



Andrzej G. Chmielewski  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

## TECHNIKI JĄDROWE I RADIACYJNE - STAN OBECNY ORAZ KIERUNKI ROZWOJU

### 1. WSTĘP

Burzliwy rozwój technologii jądrowych i radiacyjnych nastąpił równoległe z rozwojem energetyki jądrowej. Niestety był również poprzędzony jak wiele technologii hi-tech przez rozwój zastosowań militarnych.

Powyższy fakt oraz niedopuszczalna awaria, która nastąpiła w czarnobylskiej EJ, spowodowały opory społeczne oraz sprzeciwy environmentalistów w stosunku do stosowania izotopów promieniotwórczych oraz źródeł promieniowania.

Mozna jednak wyrazić opinię, że obserwowane są pozytywne zmiany w tej materii. Zaostrzone zostały przepisy prawne oraz kontrola urządzeń wykorzystujących promieniowanie, warunki bezpieczeństwa są bardziej ostre niż wymagane w przypadku innych działań technicznych.

Jednocześnie omawiane technologie udowodniły, że są w wielu przypadkach trudne do zastąpienia. Dużą rolę w ich rozpowszechnianiu odegrały szerzej znane, nie omawiane w tym referacie, zastosowania medyczne. Aparaty rentgenowskie, terapeutyczne, źródła promieniowania (Co-60 i akceleratory), radiofarmaceutyki są niezbędnym pomocnikiem personelu medycznego. Trzeba podkreślić jednak, że zachwianie opinii do zastosowań technologii jądrowych i radiacyjnych nigdy nie dotyczyło wykorzystującego je od lat personelu inżynierskiego w przemyśle.

Innym zaobserwowanym zjawiskiem, dotyczącym kadry naukowej oraz technicznej wdrażającej techniki jądrowe, jest sposób podejścia do rozwiązywanej problematyki. Skończyła się fascynacja metodologią, a decydującą rolę zaczął odgrywać problem, którego rozwiązaniu służy metoda czy technologia. Hasło nowoczesności utożsamiane w latach pięćdziesiątych z przymiotnikiem "jądrowy" straciło swoją moc. Technika jądrowa czy radiacyjna musi wygrać konkurencję z metodami konwencjonalnymi. Profesjonalnie wykonana analiza techniczno-ekonomiczna musi wykazać jej przewagę przed wdrożeniem lub zastosowaniem. Proponowana technologia musi być przyjazna dla człowieka i jego środowiska naturalnego. Aspekt ten szczęśliwie może być bezdyskusyjnie spełniony w przypadku większości omawianych w tym referacie zastosowań.

### 2. POLSKA A ŚWIAT

Podobnie jak w przypadku innych dziedzin, nauka polska nie straciła kontaktu ze światem. Wymiana specjalistów była zawsze bardzo ożywiona, niestety wielu z polskich atomistów zrobiło karierę w ośrodkach zagranicznych, gdzie podjęli stałą pracę. W ostatnich latach mimo trudnego pieniądza inwestycyjnego, możliwe stało się wykorzystanie najlepszych komponentów oraz urządzeń w rozwiązaniach polskich. Ich sprzedaż eksportowa, misje eksperckie oraz szkolenie specjalistów zagranicznych świadczy dobrze o efektach pracy polskich instytucji, zajmujących się rozwojem oraz wdrażaniem technologii jądrowych i radiacyjnych. Sytuacja mogłaby być jeszcze lepsza, ale wydaje się, że główne przeszkody wynikają z małego doświadczenia w działaniu w nowych warunkach wolnego rynku, otwartego na świat bezwzględnej konkurencji ekonomicznej.

W niniejszym referacie będą dyskutowane wybrane z konieczności rozwiązania, które powstały w polskich instytucjach oraz jednostkach przemysłowych w zakresie

- radioizotopowej aparatury przemysłowej
- technologii radiacyjnych
- metod radioznacznikowych
- nieniszczącej kontroli materiałów, urządzeń i instalacji.

Główne ośrodki naukowo-badawcze prowadzące prace rozwojowe w zakresie technik i technologii jądrowych to: IEA i IPJ Świerk, IChTJ Warszawa, OBRI Świerk, MITR PŁ Łódź, IFJ i WFTJ AGH Kraków, Proatom Warszawa, Izot-Polon Warszawa. Prace prowadzi samodzielnie lub we współpracy z powyższymi jednostkami również wiele innych ośrodków akademickich i instytutów badawczych oraz zakładów przemysłowych.

### 3. RADIOIZOTOPOWA APARATURA PRZEMYSŁOWA

Proces przemian gospodarczych w Polsce w latach 90. spowodował zmiany organizacyjne w jednostkach produkcyjnych i badawczych zajmujących się radioizotopową aparaturą przemysłową. Przestał istnieć ZZUJ Polon, największy producent tej aparatury, został zlikwidowany Zakład Doświadczalny Aparatury Elektronicznej, znacznemu ograniczeniu ilościowemu uległa działalność badawcza w tej dziedzinie prowadzona przez jednostki naukowe podległe PAA. Pomimo to, można dziś stwierdzić, że udało się zachować podstawy zarówno w sferze produkcyjnej, jak i badawczej związanej z radioizotopową aparaturą przemysłową. Chociaż zapotrzebowanie na tę aparaturę jest dziś znacznie mniejsze niż w latach osiemdziesiątych, nie mniej jednak asortyment oferowanych urządzeń i aparatury jest niemal tak samo szeroki, jak przed rozpoczęciem procesu przekształceń gospodarczych.

Radioizotopowa aparatura wytwarzana w kraju jest w miarę nowoczesna, oparta na współczesnej bazie elementowej z powszechnym wykorzystaniem mikroprocesorów lub komputerów. Aparatura ta jest również konkurencyjna cenowo w porównaniu z oferowaną aparaturą z importu.

Kontynuację działalności ZZUJ Polon w zakresie radioizotopowej aparatury pomiarowej prowadzi POLON-IZOT w sferze produkcji, MARKSERWIS w zakresie usług instalacyjnych i serwisowych. Działalność rozwojową i produkcyjną w tym zakresie prowadzi również IChTJ. Podstawowy asortyment radioizotopowej aparatury przemysłowej wytwarzanej w Polsce jest zestawiony w tabeli 1.

### 4. TECHNIKI RADIACYJNE

Badania radiacyjne stanowią niezastąpione źródło informacji o mechanizmach i kinetyce szybkich procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych oraz własnościach nietrwałych produktów przejściowych, decydujących o kierunkach reakcji chemicznych i procesów metabolicznych; tworzą także podwaliny dla rozwoju nowoczesnych technologii. W Polsce doprowadziły do uruchomienia produkcji szeregu nowych materiałów polimerowych (rury i taśmy termokurczliwe) oraz półprzewodnikowych (szybkie tyristory), a ostatnio także biomateriałów (opatrunki oparte o membrany trekowe i opatrunki hydrożelowe). Wyrazem uznania dla polskich technologii radiacyjnych jest nagrodzenie w roku 1993 opatrunków hydrożelowych złotym medalem na Targach Wynalazków (Bruksela).

Promieniowanie jonizujące coraz powszechniej wykorzystuje się do sterylizacji sprzętu medycznego i utrwalania żywności. Technologie radiacyjne są bowiem przyjazne środowisku i nie wymagają stosowania żadnych chemikaliów, jak np. tlenu etylenu czy

bromku metylu - związków o własnościach kancerogennych wykorzystywanych w chemicznych procesach sterylizacji i konserwacji żywności.

Technologie radiacyjne z powodzeniem są także wykorzystywane dla potrzeb ochrony środowiska. Wyjątkowa reaktywność radiacyjnych produktów przejściowych umożliwiła opracowanie szczególnie atrakcyjnej technologii jednoczesnego usuwania  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  z gazów odlotowych. Radiacyjna destrukcja patogenów stała się podstawą technologii higienizacji ścieków komunalnych. Należy podkreślić, że w obu przypadkach produkty końcowe mogą być wykorzystywane jako nawozy.

Jednostki badawcze istniejące w Polsce, przede wszystkim Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) w Warszawie oraz Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej (MITR) w Łodzi mają znaczące osiągnięcia w zakresie badań podstawowych, jak i rozwoju technologii, wysoko cenione na forum międzynarodowym.

Przykładem mogą być: największy spośród realizowanych w Polsce program współpracy naukowo-technicznej z Japonią, w którym uczestniczą IChTJ oraz Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), oraz organizowane cyklicznie przez MITR konferencje PULS - "Szybkie procesy i produkty przejściowe", uznawane za najważniejsze międzynarodowe forum wymiany informacji w tej dziedzinie. Polscy naukowcy mają w badaniach radiacyjnych znaczący i liczący się w świecie, oryginalny dorobek publikacyjny i patentowy. Niektórzy z nich mają status ekspertów międzynarodowych i w tym charakterze są zapraszani przez rządy innych krajów.

Osiągnięcia technologiczne zaowocowały w Polsce budową szeregu radiacyjnych stacji pilotowych, w tym stacji sterylizacji sprzętu medycznego, utrwalania produktów żywnościowych, modyfikacji polimerów oraz usuwania  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  z gazów odlotowych. Ta ostatnia jest największą instalacją tego typu na świecie, a doświadczenia zebrane w trakcie jej eksploatacji spowodowały, że Rada Gubernatorów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) przyznała Polsce realizację modelowego projektu pn. "Budowa przemysłowej instalacji demonstracyjnej radiacyjnego usuwania  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  z gazów odlotowych". O uznaniu osiągnięć Polski w tej dziedzinie świadczy fakt, że na 140 krajów członkowskich MAEA ustanowiono jedynie 10 takich projektów.

Radiacyjne badania naukowe i prace technologiczne mają charakter interdyscyplinarny i wymagają współpracy specjalistów reprezentujących różne dziedziny naukowe - od fizyki i chemii, poprzez biologię i medycynę, do ochrony środowiska i przetwórstwa rolno-spożywczego. W Polsce istnieją ciała naukowe i towarzystwa grupujące przedstawicieli środowisk naukowych związanych z badaniami radiacyjnymi. Są to Rada d/s Atomistyki przy Państwowej Agencji Atomistyki, Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych, Polskie Towarzystwo Nukleonowe i Fundacja Badań Radiacyjnych.

Technika radiacyjna stanowi gałąź atomistyki akceptowaną społecznie, dynamicznie rozwijającą się w dziedzinach szczególnie zaniedbanych w Polsce, tj. dotyczących higieny medycznej i ochrony środowiska.

Zestawienie źródeł promieniowania (pilotowych i przemysłowych) podaje tabela 2. Rys. 1 podaje zakresy dawki stosowane w różnych procesach technologicznych. Należy podkreślić burzliwy rozwój technologii związanych z zastosowaniem akceleratorów elektronów. Niestety jednak w zakresie źródeł gamma istnieje jedynie jedno źródło  $\text{Co}60$  o aktywności 30 kCi w MITR w Łodzi, co pozwala na przemysłową obróbkę niewielkich objętości produktów (np. 1 m<sup>3</sup> produktów spożywczych w ciągu 2-5 dni).

## 5. METODY RADIOZNACZNIKOWE

Metody radioznacznikowe w przemyśle i ochronie środowiska są głównie wykorzystywane przez zespoły badawcze istniejące w IChTJ Warszawa i WFTJ AGH Kraków. Oba te ośrodki, jako jedne z pierwszych w świecie, zbudowały ruchome laboratoria do

badan radioznacznikowych i rozwinęły metodologię oraz teorię obróbki danych otrzymanych w pomiarach radioznacznikowych.

Układ pomiarowy, oparty o wypróbowane w warunkach polskich laboratorium rucho-  
me, został wyeksportowany w ramach kontraktu MAEA.

Zestawienie głównych zastosowań metod radioznacznikowych przedstawia tabela 3.

## **6. NIENISZCZĄCA KONTROLA URZĄDZEŃ RUROCIĄGÓW I INSTALACJI**

Zespół istniejący w IChTJ wykorzystuje we współpracy z jednostkami zewnętrznymi znaczniki promieniotwórcze w badaniach materiałów (dyfuzja w metalach, implantacja jonów), urządzeń (badania zużycia silników) oraz rurociągów i instalacji (szczelność zbiorników oraz petrochemicznych instalacji technologicznych). Wykorzystywane są metody autoradiograficzne, radiometryczne oraz NAA (prace dotyczące krzemu półprzewodnikowego oraz datowania obrazów sakralnych).

Opracowano nowe rozwiązanie programowalnych sond ruchomych do badania szczelności rurociągów podziemnych i niedostępnych z komputerowym odczytem danych. Rozwiązanie takie stało się przedmiotem kontraktu eksportowego.

Mimo znacznego osłabienia kadrowego jednostek krajowych, zajmujących się tradycyjnie radiografią, w dalszym ciągu w ograniczonym zakresie jest prowadzona radiografia izotopowa oraz rentgenowska. Z ciekawych, zrealizowanych w ostatnim okresie, specjalnych zastosowań radiografii należy wymienić:

- kontrolę eksploatacyjną spoin rurociągów parowych wykonywaną w ruchu, bez zdejmowania izolacji, w podwyższonej temperaturze (rura 500°C, powierzchnia izolacji 70 - 100°C);
- kompleksowe zastosowanie radiografii i ultradźwięków do oceny stopnia korozji oraz ilości osadów w rurociągach wodnych i naftowych;
- kontrolę wiarygodności numerów identyfikacyjnych;
- kontrolę rurociągów podwójnych i potrójnych.

Zbiorcze zestawienie głównych zastosowań kontroli nieniszczącej stosowanej w Polsce przedstawiono w tabeli 4.

## **7. PODSUMOWANIE**

Analiza rozwoju technik jądrowych w Polsce wskazuje, że ich rozwój ograniczony przez czynniki obiektywne (zastępowanie przez inne techniki) lub subiektywne (akceptacja społeczna) jest bardzo zbliżony do rozwoju w innych krajach świata. W przypadku jednostek badawczo-rozwojowych i uczelni duży wpływ na zahamowanie pewnych działań ma trudna sytuacja kadrowa czy aparaturowa wywołana słabym dofinansowaniem nauki. Za pozytywne zjawisko należy uznać łatwiejszy dostęp do aparatury i materiałów importowanych co decyduje w wielu przypadkach o lepszym poziomie prac.

O tym, że omawiana dziedzina jest w dalszym ciągu rozwijana w wielu ośrodkach krajowych, świadczy fakt, że na organizowaną w przyszłym roku konferencję "Techniki jądrowe w przemyśle, rolnictwie i ochronie środowiska" wpłynęło około 90 zgłoszeń referatów. Konferencja ta, organizowana między innymi przez PTN, będzie dobrym przeglądem ośrodków zajmujących się rozwojem techniki i technologii jądrowych oraz prowadzonych przez nie prac.

**Tabela 1**  
**Zestawienie zasadniczych przyrządów radioizotopowych produkowanych w Polsce**

**Przełączniki radioizotopowe**

Stosowane głównie do pomiaru poziomu mediów sypkich i ciekłych w warunkach przemysłowych. Ich wykonanie pozwala na zastosowanie w ciężkich warunkach środowiskowych i klimatycznych. Mogą być stosowane w układach automatycznej regulacji.

**Izotopowe mierniki grubości ścianek rur**

Przeznaczone do bezstykowych ciągłych pomiarów grubości ścianek rur w trakcie procesu produkcyjnego. Zasada działania - rozpraszanie promieniowania gamma - źródło Am-241. Zakres pomiaru 2 - 21 mm dla średnic rur 90 - 250 mm. Dokładność 0,5% - 0,1 mm.

**Izotopowe mierniki grubości blach zimno i gorąco walcowanych**

Służą do bezstykowego pomiaru grubości blach i sterowania procesem walcowania. Zasada działania - absorpcja promieniowania gamma z Am-241. Zakres pomiaru 0,1 - 8 mm, dokładność 0,5 - 10 mm.

**Izotopowe mierniki grubości folii**

Przeznaczone do bezstykowego pomiaru grubości folii i sterowania procesem walcowania. Zasada działania - absorpcja promieniowania beta. Zakres pomiaru 10 - 500 mm, dokładność 0,5% + 1 mm.

**Izotopowe mierniki gęstości**

Przeznaczone do bezstykowego pomiaru i regulacji mediów ciekłych w rurociągach. Zasada działania - absorpcja promieniowania gamma. Zakres pomiarowy 0,6 - 3,5 g/cm<sup>3</sup>, średnica rurociągu 50 - 406 mm, grubości ścianek do 12 mm, dokładność pomiaru lepsza niż 0,3%.

**Radioizotopowe wagi taśmociągowe**

Wagi są przeznaczone do bezstykowych pomiarów masy materiałów sypkich transportowanych na przenośnikach taśmowych o szerokości 500 - 850 mm. Mogą być również wykorzystane do dozowania, pomiaru wydajności oraz sterowania pracą przenośnika. Zasada pomiaru - absorpcja promieniowania gamma. Zakres pomiarowy 3 - 8 kg/m, dokładność 1%.

**Mierniki poziomu**

Przeznaczone do ciągłego pomiaru poziomu w wannach szklarskich. Zasada działania - absorpcja promieniowania gamma. Zakres pomiaru do 150 mm, zewnętrzna średnica wanny - 0,5 - 4 m, grubość ścianek 2 x 100 mm, dokładność 0,1 mm.

**Mierniki zapylenia powietrza**

Mierniki przeznaczone są do automatycznych pomiarów zapylenia w punktach stałych, w sieciach monitoringu. Zasada działania - absorpcja promieniowania beta. Zakres pomiarowy 0,5 mg/m<sup>3</sup> - 10 mg/m<sup>3</sup>. Dokładność pomiaru 3 - 15% w zależności od czasu pomiaru i stężenia pyłu w powietrzu.

**Mierniki stężenia kwasu siarkowego**

Mierniki przeznaczone do ciągłego bezstykowego pomiaru stężenia kwasu siarkowego w rurociągach przemysłowych oraz sterowania i automatycznej regulacji procesu

technologicznego. Zasada działania - spowalnianie neutronów, Zakres pomiaru 90 - 99,9% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dokładność pomiaru 0,2% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### **Mierniki grubości powłok**

Mierniki grubości powłok są przeznaczone do szybkich i nieniszczących pomiarów grubości powłok jednowarstwowych w warunkach laboratoryjnych. Zasada działania - rozpraszanie promieniowania beta. Zakresy pomiarowe - do kilkudziesięciu mikrometrów w zależności od materiałów powłoki i podłoża oraz rodzaju zastosowanego źródła. Dokładność pomiaru lepsza od 10%.

#### **Miernik zawartości popiołu w węglu**

Miernik jest przeznaczony do laboratoryjnych pomiarów popiołu w próbkach powierzchniowo-stałych. Może być również wykorzystany do pomiarów zawartości siarki pirytowej w węglu. Zasada działania - fluorescencja rentgenowska. Zakres pomiaru do 50%, dokładność 1% popiołu.

#### **Analizatory składu**

Przeznaczone do szybkich nieniszczących pomiarów koncentracji pierwiastków w zakresie od ułamków do kilkudziesięciu procent. Zasada działania - nisko rozdzielcza fluorescencja rentgenowska.

#### **Mierniki koncentracji radonu w powietrzu**

Mierniki te posłużą do pomiarów chwilowych stężeń produktów radonu 222 w powietrzu. Są przeznaczone przede wszystkim dla potrzeb górnictwa, gdzie umożliwiają szybką ocenę sprawności wentylacji kopalni i radiacyjnego zagrożenia górników. Zasada działania - pomiar aktywności aerozoli zebranych na filtrze bibułowym.

**Tabela 2**

**Zestawienie technologicznych źródeł promieniowania pracujących w Polsce**

Rodzaj i typ urządzenia	Energia i moc średnia wiązki	Rok uruchomienia	Zastosowanie
Akcelerator liniowy LAE 13/9	5-13 MeV 9 kW	1971	Chemia radiacyjna obróbka radiacyjna
Akcelerator rezonansowy IŁU-6	0,7-2 MeV 20 kW	1988	Stacja pilotowa, obróbka radiacyjna
Akcelerator elektrostatyczny AS-2000	0,2-2 MeV 0,2 kW	1988	Fizyka radiacyjna
Akcelerator liniowy PILOT	10 MeV 1 kW	1990	Obróbka radiacyjna żywności
Akcelerator transformatorowy ELV 3A	800 keV 2 x 50 kW	1991	Oczyszczanie gazów spalinowych: instalacja pilotowa w EC Kawęczyn
Akcelerator liniowy U-003	10 MeV 10 kW	1992	Obróbka radiacyjna żywności: stacja pilotowa Warszawa-Włochy

Tabela 2 c.d.

Rodzaj i typ urządzenia	Energia i moc średnia wiązki	Rok uruchomienia	Zastosowanie
Akcelerator liniowy U-003	10 MeV 15 kW	1992	Sterylizacja radiacyjna
Akcelerator liniowy LAE 10	10 MeV 0,5 kW	1993	Chemia radiacyjna
Akcelerator liniowy IŁU-6 ZUT Człuchów	0,7-2 MeV 20 kW	1983	Seciowanie radiacyjne polimerów
źródła zamknięte Co-60 MITR Łódź	30 kCi	1967	Chemia radiacyjna

Tabela 3

**Zestawienie głównych zastosowań metod radioizotopowych****Przemysł miedziowy**

Określenie charakterystyk i parametrów procesu wzbogacania rud miedziowych.  
 Określenie charakterystyk dynamicznych pieca zawieszinowego i szybowego do produkcji miedzi.  
 Wyznaczenie optymalnych parametrów procesu odmiedziowania żużli w piecach elektrycznych.

**Przemysł chemiczny**

Wyznaczenie optymalnych parametrów pracy instalacji do ciągłego nitrowania celulozy.  
 Określenie charakterystyki dynamicznej reaktora do utleniania cykloheksanu.  
 Weryfikacja efektywności wprowadzonych zmian konstrukcyjnych reaktora.

**Przemysł petrochemiczny**

Sporządzenie pełnego bilansu ścieków w układzie wodno-ściekowym zakładu petrochemicznego.  
 Określenie charakterystyki dynamicznej uśredniacza ścieków w MZRIp w Płocku.  
 Weryfikacja założeń projektowych.

**Przemysł szklarski**

Określenie charakterystyk dynamicznych pieców szklarskich. Optymalizacja parametrów technologicznych ich pracy oraz weryfikacja założeń projektowych.

**Ochrona środowiska**

Wyznaczanie parametrów rozplywu ścieków w naturalnych odbieralnikach wodnych (rzeki, zbiorniki, morze).  
 Optymalizacja lokalizacji miejsc zrzutu.  
 Wyznaczenie szczelności budowli hydrotechnicznych.

**Tabela 4**

**Zestawienie głównych zastosowań kontroli nieniszczących stosowanych w Polsce**

**1. Kontrola szczelności**

- Instalacji technologicznych typu reaktory, kolumny, wymienniki (MZRiP w Płocku, Gdańskie Zakłady Rafineryjne, Polfa-Tarchomin);
- Rurociągów do transportu cieczy i gazów, podziemnych lub trudno dostępnych (PERN, Zakłady Gazownictwa)
- Zbiorników magazynowych paliw płynnych (CPN)

**2. Kontrola trwałości elementów maszyn i urządzeń**

- testowanie wpływu warunków eksploatacji;
- testowanie materiałów oraz środków smarujących;
- pomiary stopnia nagazowania w silnikach.

**WYBRANE POZYCJE LITERATUROWE**

A. Ogólne

1. A. G. Chmielewski, L. Waliś, Radiation Technologies and Nuclear Techniques Friendly to Man and Environment, Materiał seminarium "Energia jądrowa a środowisko naturalne" PAA-MAEA, Jachranka, 22-23 czerwca 1993, Wyd. PAA.

B. Radioizotopowa aparatura przemysłowa

1. P. Urbański, S. Karamuz, D. Wagner, Unique Radioisotope Gauges and some Examples of their Application, Nukleonika, 31, 43-60, 1986;
2. P. Urbański, Mathematical Models and Accuracy of Radioisotope Gauges, Nukleonika, 34, 125-137, 1989;
3. W. Antoniak, D. Wagner, P. Urbański, A Laboratory Instrument for Determination of Ash in Brown Coal and some Results of its Testing, Nukleonika, 43, 151-161, 1989;
4. P. Urbański, A Review of Calibration Procedures of Radiometric Gauges, Applied Radiation and Isotopes, 41, 151-157, 1990;
5. B. Machaj, Personal Computer as a Part of Radiometric Gauges, Nukleonika, 37, 47-54, 1992;
6. P. Urbański, S. Sękowski, Radiometric Methods in Industrial Coating Thickness Gauging, Nukleonika, 37, 69-76, 1992;
7. P. Urbański, B. Machaj, J. Harasimczuk, J. Strzałkowski, Optimization of Performance of Airborne Dust Monitors, Nukleonika, 37, 55-68, 1992;
8. E. Kowalska, P. Urbański, Advantages and Limitation of XRF Method for Rapid Sulphur Determination in Coal Samples, Nukleonika, 37, 77-83, 1992;
9. M. A. Naimpour, H. Rahimi, A. A. Amini, B. Machaj, Measurements of Dust Concentration in Tehran Employing Beta Absorption, Nukleonika, 38, 67-78, 1993;
10. B. Machaj, J. Strzałkowski, B. Krawczyńska, Electronic Design of Air Dust Concentration Gauge, Nukleonika, 38, 47-60, 1993;
11. J. Gierdalski, J. Bartak, P. Urbański, New Generation of the Mining Radiometers for Determination of Radon and its Decay Products in the Air of Underground Mines, Nukleonika, 38, 27-32, 1993.



C. Technologie radiacyjne

1. A. G. Chmielewski, Radiation Treatment - An Enabling Technology for Environment Protection and Public Health, IAEA - General Conference, Vienna, 1993;
2. A. G. Chmielewski, L. Waliś, Z. Zimek, Technologie wykorzystujące akceleratory elektronów opracowane w ICHiTJ, PTJ, **35**, (3 - 4), 155-166, 1992;
3. J. M. Rosiek, Biomateriały i bioinżynieria radiacyjna, preprint;
4. Numer specjalny Radiation Physics and Chemistry, **40**, (4), 1992, red. A. G. Chmielewski, Z. Zimek;
5. Z. Zimek, A. G. Chmielewski, Present Tendencies in Construction of Industrial Electron Accelerators Applied in Radiation Processing, Nukleonika, **38**, (2), 3-20, 1993;
6. J. Kałuska, R. Krejzler, Technologia sieciowania radiacyjnego polietylenu w zastosowaniu do otrzymywania wyrobów termokurczliwych, Polski Instalator, **4**, 10-11, 1993;
7. Ulotki informacyjne dotyczące produkcji wyrobów termokurczliwych, ZUT, Człuchów i ICHiTJ, Warszawa.

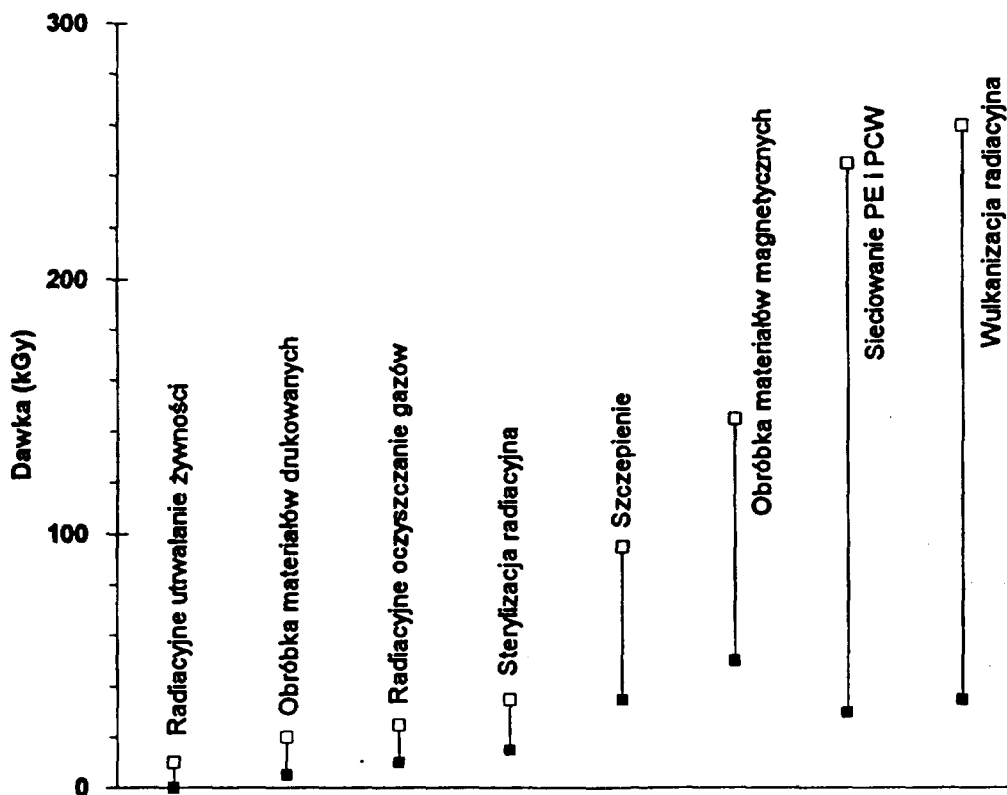
D. Techniki radioznacznikowe

1. L. Petryka, L. Furman, K. Przewłocki, Z. Stęgowski, Radioisotope Investigations of the Copper Ore Dressing Process, Nucl. Geophys., **7**, (2), 313-322, 1993;
2. L. Petryka, J. Oszejec, The Cross-Correlation Method of Solid Particle Measurement in Industry, Nucl. Geophys., **7**, (2), 323-333, 1993;
3. K. Przewłocki, L. Petryka, Z. Stęgowski, Radiotracer Investigation of the Copper Ore Concentration Process, Isotopenpraxis, **26**, (9), 439-444, 1990;
4. L. Petryka, K. Przewłocki, Optimization of Copper Ore Concentration Processing by Means of Radioactive Tracers, Isotopenpraxis, **25**, (4), 139-143, 1989;
5. K. Przewłocki, Dep. of Industrial Radiometry and its Research Activity, ZNAGH, Fizyka, **15**, 67-77, 1987;
6. K. Przewłocki, Radiotracers Techniques in Mineral Processing, IAEA - SM-308/71, Vienna, 1991;
7. Z. Stęgowski, Accuracy of the Residence Time Distribution Functions Parameters, Nucl. Geophys., **7**, (2), 335-341, 1993;
8. E. Iller, J. Thyn, Metody radioznacznikowe w praktyce przemysłowej, WNT, 1994;
9. J. Palige, A. G. Chmielewski, The Radiotracers Experiments in Chemical Reactors Optimization, Radioisotopy, **31**, 5-6, 1990;
10. A. G. Chmielewski, A. Owczarczyk, J. Palige, S. Szpilowski, Novel Applications of Radiotracers in Polish Industry and Environment Protection, Izotopotechnika, Diagnostyka, **35**, 1992;
11. J. S. Michalik, Z. Bazaniak, J. Palige, Application of Radiotracers to the Processes Optimization in Polish Copper Metallurgy, Nucl. Geophys., **3**, (4), 1989.

E. Diagnostyka nieniszcząca

1. M. Dobrowolski, A. Wocial, Informacja własna;
2. E. Pańczyk, A. Kalicki, J. Kulczycki, J. Kraś, L. Waliś, Investigation of the Influence of the Exploitation Time on the Changes Occuring in Lubricating Oils, Nukleonika, **37**, (4), 1992;
3. A. Ciurapiński, L. Waliś, Autoradiographie Studies of the Influence of Atmosphere Composition on Carbon Migration in Steels During Nitriding and Oxynitriding Processes, Nukleonika, **37**, (4), 1992.

4. E. Pańczyk, M. Ligenza, L. Waliś, Trace Elements in White Lead from Sacral Paintings Determined by Instrumental Neutron Activation Analysis, *Nukleonika*, 37, (4), 1992;
5. W. Listwan, J. Kraś, L. Waliś, Kontrola szczelności rurociągów, gazociągów, zbiorników i instalacji technologicznych przy użyciu znaczników izotopowych, *Materiały konferencji "Zastosowanie technik radioizotopowych w przemyśle, medycynie i ochronie środowiska"*, Warszawa, 1987, str. 175-183.



Rys. 1. Zakres dawek stosowanych w procesach radiacyjnych prowadzonych w skali przemysłowej