

Wojciech Głuszewski*

Unikatowe cechy radiacyjnej konserwacji dużych zbiorów obiektów o znaczeniu historycznym

Unique features of radiation conservation of high collections of objects about of historical interest

Słowa kluczowe: promieniowanie jonizujące, radiacyjna sterylizacja, radiacyjna konsolidacja, obiekty archiwalne, artefakty dziedzictwa kulturowego

Key words: ionizing radiation, radiation sterilization, radiation consolidation, archived materials, cultural heritage artefacts

WSTĘP

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 radiacyjne dezynsekcja i dezynfekcja to interesująca alternatywa 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 niezmienionym. 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 wyjaławiają całej

INTRODUCTION

The issue of the use of ionizing radiation for the preservation of important objects of cultural heritage is still valid despite the extensive scientific literature on the subject. Radiolysis of materials most important from that point of view (wood, leather, paper, pigments, textiles, glass, metal, etc.) was investigated and described; information was collected on the recommended absorbed doses of radiation and any restrictions on the use of radiation processing. Those responsible for the museum objects after hearing the theme admit that radiation disinfection and disinfection are an interesting alternative to traditional methods of dealing with bacteria, mold and insects. There remains, however, a small “but” due to which ionizing radiation is very rarely used in art restoration in our country. The question of how small changes in the material can be caused by irradiation is decisive. Museum workers are looking for ideal methods that leave the object unchanged. You can certainly understand this point of view. The problem is that chemical methods result in similar changes. Most commonly used ethylene oxide (EtO) is a very reactive chemical compound and modifies the surface of materials. I stress surface, as in contrast to ionizing radiation chemical methods do not sterilize the entire volume of the object. I leave out the dangers of gas methods for conservators themselves. Ethylene oxide is toxic and

* Zakład Naukowy – Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
w.gluszewski@ichtj.waw.pl

* *Wojciech Głuszewski, Centre of Radiation Research and Technology, Institute of Nuclear Chemistry and Technology
w.gluszewski@ichtj.waw.pl*

Cytowanie / Citation: Głuszewski W. Unique features of radiation conservation of high collections of objects about of historical interest. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2015;41:84-91

Otrzymano / Received: 2014-12-30 • **Zaakceptowano / Accepted:** 2015-04-06

Praca dopuszczona do druku po recenzjach

Article accepted for publishing after reviews

objętości obiektu. Pomijam kwestię 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 etylenochlorohydrina. 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 egzemplarzy 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 wykorzystywać tradycyjne metody i czas zaczyna decydować o tym, czy uda się uratować zagrożone obiekty. Uszkodzenia wywołane przez insekty lub pleśń 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 (ryc. 1).

KRÓTKI RYS HISTORYCZNY

Radioliza to ogół procesów chemicznych wywołanych działaniem promieniowania jonizującego na materię [2]. Wyraz ten wprowadziła do nauki Maria Skłodowska-Curie. Uczona zauważyła, że w kontakcie soli radu z wodą powstają produkty gazowe: tlen i wodór, i przez analogię do elektrolizy nazwała to zjawisko radiolizą. Termin przyjął się w nauce, chociaż współcześnie zmienił znaczenie. Pionierskie prace Skłodowskiej-Curie dały początek radiochemii, zajmującej się chemią radioizotopów i chemii radiacyjnej badającej skutki oddziaływania promieniowania jonizującego na materię. Szczególnym przypadkiem jest omawiana tu radioliza obiektów o znaczeniu historycznym.

Warto w tym kontekście przypomnieć, pracę *Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons X sur les bacilles*, którą Madam Curie, żona Piotra, jak wówczas mało elegancko pisano, opublikowała w roku 1929 w biuletynie Francuskiej Akademii Nauk. Laureatka dwóch nagród Nobla przedstawiła w niej po raz pierwszy krzywe tzw. radiacyjnej inaktywacji (zależności przeżywalności bakterii od dawki pochłoniętej promieniowania). Pomysł zwalczania patogenów za pomocą promieniowania X nie miał wówczas praktycznego znaczenia. Nie było wystarczająco aktywnych źródeł promieniowania, a sprzęt medyczny tania i wygodnie wyjąłowiano termicznie. Dopiero upowszechnienie się wykonanych z tanich tworzyw polimerowych wyrobów medycznych jednorazowego użytku stworzyło zapotrzebowanie na tzw. zimne metody wyjąłowiania. W pewnym sensie wrócono wówczas do koncepcji Skłodowskiej-Curie i na skalę przemysłową zaczęto sterylizować wyroby medyczne wiązką elek-

carcinogenic, and forms a hydrate with water which then changes into ethylene glycol. In the presence of chlorine compounds, an extremely poisonous 2-chloroethanol may be created. Both these products as solid compounds cannot be removed with ethylene oxide. The real problem arises when large collections of objects of historical significance are at risk. An example may be a collection of books and documents sometimes numbering tens of thousands of pieces, or sets in memorial museums. It happens that a large number of artifacts must be immediately subjected to sterilization to safely undergo further maintenance procedures. In practice, it is very difficult to use traditional methods for this, and time might decide if we can save endangered objects. Damage caused by insects or mold at a time when we are planning conservation treatment is sometimes much greater than the potential change as a result of radiation disinfection and disinfection. Bacteria present in artifacts can often be dangerous also for conservators and possibly museum visitors. So, it is worth eliminating even the hypothetical threat of infection, e.g. Anthrax (fig. 1).

BRIEF HISTORICAL OVERVIEW

Large parts of radiation chemistry deal with the chemical effects induced by ionizing radiation on matter [2]. Working with aqueous solutions of radium salts, Maria Skłodowska-Curie noticed that water under the action of radiation breaks down into hydrogen and oxygen, which by analogy to electrolysis she called radiolysis. The term caught on in science although nowadays it has changed meaning. Pioneering work of Skłodowska-Curie gave rise to radiochemistry dealing with the chemistry of radioisotopes, and radiation chemistry investigating the effects of the influence of ionizing radiation on matter. A particular case is the discussed here radiolysis of objects of historical significance.

One should recall in this context the work *Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons X sur les bacilles* that Madam Curie, the wife of Peter – as it was not very elegantly written then – published in 1929 in the bulletin of the French Academy of Sciences. In it the winner of two Nobel Prizes presented, for the first time, curves of so called radiation inactivation (relation between bacteria survival and absorbed dose of radiation). The idea of combating pathogens using X-rays had the practical effect. There were not enough active radiation sources and medical equipment was cheaply and easily sterilized by heat. Only the proliferation of single-use medical devices made of cheap plastic polymer created a demand for cold sterilization method. In a sense, they reverted to the concept of Skłodowska-Curie and began to sterilize medical devices on an industrial scale, using electron beam and gamma radiation. Paradoxically, because of the high cost of bremsstrahlung, only recently the world's first system employing only X-ray radiation for the processing started operating in Switzerland. Access to large sources of ionizing radiation in a short

tronów i promieniowaniem gamma. Paradoksalnie, ze względu na wysoki koszt promieniowania hamowania dopiero w ostatnich latach powstała w Szwajcarii pierwsza na świecie instalacja wykorzystująca do obróbki radiacyjnej wyłącznie promieniowanie rentgenowskie. Dostęp do dużych źródeł promieniowania jonizującego pozwolił w krótkim czasie znaleźć ich inne praktyczne zastosowania, np. w konserwacji dzieł sztuki i obiektów archeologicznych. Można ogólnie powiedzieć, że sterylizacja radiacyjna dała początek technikom radiacyjnym, które do dziś są intensywnie rozwijane na całym świecie. Powstają nowe kierunki badawcze, zwłaszcza w chemii radiacyjnej polimerów. Doświadczenia zdobywane w ten sposób wykorzystuje się również w konserwacji obiektów historycznych, gdyż większość artefaktów wykonanych jest z naturalnych polimerów (drewno, papier, tkaniny, skóra). Ogólne zależności odkryte w badaniach stosunkowo prostych tworzyw sztucznych łatwo przenieść na bardziej skomplikowane związki organiczne (celuloza, lignina, białka, DNA itd.) [3]. Warto zauważyć, że coraz częściej historyczne znaczenie mają również wyroby wykonane z tworzyw polimerowych.

ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

Obecnie dzięki postępowi w dziedzinie konstrukcji akceleratorów do obróbki radiacyjnej stosuje się powszechnie wiązki elektronów (EB – ang. *electron beam*). Konkurują one ze źródłami promieniowania gamma, wykorzystującymi radioaktywny izotop kobaltu o liczbie masowej 60 (^{60}Co). 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}Ni . Sporadycznie stosuje się również cez 137, który występuje w równowadze promieniotwórczej ze swoim produktem rozpadu, ^{137}Ba . Emitują one promieniowania beta o energii 0,512 MeV i gamma o energii o 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. W wielu krajach stosuje się również twarde promieniowanie rentgenowskie generowane w urządzeniach przyspieszających elektrony (akceleratorach). Mimo że obróbkę radiacyjną traktuje się obecnie jak zabieg rutynowy, to jest ona nadal procesem stosunkowo drogim. Jednak efekty uzyskane tą drogą są na tyle unikatowe, że opłaca się budować kosztowne przemysłowe źródła promieniowania jonizującego [4].

UNIKATOWOŚĆ OBRÓBKI RADIACYJNEJ

Sterylizacja radiacyjna, czyli sterylizacja za pomocą promieniowania jonizującego, jest typową metodą fizyczną. Zarówno wysokoenergetyczny foton, jak

period of time allowed for finding their other practical applications, e.g. in the conservation of works of art and archaeological objects. You can generally say that the radiation sterilization gave rise to radiation techniques which are still intensively developed worldwide. There are new directions in research, particularly in radiation chemistry of polymers. The experience gained in this way is also used in the preservation of historic objects, as most of the artifacts are made from natural polymers (wood, paper, textiles, and leather). General relations discovered in research of relatively simple plastic, can be easily applied to more complex organic compounds (cellulose, lignin, proteins, DNA etc.) [3]. It is worth noting, that more and more often products made from polymeric materials are also of historical importance.

SOURCES OF IONIZING RADIATION

Now, thanks to advances in the construction of accelerators electron beams (EB – called electron beam) are commonly used for radiation treatment. They compete with gamma radiation sources that use radioactive cobalt isotope with mass number 60 (^{60}Co). Formally, it should be clarified that ^{60}Co is the β -radioactive. The electromagnetic radiation (γ) issued by fragile product decay, excited nucleus ^{60}Ni , is of practical importance. Occasionally cesium 137 is also applied, which is pre-



Ryc. 1. Dziecko mamuta sprzed 50 000 lat, poddane sterylizacji w pracowni konserwacji dzieł sztuki NucleArt w Grenoble

Fig. 1. Baby mammoth 50 000 years, sterilized in L'Atelier régional de conservation Nucléart (ARC-Nucléart) in Grenoble



Ryc. 2. Grzebień po radiacyjnej sterylizacji i renowacji

Fig. 2. Comb after radiation sterilization and renovation



Ryc. 3. Przedmiot drewniany z napisem Ostaszaków

Fig. 3. Wooden object with the words Ostaszaków



Ryc. 5. Łańcuszek i medalik (w przypadku niewielkich wyrobów metalowych mogą one być sterylizowane wiązką elektronów, w innych przypadkach zalecane jest raczej promieniowanie gamma)

Fig. 5. Chain and locket (in the case of small metal items they may be sterilized by electron beam, in other cases, gamma is rather recommended)



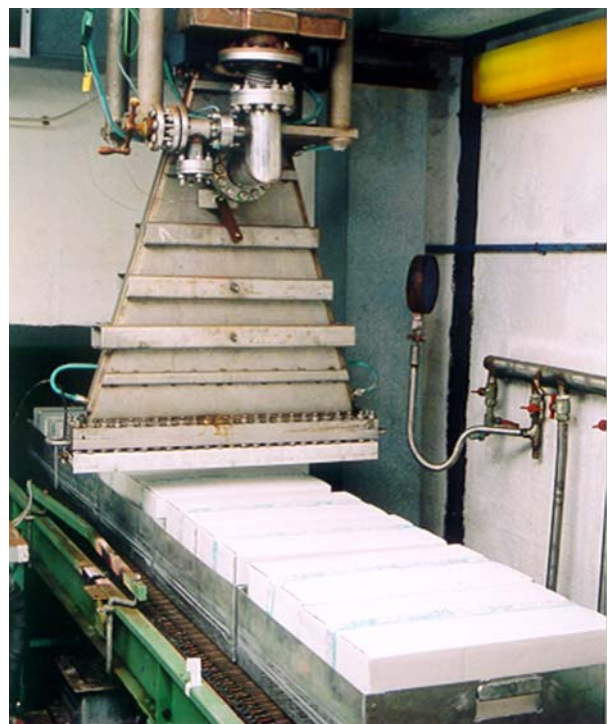
Ryc. 6. Naramiennik granatowego munduru policji polskiej

Fig. 6. Epaulet of navy blue uniform (pre-war Polish Police)



Ryc. 4. Moneta rosyjska (wyroby miedziane mogą być wyjalawiane szybkimi elektronami o energii poniżej 10 MeV)

Fig. 4. Russian coin (copper products can be sterilized fast electrons with energies below 10 MeV)



Ryc. 7. Skaner przemiata wiązkę elektronów na szerokość skrzynki. Na transporterze poruszają się w skrzynkach przedmioty poddawane radiacyjnej sterylizacji

Fig. 7. The scanner sweeps electrons beam to the width of the box. On the conveyor moving objects undergo radiation treatment

i szybki (2/3 szybkości światła) elektron wnikając w głąb napromieniowanego produktu generują wokół siebie akty wtórnej jonizacji o silnym działaniu biobójczym na drobnoustroje. Dzięki temu proces sterylizacji radiacyjnej charakteryzuje się wysoką wydajnością i równomiernością rozkładu dawki wystarczającą do inaktywacji drobnoustrojów nie tylko w warstwach powierzchniowych, lecz w całej masie wyrobu [5]. Działanie biobójcze promieniowania jonizującego na komórki drobnoustrojów ma złożony charakter i skutkuje nieodwracalnym uszkodzeniem cząsteczek DNA w jądrze komórki, powoduje także skutkujące śmiercią drobnoustroju uszkodzenie błon komórkowych.

Metoda radiacyjnej sterylizacji jest tzw. „metodą zimną”, co oznacza, że procesowi napromieniowania nie towarzyszy wzrostu temperatury wyjaławianego produktu, który mógłby wpływać niekorzystnie na materiał. W zależności od dawki promieniowania i czasu napromieniowania można się liczyć ze wzrostem temperatury w granicach od kilku do kilkunastu stopni. Najczęściej obróbkę radiacyjną prowadzi się w temperaturze pokojowej, ale mogą to być również temperatury ujemne. Przykładem jest wyjałowienie mamuta sprzed 50 tysięcy lat przeprowadzone w temperaturze -20°C .

Zaletą sterylizacji radiacyjnej, o czym już wspominałem, jest to, że promieniowanie jonizujące przenikając w głąb sterylizowanego wyrobu sterylizuje w takim samym stopniu obiekt w całej jego masie i dodatkowo opakowanie oraz powietrze lub gaz obojętny znajdujący się wewnątrz opakowania. Ta unikalna właściwość promieniowania jonizującego umożliwia sterylizowanie przedmiotów zaspawanych w szczelnych opakowaniach plastikowych, umieszczonych w dużych kartonach zbiorczych zawierających dziesiątki, a często i setki opakowań jednostkowych. Kartony dostarczone przez zlecniodawcę pozostają nienaruszone przed, w trakcie i po sterylizacji. Jest to bardzo cenna z praktycznego punktu widzenia cecha metody radiacyjnej, wyróżniająca ją spośród innych znanych sposobów dezynfekcji i dezynsekcji. Artefakty archeologiczne lub obiekty znalezione w miejscach ekshumacji oraz katastrof komunikacyjnych można zamknąć w szczelnych opakowaniach chroniących personel przed zakażeniem i po radiacyjnej sterylizacji przekazać do dalszej konserwacji lub badań. Przy zastosowaniu wiązki elektronów zabiegu sterylizacji można dokonać praktycznie w ciągu kilkunastu minut. Tym między innymi technika radiacyjna różni się od powierzchniowego wyjaławiania tlenkiem etylenu, które jest długotrwałe i wymaga wielodniowego wietrzenia.

Oryginalną cechą radiacyjnej dezynsekcji jest, że już przy bardzo małych dawkach promieniowania unieszkodliwia jaja owadów i powoduje bezpłodność osobników dorosłych. Można przypuszczać, że inne chemiczne metody dezynsekcji nie dadzą gwarancji uporania się z jajami owadów. Przy większych dawkach możemy uzyskać efekt letalny bezpośrednio po napromieniowaniu.

Obróbka radiacyjna nie wytwarza w napromienionym materiale toksycznych pozostałości. Tym

sent in radioactive equilibrium with its breakdown product, ^{137}Ba . They emit beta radiation with energy of 0.512 MeV and gamma rays with energy 0.662 MeV. Restrictions on the use of ^{137}Cs result from easy solubility of the element which creates a potential hazard in the event of plant moisture, or cesium compounds getting into the wrong hands. In many countries, hard X-ray radiation generated by the electron accelerating device (accelerators) is also applied. Although the radiation treatment is now treated as a routine procedure, it is still a relatively expensive process. However, the results obtained in this way are so unique that it pays to build costly industrial sources of ionizing radiation [4].

UNIQUENESS OF RADIATION TREATMENT

Radiation sterilization, which means sterilization using ionizing radiation, is a typical physical method. Both the high-energy photon and fast (2/3 the speed of light) electron, penetrating deep into the irradiated product, generate around acts of secondary ionization with potent biocidal effect on microorganisms. Thus, sterilization process is characterized by high efficiency and uniformity of the dose distribution, sufficient to inactivate the microorganisms not only in the surface layers, but the whole weight [5]. Biocidal effect of ionizing radiation on microbial cells is complex and results in irreversible damage to a molecule of DNA in the cell nucleus, and also causes damage to cell membranes resulting in death of the organism.

Radiation sterilization method is called “cold method”, which means that the irradiation process is not accompanied by temperature rise of the sterilized product that could adversely affect the material. Depending on the dose of radiation and irradiation time, temperature increase in the range from a few to several degrees can be expected. Most irradiation is carried out at room temperature, but it may also be a negative temperature. An example is the sterilization of the mammoth from 50,000 years ago carried out at -20°C .

The advantage of radiation sterilization, as already mentioned, is that the ionizing radiation penetrating deep into the sterilized product sterilizes in the same way the object in all its mass, and additionally its packaging and air or inert gas inside the package.

This unique property of ionizing radiation allows for sterilizing items in sealed plastic packaging placed in large bulk cartons containing dozens and often hundreds of individual packages.

Cartons supplied by the client remain intact before, during and after sterilization. From a practical point of view, it is a very valuable characteristic of the radiation method, which distinguishes it from other known methods of disinfection and disinfestation. Archaeological artifacts and objects found in the exhumation or communication disasters can be enclosed in sealed packages to protect staff against infection, and after radiation sterilization forwarded for further maintenance

w zasadniczy sposób różni się od czynników biologicznych, które powodują nie tylko degradację np. celulozy i spowodowane tym uszkodzenia, ale również mogą poważnie zagrozić zdrowiu bibliotekarzy i konserwatorów, wywołując alergię oraz choroby układu oddechowego.

KONSERWACJA DUŻYCH ZBORÓW OBIEKTÓW O ZNACZENIU HISTORYCZNYM

Unikatową cechą technik radiacyjnych jest możliwość dezynsekcji i dezynfekcji bardzo dużej liczby obiektów w krótkim (ekspresowym) czasie. Stosuje się w tym celu zarówno promieniowanie gamma, jak i wiązki elektronów. W pierwszym przypadku czas napromieniowania w zależności od mocy dawki może się zmieniać od kilku do kilkudziesięciu godzin. Przy zastosowaniu akceleratorów elektronów czas przejścia obiektu pod wiązką elektronów jest rzędu kilku sekund. Cały zabieg w zależności od liczby eksponatów zajmuje od kilkunastu minut do kilkunastu godzin dla olbrzymich zbiorów artefaktów. W przypadku wiązek elektronów (EB) ograniczeniem jest stosunkowo mały zasięg promieniowania. Akceleratory elektronów z powodzeniem stosowane są więc przy małej gęstości materiału, względnie niewielkiej grubości obiektu. Korzyścią w stosunku do promieniowania gamma jest mniejsze utlenianie, a co za tym idzie, znacznie mniejsza degradacja materiału [6].

Przykładowo na masową skalę po raz pierwszy promieniowanie gamma zastosowano dla ratowania księgozbioru w Lipsku w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Uzyskano wówczas zadowalające rezultaty dla dawki 8,7 kGy. W naszym kraju radiacyjnej sterylizacji za pomocą promieniowania gamma poddano 60 tysięcy sztuk obuwia z Państwowego Muzeum na Majdanku.

Wiązkę elektronów po raz pierwszy do sterylizacji dużej liczby artefaktów zastosowano w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie wyjaławiając artefakty dla Muzeum Wojska Polskiego.

MUZEUM KATYŃSKIE

Latem 1991 roku przywieziono do kraju po ekshumacjach w Charkowie i Miednoje znaczną liczbę przedmiotów wykopanych z dołów śmierci (granatowe płaszcze i mundury policyjne, okucia od daszków, naramienniki, odznaki policyjne z numerami służbowymi i wiele innych przedmiotów osobistych). 31 sierpnia po uzgodnieniach między przedstawicielami Ministerstwa Obrony Narodowej i Komendantem Głównym Policji Państwowej postanowiono, iż wspomniane przedmioty przeniesione zostaną do Muzeum Wojska Polskiego, gdzie po konserwacji i ewidencji będą przechowywane. Zbiory te miały zostać pokazane na kolejnej wystawie pt. „Dowody zbrodni. Ostaszów – Miednoje, Starobielsk – Charków”, przygotowywanej w niemalże ekspresowym tempie. Otwarcie ekspozycji zaplanowano na 25 listopada 1991 r. W tej sytuacji zaszła konieczność

or testing. Using electron beams, sterilization treatment can be carried out practically within several minutes. Among other, this is how irradiation technique differs from the surface sterilization with ethylene oxide, which is lengthy and requires multi-day ventilation.

The original feature of radiation disinfection is that even at very low doses of radiation it inactivates the eggs of insects and causes infertility in adults. It can be assumed, that other chemical disinfection methods do not guarantee getting rid of the insect eggs. At higher doses, we can get a lethal effect immediately after irradiation.

MAINTENANCE OF LARGE COLLECTIONS OF OBJECTS OF HISTORICAL SIGNIFICANCE

A unique feature of the technique is the possibility of radiation disinfection and disinfection of a very large number of objects in a short (express) time. This applies to both the gamma rays and electron beams. In the first case, depending on the dose rate, the irradiation time can vary from a few to several hours. When using electron accelerators, the time of object transition under the electron beam is of the order of several seconds. The whole procedure, depending on the number of exhibits, can take from several minutes to several hours for huge collections of artifacts. In the case of electron beam (EB) a drawback is its relatively small radial reach. Electron accelerators are successfully used at low material density, or relatively small thickness of the object. The advantage, in comparison to gamma radiation, is less oxidation and thus much less degradation of material [6].

For example, for the first time gamma radiation was used on a large scale to save the library in Leipzig in the 1990s. The satisfactory results were obtained for a dose of 8.7 kGy. In our country, the radiation sterilization by gamma irradiation was applied to 60,000 pieces of footwear from the State Museum at Majdanek.

For the first time, an electron beam was used to sterilize a large number of artifacts in the Institute of Nuclear Chemistry and Technology in Warsaw while sterilizing the artifacts for the Museum of the Polish Army.

KATYŃ MUSEUM

In the summer of 1991, after the exhumation in Kharkov and Miednoje, a significant number of objects excavated from the pits of death (dark blue coats and police uniforms, fittings from cap peaks, shoulder straps, police badge numbers and many other personal items) were brought to the country. On Aug. 31, after the agreement between the representatives of the Ministry National Defence and the Commander in Chief of the State Police, it was decided that those items will be transferred to the Museum of the Polish Army, where the maintenance and records will be kept. These collections were to be shown in the next exhibition “Evidence of crimes.

szybkiego wyjałowienia obiektów, tak aby mogły zostać poddane pracom badawczym w Centralnym Laboratorium Kryminalistycznym Komendy Głównej Policji w Warszawie i Instytucie Nauk Policyjnych w Legionowie. Zwrócono się w związku z tym do doc. dr. Lecha Walisia, ówczesnego dyrektora Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) w Warszawie z prośbą o wykonanie zabiegu radiacyjnego wyjałowienia zgromadzonych artefaktów. Instytut po ocenie wielkości obiektów i rodzaju materiałów, z których były wykonane, zgodził się nieodpłatnie wykorzystać do sterylizacji wiązkę elektronów. Sprawa była na tyle pilna, że postanowiono uruchomić Stację Sterylizacji Radiacyjnej na trzecią zmianę i dokonać napromieniowania w nocy. Artefakty przywieziono w workach i po ułożeniu ich w jednej warstwie w aluminiowych skrzynkach przepuszczono pod wiązką elektronów. Zastosowano typową dla sterylizacji radiacyjnej dawkę 25 kGy. Warto wyjaśnić, że rutynowo instalacja w IChTJ jest wykorzystywana do wyjaławiania wyrobów medycznych i dlatego zabiegu dokonano po godzinach, zachowując szczególne środki ostrożności co do poziomu higieny. Zadbano, aby nie było kontaktu wyrobów medycznych z artefaktami historycznymi. Po obróbce radiacyjnej zasadniczą część obiektów przewieziono do Muzeum WP, gdzie poddano je niezbędnym zabiegom konserwatorskim. W październiku pozostałe pamiątki przesłane równoległe do Komendy Głównej Policji zostały przejęte przez Muzeum.

Zabieg sterylizacji potraktowano wówczas rutynowo i dlatego nie zachowały się materiały archiwalne, w szczególności zdjęcia. Warto więc z okazji przeniesienia Muzeum Katyńskiego w nowe miejsce przypomnieć o tamtym epizodzie. Na zdjęciach pokazano niektóre artefakty wykonane z różnych materiałów po sterylizacji radiacyjnej i konserwacji (ryc. 2, 3, 4, 5, 6).

RADIACYJNA DEZYNFEKCJA ZA POMOCĄ WIĄZKI ELEKTRONÓW

Jeszcze raz warto podkreślić, iż niewielkie zmiany chemiczne indukowane radiacyjnie są na tyle istotne i specyficzne, że opłaca się budować kosztowne urządzenia obróbki radiacyjnej [7]. Praktyczne znaczenie mają jednak tylko wielkie źródła promieniowania jonizującego, do których zalicza się akceleratory o mocy wiązki powyżej 1 kW. Działają one bardzo podobnie do kineskopu telewizora, z tą tylko różnicą, że energia i moc wiązki elektronów jest setki razy większa. Specjalne metody przemiatania pozwalają zapewnić niezbędny poziom jednorodności pola napromieniania, co jest warunkiem właściwej obróbki radiacyjnej dużych obiektów. Zaletą instalacji akceleratorowych jest duża intensywność wiązki elektronów umożliwiająca podanie dawki promieniowania w krótkim czasie w temperaturze zbliżonej do temperatury pokojowej. Urządzenie można w każdej chwili wyłączyć, co redukuje koszty eksploatacyjne i upraszcza jego przegląd. Brak emisji promieniowania po wyłączeniu akceleratora powoduje, że są one traktowane z punktu widzenia radiologicznego jako bardziej bezpieczne niż źródła radioaktywne.

Ostaszów – Miednoje, Starobelsk – Kharkiv”, prepared in almost record time. Opening of the exhibition was scheduled for 25 November 1991. In this situation, it was necessary to quickly sterilize objects so that they can be subjected to research work in the Central Forensic Laboratory of the Police Headquarters in Warsaw and the Police Institute in Legionowo. Therefore, Professor Lech Walis, then director of the Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT) in Warsaw, was requested to carry out the radiation sterilization treatment of collected artifacts. For the assessment of the size of objects and types of materials from which they were made the institute agreed to use electron beam sterilization free of charge. The matter was so urgent that they decided to run the Radiation Sterilization station on the third shift and carry out irradiation at night. Artifacts were brought in bags, and after arranging them in a single layer in aluminum boxes, were passed under the electron beam. A typical radiation sterilization dose of 25 kGy was used. It is worth explaining that the installation is routinely used for IChTJ sterilization of medical devices, and therefore the procedure was done after hours, keeping the specific precautions as to the level of hygiene. Care was taken to avoid any contact of medical devices with historical artifacts. After radiation treatment, the majority of objects were taken to the Museum of PA, where they underwent necessary conservation work. In October, other memorabilia sent alongside to the Police Headquarters, were taken over by the Museum.

The sterilization treatment was routinely treated, and therefore archival materials, in particular images, were not preserved. So, let the occasion of the transfer of the Katyń Museum in a new place remind about that episode. The pictures show some artifacts made of different materials after sterilization and maintenance (fig. 2, 3, 4, 5, 6).

RADIATION DISINFECTION BY ELECTRON BEAM

Once again, it is worth noting that small chemical changes induced by irradiation are so important and unique, that it pays to build costly radiation treatment device [7]. However, only great sources of ionizing radiation, which include accelerators with beam power above 1 kW, are of practical importance. They work much like a television picture tube, with the only difference that the energy and power of the electron beam is hundreds of times greater. Specific sweep methods allow you to provide the necessary level of uniformity of the irradiation field, which is a prerequisite for the proper handling of large radiation. The advantage of installing an accelerator is large intensity of the electron beam which allows emitting the radiation dose in a short time at a temperature close to room temperature. The device can be disabled at any time, which reduces operating costs and simplifies its revision. No radiation after turning off accelerators causes them to

Podstawowym źródłem promieniowania jonizującego stosowanym w badaniach był akcelerator elektronów Elektronika 10/10. Wartości liczbowe podawane przy nazwach odpowiadają nominalnym wartościom energii i mocy wiązki.

W wielu publikacjach mylone jest napromieniowanie z promieniotwórczością. Dlatego należy wyraźnie podkreślić, że produkty napromieniowane elektronami o energii poniżej 13 MeV nie stają się radioaktywne. Większych energii elektronów, mimo ich potencjalnej atrakcyjności z punktu widzenia zasięgu penetracji, w praktyce nie stosuje się właśnie ze względu na możliwość powstawania krótkożyciowych radioaktywnych nuklidów.

Bardziej nowoczesną, w pełni przemysłową instalacją jest wykorzystywana obecnie do sterylizacji radiacyjnej linia technologiczna wyposażona w akcelerator Elektronika 10/10 o energii elektronów 10 MeV i mocy wiązki 10 kW (ryc. 7).

be considered as more secure than radioactive sources from the radiological point of view.

The primary source of ionizing radiation used in the study was the electron accelerator Electronics 10/10. The numerical values given with the name correspond to the nominal values of the energy and power of the beam.

In many publications irradiation is confused with radioactivity. Therefore, it should be emphasized that the products irradiated by electrons with energies below 13 MeV do not become radioactive. Larger energy electrons, despite their potential attractiveness from the point of view of the penetration range, are not applied in practice precisely because of the possibility of the formation of short-lived radionuclides.

A production line equipped with accelerator Electronics 10/10 (10 MeV energy electron beam power of 10 kW), used today for sterilization, is a more modern, fully industrial installation (fig. 7).

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Curie M. Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à la location des radon X sur les bactéries. *Compte rendu* 1929;198:102-106.
- [2] 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.
- [3] Głuszewski W., Zagórski Z.P., Rajkiewicz M. Protective effects in radiation modification of elastomers. *Radiation Physics and Chemistry* 2014;105:53-56.
- [4] Zagórski Z.P. Sterylizacja radiacyjna z elementami chemii radiacyjnej i badań radiacyjnych. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa, 2007.
- [5] Zimek Z. Technika radiacyjna w PTJ. *Postępy Techniki Jądrowej* 2008;4:15-22.
- [6] Głuszewski W. Radioliza papieru. *Postępy Techniki Jądrowej* 2014;3:23-25.
- [7] Głuszewski W., Przybytniak G. Radiacyjna modyfikacja kompozytów polimerowych. *Tworzywa Sztuczne w Przemysle* 2015;2:38-40.

Streszczenie

Opublikowana w roku 1929 praca Marii Skłodowskiej-Curie na temat wpływu promieniowania X na bakterie dała początek radiacyjnym procesom zwalczania patogenów [1]. Obróbka radiacyjna za pomocą promieniowania gamma, rentgenowskiego i szybkich elektronów nadal jest usługą stosunkowo kosztowną. Dlatego wykorzystywana jest w przypadku wyrobów relatywnie drogich lub w sytuacji, kiedy nie ma metod alternatywnych. W artykule zwrócono uwagę na unikatowe cechy radiacyjnej dezynfekcji i dezynsekcji obiektów o znaczeniu historycznym. Promieniowanie jonizujące okazało się szczególnie efektywne przy konserwacji dużych zbiorów przedmiotów. Przykładem jest wyjałowienie za pomocą wiązki elektronów obiektów historycznych wydobytych z dołów śmierci w Miednoje i Charkowie. Artefakty te będą prezentowane w nowej siedzibie Muzeum Katyńskiego w Cytadeli Warszawskiej.

Abstract

Published in 1929, the work of Maria Skłodowska-Curie on the effects of X-rays on bacteria gave rise to radiative processes of eradication of the pathogens [1]. Irradiation by gamma, X rays and fast electron is still relatively expensive. Therefore, it is used in the case of relatively expensive products or in a situation where there are no alternatives. The article focuses on the unique characteristics of radiation disinfection and disinfection of historical objects. Ionizing radiation has proved particularly effective in the maintenance of large collections. An example is the sterilization by means of an electron beam, of historical objects excavated from the pits of death in Miednoje and Kharkov. These artifacts will be presented in the new headquarters of the Katyń Museum in Warsaw Citadel.