

# POCZĄTKI I ROZWÓJ BADAŃ RADIACYJNYCH W IBJ NA ŻERANIU

## *Beginnings and the development of radiation research at the Institute of Nuclear Research INR, Żeran*

Wacław Stachowicz

W artykule opisano początki chemii radiacyjnej w IBJ, w tym pierwsze źródła promieniowania, pierwsze badania napromieniowanych związków nieorganicznych i organicznych. Omówiono instalację komercyjnego źródła promieniowania i liniowego akceleratora elektronów oraz rozszerzony w związku z tym program badań. Prace poznawcze obejmowały badanie roztworów soli nieorganicznych i węglowodorów alifatycznych, a oparte były na technice radiolizy impulsowej i wykorzystaniu niskich temperatur (ciekły azot, ciekły hel). Zostały rozwinięte oparte na technice EPR badania sterylizowanych radiacyjnie przeszczepów kostnych. Wdrożono sterylizację radiacyjną sprzętu medycznego oraz prowadzono badanie napromieniowanych polimerów, w tym szczepienie folii monomerami, sieciowanie i degradację. Efektem tych prac było wdrożenie i uruchomienie produkcji rur i taśm termokurczliwych.

First step in radiation chemistry including construction of home-made Co-60 irradiation sources and the preliminary experiments on inorganic and organic systems are described. Installation of commercial Co-60 irradiator and linear electron accelerator followed by extended research program is discussed. Basic studies were focused on liquid solutions of inorganic salts and aliphatic hydrocarbon based on pulse radiolysis and low temperature irradiations (liquid nitrogen and helium). The EPR study on radiation sterilization of bone grafts was developed. Radiation sterilization of medical devices was implanted while polymer study i.e. radiation induced grafting of foils with monomers, cross-linking and degradation of irradiated polymers were extensively studied resulting in the implementation and further production of shrinkable tubes and tapes.

**Słowa kluczowe:** badania radiacyjne, poznawcze, aplikacyjne i wdrożeniowe

**Keywords:** radiation research, basic, applied and implemented

Badania chemiczne prowadzone w obszarze tematyki jądrowej w pierwszych latach działalności Instytutu Badań Jądrowych na Żeraniu (1955-1960) koncentrowały się głównie na problematyce radiochemicznej i kierunkach pokrewnych. Zainteresowanie radiochemią było uzasadnione, ponieważ znajomość procesów jądrowych i przemian izotopowych stanowi klucz do rozwoju technologii jądrowych. Poza tym pojawiło się już sporo wydawnictw poświęconych radiochemii, która poczyniła ogromne postępy dzięki badaniom prowadzonym w Stanach Zjednoczonych w ramach słynnego programu Manhattan Project. Natomiast mniej uwagi poświęcano tematyce radiacyjnej, której istotą jest badanie procesów *stricte* chemicznych bez udziału izotopów promieniotwórczych, zachodzących w materiałach poddawanych działaniu silnego promieniowania jonizującego. Szybki rozwój techniki reaktorowej i wysokoenergetycznych technik akceleratorowych spowodował wzrost zainteresowania chemią radiacyjną. Bez znajomości procesów radiacyjnych i możliwości modyfikowania ich nie byłby możliwy dalszy rozwój atomistyki (np. problemy materiałowe). Badania wykazały, że promieniowanie stymuluje w napromieniowanych materiałach zmiany, które mogą prowadzić do wytwarzania zupełnie nowych produktów o unikalnych własnościach. Działalność naukowa w zakresie chemii radiacyjnej zosta-

ła zapoczątkowana w Ośrodku Żerańskim w roku 1959. Wówczas to w Instytucie Badań Jądrowych (IBJ) powołano do życia Samodzielną Pracownię Chemii Radiacyjnej. Kierownikiem pracowni został prof. dr Stefan Minc, profesor na Wydziale Chemicznym Uniwersytetu Warszawskiego. Ośrodek Żerański Instytutu znajdował się w stadium rozbudowy, a działające zakłady naukowe zajmowały głównie zaadaptowane do celów laboratoryjnych baraki, pozostałość po budowniczych elektrociepłowni Żerań. Tylko nieliczne mieściły się w częściowo wykończonych, wzniesionych dla nich budynkach. Pracownię chemii radiacyjnej umieszczono prowizorycznie w niewielkim budynku nazywanym ze względu na charakterystyczny kształt "kościółkiem". Budynek zbudowano z myślą o zainstalowaniu w nim kolumn do oczyszczania związków uranu ekstrahowanych z rodzimych rud uranowych pochodzących z okolicy Kowar. Z koncepcji tej zaniechano. Główną część budynku stanowiło wysokie pomieszczenie na planie kwadratu, do którego przylegało skromne zaplecze. Budynek przetrwał do dziś, choć nie jest z zewnątrz widoczny. Stanowi część kompleksu Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych. Ustawione są w nim źródła promieniowania gamma C-60, wykorzystywane w badaniach radiacyjnych i radiobiologicznych Instytutu oraz przez użytkowników zewnętrznych. W pracowni znalazło za-

trudnienie kilkoro absolwentów uniwersytetów i politechnik krajowych; niektórzy z nich już wcześniej pracowali krótko w innych jednostkach badawczych Instytutu. Jednak żadna z tych osób nie miała wcześniej styczności z problematyką chemii radiacyjnej. Głównym zadaniem zespołu było zatem szybkie przyswojenie sobie podstaw i praktyki laboratoryjnej w zakresie chemii radiacyjnej, dziedziny wówczas w kraju nieznannej i nie wykładanej na uczelniach. Ułatwienie stanowił łatwy dostęp pracowników IBJ do obcojęzycznej literatury przedmiotu, w tym do wydawanych w ograniczonym nakładzie raportów wewnętrznych zagranicznych ośrodków badawczych, zawierających cenne, niepublikowane informacje z zakresu praktyki chemii i techniki radiacyjnej. Materiały te były dostarczane przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej w Wiedniu, z którą Polska współpracowała będąc jednym z jej państw członkowskich. Były one dostępne w Centralnej bibliotece Pełnomocnika Rządu ds. Energii Atomowej w PKiN w Warszawie lub przekazywane do biblioteki IBJ. Instytut Badań Jądrowych był także, dzięki kontaktom z MAEA, jedną z nielicznych w Polsce placówek naukowych utrzymujących bezpośrednie kontakty zagraniczne, nie tylko z ośrodkami naukowymi naszego wschodniego sąsiada. Pracownicy Instytutu mieli już wówczas możliwość wyjazdu na kilkumiesięczne i roczne staże szkoleniowe do krajów zachodnich.

Zasadniczym warunkiem prowadzenia badań radiacyjnych w kraju była możliwość napromieniowania próbek wysokimi dawkami promieniowania jonizującego, czyli posiadanie np. wysokoaktywnych źródeł izotopowych promieniowania gamma. Takie źródła emitujące silne strumienie promieniowania gamma stymulują w napromieniowanych materiałach zmiany fizyko-chemiczne, które mogą być bezpośrednio lub pośrednio obserwowane czułymi metodami analitycznymi. Tego rodzaju źródeł w Polsce nie było i mało kto o nich słyszał. Nie był również możliwy z uwagi na embargo zakup tego rodzaju sprzętu za granicą. W tym czasie, być może z myślą o wykorzystaniu do celów radiacyjnych, sprowadzono z byłego ZSRR stalową kapsułę zawierającą wysokoaktywny izotop  $^{60}\text{Co}$  emitujący silny strumień fotonów o energii 1,25 MeV. Kapsuła została dostarczona w ciężkim pojemniku ołowianym, którego rozładowanie nastęrczało spore kłopoty. W warsztacie IBJ zbudowano w rekordowo krótkim czasie konstrukcję stalową z ciężką osłoną ołowianą i pionowym kanałem, na dnie którego wmontowano trwale ową kapsułę z promieniotwórczym izotopem kobaltu. W ten sposób powstało pierwsze w kraju źródło promieniowania jonizującego. Aktywność źródła wynosiła wprawdzie tylko 100 kCi, ale umieszczając próbkę na dnie szklanej zlewki ustawionej bezpośrednio na stalowej osłonie kapsuły można było uzyskać stosunkowo wysoką moc dawki promieniowania. Źródło miało ciężką, podnoszoną ręcznie za pomocą specjalnych uchwytów ołowianą pokrywę, działającą na zasadzie dźwigni prostej. Zlewkę z próbką wprowadzano do kanału przy pomocy specjalnie skonstruowanego kątownego chwytaka i ustawiano na kapsule. Badania próbek napromieniowanych w taki sposób prowadzili pod kierunkiem prof. Minca i jego

współpracowników z Uniwersytetu Warszawskiego Teresa Achmatowicz, Teresa Bryl-Sandelewska, Juliusz Siejka i Eugeniusz Weżranowski. Ręczne wkładanie i wyjmowanie próbek było operacją w znacznym stopniu ryzykowną, ponieważ przy otwartej pokrywie niewłaściwie ustawiony względem źródła operator mógł być narażony na bezpośrednie działanie promieniowania. Dlatego wykonywano tę operację tak szybko, jak było to możliwe, a operator działał zawsze w pozycji kucznej w stosunku do źródła, aby zapobiec bezpośredniemu napromieniowaniu. Asystowało przy każdym otwarciu źródła dwóch dozymetrystów, kontrolujących na bieżąco poziom promieniowania. Dzięki temu źródłu stało się możliwe wykonanie pierwszych badań radiacyjnych w kraju. Wkrótce jednak uznano źródło, na wniosek dozymetrii, za zbyt niebezpieczne i po kilku miesiącach eksploatacji zostało ono zlikwidowane. Zarówno budowa, jak i późniejsza eksploatacja źródła stanowią wymowne świadectwo niezwykłego entuzjazmu i zaangażowania ówczesnych pracowników IBJ w rozwój badań radiacyjnych. Szczęśliwym trafem już po niedługim czasie pracownia otrzymała zupełnie niespodziewanie nowoczesne, laboratoryjne źródło promieniowania gamma *Gammacell 220* skonstruowane i wyprodukowane niedawno w Kanadzie. Było to źródło wygodne w obsłudze i co najważniejsze bezpieczne w użyciu. Wyposażono je w system automatycznego sterowania, gwarantujący bezpieczne wprowadzanie próbek do strefy napromieniowania w ruchomej komorze. Kiedy komora była w górnej pozycji dostęp do niej był bezpieczny. Dopiero po zamknięciu komory można było opuszczać komorę do strefy napromieniowania zabezpieczonej grubą osłoną ołowianą. Jednorodność napromieniowania uzyskiwano dzięki temu, że emitujący promieniowanie kobalt był rozmieszczony w kilkunastu stalowych gilzach ustawionych symetrycznie wokół komory. Aktywność źródła wynosiła ok. 2000 kCi. Oddanie źródła do użytku umożliwiło systematyczne prowadzenie badań radiacyjnych w rozszerzonym zakresie. Warto przypomnieć, w jaki sposób to nowoczesne źródło promieniowania jonizującego znalazło się w IBJ. Zostało wcześniej ustawione jako eksponat na stoisku kanadyjskim, na Międzynarodowych Targach Poznańskich. Po zakończeniu Targów okazało się, że nie ma warunków dla bezpiecznego i zgodnego z międzynarodowymi regulacjami odtransportowania źródła z powrotem za granicę. Okazało się przy tym, że przywieziono je do Polski bez wymaganych zabezpieczeń. W tej sytuacji producent zaproponował stronie polskiej sprzedaż urządzenia pomimo obowiązujących ograniczeń formalnych. W taki właśnie sposób to nowoczesne źródło promieniowania gamma znalazło się w Instytucie. Warto dodać, że współcześnie oferowane laboratoryjne źródła promieniowania gamma, oferując wprawdzie wyższą aktywność, sterowanie komputerowe oraz kontrolę dawki promieniowania, działają nadal na tej samej zasadzie. W okresie dwóch lat działalności (1959-1960) w samodzielnej pracowni wykonano szereg interesujących prac dotyczących modyfikacji radiacyjnej polimerów. Określono wydajności radiacyjne wody utlenionej w roztworach związków nieorganicznych, przeprowadzono radiacyjne nitrowa-

nie węglowodorów aromatycznych, badano radiacyjnie indukowaną jonizację gazów. Wyniki tych pionierskich badań radiacyjnych można znaleźć w postaci publikacji zamieszczonych we wczesnych wydawnictwach zbiorczych Instytutu.

Kolejny ważny etap rozwoju badań radiacyjnych w Instytucie to ukończenie w 1961 r. budynku przystosowanego do prowadzenia badań w tym zakresie. Samodzielne Laboratorium zostało przekształcone w VII Zakład Chemii Radiacyjnej IBJ pod kierownictwem prof. Stefana Minca, dzięki którego zapobiegliwości i zdolnościom organizacyjnym jednostka ta powstała i mogła się teraz prężnie rozwijać.



Fot. 1. Budynek Zakładu VII (z archiwum IChTJ)

Photo 1. (VII) Plant Building

Personel nowopowstałego zakładu znacznie powiększono do ponad dwudziestu osób wliczając administrację, mechaników i szklarza. Zaczęło funkcjonować kilka pracowni. Radiacyjnymi badaniami polimerów kierowali wówczas prof. A. Orszagh oraz jego żona doc. J. Żurakowska - Orszagh, a doc. Z. Kęcki był kierownikiem zespołu prowadzącego badania radiacyjne metodami spektroskopowymi, zaś prof. W. Kołos i doc. L. Stolarczyk zgłębiali zagadnienia radiacyjnej chemii teoretycznej. Wymienione osoby były nadal pracownikami etatowymi Uniwersytetu Warszawskiego i bywały w Zakładzie tylko w określone dni tygodnia, podobnie jak prof. S. Minc, który pozostał na stanowisku kierownika katedry elektrochemii na Uniwersytecie Warszawskim. Wśród stałych pracowników Zakładu duże doświadczenie praktyczne w zakresie technologii polimerów posiadał inż. W. Zieliński, przed wojną pracownik Instytutu Gumowego w Warszawie, a w zakresie elektrochemii i polarografii dr Z. P. Zagórski, który pracował wcześniej na Uniwersytecie Poznańskim i w zakładach Centra. Uniwersytecki staż asystencki w zakresie chemii fizycznej oraz wcześniejszą pracę w IBJ mieli za sobą R. Broszkiewicz, W. Stachowicz i H. Wincel. Zakład Chemii Radiacyjnej został całkiem nieźle wyposażony w importowaną aparaturę badawczą pomiarową. Stanowiły ją, między innymi, spektrometry uv-vis oraz podczerwieni, chromatograf gazowy, aparatura i urządzenia do badania własności polimerów. Nieco później otrzymał zakład spektrometr mas oraz spektrometr EPR. Zapoczątkowano i rozwijano szeroki wachlarz prac, których celem było pogłębienie wiedzy o mechanizmach przemian radiacyjnych oraz wykorzystanie promieniowania do celów praktycznych.

I tak zbadano warunki skutecznego stosowania techniki radiacyjnej do sterylizacji sprzętu medycznego jednokrotnego i wielokrotnego użytku oraz leków i popularnych farmaceutyków. Inne prace dotyczyły możliwości wykorzystania promieniowania jonizującego do konserwacji produktów żywnościowych i higienizacji kosmetyków. Bardzo wiele uwagi poświęcano zagadnieniu modyfikacji radiacyjnej polimerów. Badano procesy sieciowania i starzenia polimerów użytkowych oraz ich kompozycji po napromieniowaniu. Kierunki te, a szczególnie badania polimerowe były później w Zakładzie rozwijane i wdrażane w skali technicznej. Inż. Władysław Ney, kierownik biura konstrukcyjnego IBJ opracował w oparciu o założenia techniczne przygotowane przez pracowników Zakładu, projekty dwóch oryginalnych źródeł promieniowania jonizującego z promieniotwórczym kobaltem dostarczonym z Rosji. Jedno źródło przeznaczone było do napromieniowania większych obiektów, a drugie do prowadzenia pomiarów spektroskopowych *on line* w czasie napromieniowania. Oba źródła wykonano w warsztatach instytutowych i ustawiono w „kościółku”. Źródło MINEYZA w osłonie ołowianej, do którego założenia przygotował prof. Zagórski było wyposażone w labirynt optyczny umożliwiający obserwację i pomiar spektroskopowy w zakresie uv-vis transparentnych próbek roztworów podczas napromieniowania. Badania tego rodzaju nie znalazły w praktyce zastosowania z uwagi na trudne do przewidzenia wcześniej zakłócenia. Natomiast było z powodzeniem wykorzystywane do napromieniowania próbek w polu promieniowania o zmiennej intensywności. Drugie źródło o nazwie MINEYOLA z osłoną betonową, z dużą prostokątną komorą napromieniowania o objętości ok. 0,5 m<sup>3</sup> umożliwia dostosowanie pola promieniowania do wielkości napromieniowanego obiektu. Dzięki temu mogą być w tym źródle napromieniowane duże pojemniki i np. aparatura szklana w której przebiega proces radiacyjny. Źródło to jest nadal w użyciu. Bogaty arsenał izotopowych źródeł promieniowania oraz dobre wyposażenie w aparaturę badawczą umożliwiały prowadzenie w Zakładzie Badań Radiacyjnych na poziomie nieodbiegającym od najwyższych światowych standardów. Opracowana metoda separacji z napromienianych próbek gazowych i ciekłych produktów radiolizy o różnych masach cząsteczkowych umożliwiła jakościową i ilościową analizę cząsteczkowych produktów radiolizy. Na tej podstawie wyciągane są wnioski o mechanizmie przemian radiacyjnych. Zakres prowadzonych prac był szeroki i obejmował zagadnienia radiolizy wody i roztworów wodnych, kwasu azotowego i azotanów, związków kompleksowych i amoniakalnych jak również problematykę dozymetrii promieniowania jonizującego (zespoły prof. Z. P. Zagórskiego i R. Broszkiewicza). Badano ciekłe węglowodory alifatyczne jako układy modelowe poliolefin oraz wyższe węglowodory dwupierścieniowe jako potencjalne moderatory i chłodziwa małych reaktorów jądrowych (W. Stachowicz). Opracowano zespołowo opatentowaną później metodę utleniania radiacyjnego ropy naftowej. Za pomocą wysokociśnieniowej spektrometrii mas badano reakcje jonowo-cząsteczkowe w mieszaninach gazowych szukając analogii do procesów ra-

diacyjnych w układach skondensowanych (zespół H. Wincla). Na szczególną uwagę zasługują radiacyjne badania związków wysoko-cząsteczkowych, w tym radiacyjna homo-polimeryzacja monomerów, szczepienie radiacyjne monomerów na foliach i włóknach polimerowych oraz celulozowych (zespół T. Achmatowicz). W 1968 r. została zapoczątkowana wieloletnia współpraca Zakładu Chemii Radiacyjnej z prof. K. Ostrowskim i dr A. Dziedzic-Goćławską z Akademii Medycznej w Warszawie. Ze strony Zakładu we współpracy uczestniczył zespół spektrometrii EPR reprezentowany przez W. Stachowicza i J. Michalika. Współpraca obejmowała badanie metodą EPR napromieniowanych tkanek kostnych wypreparowanych na Akademię Medyczną oraz sterylizację radiacyjną przeszczepów tkankowych. Były to badania o charakterze zarówno poznawczym jak i praktycznym. Metodą EPR określono stopień krystaliczności tkanki kostnej, istotny parametr w diagnostyce chorób kostnych. Pomiar EPR umożliwił ilościowe zbadanie biologicznej przebudowy przeszczepu kostnego w funkcji czasu w żywych organizmach oraz opracowanie dozymetrii kostnej w zakresie średnich i niskich dawek (dozymetria awaryjna). Przeprowadzono tą metodą badanie kinetyki gojenia ran kostnych, zwapnienia arteriosklerotyczne, zwapnienie szyszynki mózgowej. Współpraca trwała nieprzerwanie do roku 2002, a jej owocem jest 60 publikacji w renomowanych, zagranicznych czasopismach specjalistycznych.

W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku chemia radiacyjna na świecie poczyniła duże postępy. Aby wnikać w istotę procesu radiacyjnego należało móc badać nietrwale w temperaturze pokojowej przejściowe produkty radiolizy. Obok techniki głębokiego zamrażania próbek (stabilizacja nietrwałych produktów przejściowych np. rodników w stałych matrycach), rozwijano techniki pomiarów impulsowych, pozwalające uchwycić produkty przejściowe radiolizy w skali mikrosekundowej. Warunkiem realizacji tych nowych kierunków badań było opanowanie analitycznych technik kriometrycznych w zakresie temperatur ciekłego azotu i helu z jednej strony oraz budowa urządzeń generujących mikrosekundowe impulsy promieniowania jonizującego dużej mocy. Pierwsze badania niskotemperaturowe próbek napromieniowanych w ciekłym azocie przeprowadzono w roku 1964 na spektrometrze EPR (W. Stachowicz, S. Kosek, J. Michalik). Stanowiące przygotowanie do badań radiacyjnych fotochemiczne pomiary impulsowe prowadził prof. Zagórki z zespołem. W 1966 r. została podjęta decyzja o zakupie impulsowego akceleratora elektronów dla Zakładu. Argumentem był szybki rozwój radiacyjnych technik akceleratorowych na świecie. Akcelerator stanowił ważne narzędzie dalszego, szeroko rozumianego rozwoju podstawowych i stosowanych badań radiacyjnych. Liniowy, dwusekcyjny akcelerator elektronów skonstruowany z uwzględnieniem założeń przygotowanych przez prof. Z. P. Zagórskiego i zespół zakładowy, został zbudowany w Instytucie Jefremowa w ówczesnym Leningradzie (dzisiaj St. Petersburg) na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Akcelerator po złożeniu w Petersburgu został tam dokładnie przetestowany przez producenta oraz inż. Z. Zimka i członków jego zespołu. W tym miejscu trzeba przypomnieć, że w roku 1969 nastąpiła zmiana

kierownictwa Zakładu Chemii Radiacyjnej. Kierownikiem Zakładu został doc. Henryk Wincel, a jego zastępcą dr Wacław Stachowicz. Wraz z prof. S. Mincem odeszli z Zakładu doc. Z. Kęcki i doc. L. Stolarczyk, a wcześniej prof. A. Orsagh i jego żona oraz prof. W. Kołos. Zmiana kierownictwa nie zakłóciła na szczęście kontynuacji prac w Zakładzie. Akcelerator po przetestowaniu w Petersburgu został przewieziony w częściach do Zakładu i tu zmontowany i uruchomiony w roku 1972 w przygotowanym dla niego pawilonie. Jest to akcelerator emitujący w impulsach mikrosekundowych wiązki elektronów o energii 5 MeV, 10 MeV lub 13 MeV. Moc prądu w wiązce wynosi ok. 9 kW, co w przybliżeniu odpowiada mocy źródła kobaltowego o aktywności ok. 600.000 kCi. Pojedyncze, mikrosekundowe impulsy emitowane wzdłuż osi akceleratora zastosowano do impulsowych pomiarów spektroskopowych w roztworach wodnych na zestawie opracowanym przez prof. Z. P. Zagórskiego i dr Z. Zimka. Natomiast odchylona pod kątem 270° wiązka elektronów była wykorzystywana do badań o charakterze aplikacyjnym, a następnie do zastosowań przemysłowych (sterylizacja, modyfikacja polimerów itp.). Wiazka elektronów o szerokości 60 cm jest przemieszczana nad transporterem taśmowym z pojemnikami zawierającymi napromieniowane materiały lub produkty z szybkością zaprogramowaną w funkcji dawki. Akcelerator ten o symbolu LAE- 13/9 jest wciąż wykorzystywany w Zakładzie. Prace na akceleratorze zostały zapoczątkowane natychmiast po jego uruchomieniu. Opracowano przede wszystkim dozymetrię dla wiązki prostej i przemieszczanej akceleratora (dr Z. Górńska-Bułhak), zbudowano zestaw radiolizy impulsowej, wykorzystując doświadczenie zdobyte na aparaturze fleszowej (prof. Z. P. Zagórski, J. Grodkowski). Opracowano oryginalną metodę wykorzystania światła Czerenkowa do celów analitycznych, np. do badania układów nie transparentnych (dr inż. Z. Zimek). Przeprowadzono badania odporności radiacyjnej materiałów polimerowych, z których wyrabiane są utensylia medyczne (dr T. Achmatowicz, dr Bryl-Sandelewska, dr Z. Bułhak). Przygotowano listę tworzyw, odpowiednich do wytwarzania sprzętu medycznego sterylizowanego radiacyjnie. Uruchomienie akceleratora stanowiło krok milowy w rozwoju radiacyjnych badań podstawowych (radioliza impulsowa) i przyczyniło się do szybkiego postępu rozwoju radiacyjnych prac wdrożeniowych. Metodą radiolizy impulsowej badano polarne i niepolarne roztwory wodne w tym roztwory barwników, kwasu azotowego i azotanów, związki kompleksowe. Akcelerator umożliwił też zainstalowanie aparatury kriogenicznej do badań radiacyjnych w temperaturze ciekłego helu z detekcją EPR. Badano tą metodą elektrony i rodniki stabilizowane w matrycach węglowodorowych. Spektakularnym przykładem szybkiego wykorzystania akceleratora do celów aplikacyjnych jest sterylizacja radiacyjna utensyliów medycznych jednokrotnego zastosowania, która została wdrożona już w roku 1974. Wdrożenie było poprzedzone badaniami odporności radiacyjnej polimerów stosowanych do wyrobu tego sprzętu, testami mikrobiologicznymi, precyzyjnym określeniem dawki głębinowej w opakowaniach jednostkowych oraz w paczkach ze sprzętem, jak również badaniem szczelności opakowań. W badaniach uczestniczyli T. Achmatowicz, Z. Bułhak, T. Bryl-Sandelewska, P. Panta, S. Kołyga i inni.

Po niemal dziesięcioletniej eksploatacji aktywność źródła Gammacell 220 obniżyła się znacznie (okres półtrwania  $^{60}\text{Co}$  wynosi ok. 5 lat), co utrudniało realizację prac szczególnie aplikacyjno-wdrożeniowych, wymagających często stosowania wysokich dawek promieniowania. Podjęto starania o zakup nowego źródła. W roku 1976 zostało zainstalowane w Zakładzie źródło wielkolaboratoryjne źródło promieniowania gamma *Issledovatel* wyprodukowane w Rosji (ZSRR) o aktywności wyjściowej 16.500 Ci, umożliwiające napromieniowanie próbek wysokimi dawkami w stosunkowo krótkim czasie. Rozwinięcie szerokiej akcji informacyjno-promocyjnej przyczyniło się do zainteresowania krajowych wytwórców utensyliów medycznych jednokrotnego użytku z tworzyw sztucznych działających na terenie kraju. Walorem sterylizacji radiacyjnej jest jej skuteczność i czystość (brak czynników chemicznych) oraz niska temperatura procesu. Sterylizacja radiacyjna sprzętu medycznego prowadzona na akceleratorze osiągnęła wkrótce poziom ok. 10 mln sztuk utensyliów rocznie. Drugim, równie spektakularnym przykładem wdrożenia technologii radiacyjnej na akceleratorze opracowanej samodzielnie w Zakładzie było wytwarzanie rur termokurczliwych pod kierunkiem dr Andrzeja Robalewskiego i jego zespołu. Dr Robalewski opracował oryginalną koncepcję maszyny do rozdmuchu rur termokurczliwych. Po pracowitym okresie udanych prób laboratoryjnych zostało zbudowane pod okiem dr Robalewskiego prototypowe urządzenie z głowicami umożliwiającymi wytwarzanie rur małych i średnich wymiarów. W 1979 r. na tym urządzeniu zaczęto produkować rury o jakości nie odbiegającej od jakości analogicznych wyrobów wytwarzanych zagranicą. Rury termokurczliwe są stosowane w elektrotechnice i dzięki konkurencyjnej cenie znalazły odbiorców w kraju. Po zebraniu doświadczeń i udoskonalaniu urządzenia w okresie kilkuletniej produkcji prototypowej, została zbudowana we współpracy z OBR Energokabel w Ożarowie Mazowieckim maszyna do wytłaczania i rozdmuchu rur termokurczliwych o rozszerzonej skali wymiarów w skali przemysłowej. Opracowano też sprawny system przewijania rur pod wiązką elektronów z akceleratora słowem, kompletną technologię wytwarzania tych wyrobów. Podjęto decyzję o wdrożeniu produkcji rur termokurczliwych na tego rodzaju urządzeniach, najpierw w Instytucie, a następnie w Zakładach Urządzeń Technicznych w Człuchowie. Jeden zestaw produkcyjny zainstalowano w Instytucie, drugi w Człuchowie. Po rozruchu nowych urządzeń produkcja rur termokurczliwych na Żeraniu osiągnęła poziom 800.000 mb rur rocznie. Zakłady w Człuchowie zakupiły odpowiedni akcelerator rosyjski ІЛУ-6 emitujący wiązkę elektronów o energii 2 MeV i mocy w wiązce 20 kW. Produkcja rur termokurczliwych oparta na technologii opracowanej w Instytucie ruszyła tam w roku 1982 i jest do dziś kontynuowana. Z końcem lat siedemdziesiątych rozpoczęto w Zakładzie prace, których celem było opracowanie technologii wytwarzania taśm termokurczliwych, stosowanych do uszczelniania rur i elektrycznych kabli podziemnych. Prace konstrukcyjne i testowanie wyrobu prowadził zespół pod kierunkiem dr Elżbiety Jaworskiej. Już po niedługim czasie zaczęto na prototypowych urządzeniach wielkolaborato-

ryjnych produkować do 10.000 mb tych wyrobów rocznie. Odbiorcami tych wyrobów były górnictwo węglowe i telekomunikacja. Ten sam zespół opracował technologię modyfikacji folii opakowaniowych do wyrobu worków na nawozy sztuczne. Napromieniowana odpowiednią dawką folia ma wytrzymałość wyższą o ok. 30%. Prowadzono też w Zakładzie z powodzeniem próby otrzymywania hydrofobowych drewno-plastyków o wysokiej wytrzymałości mechanicznej, utwardzania polimerowych powłok ochronnych na drewnie, metalach i tworzywach oraz powłok lakierniczych. Stwierdzono, że zdegradowany radiacyjnie proszek teflonowy jest świetnym i trwałym materiałem smarowym. Badania te prowadził zespół dr Teresy Achmatowicz. Dr Przemysław Panta opracował radiacyjną technologię modyfikacji struktur półprzewodnikowych, zwiększającą szybkość ich odpowiedzi. Metoda została wdrożona, a struktury półprzewodnikowe stosowane np. do produkcji diod, tyrystorów i tranzystorów były w Zakładzie systematycznie modyfikowane dla ZE Lamina w Piasecznie oraz Unitra-Cemi w Warszawie. Działalność Zakładu w zakresie rozwijania techniki akceleratorowej oraz wdrażania akceleratorowych technologii radiacyjnych stała się znana i była ceniona na forum międzynarodowym. Widząc perspektywę dalszego rozwoju tej dziedziny Instytut złożył do MAEA w Wiedniu wniosek o sfinansowanie w ramach programu kooperacji technicznej drugiego akceleratora elektronów przystosowanego do rozwijania technologii radiacyjnych, również metody oczyszczania gazów kominowych od tlenków azotu i siarki. W Zakładzie prowadzono wcześniej prace rozpoznawcze w tym zakresie. Wniosek zatwierdzono. MAEA sfinansowała zakup dla Zakładu rezonansowego akceleratora ІЛУ-6 2M z wiązką elektronów o energii 2 MeV i mocy w wiązce 20 kW Akcelerator jest nowszą wersją przemysłowego modelu akceleratora zainstalowanego w Człuchowie. Został zainstalowany w betonowym bunkrze w obszernej hali technologicznej dobudowanego do Zakładu skrzydła z pomieszczeniami laboratoryjnymi. Wyposażono nowy akcelerator w trzy niezależne systemy do napromieniowania wyrobów pod wiązką elektronów zaprojektowane w Zakładzie. Są to: taśmowy transporter rolkowy w układzie zamkniętym do napromieniowania obiektów w pojemnikach oraz dwa niezależne układy – jeden do przewijania rur i kabli, a drugi do przewijania taśm i folii termokurczliwych. Przewidziano możliwość wymiany jednego systemu transportowego na inny. Rury i taśmy przeznaczone do wyrobu materiałów termokurczliwych wytłaczano w Zakładzie na specjalnie wykonanych głowicach, stosując wyselekcjonowany granulaty polietylenowy. Instytut został w tym czasie liczącym się w kraju producentem wyrobów termokurczliwych. Był to koniec lat siedemdziesiątych. Zakład wkraczał w kolejny okres działalności obfitujący w dalsze osiągnięcia naukowe i wdrożeniowe.

*dr Wacław Stachowicz,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*