

AKTUALNE KIERUNKI ROZWOJU TECHNOLOGII RADIACYJNYCH – PODSUMOWANIE KONFERENCJI ICARST 2022

Current development directions of radiation technologies – conference summary ICARST 2022

Marta Walo, Urszula Gryczka, Magdalena Rzepna,
Dagmara Chmielewska-Śmietanko

Streszczenie: Trwająca przez ponad dwa lata pandemia COVID-19 znacząco wpłynęła na współpracę środowiska naukowego, ograniczając kontakty wyłącznie do spotkań online, pomimo realizowania nieprzerwanie przez wiele centrów naukowych prac badawczych. Konferencja Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST), która odbyła się w dniach 22-26 sierpnia 2022 r. w Wiedniu, organizowana jako jedna z pierwszych po pandemii w formie hybrydowej cieszyła się ogromnym zainteresowaniem. Naukowcy z całego świata prezentowali najnowsze osiągnięcia z zakresu wykorzystania akceleratorów, źródeł promieniowania γ , radioizotopów i promieniowania rentgenowskiego w badaniach i zastosowaniach przemysłowych. W niniejszej pracy przedstawiono aktualne kierunki rozwoju technologii radiacyjnych na podstawie doniesień prezentowanych podczas konferencji ICARST.

Abstract: The COVID-19 pandemic, which lasted for over two years, significantly influenced the cooperation of the scientific community, limiting contacts only to online meetings, despite the fact that many research centers carry out research work continuously. The Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST), which took place on August 22-26, 2022 in Vienna, was one of the first after the pandemic in a hybrid form, which attracted great interest. Scientists from around the world presented the latest achievements in the use of accelerators, γ radiation sources, radiotracers and X-rays in research and industrial applications. This paper presents the current trends in the development of radiation technologies based on reports presented at the ICARST conference.

Słowa kluczowe: technologie radiacyjne, sterylizacja radiacyjna, szczepienie radiacyjne, napromieniowanie żywności, dozymetria, akceleratory elektronów, ochrona środowiska, konserwacja dzieł sztuki

Keywords: radiation technologies, radiation sterilization, radiation-induced grafting, food irradiation, dosimetry, electron accelerators, environmental protection, cultural heritage

Od początku XX wieku w świecie dokonuje się szybki postęp w dziedzinie wdrażania technik i technologii radiacyjnych, czego efektem jest wiele innowacji i osiągnięć w tym zakresie. Główne obszary zastosowań promieniowania jonizującego to obróbka radiacyjna materiałów polimerowych (kabli, rurek, pianek, folii, biomateriałów), sterylizacja wyrobów medycznych i przeszczepów tkankowych, higienizacja produktów spożywczych i rolnych, konserwacja i ochrona dzieł sztuki, a także ochrona środowiska (usuwanie związków SO_2 i NO_x z gazów spalinowych, oczyszczanie wody i ścieków z zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych) [1-5]. Przemysłowymi źródłami promieniowania jonizującego w większości przypadków są akceleratory nisko- i wysokoenergetycznych elektronów, ale także stacje napromieniowania gamma. Według aktualnych danych na świecie pracuje ponad 3 tysiące urządzeń akceleratorowych i około 200 stacji wyko-

rzystujących promieniowanie gamma o aktywności > 250 mln Ci. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) posiadając 5 akceleratorów elektronów jest wiodącym w świecie ośrodkiem badań i rozwoju technologii radiacyjnych. Część z nich jest również wykorzystywana w pilotowych instalacjach do sterylizacji radiacyjnej, utrwalania żywności i sieciowania polimerów [6]. Coraz powszechniejsze stosowanie technik radiacyjnych związane jest z konkurencyjnością tych metod w stosunku do tradycyjnych technik. Technologie wykorzystujące promieniowanie jonizujące łatwo i skutecznie pozwalają zmieniać lub nadawać nowe, specyficzne właściwości materiałom dzięki zastosowaniu radiacyjnej metody sieciowania, degradacji czy szczepienia różnych typów monomerów na powierzchni polimerów. Są to technologie również bardzo przyjazne dla środowiska naturalnego.

W dniach 22-26 sierpnia 2022 r. w Wiedniu odbyła się międzynarodowa konferencja Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST), organizowana przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) i poświęcona następującym zagadnieniom:

- Zaawansowana chemia radiacyjna oraz trendy w nauce i technologii radiacyjnej,
- Nowe role nauk i technologii radiacyjnych w monitoringu i ochronie środowiska,
- Dozymetria, standardy i systemy zarządzania jakością w obiektach wykorzystujących promieniowanie jonizujące,
- Zaawansowane materiały: od podstaw do zastosowań,
- Nowa generacja źródeł promieniowania: promieniowanie gamma, wiązki elektronów i promieniowanie rentgenowskie,
- Alternatywne źródła promieniowania oparte na technologiach akceleratorowych,
- Sterylizacja radiacyjna,
- Technologie radiacyjne i jądrowe do charakteryzowania, obrazowania i ochrony dziedzictwa kulturowego.

Choć wiadomo jest, że wiele innowacji i osiągnięć w dziedzinie technologii radiacyjnych zostało już docenionych i wdrożonych, to konferencja ICARST, która zgromadziła ponad 600 uczestników, stworzyła świetne forum, na którym można było kompleksowo przyrzec się statusowi tych dokonań z perspektywy środowiska akademickiego i przemysłu, a także ich zdolności do współpracy oraz sprostania przyszłym wyzwaniom.

Naukowcy z całego świata pracują nad (1) możliwością wykorzystywania promieniowania jonizującego do projektowania i wytwarzania zaawansowanych materiałów z wykorzystaniem „zielonych” procesów przemysłowych w celu zapewnienia czystszej środowiska; (2) wnikliwym zrozumieniem chemicznych skutków napromieniowania w specjalnych warunkach (co jest ważne dla materiałoznawstwa w dziedzinie energetyki jądrowej, dla badań stabilności i kompatybilności napromieniowanych produktów w ludzkiej ciele oraz dla innych zastosowań); a także (3) badaniem nowatorskich podejść do rozwiązywania skomplikowanych zagadnień oddziaływania promieniowania z materią. Z drugiej strony, technolodzy zajmujący się promieniowaniem stoją przed innymi wyzwaniami, takimi jak (1) zapewnienie bezpiecznej i niezawodnej pracy urządzeń do napromieniowania, (2) wdrożenie wymaganych międzynarodowych standardów kontroli procesu, (3) zapewnienie ciągłości dostaw i transportu między kontynentami źródeł zawierających kobalt-60 oraz (4) rozwój nowej generacji akceleratorów elektronów o dużej mocy i źródeł promieniowania rentgenowskie-

go do nowych zastosowań. Nie mniej istotne wydają się kwestie związane z innowacyjnymi akceleratorami o niskiej energii wiązki elektronów do zastosowań in-line, narzucając tym samym wciąż duże wyzwanie dozymetrytom i mikrobiologom w celu wypracowania lepszych metodologii pomiaru dawki pochłoniętej czy też zanieczyszczenia mikrobiologicznego.

Oprócz zastosowań związanych z obróbką radiacyjną istnieją inne technologie związane z promieniowaniem, takie jak wykorzystanie radioznaczników w celu poprawy i optymalizacji wydajności technik przemysłowych, badania procesów środowiskowych oraz kontroli jakości produktów. Celem nadrzędnym konferencji było zapewnienie jednostkom naukowym oraz przedstawicielom przemysłu z państw członkowskich MAEA, możliwości wymiany doświadczeń z zakresu chemii i technologii radiacyjnych do osiągnięcia zamierzonych celów, mając na uwadze priorytetowe kierunki badań każdego kraju.

Poniżej postaramy się przytoczyć kilka przykładów, obrazujących aktualne kierunki i trendy rozwoju technologii radiacyjnych na świecie. I tak nawiązując do radiacyjnej modyfikacji materiałów polimerowych, istotne wydaje się przedstawienie osiągnięć uzyskanych przy wykorzystaniu techniki szczepienia radiacyjnego, która dzięki szerokiej gamie dostępnych winylowych monomerów daje nieograniczone możliwości zastosowania tej techniki w przemyśle i medycynie [7]. Idea szczepienia radiacyjnego polega na tym, że za pomocą promieniowania jonizującego inicjowane są w polimerze centra aktywne, które mogą służyć do tworzenia wiązań z cząsteczkami/monomerami zmieniającymi właściwości powierzchni tego polimeru, tj. hydrofobowość/hydrofilowość, polarność/apolarność, wzrost adhezji itp. Szczepienie odpowiednio dobranych grup funkcyjnych może prowadzić do wzrostu powinowactwa w stosunku do niektórych substancji. Szczególnie intensywnie prowadzone są badania wykorzystywania zarówno wiązki wysokoenergetycznych elektronów, jak i promieniowania gamma do produkcji membran ogniwo polimerowych, wytwarzania nowych, selektywnych adsorbentów czy projektowania polimerów do zastosowań medycznych i biotechnologicznych [7]. Zdecydowanie w tej grupie najbardziej zaawansowane prace prowadzone są w zakresie optymalizacji parametrów szczepienia w celu uzyskania jak najbardziej wydajnych membran ogniwo paliwowych w odniesieniu do stosowanych obecnie membran komercyjnych, takich jak: Nafion (firmy DuPont), Aciplex (firmy Asahi Kasei) czy Permion® (firmy RAI Co.). Istotne osiągnięcia w tym zakresie ma grupa prof. Mohamada Nasefa (Universiti Teknologi Malaysia), świetnego specjalisty, posiadającego bogate doświadczenie zarówno w wykorzystywaniu techniki szczepienia radiacyjnego pod

kątem różnych zastosowań, jak i w technologii membran. W swojej pracy, w badaniach mających na celu uzyskanie radiacyjnie szczepionych membran przebadano kilka rodzajów materiałów funkcjonalnych, w tym kompozytową membranę przewodzącą protony do ogniwa paliwowego. Membrana została przygotowana przez szczepienie wiązką wysokoenergetycznych elektronów mieszaniny monomerów: 4-winylopirydyny (4-VP) i 1-winyloimidazolu (1-VIm) na folii poli(etyleno-ko-tetrafluoroetylenowej) (ETFE) w zoptymalizowanych warunkach, uzyskując filmy zdolne następnie do przyłączenia kwasu fosforowego (PA). Dla tak otrzymanej membrany szczepionej zbadano właściwości fizykochemiczne, a także oceniono właściwości elektrochemiczne membrany. Potwierdzono, że mieszanina monomerów pozwala na uzyskanie znacznie lepszych właściwości od odpowiednika otrzymanego przez szczepienie pojedynczego monomeru (4-VP). Działanie membrany sprawdzono w ogniwie paliwowym H_2/O_2 w temperaturze 120 °C w warunkach suchych i częściowo wilgotnych, potwierdzając, że przyjęte procedury są skuteczne we wprowadzaniu optymalnego stopnia szczepienia odpowiedniego do nadania pożądanych właściwości i poprawy wydajności membrany w ogniwie paliwowym.

Inna grupa badawcza z laboratorium prof. Olguna Guvena w Turcji również opracowała metodę syntezy membrany ogniwa paliwowego za pomocą szczepienia polistyrenu na ETFE w obecności czynnika sieciującego – diwinylobenzenu (DVB) z wykorzystaniem nowatorskiej metody RAFT. W tym przypadku wyniki uzyskanych badań potwierdziły, że odporność chemiczna membran zsyntetyzowanych w obecności DVB wzrosła około 4-krotnie w porównaniu z membranami zsyntetyzowanymi bez DVB i chociaż nastąpił spadek przewodności protonowej w wyniku zastosowania DVB, to w wyniku reakcji sieciowania pojawił się znaczny wzrost stabilności chemicznej. Membrany o stopniu szczepienia 45% i 67% wykazywały wyższą przewodność protonową niż wiele membran opisanych w literaturze oraz w porównaniu do komercyjnej próbki Nafionu.

Ponadto zaprezentowane w trakcie konferencji prace badawcze wyznaczające nowe trendy w dziedzinie modyfikacji zaawansowanych materiałów dotyczyły szczepionych radiacyjnie katalizatorów do produkcji biodiesla, membran pełniących funkcję adsorbentów dla CO_2 i innych gazów.

Nieodłącznym etapem podczas napromieniowania jest kontrola dawki pochłoniętej przez materiał poddany temu działaniu, dlatego też dozymetria spełnia niezwykle ważną funkcję w obróbce radiacyjnej. Choć wiele systemów dozymetrycznych pokrywa zakres dawek 10 Gy – kilkaset kGy to wciąż są problemy z pomiarami dawki pochłoniętej np. niskoenergetycz-

nego promieniowania X czy elektronowego (do 300 keV). Ciekawe doniesienia na ten temat przedstawili naukowcy francuscy, którzy eksperymentalnie oraz przy pomocy symulacji Monte Carlo, potwierdzili, że pomiar dawki pochłoniętej w odniesieniu do wody za pomocą dozymetrów alaninowych napromieniowanych promieniami rentgenowskimi o energii poniżej 100 keV, przy użyciu systemu dozymetrycznego EPR-alaninowego kalibrowanego w źródle kobaltowym ^{60}Co , wymaga zastosowania współczynników korygujących. Trzy badane przez nich metody pomiaru dawki pozwoliły na wyznaczanie względnej odpowiedzi alaniny na niskoenergetyczne promieniowanie rentgenowskie, zapewniły dobrą zgodność wyników, z tym że zależność energetyczna wydajności tworzenia wolnych rodników (wartość G [rodniki]/100eV) w alaninie musi być zbadana, aby można ją uwzględnić zarówno w symulacjach, jak i obliczeniach.

Napromieniowanie żywności jest jednym z pierwszych obszarów, w których technologie radiacyjne zostały wdrożone w skali komercyjnej. Promieniowanie jonizujące w postaci promieniowania gamma emitowanego przez izotop ^{60}Co lub ^{137}Cs , wiązki wysokoenergetycznych elektronów o energii do 10 MeV oraz promieniowania hamowania emitowanego z urządzeń pracujących na poziomie energii do 5 MeV [8] stosuje się w celu podniesienia bezpieczeństwa żywności, a także ograniczenia strat zachodzących w wyniku jej psucia.

Przedstawione w trakcie konferencji ICARST prezentacje dotyczące napromieniowania żywności obejmowały zarówno nowe rozwiązania techniczne, jak i nowe obszary zastosowań. Zauważyć można wzrost zainteresowania wykorzystaniem niezotopowych źródeł promieniowania. W prezentacji firmy MEVEX zaprezentowano systemy do napromieniowania za pomocą wiązki elektronów, jak i promieniowania X, którego wykorzystanie zostało określone jako najszybciej rozwijająca się technologia. W obszarze napromieniowania żywności promieniowanie X znajduje zastosowanie do zabiegów fitosanitarnych świeżych owoców. Pierwsza stacja radiacyjna wyposażona w źródło promieniowania X, dedykowana napromieniowaniu świeżych owoców, powstała na Hawajach w 2000 r. [9]. Obecnie na świecie jest to najszybciej rozwijający się obszar wykorzystania technologii napromieniowania żywności, głównie w Stanach Zjednoczonych oraz w krajach południowo-wschodniej Azji i w Australii. Ze względu, z jednej strony, na niewielkie dawki stosowane w tym procesie (<1 kGy) a z drugiej na zasięg promieniowania konieczny do obróbki świeżych produktów żywnościowych, coraz powszechniejsze staje się wykorzystanie promieniowania X. Dotyczy to również kontroli procesu, co przedstawiła D. Werner w prezentacji firmy Aerial

dotyczącej określenia rozkładu dawki wewnątrz palety świeżych owoców mango, wykonanego za pomocą dozymetrii alaninowej oraz symulacji komputerowej.

Mikrobiologiczna dekontaminacja żywności jest nadal ważnym obszarem wykorzystania technik radiacyjnych. Ma to szczególne znaczenie w krajach o wysokim zaludnieniu jak Indie, co zaprezentował w trakcie konferencji ICARST Anil Kohil. Jak przedstawiono, ograniczenie strat żywności dotyczy takich produktów jak ziarna zbóż, suszone warzywa, zioła i przyprawy. Pradip Mukherjee z Board of Radiation and Isotope Technology, Indie zaprezentował mobilne urządzenie do napromieniowania żywności, w którym źródłem promieniowania jest izotop kobaltu ^{60}Co .

Ponadto zaprezentowane w trakcie konferencji prace badawcze wyznaczające nowe trendy w dziedzinie napromieniowania żywności dotyczyły wytwarzania opakowań, w tym opakowań jadalnych (Nelida L. del Mastro), eliminacji wirusów (M. Lacroix) czy też wykorzystania odpadów z produkcji spożywczej (J. Madureira).

Podczas konferencji ICARST 2022 nie mogło również zabraknąć sesji dotyczącej sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych. Przedstawiciel firmy Mediscan GmbH & Co KG w swoim wystąpieniu pt. „Przyszłość sterylizacji radiacyjnej – perspektywy i wyzwania z punktu widzenia dostawcy usługi” przedstawił szczegółowo wady i zalety stosowania promieniowania gamma, wiązki wysokoenergetycznych elektronów oraz promieniowania X w procesie sterylizacji różnych rodzajów wyrobów medycznych. Podkreślił również, iż zmiana rodzaju stosowanego źródła promieniowania jonizującego wymaga udokumentowanej oceny potwierdzającej, że różnice w warunkach napromieniowania nie wpływają na ważność ustalonej dawki sterylizacyjnej. Niemniej jednak większa szybkość dawkowania, może zmniejszyć niepożądane efekty indukowane podczas napromieniowania. Potwierdzeniem tego wniosku są wyniki badań zaprezentowane przez Panią dr Akhavan Aghghaleh. Badania prowadzone w Instytucie Nauki i Techniki Jądrowej w Iranie dotyczyły porównania wpływu wiązki wysokoenergetycznych elektronów oraz promieniowania gamma na właściwości fizykochemiczne poliwęglanowych filtrów stosowanych w terapii nerkozastępczej (filtr dializacyjny). Poliwęglan dzięki takim właściwościom jak przejrzystość, wysoka wytrzymałość, odporność na uderzenia, dobra odporność na ciepło oraz biokompatybilność jest bardzo często stosowany do produkcji wyrobów medycznych. Oddziaływanie promieniowania jonizującego na poliwęglan skutkuje rozrywaniem łańcuchów oraz powstaniem rodników absorbujących w zakresie światła widzialnego. Napromieniowane próbki poliwęglanu

wykazują widoczną zmianę koloru, od przezroczystego do żółtego, a intensywność koloru rośnie wraz ze wzrostem dawki pochłoniętej. W przypadku próbek napromieniowanych przy użyciu akceleratora elektronów wzrost intensywności koloru wraz ze wzrostem dawki był niższy. W związku z tym do sterylizacji wyrobów medycznych wykonanych z poliwęglanu rekomenduje się stosowanie źródeł o większej szybkości dawkowania.

Pandemia Covid-19 spowodowała wzrost zainteresowania zastosowania sterylizacji radiacyjnej do wyrobów medycznych, które do tej pory były sterylizowane innymi metodami. Jednym z ważnych czynników branych pod uwagę podczas tego wyboru jest czas sterylizacji, który w przypadku sterylizacji radiacyjnej jest bardzo krótki. Badaniu poddano medyczne fartuchy ochronne wykonane w najbardziej popularnych polimerów tj. polipropylen (PP), polietylen (PE) oraz poli(tereftalan etylenu) (PET). Wykazano, że napromieniowanie dawkami do 50 kGy ma niewielki wpływ na odporność materiału na przenikanie cieczy (wody i substancji krwiopodobnych) oraz skuteczność filtrowania. Ubrania ochronne wykonane z PET i PE spełniały kluczowe parametry nawet po napromieniowaniu dawką dwukrotnie wyższą niż standardowa dawka sterylizacyjna. Fartuchy ochronne wykonane z PP mogą być warunkowo poddane procesowi sterylizacji radiacyjnej, jeśli wartość dodana wynikająca ze zmniejszenia zanieczyszczenia mikrobiologicznego zrekompensuje pogorszenie niektórych właściwości użytkowych, lub gdy nie ma możliwości zastosowania innego czynnika sterylizującego.

Kolejną tematyką, której nie mogło zabraknąć na konferencji ICARST, jest wykorzystanie promieniowania jonizującego do dezynfekcji oraz konsolidacji radiacyjnej obiektów dziedzictwa kulturowego. W tych zastosowaniach zdecydowanie częściej wykorzystywane są źródła promieniowania γ . W przypadku obiektów o dużych wymiarach jak obrazy, rzeźby wykonane z drewna, zabytkowe łodzie wydobyte z dna zbiorników wodnych czy fragmenty drewnianych ołtarzy przenikliwość promieniowania γ jest dużą zaletą pozwalającą na skuteczną dezynfekcję całego obiektu. W wielu przypadkach procesy dezynfekcji lub konsolidacji radiacyjnej są tylko małym fragmentem całego procesu konserwacji niekiedy bardzo cennych dzieł sztuki, który wymaga współpracy wielu ekspertów z różnych dziedzin. Warto wspomnieć, że promieniowanie jonizujące jest wykorzystane do konserwacji zabytków już ponad 50 lat, więc jest to już dobrze poznana technologia. Również podczas konferencji przypomniano niektóre z tych sztandarowych zastosowań promieniowania jonizującego do ochrony zabytków. Dr Laurent Cortella z unikalnego na skalę światową francuskiego ośrodka

ARC-Nucleart, gdzie przeprowadza się kompleksowy proces konserwacji dzieł sztuki przy zastosowaniu promieniowania γ , w swojej prezentacji pokazał, jak istotną sprawą podczas procesu napromieniowania takich obiektów zabytkowych jak mumia faraona Ramzesa II jest dozymetria. Przy napromieniowaniu w źródle promieniowania γ dużych obiektów o skomplikowanych kształtach uzyskanie jednorodnej dawki stanowi spore wyzwanie, dlatego przed przystąpieniem do właściwego procesu konieczne było przeprowadzenie całej serii eksperymentów na modelowych obiektach i wykorzystanie modelowania komputerowego.

Prezentacje konferencyjne dotyczące tej tematyki pozwoliły się zorientować, że różnorodność obiektów zabytkowych, do których konserwacji było wykorzystane promieniowanie jonizujące jest ogromna. To nie tylko papier, drewno, skóra, obrazy, obiekty etnograficzne takie jak zabytkowe stroje czy przedmioty, ale również kolekcje botaniczne i zoologiczne np. wypchane zwierzęta. To tylko dowodzi faktu, że jest to technologia już dobrze zbadana i w niektórych krajach (Francja, Brazylia, Rumunia) stosowana na naprawdę szeroką skalę.

Tym razem niewiele czasu poświęcono konsolidacji radiacyjnej, jedynie prof. Dilek Solpan Ozbay z Hacettepe University w Ankarze stosowała akrylan butylu i metakrylan metylu do szczepienia na powierzchni papieru Whatman w celu jego konsolidacji i zwiększenia jego trwałości.

Wciąż niewiele miejsca poświęca się zastosowaniu wiązki elektronów i promieniowania rentgenowskiego do konserwacji zabytków. Pierwszą przyczyną jest na pewno mała dostępność tych źródeł promieniowania w wiodących ośrodkach zajmujących się powyższą tematyką. W przypadku wykorzystania wysokoenergetycznych elektronów mały zasięg energii w napromieniowanym materiale ogranicza pole wykorzystania tej technologii do małych obiektów, o niższej gęstości, ale za to znacznie szybszy niż w przypadku promieniowania γ proces napromieniowania pozwala znacznie ograniczyć efekt oksydacyjny, który w przypadku materiałów bazujących na celulozie może prowadzić do większej ich degradacji pod wpływem promieniowania. Zbadanie możliwości jakie oferuje zastosowanie wiązki elektronów i promieniowania rentgenowskiego do konserwacji zabytków wydaje się być nowym wy-

Tabela 1. Tytuły referatów i posterów prezentowanych przez naukowców IChTJ podczas konferencji ICARST.
Table 1. Titles of papers and posters presented by INCT scientists at the ICARST conference.

Osoba prezentująca	Tytuł referatu
Andrzej G. Chmielewski	Radiation Technologies: Future is Today
Krystyna Cieśla	Modification of the Properties of the Films Formed in Starch: PVA System by Addition of Selected Agents Supported by Radiation Treatment
Tomasz Smoliński	Radiotracer Leak Detection Method Developed at INCT
Marcin Sudlitz	Application of Radiation Technology to Decomposition of Selected Organic Pollutants in Waters, Waste and Sludge
Yongxia Sun	Mechanism of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) Degradation in Aqueous Solution Under Ionization Radiation
Dagmara Chmielewska-Śmietanko	The Legacy of Maria Skłodowska-Curie on the Role of Women in Nuclear Science – INCT as an Example
Autor posteru	Tytuł posteru
Urszula Gryczka	Process control requirements for electron beam irradiation of liquids in flowing systems
Hanna Lewandowska-Siwkiewicz	Thermogravimetric Analysis of the Changes in Radiation-Aged Polyethylene Unprotected or Protected by Antioxidants
Marcin Rogowski	Electron Accelerator Based Technology for Ballast Water Treatment at Floating Dock
Magdalena Rzepna	Impact of Electron Beam Treatment on Aliphatic Biodegradable Polyesters for Medical Application
Yongxia Sun	Computer Simulation of Chloroquine Degradation in Aqueous Solution Under Electron Beam Irradiation
Dagmara Chmielewska-Śmietanko	Application of Electron Beam Irradiation for Inactivation of Invasive Marine Species and Harmful Bacteria in Ballast Water
Marta Walo	Functionalization of Polymers Dedicated to Gas Separation Applications by Radiation-Induced Grafting

zwaniem i obszarem, w którym powinny być prowadzone nowe prace.

Innym ważnym obszarem zastosowania technologii radiacyjnych, jest ochrona środowiska. Dotyczy to zastosowania akceleratorów elektronów [10-11], szczególnie po opracowaniu nowych akceleratorów elektronów o dużej mocy, które mogą być wykorzystywane do obróbki on-line ogromnych strumieni ciekłych lub gazowych zawierających zanieczyszczenia chemiczne, fizyczne i mikrobiologiczne. Instalacje takie były budowane w Polsce, Arabii Saudyjskiej, a także w Chinach. Obecnie akceleratory o niskiej energii elektronów są wykorzystywane w Korei Płd. do oczyszczania gazów z odorów i lotnych zanieczyszczeń organicznych.

Ważne dla rozwoju i wdrożenia opisywanych powyżej technologii są prace związane z wprowadzaniem w konstrukcji akceleratorów nowych rozwiązań wykorzystujących struktury nadprzewodnikowe, prowadzące do zwiększenia efektywności energetycznej tych urządzeń. Pracownicy Instytutu, który jest jednym z 9 centrów współpracujących z MAEA w zakresie technologii radiacyjnych (RAPID Collaborating Centre for Radiation Technology and Industrial Dosimetry), wprowadzonym też na Polską Mapę Infrastruktury badawczej, wygłosili 6 referatów i przedstawili 7 posterów.



Fot. 1. Rozmowy w kuluarach (fot. Krzysztof Dąbrowski)

Konferencja ICARST jest unikalnym i bardzo cennym wydarzeniem dla naukowców zajmujących się szeroko pojętym wykorzystaniem akceleratorów, źródeł promieniowania γ , radioizotopów i promieniowania rentgenowskiego w badaniach i zastosowaniach przemysłowych. Ze względu na swoją szeroką tematykę daje możliwość pełnego przeglądu aktualnych trendów i prowadzonych prac w tej dziedzinie. Kolejna edycja konferencji odbędzie się w kwietniu 2025 r.

Marta Walo, Urszula Gryczka,
Magdalena Rzepna,
Dagmara Chmielewska-Śmietanko,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura:

- [1] Chmielewski, A. G. (2016). Future developments in radiation processing. In Y. Sun & A.G. Chmielewski (Eds.), *Applications of ionizing radiation in materials processing* (vol. 2, pp. 501-516). Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology. <http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/publ/monogr/sun2017/sun-vol1.pdf>
- [2] Przybytniak, G. (2016). Crosslinking of polymers in radiation processing. In Y. Sun & A.G. Chmielewski (Eds.), *Applications of ionizing radiation in materials processing* (vol. 2, pp. 249-267). Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology.
- [3] Walo, M., Gryczka, U., Chmielewska-Śmietanko, D., Chmielewski, A. G., Licki, J., Sun, Y., Pawelec, A., Zhao, L., Bułka, S., Zimek, Z., & Sudlitz, M. (2019). New developments based on the INCT facilities. In A. G. Chmielewski & Z. Zimek (Eds.), *Electron accelerators for research, industry and environment – the INCT perspective* (pp. 89-98). Warsaw: Institute of Electronic Systems, Warsaw University of Technology.
- [4] Makuuchi, K., & Cheng, S. (2012). Application of radiation crosslinking. In *Radiation processing of polymer materials and its industrial applications* (pp. 134-163). New Jersey: Wiley.
- [5] Drobny, J. G. (2010). *Radiation technology for polymers*. Boca Raton, London, New York: CRC Press Taylor and Francis Group.
- [6] *Electron Accelerators for Research, Industry and Environment – the INCT Perspective*
- [7] Chmielewski, Andrzej G.; Zimek, Zbigniew (Eds.) Warsaw University of Technology — Warsaw, 2019; <https://zenodo.org/record/3237554#.YyYMxaTP02x>
- [8] Güven, O. (2016). Established and emerging applications of radiation-induced graft polymerization. In Y. Sun & A.G. Chmielewski (Eds.), *Applications of ionizing radiation in materials processing* (vol. 2, pp. 355-373). Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology.
- [9] General standard for Irradiated Food. Codex Stan 106-1983, Rev. 1-2003
- [10] Rivka Barkai-Golan, Peter A. Follett. *Irradiation for Quality Improvement, microbial Safety and Phytosanitation of Fresh Products*. Academic Press, Elsevier, 2017
- [11] CHMIELEWSKI, A.G., HAN BUMSOO, *Electron Beam Technology for Environmental*
- [12] *Pollution Control*, Top Curr Chem. (Z) 374 (2016) 68 (30 pp.). <https://doi.org/10.1007/s41061-016-0069-4>
- [13] CHMIELEWSKI, A.G., HAN BUMSOO, SABHARWAL, S., SAMPA, M. H. *Environmental Protection: Reducing Environmental Pollution*, Editor: Ehud Greenspan, *Encyclopedia of Nuclear Energy*, Elsevier, 2021, 520-527, ISBN 9780128197325, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12331-0>.