

# Adam Krajewski

---

## Wykorzystanie promieniowania gamma do ochrony zabytków

---

Ochrona Zabytków 44/2 (173), 104-111

---

1991

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

# THE MODLIN AND WARSAW FORTIFICATIONS DURING THE INTER-WAR PERIOD

The Polish state, reborn in 1918, took over the legacy of almost 150 years of bondage. The testimony of the activity pursued by the partitioners included the former Austrian, Prussian and Russian fortifications. Among the latter an important place was held by the Modlin and Warsaw forts.

In contrast to the "bitter relics of the past", which proved to be easy to destroy, such as the Russian Orthodox church in the Saski Square or the obelisque of Aleksander I in the Alexander Citadel, the liquidation of the fortifications presented a complex task.

On the one hand, the issue involved the needs of the newly emerging Polish army, which constituted a rational premise for

the retention of the forts. On the other hand, a considerable role was played by emotions and the memory of the forts' guns turned against the Poles.

The undertakings conducted in both fortifications in the inter-war period show that they retained their utilitarian nature. Even the classification of the guns, carried out by the army, which recognised their historical value, did not prevent hurried, careless repairs or serious adaptations that did not take into account the original substance of the monuments. This attitude was favoured also by a brief historical perspective, since work on some of the objects was performed already upon the eve of World War I.

ADAM KRAJEWSKI

## WYKORZYSTANIE PROMIENIOWANIA GAMMA DO OCHRONY ZABYTKÓW<sup>1</sup>

Promieniowanie gamma w ochronie zabytków stosuje się dopiero od kilkunastu lat – we Francji, Grecji, Niemczech i Czechosłowacji. Badania zaś nad jego wykorzystaniem do tego celu prowadzi się już od ponad 30 lat. W pierwszych publikacjach na ten temat określane jest jako obiecujące, a w nowszych – mianem rozwojowej metody konserwacji. W niektórych opracowaniach jest ono nawet reklamowane w sposób zbyt bezkrytyczny.

Stosowanie promieniowania gamma do ochrony zabytków nie może być traktowane jako jedna metoda konserwacji – dotyczy dwóch odrębnych zakresów działań: zabijania szkodników zabytków (bakterie, grzyby, owady) oraz polimeryzacji monomerów wprowadzanych w porowatą substancję zabytkowego obiektu (drewno, kamień, tkanina) w celu jej strukturalnego wzmocnienia.

Wykorzystywanie promieniowania gamma w konserwacji zabytków na szeroką skalę wymaga jeszcze (zdaniem autora) uzyskania odpowiedzi na kilka szczegółowych pytań i rozwiania pewnych wątpliwości.

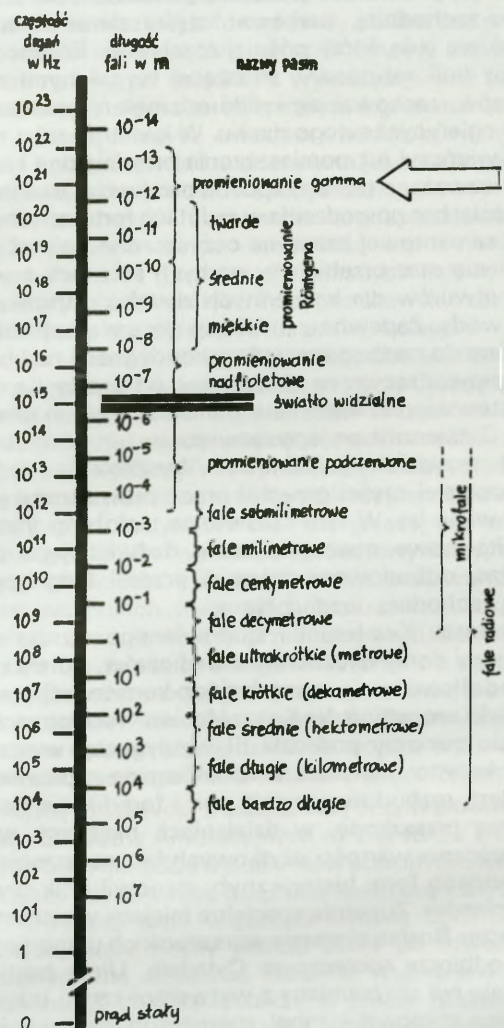
Problemowi temu poświęcono już wiele badań i są one na tyle zaawansowane, że można dokonać ogólnej oceny metody dezynsekcji i dezynfekcji zabytków oraz metody strukturalnego wzmocnienia substancji zabytkowej przy użyciu promieniowania gamma. Artykuł ten napisany z myślą o wypełnieniu luki w tym zakresie w polskim piśmiennictwie.

### Zwalczanie owadów niszczących zabytki (dezynsekcja)

Chemiczne środki ochrony drewna, obok wielu korzyści, wykazują podstawowe braki. Impregnaty solne, rozpuszczalne w wodzie, nie mogą być stosowane w wielu obiektach ze względu na towarzyszące ich użyciu pęcznienie i skurcz drewna.

Impregnaty olejowe mogą powodować tworzenie się plam i zmianę barw, szczególnie w obiektach polich-

<sup>1</sup> Publikacja ta prezentuje część wyników badań uzyskanych przez autora w ramach realizacji tematu z FPT *Fizyczne metody dezynsekcji drewna* prowadzonego w OBiK PP PKZ w latach 1988–1989. Badania te kontynuowane są przez autora we współpracy z Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie (Zakład VII). Autor pragnie wyrazić gorące podziękowanie dr W. Stachowiczowi za stworzenie możliwości kontynuacji badań zapoczątkowanych w PP PKZ. Niniejsze opracowanie zostało pomyślane jako ogólne wprowadzenie do serii publikacji przedstawiającej problematykę zastosowania promieni gamma w ochronę zabytków.



1. Miejsce promieniowania gamma w widmie promieniowania elektromagnetycznego (wg. Z. Płochockiego)<sup>1</sup>

1. The site of gamma radiation in the phantom of electromagnetic radiation (according to Z. Płochocki)

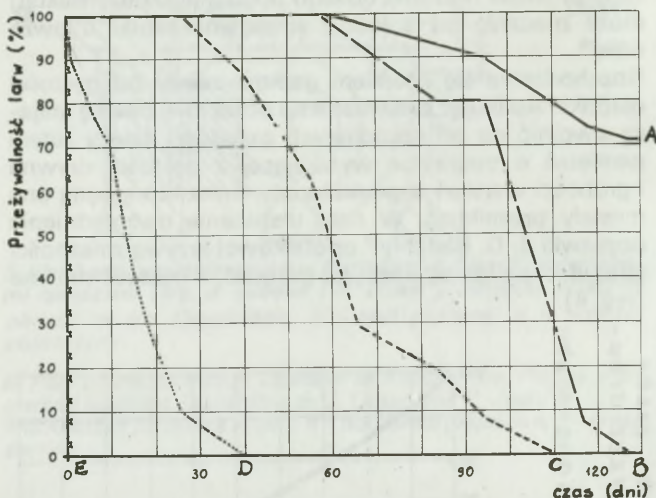
romowanych<sup>2</sup>. Przy gazowaniu zabytkowych obiektów występują poważne problemy z likwidacją gazu przy opróżnianiu komory.

Promieniowanie gamma od wielu lat cieszy się dużym zainteresowaniem jako środek walki ze szkodliwymi owadami w różnych dziedzinach gospodarki. Sposób zwalczania szkodliwych owadów może się tu opierać na dwóch strategiach działania:

1) doprowadzeniu do wymarcia szkodnika w przyszłych pokoleniach (spowodowaniu bezpłodności lub mutacji letalnych) za pomocą małych dawek.

2) szybkim zabiciu szkodnika za pomocą dużych dawek promieniowania.

Pierwszy sposób jest stosowany przy zwalczaniu szkodników żywności na polach, w sadach i w magazynach oraz w celu zmniejszenia liczebności owadów groźnych dla ludzi i zwierząt hodowlanych ze względów epidemiologicznych<sup>3</sup>. Działanie takie nosi nazwę „techniki steryl-



2. Zależność przeżywalności starszych larw kołatka domowego (*Anobium punctatum* Deg.) od dawek promieniowania gamma różnej wielkości. Objaśnienia: A – 0 kGy (kontrola); B – 0,25 kGy; C – 1 kGy; D – 2 kGy; E – 3 kGy

2. The dependence of the survival of older larvae of *Anobium punctatum* Deg. upon the various doses of gamma radiation

nych samców” (*sterile males technique*). O ile sposób ten przynosi wymierne efekty ekonomiczne, chroniąc ponadto rolnictwo, sadownictwo i przetwórstwo żywności przed nadmierną chemizacją, to zupełnie nie jest właściwy, gdy chodzi o ochronę dóbr kultury. Nawet gdyby zwalczanie danego gatunku polegające na dążeniu do zniszczenia przyszłych generacji przyniosło jakiś efekt w makroskali po kilku latach (wymarcie populacji), to byłoby bardzo długotrwałym i kosztownym przedsięwzięciem, zupełnie niecelowym w wypadku konkretnego obiektu zabytkowego, wymagającego szybkiej dezynsekcji. Ponadto, jak udowodnił to J. D. Bletchly<sup>4</sup>, stosując

<sup>2</sup> W. Unger, *Möglichkeiten zur Bekämpfung holzerstörender Insekten durch physikalische Methoden*. „Holztechnologie” 1984, nr 5, ss. 264–269.

<sup>3</sup> S. Ignatowicz, *Możliwości zwalczania szkodników magazynowych za pomocą promieni jonizujących*. „Postępy Nauk Rolniczych” 1983, nr 2, ss. 97–116; A. Krajewski, *Z badań nad dezynsekcją drewna za pomocą promieniowania jonizującego, prowadzonych w PP PKZ*. „Informacje bieżące” 1989, nr 22, Wydawnictwa PKZ, ss. 1–9.

<sup>4</sup> J. D. Bletchly, *Effekts on subsequent generations gamma-irradiation on larvae of *Lyctus brunneus* (Steph.) (Coleoptera, Lyctidae)*. „Annals of applied Biology” 1962, nr 50, ss. 661–667.

niewielkie dawki sterylizujące trzeba się liczyć z możliwością regeneracji zdolności reprodukcyjnych niektórych gatunków, np. miazgowca (*Lyctus brunneus* Steph.). Cennych informacji na temat wrażliwości niektórych gatunków owadów niszczących przedmioty z drewna i drewniane budynki dostarczyły prace J. D. Bletchly<sup>5</sup>. Nie dał on jednoznacznych zaleceń co do wielkości dawki koniecznej do zwalczania badanych gatunków, ponieważ nie sprecyzował kryteriów oceny skuteczności zabiegów napromieniowania. Stwierdził jednak, że w stosunku do badanego miazgowca dawka musi być stosunkowo wysoka (0,7–1,5 kGy<sup>6</sup>).

Za dawkę przydatną do zwalczania danego gatunku owada należy przyjąć dawkę powodującą zabicie starych larw w czasie nie krótszym niż wymagany dla chemicznych środków zwalczania. W wypadku owadów niszczących drewno powinien on zatem wynosić nie więcej niż 8–12 tygodni (po wzięciu poprawki na grubość drewna) – takie bowiem warunki stawia się środkiem ochrony drewna przy testowaniu ich<sup>7</sup>.

Chociaż ogólnie rzecz biorąc owady są grupą organizmów bardzo odporną (w porównaniu do ssaków) na promieniowanie gamma, to odporność poszczególnych gatunków jest bardzo różna<sup>8</sup>. W świetle ostatnich badań<sup>9</sup> do gatunków najbardziej odpornych na promieniowanie gamma należy kołatek domowy (*Anobium punctatum* Deg). Zwalczanie tego gatunku wymaga dawki 2–3 kGy, co przeczy wcześniejszym doniesieniom francuskim i czeskim o dawce 0,25–0,5 kGy<sup>10</sup>. W drewnie potraktowanym dawką ostatnio wymienionej wielkości larwy kołatka mogą żerować jeszcze przez długi okres.

Szybkość wymierania napromieniowanych larw i ich zdolność do pobierania pokarmu zależy m.in. od wielkości dawki napromieniowania. Dobrą ilustracją tego zjawiska mogą być uzyskane przez autora wyniki napromieniowania kołatka domowego (rys. 2).

<sup>5</sup> J. D. Bletchly, *Some Laboratory Investigations on the Eradication of Wood-Boring Insects by Gamma Radiation*. „Proceedings Xth International Congress of Entomology” (Montreal), 1956/1958, tom 4, ss. 385–389; J. D. Bletchly, R. C. Fischer, *Use of Gamma Radiation for the Destruction of Wood-boring Insects*. „Nature” 1957, nr 4561, ss. 670–672; J. D. Bletchly, *The effect of gamma-radiation on some wood-boring insects*. „Annals of applied Biology” 1961, nr 49, ss. 362–370; J. D. Bletchly op. cit.

<sup>6</sup> Legalną jednostką dawki pochłoniętej wg układu SI jest Gy (grej). 1 Gy = 1 J/kg. Relacje między starą i obecnie obowiązującą jednostką są następujące: 1 Gy = 100 rad, 1 kGy = 100000 rad.

<sup>7</sup> BN-63/6058-02. Środki ochrony drewna. Oznaczenie skuteczności zwalczania owadów w drewnie, 1963; (DIN)EN 22. Holzschutzmittel. Bestimmung der bekämpfenden Wirkung gegenüber Larven von *Hyloterpes bajulus* (Linnaeus) (Laboratoriumsverfahren), 1975. (DIN)EN 48. Holzschutzmittel. Bestimmung der bekämpfenden Wirkung gegenüber Larven von *Anobium punctatum* (De Geer) (Laboratoriumsverfahren), 1977.

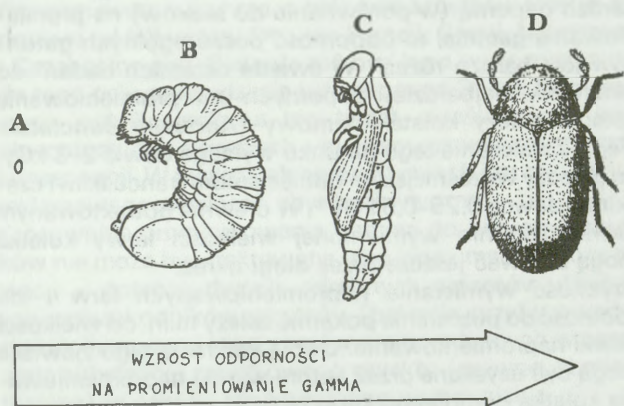
<sup>8</sup> S. Ignatowicz, op. cit., A. Krajewski, op. cit.

<sup>9</sup> M. Bär, G. Kerner, W. Köhler, W. Unger, *Die Bekämpfung holzerstörender Insekten mit ionisierender Strahlung*. „Neue Museumskunde” 1983, nr 4, ss. 208–215. W. Unger, op. cit.; A. Krajewski, *Zwalczanie owadów-szkodników technicznych drewna za pomocą promieni gamma*. Ochrona drewna. XV Sympozjum, Rogów 26–28 września 1990, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1990, ss. 23–29.

<sup>10</sup> B. Detanger, R. Ramiere, C. de Tassigny, R. Eymery, L. de Nadailiac, *The treatment of woden objects*. „Revue Bois et Forêts des Tropiques” 1974, nr 154, ss. 59–62; J. Urban, P. Justa, *Conservation by gamma radiation: the Museum of Central Bohemia in Rostoky*. „Museum” 1986, nr 151, ss. 165–167.

Spśród chrząszczy, oprócz rodziny kołatkowatych (*Anobiidae*) do najbardziej odpornych na promieniowanie gamma należą również pustoszwowe (*Ptinidae*) i skórnikowate (*Dermestidae*), jak podaje S. Ignatowicz<sup>11</sup>. Do rodzin tych należy wiele bardzo groźnych szkodników drewna, papieru, tkanin, futer, niektórych klejów oraz zoologicznych kolekcji muzealnych.

Jak już wspomniano, poszczególne gatunki owadów mogą wykazywać bardzo różną odporność na promieniowanie gamma. Niewłaściwe wydaje się więc traktowanie ich jako zbioru gatunków o jednakowej wrażliwości, co wielokrotnie dotąd czyniono<sup>12</sup>. Niektóre gatunki, oprócz wymagających dużych dawek przy ich zwalczaniu (2–3 kGy), szybko wymierają po zastosowaniu znacznie niższych dawek (np. 0,25 kGy lub nawet jeszcze mniejszych). Celowe wydaje się więc przebadanie pod względem wrażliwości na promieniowanie gamma gatunków będących szkodnikami drewnianych budynków i przedmiotów, książek, starych fotografii, tkanin oraz innych zabytków<sup>13</sup>.



3. Schemat ilustrujący rozwój odporności owadów na promieniowanie gamma na tle stadiów rozwojowych szkodnika starych książek – żywiaka chlebowca (*Stegobium paniceum* L.) Objasnienia: A – jajo; B – larwa; C – poczwarka; D – postać doskonała (imago)

3. Diagram illustrating the development of the resistance of the insects to gamma radiation as compared to the development stages of *Stegobium paniceum* L. – an insect which damages old books. A – egg, B – larva, C – chrysalis, D – perfect form (imago)

Poznanie wrażliwości poszczególnych szkodników zabytków i wielkości dawki koniecznej do szybkiej, skutecznej dezynsekcji daje możliwość lepszej organizacji wykorzystania źródeł promieniotwórczych (szczególnie tych o mniejszej mocy dawki) oraz możliwość oszczędzenia dezynsektowanym obiektom zbędnego napromieniowania. Wrażliwość owada zależy również od stadium roz-

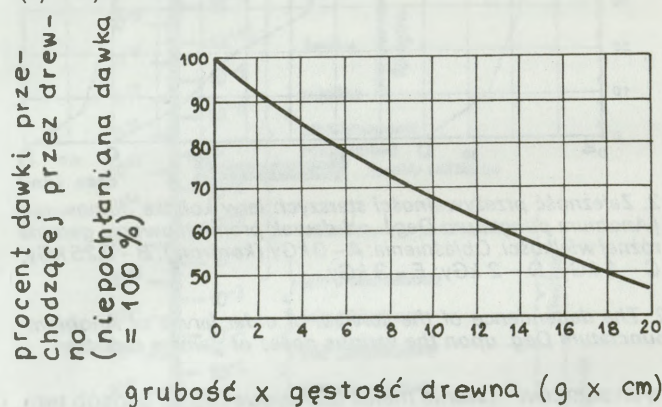
<sup>11</sup> S. Ignatowicz op. cit.

<sup>12</sup> W. Beck, *L'emploi des radiations ionisantes pour l'assainissement du bois ancien*. International Council of Monuments and Sites, Symposium on the Weathering of Wood, Ludwigsburg 8–11.VI.1969, ss. 53–68; B. Detanger i inni, op. cit.; J. Urban, P. Justa, op. cit.

<sup>13</sup> Autor niniejszej publikacji od 1988 r. prowadzi doświadczenia w tym zakresie na spuszczeniu pospolitym (*Hylotrupes bajulus* L.), kołatku domowym, wyschliku grzybykoroźnym (*Ptilinus pectinicornis* L.), żywiaku chlebowcu (*Stegobium paniceum* L.), mrzyku muzealnym (*Anthrenus museorum* L.) i rybiku cukrowym (*Lepisma saccharina* L.). Chętnie podejmie współpracę z placówkami zainteresowanymi tą problematyką. W przygotowaniu są doświadczenia na dalszych gatunkach owadów.

wojowego, w którym się on znajduje. Najbardziej wrażliwe są świeżo złożone jaja. Na przykład 1–4 dniowe jaja kołatka domowego i tytotka pstrego (*Xestibiu rufovilosum* L.) mogą zostać uśmiercone dawką 0,04 kGy, natomiast starsze jaja kołatka dawką 0,48–0,68 kGy, a tytotka 0,32 kGy<sup>14</sup>. Wraz z rozwojem osobniczym wzrasta odporność owadów<sup>15</sup>, choć nie zawsze jest to funkcyjna zależność. Wrażliwość ta bowiem w bardzo dużym stopniu zależy od stadium podziału komórek. Najbardziej odporne są więc poczwarki i postacie dośkonale. Jednak jak można przypuszczać na podstawie prowadzonych badań – już niewielka część dawki potrzebnej do szybkiego uśmiercenia larw powoduje sterylizację napromieniowanych dorosłych osobników i dorosłych osobników powstałych z napromieniowanych poczwarek. Trwają doświadczenia nad tym zagadnieniem oraz nad wpływem innych czynników na skuteczność zabiegu. Stwierdzono również, że podwyższona temperatura (a więc lekkie ogrzanie obiektu poddanego dezynsekcji) może znacznie przyspieszyć śmiertelne skutki u owadów<sup>16</sup>.

Rozchodzenie się promieni gamma zależy od gęstości ośrodka. Aplikując drewnianemu obiektowi dawkę mającą uwolnić go od szkodliwych owadów, należy zatem pamiętać o poprawce wynikającej z gęstości drewna i grubości warstwy tego materiału, przez którą będą one musiały przeniknąć. W celu ułatwienia uwzględnienia poprawki J. D. Bletchly<sup>17</sup> opublikował krzywą zależności stratności dawki od iloczynu grubość × gęstość drewna (rys. 4).



4. Zależność wielkości dawki przechodzącej przez drewno od grubości i gęstości tego materiału (wg J. D. Bletchly<sup>16</sup>)

4. The dependence of the size of a dose passing through wood upon the thickness and texture of that material (according to J. D. Bletchly<sup>16</sup>)

Bardzo istotną cechą, którą koniecznie należy uwzględnić przy dezynsekcji zabytkowych pomieszczeń i zabytkowych przedmiotów, jest rozkład mocy dawki w przestrzeni. Wielkość ta wyrażana jest w jednostkach dawki pochłoniętej wydatkowanej w jednostce czasu (np. Gy/s) i silnie maleje w miarę oddalenia od źródła. Dobrą ilustracją tego zjawiska jest rysunek komory jonizującej

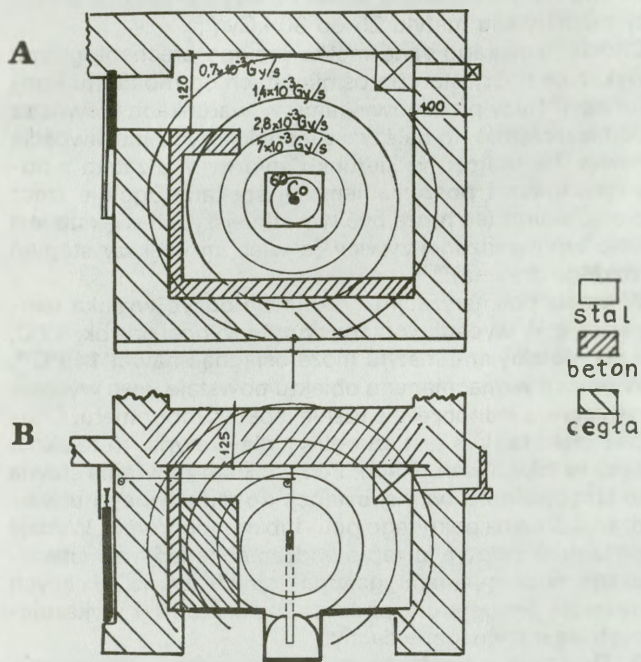
<sup>14</sup> J. D. Bletchly, R. C. Fischer, op. cit.

<sup>15</sup> A. E. Klimpinia, *Jonizirujuscije izlucenija w borbie s wriednymi nasiekomyi*, Izdatelstwo ZINATIE, Riga 1971; S. Ignatowicz, op. cit.

<sup>16</sup> J. D. Bletchly 1961, op. cit.; A. Michajłow, *Konservacija na rezbovani proizvedena na izskuvoto*. W: Prouevenija i Konservacija. Sofia 1974, ss. 137–150.

<sup>17</sup> J. D. Bletchly 1961, op. cit.

w Środkowoczeskim Muzeum koło Pragi (rys. 5) z naniesionymi izodozami, zamieszczony w publikacji J. Urbana i P. Justy<sup>18</sup>.



5. Plan komory rajonizacyjnej w Roztokach k. Pragi z naniesionymi izodozami (wg J. Urbana i P. Justy<sup>17</sup>). Grubość przegród podano w cm. Objasnienia: A – rzut poziomy; B – przekrój poprzeczny

5. Plan of the ionization chamber in Roztoki near Prague with marked isodoses (according to J. Urban and P. Justy<sup>17</sup>). Thickness of partitions in cms. A – horizontal projection, B – cross section

Nastręcza to pewne trudności w uzyskaniu jednorodnego napromieniowania całego obiektu. Sposobem eliminacji tego niekorzystnego zjawiska może być zmienianie położenia obiektu w czasie pomiędzy fazami napromieniowania (komory jonizacyjne) lub pozycji źródła względem obiektu (źródła przenośne). Przy tym przerwy nie powinny trwać dłużej niż kilka minut.

Do najbardziej znanych przykładów zabytków uwolnionych od szkodliwych owadów za pomocą promieni gamma należą: drewniane słupy nagrobne z Australii (największy o wymiarach 3,6 m wysokości i 0,3 m średnicy) z kolekcji Muzeum Sztuki Oceanii i Afryki w Paryżu oraz historyczne pomieszczenie w Neues Palais w Potsdam-Sanssouci o wymiarach 6 x 9 x 5 m, z drewnianym parkietem, wystrojem ścian i meblami.

### Zwalczanie szkodliwych grzybów i bakterii (dezynfekcja)

Grzyby wymagają znacznie większej wilgotności otoczenia niż owady, a więc we właściwych warunkach muzealnych mogą nie mieć szans rozwoju. We współczesnym muzealnictwie warunkom tym stawia się rygorystyczne wymagania<sup>19</sup>, które niestety w Polsce nie zawsze są przestrzegane. W dodatku, gdy pozyskany do zbiorów

<sup>18</sup> J. Urban, P. Justa, op. cit.

<sup>19</sup> Ch. Wolters, O ochronie zabytków w muzeach i odpowiednich środkach zaradczych (wykład wygłoszony 14.V.1973 na Międzynarodowym Sympozjum ICOM w Lindau). „Muzealnictwo” 1974, nr 22, ss. 81-87.

drewniany obiekt, do niedawna przebywający pod gołym niebem, jest zagrzybiony – to do szybkiego odgrzybiania potrzebne są znacznie większe dawki niż w wypadku nawet najbardziej odpornych owadów. Można jednak znacznie dawkę zmniejszyć, lekko ogrzewając obiekt. Na przykład do zwalczania stroczka domowego (*Serpula lacrimans*) Wulf. in Jacq.: Fr. (Schroet.) przy temperaturze 20°C potrzeba dawki 6,4 kGy, natomiast przy 26°C już tylko 2,0 kGy. Taki sam efekt dla gnilcy mózgowej (*Coniophora puteana*) Schum.: Fr. (P. Karst.), drugiego z najbardziej szkodliwych grzybów domowych, można uzyskać dopiero przy temperaturze 34°C<sup>20</sup>.

Jeszcze wyższe dawki konieczne są do zabicia grzybów powodujących rozkład pleśniowy i bakterii. W wypadku pleśni szacowane były one nawet na 18–20 kGy<sup>21</sup>.

W. Beck<sup>22</sup> stwierdził, że dawki 5 i 10 kGy nie osłabiają pleśni *Aspergillus niger*, a dawką skuteczną jest dopiero 15 kGy.

Do zwalczania bakterii potrzebna jest dawka podobnego rzędu wielkości<sup>23</sup>.

Oczywiście przy stosowaniu promieniowania gamma do dezynfekcji występują podobne problemy z rozkładem mocy dawki w przestrzeni czy też przenikaniu przez materię jak przy dezynsekcji.

Dezynfekcja i dezynsekcja zabytków za pomocą promieni gamma w porównaniu z metodami chemicznymi wykazuje wiele zalet. Są nimi:

- 1) niezawodność (w wypadku właściwej dawki dla danego gatunku szkodnika, skorygowanej o grubość i gęstość materii będącej tworzywem zabytku),
- 2) prostota wykonania – zabieg może zostać przeprowadzony nawet na obiekcie w opakowaniu transportowym,
- 3) szybkość wykonania zabiegu – w zależności od mocy źródła, pojemności urządzenia, w którym zainstalowane jest źródło, wrażliwości gatunku szkodnika oraz cech obiektu, czas dezynfekcji i dezynsekcji może trwać od ułamków godziny do kilku dni,
- 4) wielka wydajność – np. w komorze jonizacyjnej w Roztokach k. Pragi można w ciągu roku wykonać dezynsekcję 1850 obiektów o przeciętnych wymiarach (rzeźby, obrazy, meble)<sup>24</sup>,
- 5) możliwość zwalczania szkodników w obiektach wykonanych z wielu rodzajów tworzywa (polichromowane i złocone drewno, książki, meble),
- 6) absolutna czystość zabiegu.

Do najbardziej znanych obiektów poddanych dezynfekcji należą:

mumia Ramzesa II oraz wspomniane drewniane słupy nagrobne z Muzeum Sztuki Oceanii i Afryki w Paryżu.

<sup>20</sup> J. Bors, La suppression des dommages aux bois des radiations ionisantes. International of Monuments and Sites, Symposium in the Weathering of Wood Ludwigsburg 8–11 VI 1969, ss. 60–76.

<sup>21</sup> B. Detanger i inni, op. cit.; A. Ginier-Gillet, M. D. Parchas, R. Ramiere, Q. K. Tran, Methodes de conservation developpees au Centre d'Etude et de Traitement des Bois Gorges d'Eau (Grenoble, France): Impregnation par une resine radiodurcissable et lyophilisation. Waterlogged Wood. Study and Conservation. Proceedings of the 2nd ICOM Waterlogged Wood. Working Group Conference. Grenoble 28–31 VIII 1984, ss. 125–137.

<sup>22</sup> W. Beck op. cit.

<sup>23</sup> Z. P. Zagórski, Utrwalanie żywności: napromieniowywać czy nie napromieniowywać? „Problemy” 1987, nr 8, ss. 18–24, 33–34.

<sup>24</sup> J. Urban, P. Justa, op. cit.

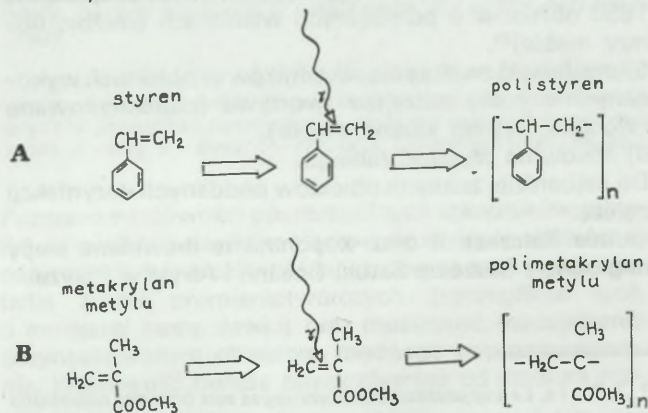
## Polimeryzacja monomerów podczas strukturalnego wzmocnienia drewna i kamienia

Promieniowanie gamma jest również wykorzystywane do polimeryzacji monomerów wprowadzonych w porowate materiały. Materiałami konserwowanymi w ten sposób były powietrznosuche drewno, rozłożone drewno archeologiczne o dużym stopniu wilgotności oraz skorodowany kamień (wapień, marmury, piaskowce).

Powietrznosuche drewno i kamień wprowadza się do zbiornika impregnującego. Za pomocą niewielkiego podciśnienia usuwa się z obiektu powietrze. Płynny monomer wprowadzony do zbiornika nasyca porowatą strukturę obiektu. Głębokie wnikanie monomeru uzyskuje się przez stosowanie nadciśnienia azotu. Nadwyżka monomeru, która nie wniknęła w impregnowany materiał, zostaje z powrotem odprowadzona do zbiornika magazynującego. Ta część zabiegu trwa od pół godziny do jednego dnia pracy. Obiekt nasycony monomerem zostaje przeniesiony do komory jonizującej ze źródłem radioaktywnym.

Silne źródło promieniowania gamma powoduje polimeryzację żywicy w całej objętości obiektu. Uzyskuje się przy tym głębokie nasycenie substancją wzmacniającą i jednorodne wzmocnienie. Ta część zabiegu, w zależności od mocy dawki promieniowania, rodzaju monomeru i parametrów obiektu, może trwać od jednego do kilku dni. Znacznie bardziej czasochłonna jest konserwacja mokrego drewna archeologicznego. Wprowadzenie monomeru do drewna musi zostać poprzedzone wyparciem wody przez rozpuszczalnik, właściwy dla tego monomeru. W wypadku obiektów o dużej masie może to trwać bardzo długo, np. dla fragmentów wraku z I wieku p.n.e. z Giens (Francja) 11,5 miesiąca. Wymiana acetonu na żywicę trwała z kolei aż 27 miesięcy, podczas gdy utwardzanie za pomocą promieniowania gamma zaledwie jeden tydzień<sup>25</sup>.

Substancjami dotychczas używanymi do strukturalnego wzmocnienia zabytkowych obiektów były: octan winylu, metakrylan metylu i styren<sup>26</sup> (rys. 6). Wymagają one



6. Polimeryzacja monomerów przy użyciu promieni gamma. Objasnienia: A – polimeryzacja styrenu w polistyren; B – polimeryzacja metakrylanu metylu w polimetakrylan metylu

6. Polymerization of monomers with the use of gamma rays. A – polymerization of styrene into polystyrene; B – polymerization of metacrylan of methyl into polymetacrylan of methyl

<sup>25</sup> A. Ginier-Gillet i inni, op. cit.

<sup>26</sup> B. Detanger i współautorzy, E. G. Mavroyannakis, *Ageing of reinforced waterlogged wood by gamma ray methods*. Proceedings of the ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference. Ottawa 15–18 IX 1981. Ottawa 1982. ss. 263–266; E. G. Mavroyannakis, op. cit.; A. Unger, *Holz-konservierung*. Schutz und Festigung von Kulturgut aus Holz. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1988.

wysokich dawek promieniowania do wywołania polimeryzacji właściwego stopnia (przy zbyt małym uzyskuje się zbyt słabe wzmocnienie). Na przykład do polimeryzacji octanu winylu używano dawki 20 kGy a przy polimeryzacji metakrylanu metylu 25 do 30 kGy<sup>27</sup>.

Chociaż zdegradowane mokre drewno archeologiczne wykazuje dobry stan po ośmiu latach od momentu konserwacji (przy przechowywaniu w warunkach wewnątrz pomieszczenia), to należy się jednak liczyć z możliwością nawet 7% skurczu w kierunku stycznym, a zatem z powstawaniem i poszerzaniem się spękań. Ogólnie rzecz biorąc skurcz ten może być tym silniejszy, im większa jest ilość wprowadzonej żywicy (a więc im większy stopień rozkładu drewna)<sup>28</sup>.

W czasie polimeryzacji uzyskuje się dosyć wysoką temperaturę. W wypadku octanu winylu wynosi ona ok. 80°C, a dla metakrylanu metylu może osiągnąć nawet 145°C<sup>29</sup>. W porach wzmocnianego obiektu powstaje więc wysokie ciśnienie, a jednocześnie rośnie lepkość monomeru. Chociaż efekt ten nie jest szkodliwy dla drewna, to terakota pęka w takich warunkach. Pod znakiem zapytania stawia to stosowalność tych substancji do radiacyjnego utwardzania drewna pokrytego poli- lub monochromię. Wydaje się zatem celowe przeprowadzenie badań nad utwardzaniem promieniami gamma innych żywic, dających mniejsze temperatury podczas utwardzania i wykazujących inne wymagane cechy.

B. Detanger i współautorzy<sup>30</sup> sformułowali wymagania, jakie powinien spełniać monomer i powstały z niego polimer, w tym:

- 1) powinien wykazywać małą lepkość, co zapewnia łatwe wnikanie w obiekt,
- 2) nie może uszkadzać polichromii i jej podkładu,
- 3) temperatura w czasie polimeryzacji nie może być wysoka,
- 4) zabieg powinien być odwracalny (i to przy użyciu rozpuszczalnika nie niszczącego polichromii),
- 5) uzyskany polimer powinien dostatecznie wzmacniać fizyczne właściwości drewna (ewentualnie kamienia) i wykazywać elastyczność pozwalającą układowi żywica – wzmacniane tworzywo zniesić naprężenia powstające pod wpływem temperatury,
- 6) otrzymany polimer powinien wykazywać odpowiednie właściwości estetyczne (być bezbarwny, przejrzysty, odporny na ultrafiolet). Za pomocą monomerów polimeryzowanych przy użyciu promieniowania gamma dokonano już strukturalnego wzmocnienia bardzo wielu zabytków. Do najbardziej znanych należą: 139 niewielkich drewnianych obiektów (1–30 cm) z XI w. z dna jeziora Paladru we Francji, pozostałości galijsko-rzymskiej pompy z II w. n.e. z Dordogne (Francja), fragmenty wraku statku z I w. p.n.e. z Giens (Francja), drewno wraków statku z ok. 100 r. n.e. z Anikethyry i XIX-wiecznego statku z Navarinon (Grecja), drewniany parkiet podłogowy z Muzeum Stendehala w Grenoble i kamienna galijsko-rzymska stela z Muzeum Dzieł Sztuki w Orleanie.

### Wpływ promieniowania gamma na substancje, z których wykonane są zabytki

Nie stwierdzono dotąd, aby promieniowanie gamma, dawkowane w ilościach niezbędnych do szybkiej likwidacji szkodników lub polimeryzacji żywic, pozostawia-

<sup>27</sup> E. G. Mavroyannakis, op. cit.

<sup>28</sup> E. G. Mavroyannakis, op. cit.

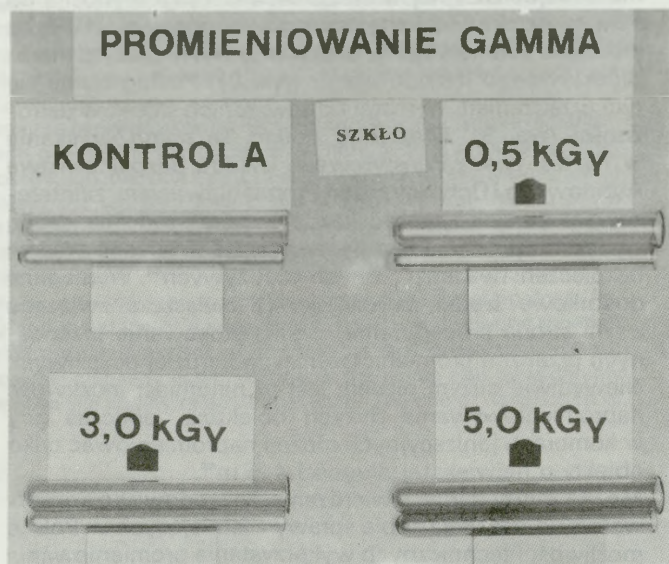
<sup>29</sup> E. G. Mavroyannakis, op. cit.

<sup>30</sup> B. Detanger i inni, op. cit.

to wykrywalne skutki w zabytkach poddawanych tym zabiegom.

B. Detanger i współautorzy<sup>31</sup> stwierdzili, że zmiany wyglądu drewna brzozy pojawiają się przy dawkach co najmniej 100 kGy. Wielkość ta odpowiada granicznej dawce, od której poczynając następuje gwałtowny spadek gęstości komórkowych drewna sosny, co stwierdzili J. Raczkowski i E. Fabisiak<sup>32</sup>. Powyżej tej dawki następuje amorfizacja celulozy. Wspomniana dawka jest o rząd wielkości większa od dawki granicznej dla innych właściwości drewna (względnej wytrzymałości i zawartości holocelulozy). W tym momencie należy podkreślić, że zwalczanie za pomocą promieniowania gamma owadów, grzybów i bakterii w porażonych materiałach nie zapobiega ponownej inwazji szkodników. Co więcej, dawki ok. 5 kGy (nie powodujące jeszcze zniszczenia drewna) mogą powodować jakościowe zmiany zawartych w nim białek, co czyni ten materiał jeszcze bardziej „pożywnym” dla larw spuszczała<sup>33</sup>.

Zdezynfekowane obiekty powinny więc uzyskać przynajmniej płytkie nasycenie insektycydem w celu zabezpieczenia przed ponownym zasiedleniem przez owady.



7. Zmiany zabarwienia szkła spowodowane różnymi dawkami promieniowania gamma<sup>33</sup> (fot. Z. Rajska)

7. Changes in the colour of glass caused by various doses of gamma radiation<sup>33</sup>

Dawki do 10 kGy pozostawiały również bez zmian właściwości mechaniczne papieru. Niestety, nie udało się odnaleźć w literaturze doniesień dotyczących tkanin, futer i niektórych klejów. W granicach badanej dawki 5 kGy, również metale nie wykazują zmian wizualnych<sup>34</sup>. Dotyczy to także złocień. Należy się spodziewać, że również znacznie większe dawki nie spowodują tutaj uszkodzeń.

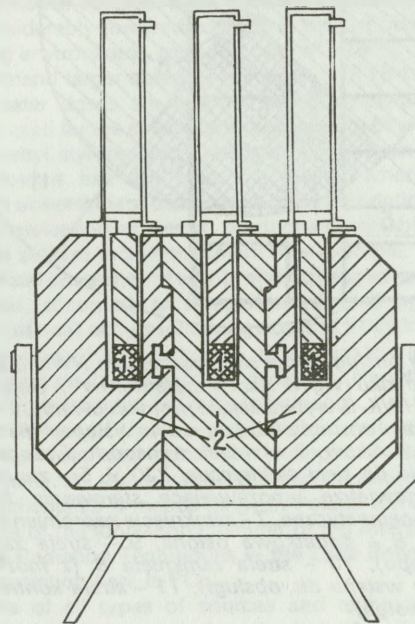
<sup>31</sup> B. Detanger, op cit.

<sup>32</sup> J. Raczkowski, E. Fabisiak, *Gęstość ścian komórkowych drewna sosny poddanego działaniu promieniowania gamma*. Ochrona drewna. XV Sympozjum, Rogów 26–28 września 1990. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 1990. ss. 23–29.

<sup>33</sup> G. Becker, *Der Einfluss des Eiweiss-Gehalts von Holz auf des Hausbockklarven-Wachstum*. „Zeitschrift für angewandte Entomologie” 1963, nr 51. ss. 95–109.

<sup>34</sup> A. Krajewski, *Fizyczne metody dezynsekcji drewna*. Dokumentacja etapowo-końcowa za lata 1988–1989 dot. tematu PPT 3/88. Warszawa, listopad 1989.

Niestety, nie można tego powiedzieć o wszystkich materiałach. Wraz ze wzrastającą dawką promieniowania szkło wykazuje rosnące zmiany kolorystyczne<sup>35</sup>, przy czym zabarwienie zależy od chemicznego składu tego materiału i może być brunatne, niebieskie lub żółte. O ile dawka 0,5 kGy powoduje bardzo nieznaczne przyciemnienie szkła, to przy dawce 3,0 kGy jest ono już wyraźniejsze (rys. 8). Zmiany te (przynajmniej do pewnej wielkości dawki) są odwracalne. Należy usuwać szkło z napromieniowanych obiektów.



8. Schemat budowy urządzenia HWK-3 wytwarzającego promieniowanie gamma o wysokiej mocy dawki (wg. M. Bär i współautorów<sup>41</sup>). Objaśnienia: 1 – źródło (<sup>137</sup>Cs) w pozycji spoczynkowej, 2 – segmenty korpusu z nieradioaktywnego uranu, obracalne względem siebie, z zamocowanymi rurami, w których źródła znajdują się w pozycji roboczej

8. Diagram of the construction of the HWK-3 equipment which produces gamma radiation of high doses (according to M. Bär and coauthors<sup>41</sup>) 1 – source (<sup>137</sup>Cs), 2 – segments of the casing from non-radioactive uranium, mutually revolvable, with fixed pipes in which the sources are located in working position

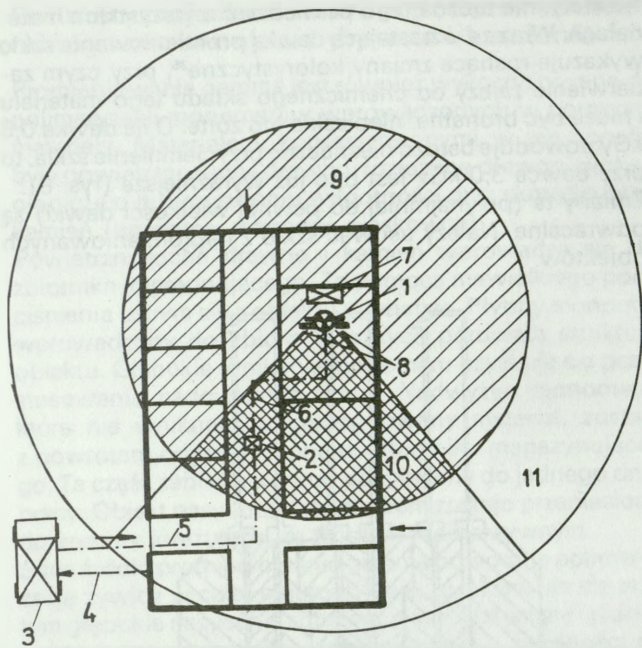
## Stosowane źródła i urządzenia promieniotwórcze. Możliwości użycia promieniowania gamma w Polsce

Dotychczas w ochronie zabytków wykorzystywano dwa promieniotwórcze izotopy. Niewątpliwie największe znaczenie ma tu kobalt (<sup>60</sup>Co) otrzymywany w reaktorach jądrowych, kapsułkowany w gilzy ze stali nierdzewnej o podwójnych ściankach i półokresie życia<sup>36</sup> 5 lat<sup>37</sup>. Jak z tego wynika, co pewien czas należy wymienić źródła w urządzeniu do napromieniowywania. Kobaltem posługiwały się Francja, Grecja i Czechosłowacja, stosując go w komorach jonizacyjnych przeznaczonych do

<sup>35</sup> M. Bär i inni, op. cit.; W. Unger, op. cit.; A. Krajewski 1989, op. cit.

<sup>36</sup> Półokres życia (okres półrozpadu) jest to czas, w którym radioaktywny pierwiastek w połowie rozpada się (jego radioaktywność spada o połowę). Wielkość ta jest różna dla poszczególnych izotopów pierwiastków radioaktywnych.

<sup>37</sup> Z. P. Zagórski, op. cit.



9. Szkic zasady posługiwania się urządzeniem HWK-3 podczas dezynsekcji budynku (wg M. Bär i współautorów<sup>41</sup>). Objaśnienia: 1 – urządzenie HWK-3, wytwarzające promieniowanie, 2 – stanowisko sterowania i obsługi z krótkotrwałym wstępem dla upoważnionych pracowników, 3 – wózek transportu i zaopatrzenia, 4 – przyłączenie do sieci elektrycznej 220 V, 5 – zaopatrzenie w sprężone powietrze umożliwiające sterowanie źródłami, 6 – przewody pneumatyczne, 7 – zamknięcie nadpromieniowanego obiektu, 8 – dodatkowa osłona, 9 – strefa zamknięta A (zakaz wstępu), 10 – strefa zamknięta B (z możliwością krótkotrwałego wstępu dla obsługi), 11 – strefa kontrolowana (ograniczony wstęp)

9. Diagram of the principle of using the HWK-3 equipment during the disinsection of the building (according to M. Bär and coauthors<sup>41</sup>) 1 – HWK-3, a source of radiation, 2 – steering and service post, with limited entrance for entitled employees, 3 – mean of transportation and supply – 4 – attachment to 220 V electric line, 5 – supply of compressed air, which makes it possible to steer the sources, 6 – pneumatic flues, 7 – closure of radiated object, 8 – additional casing, 9 – closed zone A (prohibited entrance), 10 – closed zone B (with possible limited entrance for personnel), 11 – controlled zone (limited access)

konserwacji zabytków. Drugą substancją wykorzystywaną do ochrony dóbr kultury jest radioaktywny izotop cezu (<sup>137</sup>Cs).

Nuklid ten jest jednym z bardziej wydajnych produktów rozszczepienia jąder uranu. Półokres życia wynosi tu 30 lat, więc „dofadowywanie” urządzenia jonizującego może być dokonywane rzadziej niż w wypadku <sup>60</sup>Co. Jednak cez wykazuje poważną niedogodność – <sup>137</sup>Cs – dostarczany jest w postaci łatwo rozpuszczalnego w wodzie chlorku cezu<sup>38</sup>. Znajduje się on wprawdzie w podwójnych kapsułkach ze stali nierdzewnej, ale istnieje tutaj większe niebezpieczeństwo szybkiego skażenia wody osłonowej<sup>39</sup> na skutek utraty szczelności opakowania. Jako źródło promieniotwórcze w urządzeniu przeznaczonym do ochrony

<sup>38</sup> Z. P. Zagórski, op. cit.

<sup>39</sup> Źródło może mieścić się w pozycji spoczynkowej nie tylko w pojemniku ze stali i ołowiu (KIZ 10 000 w Roztokach k. Pragi) czy z nieradioaktywnego izotopu uranu (HWK-3), ale także w wodzie. W pozycji roboczej w komorach jonizujących warstwę pochłaniającą promieniowanie rozchodzące się poza „miejsce akcji” stanowią grube mury oraz zasuwki ze stali i ołowiu. W wypadku przenośnych źródeł stanowią ją grube mury dezynsekwowanych obiektów oraz odpowiednie ekranowanie okien i drzwi (nie we wszystkich budynkach można więc zastosować tę metodę).

dóbr kultury <sup>137</sup>Cs wykorzystały go Niemcy (była NRD). Emituje on promieniowanie o mniejszej przenikliwości<sup>40</sup>. Podstawowym urządzeniem radiacyjnym wykorzystywanym do konserwacji zabytków jest komora jonizacyjna. Wszystkie wymienione kraje posługujące się <sup>60</sup>Co stosowały go w tym typie urządzenia. Plan takiego typowego urządzenia przedstawiono na rys. 5. Komory jonizacyjne wykorzystuje się na szeroką skalę do wyjąłowania środków medycznych, a do niedawna także żywności.

Od dawna rozważano możliwość wykorzystania promieniowania gamma wytwarzanego w urządzeniach polowych. J. D. Bletchly już w 1961 r. rozważał warunki posługiwania się źródłem <sup>60</sup>Co o radioaktywności 1 kCi<sup>41</sup>. Użycie takiego przenośnego źródła oceniał jako możliwe przy użyciu ok. 1 tony ołowiu na tarczę ochronną (20,3 cm grubości) oraz osłony towarzyszące (15,2 cm grubości) lub przy ewakuacji ludności w promieniu ponad 1,5 km. W lipcu 1979 r. w Niemczech (była NRD) użyto pierwszego przenośnego urządzenia HWK-3 opartego na <sup>137</sup>Cs i wyposażonego w trzy źródła o radioaktywności 74 TBq (2 kCi) każde. Dawało to łączną radioaktywność 220 TBq (6 kCi)<sup>42</sup>. Dla porównania radioaktywność źródła w komorze rajonizacyjnej w Roztokach k. Pragi wynosiła 66 TBq (z możliwością trzykrotnego wzmocnienia)<sup>43</sup>. Jako materiału osłonowego w urządzeniu HWK-3 użyto nieradioaktywnego izotopu uranu (rys. 8). Posługiwanie się tym urządzeniem wymaga odpowiednich środków ostrożności (rys. 9). Można tu dodać, że mimo uzyskania w 1979 r. zgody Państwowego Urzędu Bezpieczeństwa Atomowego i Ochrony Przed Promieniowaniem, zainteresowani musieli uzyskać każdorazowo zgodę na próbę z użyciem promieniowania, ze względu na zapewnienie bezpieczeństwa ludzi i innych istot żywych<sup>44</sup>. Wymagane dodatkowe środki ostrożności (a zwłaszcza związane z tym stroną proceduralna) czynią stosowanie przenośnych urządzeń promieniotwórczych bardziej uciążliwym. Niewątpliwie dużym plusem jest tu natomiast możliwość napromieniowywania dużych obiektów, podczas gdy w komorach jonizacyjnych można napromieniować tylko obiekty o największej długości 4–5 m<sup>45</sup>. Można zaryzykować stwierdzenie, że środowisko konserwatorskie nie zdaje sobie sprawy z istniejących w Polsce możliwości technicznych wykorzystania promieniowania gamma do ochrony zabytków. W 1988 r. lokalna prasa doniosła o ofercie Międzyresortowego Instytutu Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej wybudowania urządzenia promieniotwórczego do konserwacji drewna i kamienia. O ile autorowi niniejszego opracowania wiadomo, propozycja ta pozostała bez echa. Być może zaważył tu duży koszt wykonania takiego urządzenia, aczkolwiek jest on porównywalny z kosztami budowy komory do gazowania. Wspomniany Instytut dysponuje też dosyć obszerną (ok. 4 x 4 x 2,2 m) komorą jonizacyjną z silnym źródłem promieniotwórczym (<sup>60</sup>Co). Do niedawna rozsyłał ankiety zachęcające do korzystania z tego urządzenia. Ankiety te otrzymał m.in. Zarząd i co najmniej dwa oddziały PP PKZ. O ile autorowi wiadomo, również ta propozycja pozostała bez odpowiedzi.

dr inż. Adam Krajewski  
Fundacja Ochrony Zabytków

<sup>40</sup> Z. P. Zagórski, op. cit.

<sup>41</sup> Ci (kiuri – od: Curie) – stara jednostka radioaktywności. Jednostką radioaktywności obowiązującą w układzie SI jest Bq (bekerel – od: Becquerel). 1 Bq = 1 s<sup>-1</sup> · 1 Ci = 3,7 × 10<sup>10</sup> Bq.

<sup>42</sup> M. Bär i inni, op. cit.

<sup>43</sup> J. Urban, P. Justa, op. cit.

<sup>44</sup> M. Bär i inni, op. cit.

<sup>45</sup> E. G. Mavroyannakis, op. cit.



The article deals with the elimination of insects in monuments, and the structural strengthening of the porous material which constitutes the base of the monuments. This procedure is conducted with the assistance of monomers and gamma radiation. The author reviews the over thirty-years old literature on the subject and refers to his own experiences. The text is divided into five parts:

- 1) the extermination of insects which damage monuments;
- 2) the extermination of harmful fungi and bacteria;
- 3) the polymerization of monomers (the structural strengthening of wood and stone);
- 4) the impact of gamma rays on substances which constitute the material of them monuments;
- 5) the presentation of sources of radiation, equipment used in the world and the existing technical possibilities for the application of radiation in order to protect monuments in Poland.

1) The experiences of the author have been concentrated primarily on the extermination of a number of species of insects which attack wood, paper, fur and zoological museum collections. The sensitivity of the insects to gamma radiation depends on the species, stage of development, dose of radiation, temperature and other circumstances.

Recent publications contain the opinions of two schools of the extermination of insects which cause technical damage to wood: the French-Czech school recommends doses of 0,25–0,5 kGy, and the German school (based on experiences with *Anodium punctatum*) advises a dose of 3 kGy. Since particular species of insects can reveal a greatly varying resistance to gamma radiation, each one should be treated separately, with a suitably selected dosage. On the one hand, this procedure makes it possible to obtain the required effect, and, on the other hand, to avoid excessive radiation of the monument. Representatives of the Anobiidae, Ptinidae and Dermestidae families are regarded as the most resilient.

The sensitivity of the insects depends on the radiation dose (fig. 2) and the stage of development (fig. 3). It decreases together with the development of the insects, but doses which make possible a speedy extermination of the larvae also considerably weaken the vitality of adult specimen. The rate of destruction of

insects radiated with doses which are fatal for the given species depends also on the temperature in which they develop.

The article should be treated as an introductory outline which illustrates certain problems and ushers in a series of detailed publications. The author continues his experiments on the extermination of a number of species of insects which attack monuments, and would willingly embark upon cooperation with institutions and persons interested in this problem.

2) The elimination of soft rot fungi calls for greater doses. Also in the case particular species reveal differing sensitivity. The doses can be considerably lowered by raising the temperature of the surrounding environment, as in the case of insects. Moulds and bacteria demand larger doses of radiation (10–18 kGy).

3) Still greater doses are required by the polymerization of substances used for the structural strengthening of wood (Metycrylan of methyl, styrene, and acetate of vinyl) – from 20–30 kGy.

4) Until now it has not been discovered whether gamma radiation, in doses indispensable for a rapid liquidation of insects or the polymerization of resins, produces detectable effects in monuments subject to this treatment. For example, a decline in the mechanical properties of wood, and a changed appearance of that material (according to research conducted by authors of other publications) occurs following doses of 1 000 kGy. The sole exception is glass (fig. 7) although, at least up to a certain dose, alternations caused by radiation are reversible. Nonetheless, glass should be removed from the radiated objects.

5) The application of the source of radiation and the technical solutions are described upon the example of Germany and Czechoslovakia. At the moment, the conservation of relatively small monuments (3–4 metres long) in Poland is made possible with the use of the ionization chamber of the Interdepartmental Institute of Radiation Techniques in the Lodz Polytechnic. The source of radiation here is  $^{60}\text{Co}$ .

In the case of all types of sources and technical solutions, a definite problem is presented by the lack of uniformity of the obtained radiation field.

Various conservation operations are illustrated by examples of undertakings conducted in France, Greece, Czechoslovakia and Germany.