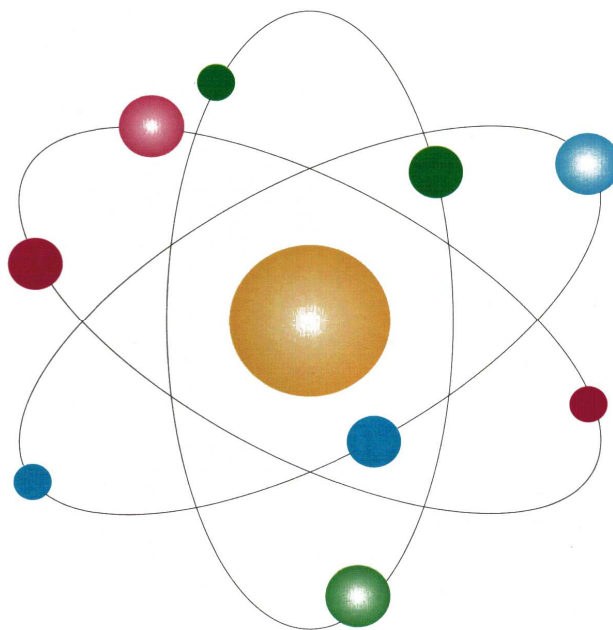


Warsztaty

„Techniki nuklearne w identyfikacji i konserwacji dzieł sztuki”



Warszawa 12.05.2017r.



PAŃSTWOWA
AGENCJA
ATOMISTYKI

**Konferencja objęta patronatem Prezesa
Państwowej Agencji Atomistyki**



**Państwowe Muzeum Archeologiczne
w Warszawie,
00-241 Warszawa, ul. Długa 52**



**Polskie Towarzystwo Nukleonicyczne
c/o Instytut Chemii i Techniki
Jądrowej
ul. Dorodna 16 , 03-195 Warszawa**

Warsztaty

„TECHNIKI NUKLEARNE W IDENTYFIKACJI I KONSERWACJI DZIEŁ SZTUKI”

organizowane przez

Stowarzyszenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej w Poznaniu,

Państwowe Muzeum Archeologiczne w Warszawie,

Polskie Towarzystwo Nukleonicyczne w Warszawie

Warszawa, 12 maja 2017 roku

PROGRAM

Muzeum Archeologiczne w Warszawie ul. Długa 5, sala im. Erazma Majewskiego	
10.00 - 10.10	Otwarcie Konferencji Dyrektor Muzeum Archeologicznego w Warszawie Dr Wojciech Brzeziński Prezes SIOR Maria Kubicka

Sesja I inauguracyjna, godz. 10.20 - 11.20 Ochrona radiologiczna, Nowe technologie

12.05.2017	Wykładowca	Temat
10.20-10.40	Edward Raban Państwowa Agencja Atomistyki Warszawa	Zastosowanie technik nuklearnych jako działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące.
10.40-11.00	Wojciech Głuszewski Instytut Chemii i Techniki Jądrowej Warszawa	Odziaływanie promieniowania jonizującego na materię
11.00-11.20	Wojciech Głuszewski Instytut Chemii i Techniki Jądrowej Warszawa	Nuklearne techniki w konserwacji i identyfikacji dzieł sztuki. Które urządzenia stosowane w identyfikacji dzieł sztuki wymagają IOR
11.20-11.40	Kawa	

Sesja II godz. 11.40 - 13.10
Zastosowanie promieniowania jonizującego

12.05.2017	Wykładowca	Temat
11.40-12.00	Grzegorz Jeziński Politechnika Opolska Opole	Historia zastosowania promieniowania rentgenowskiego w analityce i identyfikacji dzieł sztuki.
12.00-12.20	Władysław Weker Muzeum Archeologiczne Warszawa	Zastosowanie radiografii w muzealnictwie
12.20-12.40	Igor Krupiński Polon Alfa Bydgoszcz	Zasady dozymetrii promieniowania jonizującego. Metody pomiarowe.
12.40-13.10	Ewa Pańczyk Instytut Chemii i Techniki Jądrowej Warszawa	Neutronowa analiza aktywacyjna

13.10-14.30	LUNCH
-------------	-------

Sesja III godz. 14.30 – 15.50
Panel dyskusyjny

12.05.2017	Wykładowca	Temat
14.30-15.00	Irena Rodzik Katarzyna Schaefer Muzeum Morskie Gdańsk	Zastosowanie technik rentgenowskich do badań zabytków archeologicznych w Muzeum Morskim w Gdańsku
15.00-15.15	Sławomir Jozwiak NDT SYSTEM Warszawa	Radiografia cyfrowa
15.15-	Prowadzą Wojciech Głuszewski Maria Kubicka Władysław Weker	Dyskusja na tematy zagrożeń w związku z stosowaniem nuklearnych urządzeń analitycznych oraz roli inspektorów ochrony radiologicznej

NDT *System*

Sławomir Jozwiak

NDT SYSTEM

01-643 WARSZAWA ul. Twardowskiego 21

Od kilku lat radiografia cyfrowa wypiera radiografię analogową. Radiografia cyfrowa ma zastosowanie w szerokim zakresie przemysłowych zastosowań radiograficznych, od przemysłu gazowego i naftowego do przemysłu lotniczego i kosmicznego oraz od energetyki do ogólnych badań geologicznych.

We wszystkich zastosowaniach radiografia CRxVision oferuje następujące zalety:

- Niepotrzebne są pomieszczenia ciemniowe
- Eliminacja odczynników i ich utylizacji lub odzysku srebra
- Lepsza interpretacja obrazu i poziom jakości kontroli przy użyciu filtrów Flash!
- Stałe i niezależne od operatora wyniki przy użyciu automatycznego narzędzia do pomiaru grubości ścianki
- Znaczne zmniejszenie liczby powtórnych zdjęć dzięki szerokiemu zakresowi dynamicznemu płyt obrazowych
- Brak czasu wywoływania; obrazy są dostępne natychmiast po skanowaniu.
- Znaczne zmniejszenie przestrzeni magazynowej przy archiwowaniu obrazów cyfrowych
- Korzyści wynikające z zarządzania i współdzielenia danych

Różne rodzaje płyt obrazowych umożliwiają dopasowanie do wykonywanych ekspozycji, tak aby uzyskać obraz z dużym kontrastem. Specyfika radiografii cyfrowej oraz zastosowane filtry obrazowe umożliwiają wykonywanie jednej ekspozycji nawet dla przedmiotów o bardzo szerokim zakresie grubości. Przy obróbce cyfrowej jest możliwość oglądania szczegółów w całym zakresie grubości badanych przedmiotów.

Streszczenia referatów

Edward Raban	Państwowa Agencja Atomistyki Warszawa
Zastosowanie technik nuklearnych jako działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące.	
<ol style="list-style-type: none">1. Ochrona radiologiczna jako zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, a w przypadku braku możliwości zapobieżenia takim sytuacjom - ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych i jej podstawowe zasady:<ol style="list-style-type: none">a. Uzasadnienie działalności wykazujące, że spodziewane w wyniku wykonywania tej działalności korzyści naukowe, ekonomiczne, społeczne i inne będą większe niż możliwe, powodowane przez tę działalność, szkody dla zdrowia człowieka i stanu środowiska;b. Optymalizacja działalności aby przy rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych - liczba narażonych pracowników i osób z ogółu ludności była jak najmniejsza, a otrzymywane przez nich dawki promieniowania jonizującego były możliwie małe;c. Dawki graniczne pracowników i osób z ogółu ludności.2. Reglamentacja działalności związanej z narażeniem:<ol style="list-style-type: none">a. Stopniowe podejście: zezwolenie, zgłoszenie, wyłączenie z reglamentacji;b. Kryteria reglamentacji: aktywność i stężenie promieniotwórcze, moc dawki promieniowania jonizującego, energia promieniowania jonizującego;c. Zasady reglamentacji: źródła promieniowania jonizującego izotopowe i nieizotopowe.3. Zasady bezpiecznej pracy z promieniowaniem jonizującym.<ol style="list-style-type: none">a. Narażenie zewnętrzne: czas pracy na stanowisku, odległość od źródła promieniowania, osłony przed promieniowaniem;b. Narażenie wewnętrzne: kontrola skażeń promieniotwórczych, zapobieganie i ochrona przed skażeniami.	

4. Wymagania ochrony radiologicznej.

- a. Dokumentacja: program zapewnienia jakości, procedury, instrukcje, ewidencje;
- b. Organizacja: nadzór, szkolenia, kontrola dozymetryczna, ocena narażenia, podział lokalizacji miejsc pracy;
- c. Środki techniczne: sprzęt ochronny, środki ochrony osobistej, sprzęt dozymetryczny, pracownice radiologiczne.

Wojciech Głuszewski

**Zakład Naukowy - Centrum Badań i
Technologii Radiacyjnych
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej**

ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

NA MATERIE

Wprowadzenie

W wykładzie omówiono podstawowe kwestie z zakresu oddziaływania z materią trzech rodzajów promieniowań jonizujących stosowanych obecnie na skalę przemysłową do obróbki radiacyjnej materiałów: *wiązki elektronów, promieniowania γ oraz promieniowania hamowania*. Zwrócono uwagę na różnicę między napromieniowaniem a promieniotwórczością. Wykazano, że promieniowania jonizujące wytwarzane w przemysłowych instalacjach radiacyjnych fizycznie nie są w stanie wywołać reakcji fotojądrowych. Innymi słowy napromieniowany materiał nie staje się radioaktywny.

Promieniowaniem jonizującym określa się wszystkie rodzaje promieniowania, które wywołują oderwanie przynajmniej jednego elektronu od atomu, cząsteczki lub struktury krystalicznej. Promieniowanie jonizujące bezpośrednio to obiekty posiadające ładunek elektryczny (elektrony, protony, jony). Promieniowania jonizujące składające się z obiektów bez ładunku elektrycznego (γ , X, neutrony) jonizują materię w sposób pośredni. W praktyce przemysłowej i medycznej źródłami promieniowania gamma są najczęściej urządzenia z radioaktywnymi izotopami kobaltu i cezu. Dla formalności należy wyjaśnić, że ^{60}Co jest β promieniotwórczy. Praktyczne znaczenie ma natomiast promieniowanie elektromagnetyczne (γ) emitowane przez nietrwały produkt jego rozpadu, wzbudzone jądra $^{60}\text{Ni}^*$.

Sporadycznie stosuje się również ^{137}Cs , który występuje w równowadze promieniotwórczej ze swoim produktem rozpadu, $^{137}\text{Ba}^*$. Emitują one promieniowania beta o energii 0,512 MeV i gamma o energii 0,662 MeV. Ograniczenia w wykorzystaniu ^{137}Cs wynikają z łatwej rozpuszczalności soli tego pierwiastka, co stwarza potencjalne zagrożenie w przypadku zawilgocenia instalacji albo dostania się związków cezu w niepowołane ręce.

1 elektronowolt, eV, jest to energia kinetyczna, jaką uzyskuje elektron przyspieszony w polu elektromagnetycznym o różnicy potencjałów jednego wolta, V.

Podstawową jednostką miar w chemii radiacyjnej jest grej (Gy). Definiuje się go jako jednostkę dawki pochłoniętej, tj. absorpcji energii jednego dżula (J) w 1 kilogramie napromieniowanej materii.

Oddziaływanie wiązki elektronów z materią

W obróbce radiacyjnej wykorzystuje się wysokoenergetyczne elektrony o energii nie większej niż 10 MeV i mocy wiązki od kilku do najczęściej kilkudziesięciu kW. Chociaż produkowane są również urządzenia o mocy kilkuset kW. Stopień jonizacji elektronami wyraża się ilościowo poprzez tzw. **straty jonizacyjne**: - dE/dx. Odpowiada to część energii kinetycznej elektronu, wydatkowanej na procesy jonizacji i wzbudzenia atomów danego ośrodka materialnego. Zależy on od liczby porządkowej Z, atomów ośrodka, początkowej energii elektronów, oraz od liczby elektronów orbitalnych w 1 cm^3 napromieniowanego materiału.

Straty radiacyjne elektronu to część energii elektronu tracona w wyniku kulombowskiego hamowania ładunkami jąder atomowych ośrodka materialnego. W przypadku wody, miękkiej tkanki biologicznej oraz polimerów organicznych, (z których są wykonywane np. wyroby medyczne jednorazowego użytku) i energii elektronów równej 10 MeV straty radiacyjne są o rząd wielkości mniejsze w porównaniu do strat jonizacyjnych.

W celu porównania różnych oddziaływań wprowadzono w fizyce jednostkę przekroju czynnego, δ , który to termin jest miarą prawdopodobieństwa zaistnienia danego oddziaływania. Jednostką przekroju czynnego jest barn, **b**, o wymiarze 10^{-24} cm^2 .

Wyniki obliczeń masowej zdolności hamowania elektronów dla wody (Z

efektywne ~ 7), uzyskane na podstawie wzoru Bethe'go, dla szerokiego zakresu energii od 10 eV do 10 MeV charakteryzują się maksymalną wartością przy energii 146 eV, natomiast w przedziale od 1 do 10 MeV zmiany są pomijalne.

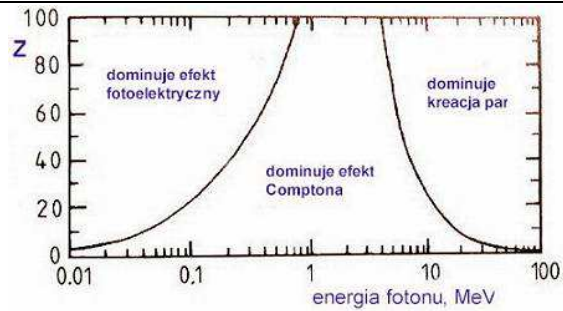
Zestawienie zależności masowej zdolności hamowania z zasięgiem elektronów ilustruje fakt, że przy tysiącrotnym zwiększeniu energii elektronów absorbowanych w wodzie lub materiale równoważnym wodzie następuje wzrost zasięgu aż 10 tysięcy razy większy, natomiast zdolność hamowania obniża się tylko dziesięciokrotnie.

Oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego z materią

Oddziaływanie z materią promieniowania elektromagnetycznego, tzn. γ (np. ze źródeł z ^{60}Co) lub rentgenowskiego (hamowania) (X) przebiega inaczej niż dla wysokoenergetycznych elektronów.

Najważniejsze są trzy zjawiska:

- Efekt fotoelektryczny, w którym niskoenergetyczny foton zostaje zaabsorbowany w atomie, a jego energia zostaje wyemitowana w postaci fotoelektronu. Powstaje para zjonizowany atom i fotoelektron. Wszelkiego typu fotokomórki działają na tej zasadzie.
- Odrzut lub rozproszenie Comptona, dla którego energia fotonu przewyższa znacznie energię elektronów orbitalnych. W rezultacie foton traci część energii na emisję elektronu komptonowskiego, a rozproszony foton zmienia pierwotny kąt padania na dany atom. Poglądowo można powiedzieć, że foton i elektron zachowują się podobnie do zderzenia bil (jest to tzw. model „kul bilardowych”). Szczegółowy opis zjawiska jest bardzo skomplikowany. Zjawisko Comptona dominuje w szerokim zakresie energii fotonów. W przypadku promieniowania γ (źródło z ^{60}Co) zjawisko Comptona przy średniej energii fotonu równej 1,25 MeV nie zależy w od liczby atomowej, Z , ośrodka materialnego.
- Jeżeli energia fotonu przekracza poziom 1,022 MeV, to wtedy ma miejsce tworzenie par: elektron – pozyton, które to cząstki naładowane elektrycznie ulegają anihilacji z emisją dwu nowych fotonów o energiach 0,511 MeV.



Reakcje fotojądrowe

Teoretycznie przy bardzo wysokiej energii promieniowania elektronowego możliwe jest wzbudzenie radionuklidów w napromieniowywanym materiale. Odpowiedzialne są za to reakcje fotojądrowe zachodzące z udziałem promieniowania elektromagnetycznego powstającego w efekcie hamowania elektronów. Ograniczenie w instalacjach przemysłowych energii elektronów do 10 MeV eliminuje to niewielkie zresztą ze względu na małą wydajność konwersji elektronów na promieniowanie hamowania i krótki czas życia radionuklidów zagrożenie.

Reakcja fotojądrowa	Próg energetyczny	Okres półrozpadu
$^{65}\text{Cu} (\gamma, n) ^{64}\text{Cu}$	10,2 MeV	12 godzin
$^{63}\text{Cu} (\gamma, n) ^{62}\text{Cu}$	10,9 MeV	10 minut
$^{64}\text{Zn} (\gamma, n) ^{63}\text{Zn}$	13,8 MeV	9 minut
$^{16}\text{O} (\gamma, n) ^{15}\text{O}$	16,3 MeV	2,1 minuty
$^{12}\text{C} (\gamma, n) ^{11}\text{C}$	18,7 MeV	21 minut

Statystyczny charakter radiolizy

Punktem wyjścia w chemii radiacyjnej jest zrozumienie niehomogeniczności oddziaływania promieniowania jonizującego z materiałem. Elektrony przyspieszone w akceleratorze lub promieniowanie elektromagnetyczne dużej energii, wnikając do materiału, wywołują wtórną kaskadę elektronów, których pierwsze generacje powodują pojedyncze jonizacje w stosunkowo dużej odległości, nazywane „gniazdami jednojonizacyjnymi”. W miarę jak elektrony ulegają energetycznej degradacji odległości między jonizacjami zaczynają się zmniejszać. W efekcie

elektrony kończące bieg powodują tak duże nagromadzenie gniazd jonizacji, że stwarza to nową sytuację z punktu widzenia zachodzących w materiale procesów chemicznych. Zjawisko odkładania energii przez elektrony o dużym LET (linear energy transfer) opisywane jest za pomocą „gniazda wielojonizacyjnego”. W napromieniowanej próbce uzyskujemy widmo uszkodzeń radiacyjnych o różnej wielkości odłożonej energii. Stąd różnorodność procesów chemicznych mogących przebiegać w następstwie zjawisk pierwotnych jest bardzo duża. W polimerach należy brać pod uwagę tworzenie się obok gniazd jednojonizacyjnych również powstawanie gniazd wielojonizacyjnych. W pewnym przybliżeniu można założyć, że około 20% energii zostanie odłożona w ten właśnie sposób. Produkty gniazd wielojonizacyjnych i jednojonizacyjnych różnią się w sposób zasadniczy. W pierwszym przypadku dochodzi do przerwania łańcucha i powstania produktów małowcząsteczkowych, w drugim do oderwania najczęściej wodoru, po ewentualnym przemieszczeniu pierwotnego efektu (dziury lub stanu wzbudzonego).

Skoro zjawiska radiacyjne mają charakter statystyczny to krzywe inaktywacji można, opisać korzystając z rachunku prawdopodobieństwa. Liczba gniazd jonizacyjnych, o różnej ilości energii jest wprost proporcjonalna do dawki pochłoniętego promieniowania. W objętości obrabianego radiacyjnie materiału znajdują się miejsca, w których ilość energii wystarcza do spowodowania śmierci bakterii. Prawdopodobieństwo takiego zjawiska P_1 obliczymy, jako stosunek sumy objętości gniazd jonizacyjnych o odpowiednio dużej energii do całkowitej objętości zawierającej bakterie. Jednocześnie w komórce patogenu znajdują się miejsca czułe na promieniowanie jonizujące, których uszkodzenie prowadzi do efektu letalnego. Stosunek objętości takich wrażliwych organów do całkowitej objętości bakterii jest prawdopodobieństwem P_2 , które zawiera w sobie parametr indywidualny związany z opornością danego szczepu komórek. Aby spowodować śmierć bakterii, muszą zajść obydwie zjawiska, tzn. określona ilość energii musi się znaleźć w odpowiednim miejscu bakterii. Prawdopodobieństwo efektu letalnego jest, więc iloczynem P_1 i P_2 i zależy od dawki promieniowania D oraz indywidualnych cech organizmu opisanych stałą k . Po prostych przeliczeniach otrzymuje się zależność przeżywalności bakterii od dawki promieniowania, czyli krzywą inaktywacji opisaną wzorem logarytmicznym:

$$N = N_0 e^{(-kD)}$$

w którym N to liczba bakterii, które przeżyły obróbkę radiacyjną materiału w stosunku do początkowej ich liczby oznaczonej jako N_0 .

Podsumowanie

- Oddziaływanie wysokoenergetycznych elektronów akceleratorowych oraz fotonów gamma i rentgenowskich są bardzo skomplikowanymi zjawiskami.
- Najważniejszymi skutkami oddziaływania wysokoenergetycznych elektronów z materią są straty jonizacyjne, które dominują ilościowo, oraz straty radiacyjne mające znaczenie drugorzędne przy optymalnej energii początkowej – równej 10 MeV i niskim Z na poziomie około 7.
- W przypadku wysokoenergetycznych fotonów promieniowań gamma i hamowania dominuje ilościowo efekt Comptona a za zjawiska chemiczne odpowiedzialne są, podobnie jak przy wiązce elektronów wtórnie wybite elektrony.
- Efektywność procesów radiacyjnych zależy istotnie od gęstości elektronowej napromieniowanego materiału, wielkości zastosowanej dawki promieniowania i od ewentualnej zawartości wody, która w wyniku indukowanego promieniowania radiolizy generuje produkty aktywne chemicznie.

WYSOKOENERGETYCZNE ELEKTRONY

(lub wtórne elektrony od γ i X)



JONIZACJA

(z ewentualną rekombinacją jonów)



POWSTAWANIE WOLNYCH RODNIKÓW



ZMIANY CHEMICZNE

wywołane obecnością wolnych rodników (sieciovanie, utlenianie)



EFEKTY MIKROBIOLOGICZNE:

**letalne efekty w patogenicnej mikroflorze człowieka
(bakterie, riketsje, jednokomórkowe grzyby, pierwotniaki, oraz wirusy)
głównie poprzez uszkodzenia podwójnej helisy DNA
lub nici RNA (w wirusach).**

Promieniowanie jonizujące działając na materię wywołuje cały szereg zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych. Dobierając odpowiednio warunki obróbki radiacyjnej możemy je wykorzystać w procesach technologicznych w wielu dziedzinach przemysłu, ochrony zdrowia i środowiska, rolnictwa i nauki. Szczególnym przypadkiem są analityczne metody identyfikacji dzieł sztuki oraz radiacyjne sposoby konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym.

- o M. Curie: *Sur l'etude des courbes de probabilité relatives a la location des radon X sur les bacteria.* « Compte rendu » 1929, 198, s. 102.
- o W. Głuszewski, Z.P. Zagórski, Q.K. Tran, L. Cortella: *Maria Skłodowska Curie - the precursor of radiation sterilization methods.* „Analytical and Bioanalytical Chemistry” 2011, 400, s. 1577 -1582.
- o Z.P. Zagórski: *Sterylizacja Radiacyjna z elementami chemii radiacyjnej i badań radiacyjnych.* Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2007, s. 272.
- o W. Głuszewski: *Napromieniowany czy promieniotwórczy?* „Postępy Techniki Jądrowej” 2013, Z.2, s. 22 - 24.

**Wojciech Głuszewski
Ewa Pańczyk**

**Centrum Badań i Technologii
Radiacyjnych, Instytut Chemii i
Techniki Jądrowej**

**NUKLEARNE TECHNIKI W KONSERWACJI I IDENTYFIKACJI DZIEŁ SZTUKI
KTÓRE URZĄDZENIA STOSOWANE W IDENTYFIKACJI DZIEŁ SZTUKI
WYMAGAJĄ IOR?**

Techniki jądrowe ze względu na wysoką czułość i możliwość odkrywania tego co niewidoczne gołym okiem od dawna zajmują znaczącą pozycję w identyfikacji dzieł sztuki. Metody te można ogólnie podzielić na trzy kategorie. Pierwsza obejmuje

wszystkie techniki radiograficzne, takie jak: rentgenografia, kseroradiografia, tomografia komputerowa, autoradiografia indukowana neutronami termicznymi, autoelektronografia indukowana promieniami X, gamma radiografia i neutronografia. Dają one możliwość uzyskania informacji o wewnętrznej budowie obiektu, nie wymagaj pobierania próbek i w tym sensie są metodami niedestrukcyjnymi. Informacje te stanowi często podstawowe dane o całym obiekcie, które mogą być uzupełniane wynikami badań przeprowadzonych innymi metodami. Do drugiej kategorii zaliczają się wszystkie metody analityczne stosujące techniki jądrowe, które pozwalają oznaczać pierwiastki śladowe znajdujące się w badanych obiektach. Umożliwia to identyfikację źródła obiektu przez obserwację podobieństw w składzie chemicznym przy założeniu, że materiały tego samego rodzaju, ale pochodzące z różnych źródeł, powinny mieć inną zawartość pierwiastków śladowych. Stężenie tych pierwiastków (tzw. finger print - „odcisk palca”) w danym obiekcie zależy nie tylko od miejsca pobrania materiału, lecz również od procesu technologicznego stosowanego przy jego wytworzeniu. Do tego celu stosuje się głównie dwie metody: neutronową analizę aktywacyjną oraz rentgenowską analiz fluorescencyjną. Inną metodą, która pozwala ocenić źródło pochodzenia materiałów jest analiza stosunków izotopowych izotopów stabilnych obecnych w materiale artystycznym i w domniemanym jego surowcu wyjściowym. Trzecią kategorią są radiacyjne metody konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym. W celu dezynsekcji, dezynfekcji i konsolidacji radiacyjnej wykorzystuje się promieniowanie gamma, promieniowanie hamowania oraz wiązki elektronów.

Rentgenografia

Rentgenogram może ujawnić zmiany kompozycyjne obrazu, jeżeli zostały one wykonane farbami zawierającymi pigmenty pochłaniające promieniowanie X, takimi jak: żółta cynowo ołowiowa, cynober, biel ołowiowa itp. Rejestruje również stan zachowania dzieła dzięki odmiennej absorpcji materiałów oryginalnych i wtórnych [2]. Jednak w przypadku wystąpienia w malowidle bieli ołowiowej w zaprawie, a zdarza się to często, zdjęcie rentgenowskie nie dostarcza żadnej informacji o cienkich warstwach słabo absorbujących promienie X.

Tomografia komputerowa

Komputerowa tomografia „rtg” jest metodą badawczą pozwalającą na otrzymanie obrazu rozkładu absorpcji przekroju poprzecznego obiektu. Na podstawie zbioru ciągów sygnałów detektorów i przy zastosowaniu odpowiedniego algorytmu możliwe jest odtworzenie kształtu przekroju (plastra) obiektu, przez który przechodziła wiązka, oraz odtworzenie rozkładu absorpcji promieniowania w płaszczyźnie plastra. Metoda ta daje szczególne korzyści w przypadku obiektów przestrzennych, np. rzeźb, gdzie „klasyczne prześwietlenie” daje obraz sumaryczny często nieczytelny i trudny do interpretacji. W Polsce metodę tą zastosowano w Akademii Sztuk Pięknych (ASP) w Krakowie do badania rozkładu materiału impregnującego w strukturze rzeźby.

Gamma radiografia

Promieniowanie gamma wykorzystuje się do badania in situ dużych obiektów, takich jak rzeźba monumentalna z kamienia czy metalu, stiuk. Jako źródło promieniowania gamma najszersze zastosowanie znalazły dwa radioizotopy ^{137}Cs i ^{60}Co o energii promieniowania odpowiednio 661 oraz 1173 i 1333 keV.

Autoradiografia indukowana neutronami termicznymi

Metoda ta polega na napromieniowaniu obrazu wiązką neutronów termicznych w reaktorze jądrowym, co powoduje przekształcenie się pierwiastków w izotopy emitujące promieniowanie beta i gamma. Promieniowanie to rejestruje się na kliszach rentgenowskich naświetlając je w określonych odstępach czasu. Badania uzupełnia się pomiarami spektrometrycznymi promieniowania gamma emitowanego przez radioizotopy obecne w pigmentach użytych przez artystę. Autoradiografia neutronowa jest niedestrukcyjną metodą stosowaną w badaniach obrazów. Pozwala stwierdzić obecność i lokalizację kilkunastu pierwiastków wchodzących w skład pigmentów i spoiw malarskich dzięki czemu można ustalić rodzaj użytych farb i odczytać na autoradiogramie przebieg pędzla w głębszych, niewidocznych warstwach malowidła. Uzupełnia ona nowymi informacjami bardzo skąpe w treści zdjęcia rentgenowskie.

Analiza aktywacyjna

Metoda analizy aktywacyjnej jest jedną ze współczesnych instrumentalnych metod analitycznych. Stała się ona od 1950 roku ważną techniką stosowaną rutynowo w setkach laboratoriów do analizy pierwiastków śladowych na poziomie ppm i mniejszym w szerokim zakresie materiałów. W latach pięćdziesiątych nie było technik, które mogłyby z nią konkurować. Dzisiaj są dostępne inne metody o podobnej czułości. Jednak neutronowa analiza aktywacyjna ciągle oferuje nowe możliwości dzięki rozwojowi elektroniki, a tym samym stosowaniu coraz to nowszych rozwiązań aparaturowych. Prowadzi to do zwiększenia precyzji, dokładności i wykrywalności. Podstawowe zasady analizy aktywacyjnej są względnie proste. Skład pierwiastkowy próbki (jakościowy i ilościowy) oznacza się poprzez napromieniowanie badanej próbki neutronami termicznymi w reaktorze jądrowym, w wyniku czego powstają radioaktywne izotopy pierwiastków obecnych w próbce. Radioizotopy te mogą być identyfikowane na podstawie właściwości emitowanego promieniowania gamma, takich jak: energia, natężenie oraz pół okres rozpadu charakterystyczny dla każdego radioizotopu. Badanie charakterystycznych widm promieniowania gamma emitowanego przez radioizotopy przeprowadza się metodą analizy spektrometrycznej.

Rentgenowska analiza fluorescencyjna

Rentgenowska analiza fluorescencyjna jest metodą niedestrukcyjną przeprowadzaną in situ i ze względu na technik pomiaru z powodzeniem może być stosowana do oznaczania składu pierwiastkowego badanych obiektów. Metoda ta jest oparta na wzbudzeniu charakterystycznego promieniowania pierwiastków za pomocą źródeł radioizotopowych lub lampy rentgenowskiej. Rejestrację widma promieniowania charakterystycznego przeprowadza się za pomocą zestawu spektrometrycznego z detektorem półprzewodnikowym Si(Li) w zakresie energii od 2 do 25 keV oraz planarnym detektorem HPGe w zakresie energii powyżej 25 keV. Metoda ta może być stosowana do:

- analizy powierzchniowej służącej identyfikacji pigmentów;
- analizy objętościowej - oznaczanie pierwiastków śladowych, jako geochemicznych wskaźników służących do określania pochodzenia danego obiektu (szkło, próbki geologiczne, papier, monety, metale, rzeźby, klejnoty).

Ponadto istnieje możliwość wykonywania niedestrukcyjnych analiz przenośnymi (mobilnymi) przyrządami. Jednocześnie można oznaczyć około 20 pierwiastków. XRF podobnie jak INAA jest od dawna wykorzystywana w badaniu dzieł sztuki i przedmiotów pochodzenia archeologicznego. Jest stosowana głównie w tych przypadkach, gdzie pobieranie próbek jest niemożliwe ze względu na charakter obiektu lub też rodzaj materiału, z którego jest wykonany, wykluczone jest zastosowanie INAA. Obecnie w badaniu dzieł sztuki oprócz najprostszej fluorescencji rentgenowskiej znalazły zastosowanie równie bardziej zaawansowane odmiany tej techniki, takie jak: TXRF, mikro-XRF, PIXE, RBS, SEM-EDX czy EPMA. O wzroście zainteresowania tą techniką wśród historyków sztuki i archeologów świadczy wydanie jubileuszowego numeru „X-Ray Spectrometry”, który w całości jest poświęcony zastosowaniom XRF w badaniu dzieł sztuki i archeologii.

Stosunki izotopowe izotopów stabilnych

Dla historyka sztuki, a także dla archeologa ważna jest znajomość źródeł pochodzenia materiałów występujących w obiektach. Pomocnym wskaźnikiem jest stężenie pierwiastków śladowych oraz stosunki izotopowe. Ponieważ materiały pochodzące z różnych źródeł mają różną historię geologiczną, dlatego możliwe jest znalezienie relacji pomiędzy przedmiotami zawierającymi dany materiał a miejscem jego wydobywania. Stosunki izotopowe w obrębie jednego złoża są mniej więcej stałe. Dzieje się tak, ponieważ stężenie każdego izotopu w stosunku do pozostałych kształtuje się w momencie geologicznych narodzin złoża. Natomiast stosunki te są różne dla złóż pochodzących z różnych epok geologicznych. Najszersze zastosowanie znalazła metoda oznaczania stosunków izotopowych ołowiu w monetach, brązach, szklach i w takich pigmentach, jak żółta cynowołowiowa oraz biel ołowiowa.

Radiacyjna dezynsekcja i dezynsekcja

Problematyka wykorzystania promieniowania jonizującego do konserwacji obiektów istotnych dla dziedzictwa kulturowego jest nadal aktualna mimo obszernej literatury naukowej na ten temat. Zbadano i opisano radiolizę najważniejszych z tego punktu widzenia materiałów (drewno, skóra, papier, pigmenty, tkaniny, szkło, metal

itd.), zebrano informacje na temat rekomendowanych dawek pochłoniętych promieniowania i ewentualnych ograniczeń w stosowaniu obróbki radiacyjnej. Osoby odpowiedzialne za obiekty muzealne po zapoznaniu się z tematem przyznają, że radiacyjna dezynsekcja i dezynfekcja to interesujące alternatywy dla tradycyjnych metod walki z bakteriami, pleśniami i insektami. Pozostaje jednak zwykle małe „ale”, które powoduje, że bardzo rzadko w naszym kraju wykorzystuje się w konserwacji dzieł sztuki promieniowanie jonizujące. Decydującą jest kwestia niewielkich zmian jakie w materiale może powodować obróbka radiacyjna. Muzealnicy szukają idealnych metod, które pozostawią obiekt w stanie niezmiennym. Można oczywiście zrozumieć taki punkt widzenia. Problem w tym, że również metody chemiczne powodują podobne zmiany. Najczęściej stosowany tlenek etylenu (EtO) jest bardzo reaktywnym związkiem chemicznym i modyfikuje powierzchnię materiałów. Podkreślam powierzchnię, gdyż w odróżnieniu od promieniowania jonizującego metody chemiczne nie wyjąłwiają całej objętości obiektu. Pomijam kwestie szkodliwości metod gazowych dla samych konserwatorów. Tlenek etylenu jest toksyczny i kancerogenny a z wodą tworzy wodzian, który przechodzi następnie w glikol etylenowy. W obecności związków chloru może powstać niezwykle trująca etylenochlorohydryna. Obydwa wymienione produkty jako związki stałe nie dają się usunąć razem z tlenkiem etylenu. Prawdziwy problem powstaje gdy zagrożone są bardzo duże zbiory obiektów o znaczeniu historycznym. Przykładem mogą być kolekcje książek i dokumentów liczące niekiedy kilkadziesiąt tysięcy sztuk lub zbiory muzeów martyrologii. Zdarza się, że duża liczba artefaktów musi być natychmiast poddana wyjąłowieniu aby móc bezpiecznie dokonać dalszych czynności konserwatorskich. W praktyce bardzo trudno w tym celu wykorzystać tradycyjne metody i czas zaczyna decydować o tym czy uda się uratować zagrożone obiekty. Uszkodzenia wywołane przez insekty lub pleśnie w okresie kiedy planujemy zabiegi konserwatorskie są niekiedy nieporównanie większe niż potencjalne zmiany w wyniku radiacyjnej dezynsekcji i dezynfekcji. Bakterie obecne często w artefaktach mogą być niebezpieczne również dla konserwatorów i ewentualnie zwiedzających muzea. Warto więc wyeliminować nawet czysto hipotetyczne zagrożenie zarażenia np. bakteriami wąglika.

Radiacyjna konsolidacja – ostatnia deska ratunku w konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym

W efekcie następuje radykalne polepszenie właściwości mechanicznych. Zdarza się często, że przedmiot o znaczeniu historycznym lub jego fragment znajdujemy w tak złym stanie, że jedynym sposobem uratowania go jest zastosowanie tzw. metody konsolidacji. Proces ten polega na wprowadzeniu do struktury drewna roztworu polimeru, który następnie pod wpływem promieniowania jonizującego jest sieciowany. We Francji stosuje się w tym celu np. roztwory poliestru w styrenie. W wyniku obróbki radiacyjnej, w materiale polimerowym powstają wiązania poprzeczne obiektu przy zachowaniu jego kształtu i wyglądu. Inaczej mówiąc, spróchniałe i rozpadające się praktycznie drewno zostaje zamienione w swego rodzaju kompozyt celulozy, ligniny i tworzywa sztucznego. Przezroczysty materiał polimerowy daje gwarancję, że obiekt nic nie traci wizualnie. Oglądając zbiory w muzeum nie zwrócimy nawet uwagi, że eksponat poddano tak gruntownemu zabiegowi konserwatorskiemu. Jak trwały jest przedmiot po takim zabiegu niech świadczy fakt, że technikę konsolidacji stosuje się komercyjnie do produkcji parkietów podłogowych. Można w ten sposób oczywiście konserwować również posadzki o znaczeniu historycznym. Klepki otrzymane poprzez konsolidację nie wymagają lakierowania, są odporne na działanie wody, stosunkowo wysokiej temperatury i posiadają znacznie podwyższoną w porównaniu do drewna mikrotwardość. Nie ma obawy, że np. niedopałek papierosa uszkodzi parkiet lub kobiety w szpilkach zniszczą podłogę.

Wracając do obiektów zabytkowych, technika konsolidacji sprawdziła się znakomicie, np. w konserwacji mebli, które dobrze wyglądają po takim zabiegu. Oczywiście polimery również ulegają degradacji głównie w wyniku działania tlenu atmosferycznego i promieniowania słonecznego. Pozostaje kwestią otwartą, jaki czas użytkowania tak zakonserwowanych mebli jest do zaakceptowania. Należałoby jak sądzę podjąć w tej dziedzinie odpowiednie badania naukowe we współpracy ze specjalistami od konserwacji zabytków. Przy okazji można zwrócić uwagę, że stare meble często wcześniej poddaje się rekonstrukcji. Uzupełnia się ubytki i nadaje im pierwotny wygląd. Można zadać pytanie: ile procent oryginalnego wyrobu powinno być zachowane, aby nadal formalnie traktować obiekt, jako zabytkowy. Mogłoby się oczywiście zdarzyć i tak, że z jednego np. krzesła zrobimy komplet czterech z 25%

wkładem oryginalnego wyrobu w każdym. Są to jednak już problemy antykwariatów i kupujących za spore pieniądze antyczne wyroby. Konserwatorzy zabytków mają również dylemat czy poddany konsolidacji obiekt ma nadal taką samą historyczną wartość. Koronnym argumentem za techniką radiacyjną jest nadal fakt, że bez tych zabiegów wielu obiektów nie udałoby się uratować w ogóle.

Ośrodek w Grenoble, z którym współpracujemy ma naprawdę duże sukcesy w ratowaniu za pomocą konsolidacji historycznych obiektów, zwłaszcza fragmentów starych okrętów i statków wydobytych z morza. Okazuje się, że woda morska zupełnie dobrze konserwuje drewno, które jednak po wyjęciu na powietrze i wysuszeniu szybko by się rozsypało. Metoda konsolidacji jest tu, jeżeli tak można powiedzieć, ostatnią deską ratunku. Proces konserwacji takich cennych obiektów jest bardzo czasochłonny. Elementy drewniane, niekiedy bardzo duże, inkubuje się w komorach o odpowiedniej wilgotności, następnie w żmudnym procesie wypiera zawartą w drewnie wodę i zastępuje ją rozpuszczalnikiem organicznym a następnie roztworem polietylenu w glikolu. Na fotografiach pokazano przykłady obiektów, które zostały w ten sposób zakonserwowane. Łatwo sobie wyobrazić jak duże problemy inżynierskie należy pokonać, aby zabezpieczyć tak okazałe wyroby. Nie są to już działania hobbistyczne, a naprawdę profesjonalna produkcja na dużą skalę fot. Pracownicy tego laboratorium, jak już wspominałem, zajmują się najcenniejszymi zabytkami z całego świata przyjmując zlecenia z różnych krajów. Wśród zatrudnionych tam pracowników spotkaliśmy również panią konserwator z Polski, która wykonuje prace wstępne, przygotowujące obiekty do konserwacji poprzez konsolidację.

Dysponują oni profesjonalnymi urządzeniami próżniowymi do wykonania impregnacji. Po takim zabiegu proces napromieniowania może być wykonany w naszym kraju lub na miejscu za pomocą promieniowania gamma.

- Ewa Pańczyk, IAEA Radiation Technology Series No. 2, Nuclear Techniques
for

Cultural Heritage Research, IAEA 2011, 17-37

- W. Głuszewski, Features of radiation conservation of high collections of objects about of historical interest, Journal of Heritage Conservation, 2015,

- Głuszewski W., Zagórski Z.P., Tran Q.K., Cortella L., Maria Skłodowska Curie – the precursor of radiation sterilization methods. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2011;400:1577-1582.

Grzegorz Jezierski

Politechnika Opolska

**Historia zastosowania promieniowania rtg w analityce
i identyfikacji dzieł sztuki**

Wykorzystanie promieniowania rentgenowskiego w obszarze dziedzictwa kultury miało miejsce od samego początku odkrycia tegoż promieniowania przez Wilhelma Roentgena. Już w rok po jego odkryciu niemiecki fizyk Walter Koenig zastosował je w 1896 r. do prześwietlania egipskich mumi. Obecnie zastosowanie promieniowania rentgenowskiego w dziedzictwie kulturowym obejmuje nie tylko radiografię czyli prześwietlenie obiektów (obrazy, ikony, rzeźby, pomniki, ołtarze, mumie, broń, narzędzia, ozdoby, monety, tkaniny, dokumenty, instrumenty muzyczne, dzwony, i in.) ale również fluorescencję rentgenowską (XRF) do analizy składu chemicznego czy dyfrakcję rentgenowską (XRD) do oceny struktury badanych obiektów – wszystkie te metody należą do metod bezkontaktowych. Dodatkowo wykorzystuje się tak wspaniałe współczesne narzędzie, jakim jest tomograf rentgenowski. Również w Polsce badania te prowadzone były od dawna (Bogdan Marconi, Rudolf Kozłowski, Jan Rutkowski i in.). Obecnie w Polsce wiele ośrodków prowadzi tego rodzaju badania z wykorzystaniem ww metod. W niniejszej prezentacji przedstawiono z konieczności w sposób skrótowy historię zastosowania promieniowania rentgenowskiego w dziedzictwie kulturowym w Polsce.

Władysław Weker

**Państwowe
Muzeum Archeologiczna
Warszawa**

Zastosowanie radiografii w muzealnictwie

Po raz pierwszy technikę zdjęć rentgenowskich wykorzystano do badania obiektów zabytkowych w Niemczech w 1913 roku.

W Polsce inicjatorem tej techniki badań zabytków był Bohdan Marconi, który w 1934 roku w Muzeum Narodowym w Warszawie uruchomił pracownię badań radiograficznych.

Użycie promieniowania rentgenowskiego umożliwia zbadanie stanu zachowania zabytków. Każde uszkodzenie, retusz obrazu, ukryte pod warstwą malarską i niedostrzegalne gołym okiem są czytelne na rentgenogramie. Zdjęcia rentgenowskie umożliwiają badanie oryginalnego obrazu pierwotnego, szkiców, przemalowań, a także poprawek wykonywanych przez malarza.

Zdjęcia rentgenowskie umożliwiają ujawnienie konstrukcji urządzeń nierozbieralnych lub tak skorodowanych, że ich analizowanie bez uszkodzenia jest niemożliwe.

Radiografia, jako podstawowa, nieniszcząca metoda badań wykorzystywana jest również w archeologii. Zniszczone w wyniku korozji zabytki archeologiczne prześwietlane promieniami rentgenowskimi odsłaniają swoje tajemnice zanim zostaną poddane pracochłonnym i czasochłonnym zabiegom konserwatorskim. Zdjęcia rentgenowskie dają niekiedy jedyną możliwość uzyskania i udokumentowania oryginalnego kształtu obiektu całkowicie zniszczonego przez korozję oraz poznania technologii jego produkcji stanowiąc również ważne narzędzie diagnostyczne w procesie postępowania konserwatorskiego.

W ciągu dziesiątek lat technika badań zabytków promieniami rentgena podlegała różnym modyfikacjom. Przed II wojną światową stosowano technikę wykonywania serii zdjęć rentgenowskich ruchomym aparatem (zwanej również planografią, tomografią, serioskopią, radiotomią).

B. Marconi opracował odmianę tej techniki dla potrzeb badania obrazów malowanych dwustronnie na drewnie, nazywając ją techniką zdjęcia płaszczyznowo

obrotowego. W latach 60 XX wieku stosowano technikę stereoskopowych zdjęć rentgenowskich. Rozwój nauki daje coraz potężniejsze narzędzia do badań zabytków. Tomografia komputerowa, wykorzystanie promieniowania o wysokich energiach otrzymywanego w akceleratorach stwarza całkowicie nowe możliwości badawcze.

W Państwowym Muzeum Archeologicznym w Warszawie od 1968 roku do badań zabytków używany jest defektoskop rentgenowski „Baltospot 200”. Stanowi on podstawowe narzędzie badawcze umożliwiające dokumentowanie zabytków przed i po konserwacji. Badania te umożliwiły w wielu przypadkach wyjaśnienie konstrukcji elementów uzbrojenia, ujawnienie kształtów dawnych wyrobów, itp. Ich znaczenia dla badań archeologicznych i konserwacji jest ogromne. Zastosowanie nowoczesnych urządzeń oraz technik tomografii komputerowej znacznie rozszerza możliwości badań tą techniką.

Igor Krupiński

POLON-ALFA spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.k.,

**Wykorzystanie technik radiacyjnych w badaniach dzieł sztuki
- wybrane zagadnienia**

Badanie obiektów dziedzictwa kulturowego jest szczególnie istotne z punktu widzenia oceny autentyczności dzieła, zdobywania wiedzy na temat warsztatu artysty czy też konserwacji zabytkowych dzieł sztuki.

W przypadku malarstwa najbardziej atrakcyjnymi technikami są takie, które pozwalają na całopłaszczyznowe obrazowanie ukrytych warstw zawierających pierwotną kompozycję dzieła, rysunek przygotowawczy, późniejsze przemalowania lub interwencje konserwatorskie.

Ze względu na dużą wartość badanych obiektów ważne jest to, aby stosowane techniki były nieinwazyjne i nieniszczące.

Najbardziej znanymi tego typu metodami, które pozwalają na obrazowanie dużych obszarów obrazów, są:

-radiografia rentgenowska (XRR), fluorescencja rentgenowska (XRF), reflektografia

w zakresie podczerwieni.

Wszystkie stosowane techniki mają jednak istotne ograniczenia między innymi ze względu na cechy obiektu badań, właściwości promieniowania jonizującego i zjawisk fizycznych wykorzystywanych w metodzie badania, stosowanych detektorów.

W prezentacji przybliżone zostaną wybrane metody badań wykorzystujące promieniowanie jonizujące oraz próba zestawienia możliwości i ograniczeń przedstawianych metod badawczych.

Ewa Pańczyk

**Centrum Badań i Technologii
Radiacyjnych, Instytut Chemii i
Techniki Jądrowej
ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa**

Obrazowanie rentgenowskie i neutronowe w służbie archeologii

Wszechstronne badania obiektów naszego dziedzictwa kulturowego oprócz tradycyjnych metod stosowanych przez historyków sztuki takich jak porównania kompozycyjne, ikonograficzne i stylistyczne zostały wzbogacone w XX wieku przez kompleksowe badania technologiczne stosujące różnorodne wzajemnie uzupełniające się metody fizyko-chemiczne.

Badania technologiczne, badania techniki wykonania, badania występowania objawów starzenia oraz metody określania wieku obiektów są wykonywane po pierwsze w celu ustalenia autentyczności dzieł sztuki, po drugie w celu uzyskania informacji o technologii i technice stosowanej przez warsztat danego mistrza, po trzecie badania te dają odpowiedź na pytanie jakie optymalne techniki konserwatorskie należy zastosować podczas renowacji i konserwacji danego obiektu. Natomiast w przypadku obiektów archeologicznych na podstawie tych badań archeolodzy mogą znaleźć odpowiedź na podstawowe nurtujące ich pytania: gdzie?, kiedy?, jak? i z jakiego materiału?

Techniki jądrowe ze względu na wysoką czułość i możliwość odkrywania tego co

niewidoczne gołym okiem od dawna zajmują znaczącą pozycję w identyfikacji dzieł sztuki. Metody te można ogólnie podzielić na trzy kategorie.

Pierwsza obejmuje wszystkie techniki radiograficzne takie jak rentgenografia, kseroradiografia, tomografia komputerowa, autoradiografia indukowana neutronami termicznymi, autoelektronografia indukowana promieniami X, gamma radiografia i neutronografia. Dają one możliwość uzyskania informacji o wewnętrznej budowie obiektu, nie wymagają pobierania próbek z obiektu i w tym sensie są metodami niedestrukcyjnymi. Uzyskane z tych badań informacje stanowią często podstawowe dane o całym obiekcie, które mogą być poszerzane i uzupełniane innymi metodami.

Do drugiej kategorii zaliczają się wszystkie techniki analityczne stosujące techniki jądrowe, które pozwalają oznaczać pierwiastki śladowe znajdujące się w badanych obiektach. Umożliwia to identyfikację źródła obiektu przez obserwację podobieństw w składzie chemicznym przy założeniu, że materiały tego samego rodzaju ale pochodzące z różnych źródeł powinny różnić się zawartością pierwiastków śladowych.

Stężenie tych pierwiastków (tzw. finger print – „odcisk palca”) w danym obiekcie zależy nie tylko od miejsca pobrania materiału, lecz również od procesu technologicznego stosowanego przy jego wytworzeniu. Do tego celu stosuje się głównie dwie metody neutronową analizę aktywacyjną oraz rentgenowską analizę fluorescencyjną. Inną metodą, która pozwala ocenić źródło pochodzenia materiałów jest analiza stosunków izotopowych izotopów stabilnych obecnych w materiale artystycznym i w domniemanym jego surowcu wyjściowym.

W trzeciej kategorii znajdują się techniki wykorzystujące promieniowanie jonizujące bezpośrednio w praktyce konserwatorskiej: radiacyjną dezynfekcję i radiacyjną konsolidację. Radiacyjna dezynfekcja polega na niszczeniu za pomocą promieniowania jonizującego bakterii, pleśni, grzybów, owadów znajdujących się w obiektach. Natomiast radiacyjna konsolidacja wykorzystuje energię promieniowania jonizującego do utwardzania ciekłego składnika, którym nasycono konserwowany obiekt. Zabieg ten utrwala strukturę obiektu i zabezpiecza przed dalszą destrukcją.

Omówione zostaną metody radiograficzne wykorzystujące promieniowanie X, β , γ i neutrony – między innymi autoradiografia indukowana neutronami termicznymi, oraz techniki analityczne INAA (Instrumentalna Neutronowa Analiza Aktywacyjna) i XRF (rentgenowska analiza fluorescencyjna).

**Irena Rodzik
Katarzyna Schaefer**

**Narodowe Muzeum Morskie w
Gdańsku Dział Konserwacji
Muzealiów**

**Zastosowanie rentgenowskich technik do badań zabytków archeologicznych
w Narodowym Muzeum Morskim w Gdańsku**

Rozwój technik rentgenowskich pozwolił na zwiększenie zakresu prac badawczych zabytków, pozwalając m.in. na analizę obiektu zabytkowego pod względem jego składu, struktury i stanu zachowania. Informacje te ułatwiają podjęcie decyzji co do wymaganych procesów konserwatorskich. Konserwator miał często ograniczony dostęp do sprzętu badawczego opierając się niejednokrotnie na ocenie wizualnej stanu zachowania obiektu, podczas gdy obecnie ma możliwość wykorzystania szeregu technik analitycznych. Technika rentgenowska ma bardzo szeroki zakres zastosowania w badaniach dzieł sztuki. Służy do identyfikacji przemalowań, a tym samym określenia autentyczności obiektu. W przypadku zabytków wydobytych ze środowiska mokrego jest głównym źródłem informacji na temat struktury obiektu lub poszczególnych elementów znajdujących się pod warstwą zwartej konglomeracji. Kolejną metodą, która na przestrzeni lat stała się ważnym narzędziem pracy konserwatorów i naukowców jest Spektroskopia Fluorescencji Rentgenowskiej. Krótki czas pomiaru, nieniszczący charakter i możliwość przeprowadzenia badań in situ to jedne z wielu zalet, dzięki którym jest to jedna z podstawowych metod wykorzystywanych w początkowej fazie badań. W trakcie wystąpienia autorzy przedstawiają rys historyczny techniki rentgenowskiej i Spektroskopii Fluorescencji Rentgenowskiej jak również przykłady pierwszych obiektów poddanych badaniom z użyciem obu metod z kolekcji Narodowego Muzeum Morskiego w Gdańsku i nie tylko. Autorzy wskażą również mocne strony obu metod oraz obszary w których zastosowanie komplementarnych metod jest zalecane.