

Dominik Mączyński

Zastosowanie promieniowania gamma w dziedzinie konserwacji zabytków

Ochrona Zabytków 38/3-4 (150-151), 311-314

1985

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, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

lative humidity of 35% at temp. 20°C., after their transfer to the air with relative humidity of 75% at the same temperature, are shown on illustrations 2 and 3. Illustration no 2 (distemper polychromy) reveals a rapid bulging of wooden layers of unpolychromed side of the painting caused by the adsorption of water vapour and diffusion of water into the painting. This brings about the pressing of wood layers, the humidity of which under polychromy is smaller than the humidity of outside layers. With the time water diffuses towards polychromy and it comes to levelling the humidity of the layers near polychromy. As can be seen from ill. 2 polychromy gets deformed proportionally to layers of the wood, on which it has been put. This proves its flexibility and fine binding with the base.

The course of a curve of bulging measured by a tensometer placed on the board of the painting with oil polychromy is similar to that of distemper polychromy, while the layers under polychromy have shown a stronger and more permanent effect of pressing due to board deformation. This results from a flow of a smaller amount of water through oil polychromy when compared to distemper one. A curve of the deformation of polychromy had a different

shape because of a poor cohesion with the groundwork and fragility. Curves of the deformation during the drying of paintings have an identical character to that during adsorption, which confirms results and their interpretation.

The work done shows that the bulging of unpolychromed layers of the underpaintings is counteracted by underpolychromy layers that do not swell at that time. This brings about reducing dimensions of the layers that had become worst deformed and then, after a subsequent drying of the wood, to its initial humidity it leads to permanent shrinking and permanent bulging of the polychromy.

The phenomenon of paintings' distortion under the effect of dampening and drying of the underpainting can be prevented by putting on the opposite plane of polychromy the material with exactly the same permeability of water vapour as polychromy, which results in the same speed of humidifying the two surfaces of the painting. In the case, when the painting has got already distorted, putting the material that would hinder diffusion of water vapour on the board will not change a shape of the under-painting.

DOMINIK MACZYŃSKI

ZASTOSOWANIE PROMIENIOWANIA GAMMA W DZIEDZINIE KONSERWACJI ZABYTKÓW

Od kilkunastu lat prowadzi się na świecie próby wykorzystania promieniowania radioaktywnego do konserwacji dzieł sztuki. Próby te przeprowadza się w laboratoriach jądrowych lub w wydzielonych częściach elektrowni atomowych, tam, gdzie na co dzień obcuje się z kontrolowanym promieniowaniem gamma.

Powstała nowa gałąź nauki. Utworzono liczne instytuty i centra badawcze. Jednym z nich jest aktywnie działające centrum francuskie CEA (Centre d'Etudes Nucleaires) w Grenoble. Ośrodek ten dysponuje siłownią jądrową wyłączoną z sieci i zamienioną w laboratorium. Prowadzi się tam badania bezpośrednio związane z konserwacją dzieł sztuki, a między innymi opracowuje się: 1) nowy sposób dezynfekcji przedmiotów zabytkowych promieniami gamma, 2) metody wzmacniania struktur wewnętrznych materiałów przy zastosowaniu radiopolimeryzacji żywic syntetycznych.

Dezynfekcja promieniami gamma

Często zdarza się, że dzieło sztuki zaatakowane jest przez mikroorganizmy, pleśń, grzyby lub insekty. W tradycyjnych metodach dezynfekcji stosowano gaz lub ciecz o właściwościach trujących. Zabieg wykonywano na przykład pod namiotem foliowym lub po rozebraniu zabytkowego przedmiotu na części i przeniesieniu go do specjalnie przygotowanego pomieszczenia. Metody ciśnieniowe i próżniowe zakładały, że gaz lub płyn wypełni przedmiot i zniszczy mikroorganizmy, insekty lub ich larwy. Stosowanie tych metod nie daje jednak pewności, że trujący środek chemiczny dotrze wszędzie i nie spowoduje zmiany ciężaru, objętości lub barwy zabytkowego przedmiotu. Promieniowanie gamma stworzyło nowe możliwości – przechodzi przez całą strukturę materiału i niszczy wszystkie żywe komórki.

Jak zatem ustalić właściwą dawkę? Im bardziej skomplikowany organizm, tym bardziej jego komórki są wrażliwe na promieniowanie. Do zabicia człowieka wystarczy 10 000 dawek promieniowania gamma, ale do skutecznego zniszczenia komórek grzyba liczba dawek o tej samej sile wynosi milion.

Przed przystąpieniem do naświetlania należy rozpoznać z jakim pasożytem mamy do czynienia, ustalić wielkość dawki promieniowania oraz zbadać jej wpływ na materiał poddany dezynfekcji.

Zależności zachodzące pomiędzy tymi trzema danymi przedstawiamy na konkretnych przykładach prób przeprowadzonych w kilku światowych centrach naukowych.

1. Insekty (*Lyctus*, *Xenobium*, *Anobium*)

Studia przeprowadzone w Wielkiej Brytanii przez Blechly, w Japonii przez Jamamoto i Yoshibę oraz w Czechosłowacji przez zespół naukowców ustaliły zależącą dawkę promieniowania dla wymienionych trzech rodzajów insektów atakujących drewno na 500 Gy (Gy – siła promieniowania). Takie naświetlanie tępi pasożyta i jego larwy w przedmiocie poddanym dezynfekcji, ale nie zabezpiecza go na przyszłość przed ponownym atakiem. W związku z tym naukowcy czescy postulują nałożenie powierzchniowej warstwy ochronnej po napromieniowaniu. We Francji przedmiot przed naświetleniem zabezpiecza się folią plastikową i pozostaje on w niej po zakończeniu całej operacji aż do chwili złożenia w hermetycznej gablocie.

2. Zagrzybienie drewna

W czasie badań przeprowadzonych w RFN (Bors) ustalono, że wielkość dawki promieniowania wystarczająca

do zniszczenia grzyba jest tym mniejsza, im w wyższej temperaturze wykonuje się zabieg. Rozwój grzyba przebiegający w środowisku wilgotnym może zostać częściowo zahamowany przez podniesienie temperatury. Na przykład, aby zniszczyć komórki *Myrtilius Lacrymans* w temperaturze 20°C, potrzeba 2100 Gy, lecz tylko 64 Gy w 32°C.

3. Grzyby atakujące dzieła malarskie

Zagrożone nimi materiały – to: drewno, płótno, klej i pigmenty. Problem ten przestudiowano we Włoszech. Najbardziej odpornym grzybem okazał się *Phizopus Sp.* Ulega on zniszczeniu przy 10 000 Gy, inne gatunki niszczyło naświetlanie 2000–5000 Gy.

4. Obiekty graficzne

Grzyby atakujące książki, jak *Styckybotrys Alba*, reagują już na dawkę 6500 Gy. Doświadczenia wykonane zostały przez Beliakową w ZSRR na 30 różnych próbkach; wyższą dawkę ustalono do zniszczenia *Stymphylium*: 9000–10 000 Gy. W Polsce zostały również przeprowadzone podobne doświadczenia. Na zlecenie Biblioteki Narodowej Instytut Problemów Jądrowych oraz centrum badawcze w Świerku pod Warszawą wykonały serię badań nad możliwościami dezynfekcji promieniami gamma archiwalnych egzemplarzy księgozbioru zaatakowanych przez mikroorganizmy. Próby miały charakter eksperymentalny i jednostkowy.

5. Kleje, pigmenty i łączniki

Kleje zwierzęce wykazały spadek właściwości klejących od dawki 10 000 Gy wwyż (Rossi – Doria, Włochy). Test na pigmentach wykonany przy naświetlaniu siłą 200 000 Gy wykazał zmianę koloru w pigmentcie białym zawierającym ołów. Przy sile 5000 Gy zmiana koloru wykazana przez czułe aparaty kolorometryczne była tak niewielka, że niedostrzegalna ludzkim okiem.

6. Papiery

Rozkład celulozy zauważono od około 10 000 Gy. Towarzyszyło mu zmniejszenie własności fizykochemicznych papieru. Beliakowa (ZSRR) nie zaobserwowała zmian wyglądu papieru, jego odporności mechanicznej na przedarcie, lecz przy 7000 Gy stwierdziła jego zmniejszoną odporność na składanie (podwójna krawędź). Beck (RFN) poddał próbom 17 różnych rodzajów papieru. Do 10 000 Gy nie było żadnych zmian koloru ani zmniejszania odporności na przedarcie czy rozciąganie w porównaniu z próbką nie naświetloną. Potwierdził on, że przy 5000 Gy lekko spadła wytrzymałość na składanie, lecz badanie mikroskopowe nie wykazało żadnych zmian we włóknach. Próba działania temperaturą 75–105°C na papier napromieniowany wykazała większą jego podatność na zniszczenie. Stąd wniosek, że muszą występować we włóknach zmiany molekularne zależne od stopnia polimeryzacji wiskozy.

7. Skóry i pergamin

Friedler (Francja) stwierdził, że dezynfekcja dozą 18 000 Gy nie wpływa na zmianę własności chemicznych i fizycznych próbek.

We Francji powszechnie stosuje się dezynfekcję dzieł sztuki wykonanych w drewnie przez naświetlania promieniami gamma. Jednocześnie zaawansowane są badania papieru, skóry czy kleju w celu ustalenia skutecznej dawki promieniowania nie wywołującej ubocznych skutków. Opisany sposób dezynfekcji pozwala na działanie szybkie i skuteczne – wymaga jednak przeniesienia obiektu do i z laboratorium w odpowiednim opakowaniu. Proces naświetlania nie wymaga rozpakowania, co zmniejsza ryzyko uszkodzeń mechanicznych. Napromieniowanie można prowadzić etapami, eliminując niepożądane wzrosty temperatury nim wywołane.

W badaniach nad dezynfekcją promieniami gamma prowadzonych we Francji interesująca jest jeszcze inna specjalizacja. W centrum badawczym w Saclay pod Paryżem poddano dezynfekcji wyżej opisanym sposobem mumię faraona Ramzesa II. Zaatakowana przez mikroorganizmy mogła być poważnie uszkodzona. Całą akcję poprzedziła seria wnikliwych badań. Pobrano próbki włosów mumii oraz kawałeczki bandażu, którymi była częściowo pokryta. Ustalono, jaki pasożyt ją zaatakował. Dla skompletowania badań pobrano również próbki z innych mumii – egipskich i peruwiańskich: włosy, bandaże, próbki skór, organów wewnętrznych etc. Wyniki prób naświetlania promieniami gamma porównano z analogicznymi doświadczeniami na próbkach pobranych z ciała człowieka zmarłego współcześnie. Dało to niezwykle ciekawy materiał badawczy. Oglądano je pod mikroskopem optycznym i elektronicznym, poddawano badaniom fizycznym i chemicznym. W końcu ustalono dawkę promieniowania (Tessygnny) na 18 000 Gy. Mumia Ramzesa II wprowadzona została do komory naświetlań w hermetycznym namiocie wypełnionym sterylizowanym powietrzem i poddana odpowiedniemu napromieniowaniu. Następnie podniesiono ją i oczyszczono z pleśni. Potem z zachowaniem warunków pełnej sterylności złożona została w sarkofagu w hermetycznej gablocie. Od 1978 r. około dziesięciu innych mumii poddanych zostało podobnym zabiegom dezynfekcyjnym w Grenoble.

Wzmacnianie materiałów porowatych przez radiopoli-meryzację żywic syntetycznych

Metoda polega na wypełnieniu porów materiału ciekłą żywicą syntetyczną (kąpiele, metody próżniowe) oraz jej polimeryzację (zestalenie) przy zastąpieniu katalizatora chemicznego promieniowaniem gamma. Pozytywne i negatywne aspekty tej metody zasygnalizują na kilku konkretnych przykładach materiałów badanych w Centre d'Etudes Nucleaires w Grenoble. Ten nowy sposób wzmacniania wewnętrznej struktury materiału, z którego zrobione jest dzieło sztuki, nie może być uzyskany przy użyciu dotychczasowych metod konserwacji. Badania prowadzone są od przeszło 15 lat, niemniej jednak jest jeszcze za wcześnie, by mówić o pełnym sukcesie ich praktycznego zastosowania.

1. Kamień

Impregnacja wapieni zależna jest m. in. od ich porowatości (zawartości mikro- i makroporów). Płynna żywica syntetyczna w trakcie kolejnych kąpiele wypełnia większość tych wolnych przestrzeni, a naświetlanie promieniami gamma zestala ją w całej objętości poddanego

zabiegowi obiektu. Następuje zmiana właściwości fizycznych kamienia, która zależy od rodzaju i ilości wchłoniętej przez niego żywicy. Znacznie zmniejsza się procent porów w materiale, zwiększa się natomiast jego waga, twardość, wytrzymałość na ściskanie oraz odporność na cykle kolejnych zamrażeń i odmrażeń w laboratoryjnym procesie starzenia próbki. Przy tym ostatnim zauważono, że jeśli warstwa powierzchniowa nie jest dokładnie nasączona żywicą, to łatwo może ulec zniszczeniu przez „odklejenie się”.

W doświadczeniach z wapieniem z Maastrichtu, stosując żywicę metakrylatu-metylu, zaobserwowano występowanie drobnych pęknięć i zarysowań na powierzchni próbki po zakończeniu radiopolimeryzacji. Prawdopodobnie jest to związane z powstaniem nadciśnienia we wnętrzu skały, spowodowanego początkowym parowaniem monomeru. Tworzący się na powierzchni polimer stanowi warstwę nieprzepuszczalną dla powstałych w ten sposób par. Druga hipoteza zakłada wzrost objętości wprowadzonej do materiału żywicy w procesie radiopolimeryzacji. To z kolei powodować może naprężenia, które mogą być przyczyną pęknięć.

W toku dalszych badań ustalono czynniki, które mogą mieć wpływ na występowanie pęknięć i zarysowań:

- własności żywic użytych do impregnacji,
- charakterystyka fizyczna i chemiczna skały,
- środowisko, w którym odbywa się polimeryzacja,
- głębokość nasycenia żywicą,
- nie kontrolowane wahania temperatury.

Powszechne zastosowanie tej metody impregnacji kamienia uwarunkowane jest całkowitym rozwiązaniem opisanych problemów.

2. Drewno

W 1971 r. po raz pierwszy użyto w Grenoble żywicy styreno-poliestrowej do wzmacniania drewna nie pokrytego złoconiem lub polichromią. Poprawa własności fizycznych poddanych zabiegom próbek drewna zdecydowała o wprowadzeniu tej metody do praktyki konserwatorskiej. Jednym z ubocznych skutków radiopolimeryzacji tej żywicy jest wzrost wagi przedmiotu poddanego impregnacji oraz pewne przyciemnienie jego barwy. Dobry skutek przyniosło zastosowanie tej metody do konserwacji zabytkowych parkietów (m.in. osiągnięto znaczne zwiększenie ich odporności na ścieranie). Przeszkodą w zastosowaniu jej na większą skalę okazały się zbyt duże koszty operacji.

3. Drewno polichromowane i złocone

Największym problemem w zastosowaniu tu wyżej opisanej metody jest niejednorodność materiału (drewno + podkład + łącznik + pigment). W konsekwencji mogą wystąpić zarysowania i pęknięcie zewnętrznej warstwy zdobienia w postaci mikroszczelin. Ich powstanie wiązać się może z naprężeniami termicznymi

lub mechanicznymi w czasie trwania polimeryzacji żywicy. Dodatkowo istnieje możliwość rozpuszczenia przez nieodpowiednio dobraną żywicę wierzchniej warstwy polichromii w trakcie kąpiei impregnujących. Innym niebezpieczeństwem jest pewna zmiana odcieni barw i ich kontrastów. Gdy warstwy zdobienia położone są nierówno i niedokładnie, mogą również wystąpić ich miejscowe odspojenia. Czasami jest to jednak jedyna metoda uratowania bardzo poważnie uszkodzonych dzieł sztuki. Zastosowano ją już wielokrotnie w praktyce z zadowalającym wynikiem.

4. Wypalana glina, kości

Acetat winylu użyty w procesie konsolidacji próbek współczesnej terakoty spowodował wystąpienie w 30% próbek zarysowania ich powierzchni. Ta sama żywica użyta do „starych” wyrobów garncarskich dała dobre rezultaty. Styreno-poliestr spowodował natomiast lekkie przyciemnienie koloru próbek.

Kości i wyroby z kości poddano podobnym zabiegom, a wyniki prób uznano za satysfakcjonujące.

5. Drewno wypełnione wodą (znaleziska archeologiczne)

Wysuszenie tego typu znaleziska jest jednoznaczne z jego zniszczeniem. W czasie specjalnych kąpiei w miejsce wody w uszkodzonej strukturze drewna wprowadza się rozpuszczalnik, a następnie żywicę syntetyczną (normalnie nie rozpuszczalną w wodzie, np. metanol, potem styren). Następnie dokonuje się jej polimeryzacji przez napromieniowanie. Trwają badania, aby określić stopień penetracji żywicy w materiale, czas zabiegu w stosunku do wielkości przedmiotu; przyciemnienie barwy, występujące naprężenia, a także dąży się do ograniczenia ilości stosowanych środków chemicznych.

Nowe metody wykorzystujące promieniowanie gamma do dezynfekcji dzieł sztuki oraz do wzmacniania materiałów, z których dzieła te są wykonane, stanowią nową dziedzinę prac we współczesnej konserwacji. Dzięki nim uratowano już wiele cennych dzieł sztuki. Badania nad ich doskonaleniem prowadzi się obecnie w wielu laboratoriach, dążąc do ich bezbłędnego stosowania na powszechną skalę w niedalekiej przyszłości*.

*mgr inż. arch. Dominik Mączyński
PP PKZ – Oddział w Warszawie*

* W tekście zostały wykorzystane materiały z ośrodka badawczego w Saclay i międzynarodowej konferencji pt. *Przemysłowe wykorzystanie technologii radioizotopów i promieniowania* (Grenoble 1981, 1984) oraz notatki z wykładów Studium Podyplomowego Międzynarodowego Centrum Konserwacji w Leuven (Belgia).

THE USE OF GAMMA-RADIATION IN MONUMENTS' CONSERVATION

Studies are under way on the establishment of concrete applications of radio-active radiation in the conservation of works of art. This, in particular, refers to two directions of studies: (1) disinfection treatment, and (2) consolidation of porous materials by using radiopolymers. The disinfection of historic objects attacked by microorganisms, fungi, moulds or insects is done by their irradiation with gamma-

-rays. Radiation is fixed at such a strength as to totally destroy cells of the parasite and to avoid, if possible, any side effects of irradiation.

The treatment is done in research institutes in a strictly controlled way. The next step is to establish the kind of the insect, strength of radiation needed to destroy it, time of irradiation and to control the temperature during this

process. Prior to and after irradiation the objects are subjected to detailed physical and chemical analyses.

This form of disinfection is applied on a broad scale in France; similar trials have been made in Japan, the USSR and Czechoslovakia.

The consolidation of porous materials consists in their saturation with synthetic resin and irradiation with gamma rays, which in effect leads to the polymerization of resin. Gamma-radiation replaces here a chemical catalyst. Side effects of the process include an increase in the weight of the object (resin fills in pores of the material), possibility of slight discolouring or even microcracks in the sur-

face of the object (in case of heterogeneous materials like polychromed wood).

The use of this kind of consolidation is being worked out for individual kinds of materials and their combinations as well as for various types of resins and their combinations by means of experiments. On a broader scale this form of treatment is used for objects made in wood or for the conservation of archaeological finds (water-filled wood), using in both cases styrene-polyester.

The studies are carried out in the Centre for Nuclear Studies in Grenoble and in Sachay in France.

STEFAN SĘKOWSKI

KOMPLEKSORY, CZYLI ZŁAMANE KANONY MALARSKIE

Aby nie było nieporozumień, już od razu na wstępie informujemy, że nie chodzi tu o jakiś nowy kierunek w malarstwie artystycznym, lecz o doniosłe osiągnięcia techniczne, o nowy milowy krok na drodze walki z korozją. Chodzi o nowy, bardzo skuteczny preparat, który na pewno pomoże każdemu, kto zajmuje się konserwacją wyrobów stalowych i żeliwnych, zwłaszcza eksponowanych stale na otwartej przestrzeni.

Jak wiemy, przy pokrywaniu stali lub żeliwa wszelkimi powłokami malarskimi, a więc farbami i lakierami, obowiązywała żelazna zasada jak najdokładniejszego przygotowania powierzchni. Rysy, nierówności czy wżery pozostawione na powierzchni przedmiotów stalowych pokrytych powłokami malarskimi tylko obniżają estetykę wyglądu, natomiast pokrycie skorodowanych lub źle oczyszczonych z korozji przedmiotów stalowych powłoką malarską jest po prostu karygodne. Pozostawienie resztek produktów korozji lub nawet tylko drobnych nalotów na powierzchni stali i pokrycie ich farbą czy lakierem powoduje nieuchronny proces korozji podpowłokowej. Inaczej mówiąc, niedostatecznie oczyszczone i pomalowane przedmioty stalowe czy żeliwne po krótkim czasie ulegną silnej korozji.

Tymczasem z praktyki wiadomo, jak trudno jest oczyścić dokładnie z produktów korozji wyroby stalowe lub żeliwne, a zwłaszcza wyroby o skomplikowanych kształtach czy rozwiniętej powierzchni. Jako przykład można tu wymienić elementy ogrodzeniowe, wszelkie balustrady, kute liście, kraty, rzeźby, pomniki. A przecież od dokładności usunięcia nawet śladów produktów korozji z wszystkich załamów, wgłębień i innych zakamarków zależy skuteczność zabiegu malowania. Nie ludźmy się więc. Ze świecą chyba trzeba szukać takiego uczciwego wykonawcy, który z benedyktyńską cierpliwością szczotkami i skrobakami usunie całkowicie produkty korozji z kutego liścia, łańcucha czy żeliwnej rzeźby. Najczęściej po kilkunastu pociągnięciach stalową szczotką szybko nakładany jest podkład miniowy, idealnie maskujący resztki korozji i miejsca nie doczyszczone. Po paru dniach podkład miniowy zostaje pokryty czarną farbą błyszczącą, matową lub z pięknym odcieniem grafitu. Zewnętrznie na oko wszystko jest w porządku, element został zakonserwowany, kolorystyka wspaniała. Ale już po paru miesiącach nie usunięte z powierzchni metalu resztki korozji dadzą o sobie znać. Rozpoczyna się lawinowo narastający proces korozji podpowłokowej. Pojawiają

się coraz liczniejsze pęcherze, pęknięcia, złuszczenia powłoki.

W tym miejscu nasuwa się pytanie, dlaczego raz powstałe produkty korozji stali i żeliwa powodują ich dalsze niszczenie. Rzecz w tym, że na powierzchni stali i żeliwa przy współdziałaniu powietrza i wilgoci powstają związki żelaza, jego tlenki i wodorotlenki. Te związki żelaza są nietrwałe, ulegają rozkładowi, a powstające produkty atakują stal. Trzeba bowiem pamiętać, iż w przeciwieństwie do aluminium czy miedzi, które raz pokryte powłoką tlenkową długo i skutecznie opierają się atakom korozji, stal zachowuje się inaczej. Tlenki aluminium czy miedzi tworzą twardą, zwartą powłokę doskonale związaną z podłożem. Dlatego też takie powłoki chronią skutecznie metal podłoża przed dalszymi atakami korozji. Natomiast produkty korozji stali i żeliwa tworzą gąbczaste naloty tylko luźno związane z podłożem. Warstewka porowatych produktów korozji stali stanowi jak gdyby gąbkę wchłaniającą i gromadzącą wilgoć. Reszty już się można łatwo domyślić – ciągły postęp procesów korozji prowadzi do całkowitego zniszczenia stalowego przedmiotu.

W wypadku korozji podpowłokowej trzeba jeszcze dodać, że powstające produkty korozji zwiększają znacznie swą objętość, co właśnie prowadzi do powstawania pęcherzy, czyli odwarstwiania farby.

Na podstawie analizy tych smutnych, lecz bezspornych faktów, specjaliści od walki z korozją już dawno postawili pytanie: – skoro w wielu wypadkach tak trudno jest usunąć przed malowaniem produkty korozji stali, to czy nie można by ich jakoś „unieszkodliwić”?

Tak narodziły się odrdzewiacze fosforowe. Preparaty te, zawierające jako główny składnik kwas fosforowy, skutecznie roztwarzają tlenki i wodorotlenki żelaza, po czym wytwarzają cieniutką warstewkę nierozpuszczalnych fosforanów.

Pomimo wielu zalet, stosowanie odrdzewiaczy fosforanowych jest w praktyce bardzo uciążliwe. Wymaga ono bowiem zmywania odrdzewianych powierzchni wodą. Natomiast pozostawienie resztek odrdzewiacza (kwasu fosforowego) uniemożliwia dobre związanie się materiału malarskiego z podłożem.

Z tych doświadczeń narodził się nowy pomysł. Trzeba opracować taki zestaw, który nie będzie roztwarzał produktów korozji, lecz przetworzy je w związki trwałe, nierozpuszczalne w wodzie i chemicznie bierne. Idea okazała się słuszna i w Instytucie Mechaniki Precy-