanym czasopismem naukowym z 70-letnią tradycją, indeksowanym w wielu zagranicznych i polskich bazach danych oraz serwisach informacyjnych. Wydawana jest w języku angielskim i prezentuje dorobek naukowców z jądrowych instytutów badawczych w Europie i na świecie. Tematyka pisma obejmuje m.in.: radiochemię, chemię i fizykę radiacyjną, zastosowania nuklidów promieniotwórczych w różnych gałęziach nauki i techniki, medycynę nuklearną, radiobiologię, ochronę radiologiczną, zastosowania technologii radiacyjnych i izotopowych w ochronie środowiska, wykorzystanie technik jądrowych w przemyśle, medycynie, rolnictwie i ochronie środowiska, energetykę jądrową, reaktory jądrowe i bezpieczeństwo jądrowe.

„Postępy Techniki Jądrowej” (www.ptj.waw.pl) to kwartalnik popularnonaukowy adresowany do szerokiego grona czytelników. Odgrywa on istotną rolę w informowaniu i edukacji społeczeństwa w zakresie szeroko rozumianej atomistyki, w tym energetyki jądrowej. Publikowane artykuły dotyczą rozwoju badań w zakresie fizyki i chemii jądrowej, prezentują metody badawcze oraz ich zastosowanie w biologii, geologii, archeologii, medycynie, ochronie środowiska i energetyce.

Wydawany corocznie „Annual Report” podsumowuje wyniki badań realizowanych w Instytucie w danym roku kalendarzowym, a monografie i raporty prezentują prace naukowe, doświadczalne i technologiczne pracowników Instytutu.

Wszystkie publikacje są dostępne na stronie internetowej Instytutu (www.ichtj.waw.pl).





INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ
ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa
tel.: +48 22 504 12 05
e-mail: sekdyrn@ichtj.waw.pl
www.ichtj.waw.pl