

Kiepuszewska, Maria / Roznerska, Maria

Próba identyfikacji substancji wzmacniających drewno przy użyciu zapisu rentgenograficznego

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 20 (265),
147-171

1993

Artykuł został 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.

Zakład Konserwacji Malarstwa
i Rzeźby Polichromowanej

MARIA KIEPUSZEWSKA, MARIA ROZNEWSKA

PRÓBA IDENTYFIKACJI SUBSTANCJI WZMACNIAJĄCYCH DREWNO PRZY UŻYCIU ZAPISU RENTGENOGRAFICZNEGO

Zarys treści. Celem doświadczeń było zastosowanie nieniszczącej metody badania, identyfikującej przy użyciu promieniowania rentgenowskiego środek impregnujący, wprowadzony w strukturę obiektu o podłożu drewnianym.

Stosując metodę stykowego prześwietlania próbek z drewna lipowego, nasyconych częściowo wybranymi impregnatami (Osolan K1, Paraloid B-72, masa woskowo-żywiczna, olej lniany, kalafonia) o różnych stężeniach, oraz obiektów przed i po impregnacji Paraloidem B-72, podjęto próby interpretacji otrzymanych obrazów rentgenograficznych.

1. WSTĘP

Obiekty drewniane narażone są na działanie szeregu niszczących czynników, takich jak: zmienne warunki wilgotności i temperatury, bezpośrednie działania mikroorganizmów i owadów. Czynniki te powodują nie tylko osłabienie struktury drewna, obniżenie jego właściwości mechanicznych, ale często doprowadzają do powstania głębokich pęknięć i ubytków¹. Mając na uwadze zniszczenia powodowane przez mikroorganizmy i owady, szczególnie osłabiające strukturę drewna i obniżające właściwości mechaniczne tak dalece, że podłoże jest w stanie zupełnej destrukcji, względy konserwatorskie (zniszczone drewno jest miejscem gromadzenia się kurzu, brudu, wody — źródło dalszego niszczenia obiektu, np. polichromii), jak i względy konstrukcyjne, wymagają strukturalnego wzmocnienia obiektów zabytkowych.

Z postępowaniem czasu, równoległe do wzrostu zainteresowania sprawami zabytków, wzrosły potrzeby w dziedzinie ich ochrony i konserwacji. Zagadnieniami tymi zajmowali się początkowo humaniści, zwłaszcza historycy sztuki, artyści, rzemieślnicy, z reguły miłośnicy i amatorzy.

¹ B. Soldenhoff, *Zastosowanie sztywnych pianek poliuretanowych do uzupełnień ubytków drewna w obiektach zabytkowych*, Acta Universitatis Nicolai Copernici (AUNC), Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 7, 1979, s. 145.

Uwzględniając trudność zadania, ówczesny poziom nauk przyrodniczych i technicznych, można bez trudu wyobrazić sobie stan konserwacji w przeszłości².

Zabiegi mające na celu strukturalne wzmocnienie tkanki drewna były przeprowadzane od dawna różnymi środkami i z różnym efektem. Konserwator w swojej praktyce ma do czynienia bardzo często z obiektami źle zaimpregnowanymi w przeszłości. Stwierdzenie obecności czy identyfikacja środków użytych do konserwacji, zwłaszcza gdy należy ocenić obszar ich zalegania wewnątrz struktury materiału zabytkowego, jest niezwykle ważne, ale bardzo trudne do określenia.

Również obecnie wiele zabiegów konserwatorskich łączy się z wprowadzeniem do obiektu substancji „na stałe” nieusuwalnych. Identyfikacja czy określenie granic ich zalegania w konkretnym obiekcie zabytkowym jest niekiedy niemożliwe. Możliwości kontroli, np. impregnacji materiałów zabytkowych oraz ocena przeprowadzonego zabiegu zazwyczaj odbywa się w sferze matematycznych obliczeń, co nie daje pojęcia o powodzeniu wzmocnienia w każdym fragmencie struktury.

Doświadczenia i badania przeprowadzone na próbkach o podobnych zniszczeniach dają tylko orientację ze względu na niepowtarzalność sytuacji. Nadszpiewanie dobre efekty badań przeprowadzonych metodą rentgenowskiej tomografii komputerowej w innych dziedzinach, np. medycynie, były podstawą do prób stosowania tej metody przy badaniu dzieł sztuki. Daje ona pojęcie o jakościowym i ilościowym nasyceniu drewna impregnatem.

Badania tego typu przeprowadził M. Paciorek na próbkach drewna lipowego zaimpregnowanego roztworami wybranych tworzyw, na impregnowanych próbkach zniszczonego drewna lipowego po nasyceniu i odparowaniu rozpuszczalnika oraz na obiekcie zabytkowym (polichromowana rzeźba, przed i po impregnacji).

Podstawowym zadaniem tych badań było określenie zmian umownej gęstości drewna lipowego impregnowanego, w poszczególnych strefach tego samego materiału, przy wykorzystaniu tomografu komputerowego Somatom SD³.

Dzięki temu określono rozmieszczenie i udział tworzywa w strukturze drewna lipowego impregnowanego próżniowo oraz jej zmiany w zależności od rodzaju impregnatu, przemian fizycznych i chemicznych w czasie zestalania się tworzywa w strukturze nasyconego drewna, stężenia

² S. Szymański, *Uwagi ogólne o zabezpieczaniu i konserwacji drewna zabytkowego*, Biblioteka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków (BMiOZ), seria B, t. 3, 1961, s. 35.

³ M. Paciorek, *Próba zastosowania rentgenowskiej tomografii komputerowej do badania udziału i rozmieszczenia tworzyw w drewnie lipowym impregnowanym strukturalnie*, [w:] *Materiały z III Ogólnopolskiego Zjazdu Chemików-Konserwatorów*, Kraków 4–6 kwietnia 1984.

roztworu impregnacyjnego, rodzaju użytego rozpuszczalnika i sposobu jego odparowania.

Dzięki możliwości dokumentacji danych przez system pomocniczy komputera i stworzonej tym samym możliwości odniesienia do stanu przed impregnacją, uzyskuje się wystarczającą ilość danych do stwierdzenia stopnia nasycenia, udziału tworzywa, wielkości i kierunków migracji oraz określenia wpływu budowy strukturalnej drewna i jego stanu zachowania na rezultat i przebieg procesu impregnacji. Zakres przeprowadzonych badań oraz dokładność wyników przy wykorzystaniu technicznych właściwości urządzenia do dokumentacji i analizy pod względem jakościowym i ilościowym otwiera szerokie możliwości tomografii komputerowej w nieniszczącym badaniu dzieł sztuki, szczególnie w zakresie ich konserwacji. Biorąc pod uwagę liczbę urządzeń tego typu w naszym kraju, koszty, wymogi techniczne (specjalne, klimatyzowane pomieszczenia) oraz — przede wszystkim — zapotrzebowanie na nie diagnostyki medycznej, należy chyba zastosowanie tej metody w konserwacji dzieł sztuki przesunąć w przyszłość.

Prawie jednocześnie z opisaną wyżej metodą badania, w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej zaczęto prowadzić doświadczenia nad zastosowaniem nieniszczącej metody badania przy użyciu promieniowania rtg w identyfikacji substancji impregnujących strukturę obiektu o podłożu drewnianym⁴. Stosując metodę stykowego prześwietlania próbek z drewna lipowego nasyconych częściowo wybranymi impregnatami o różnych stężeniach oraz obiektów zabytkowych (rzeźb polichromowanych) przed i po impregnacji, podjęto próbę interpretacji otrzymanych obrazów rentgenograficznych. Omawiana praca w żadnym wypadku nie wyczerpuje zagadnienia badania dzieł sztuki w promieniach rtg. Jest zaledwie przyczynkiem do dalszych badań w tym zakresie i będzie kontynuowana.

2. WYBÓR METOD I MATERIAŁÓW STOSOWANYCH DO BADAŃ

Rozróżnia się wiele sposobów wprowadzania substancji wzmacniającej strukturę drewna. Wymienia je lub omawia szereg autorów⁵. Nie

⁴ M. Kiepuszewska, Próba identyfikacji substancji wzmacniających drewno przy użyciu zapisu rentgenograficznego, praca magisterska napisana pod kierunkiem M. Roznerskiej w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej Instytutu Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK w Toruniu.

⁵ M.in. W. Domasłowski, *Wzmacnianie i utwardzanie drewna pod zmniejszonym ciśnieniem*, BMiOZ, seria B, t. 3, 1961; M. Czajnik, *Z badań nad zastosowaniem tworzyw sztucznych do konserwacji drewna*, Zeszyty Naukowe SGGW, Leśnictwo 12, 1968; M. Czajnik, P. Rudniewski, D. Tworek, *Niektóre zagadnienia z prac nad konserwacją elementów drewnianych*, Ochrona Zabytków, R. 15, 1962, nr 3; B. Soldenhoff, *Zastosowanie sztywnych pianek; tejsze, Wzmacnianie drewna*

wszystkie z omawianych powinny być stosowane do impregnacji drewna zabytkowego, zwłaszcza polichromowanego.

Biorąc pod uwagę cel i zakres omawianej pracy, w badaniach ograniczono się do dwóch metod, mając na uwadze impregnację w przeszłości i obecnie stosowane sposoby, tj.:

- przez wtapienie mieszanin woskowo-żywicznych,
- na drodze impregnacji roztworami żywic.

2.1. WTAPIANIE MIESZANIN WOSKOWO-ŻYWICZNYCH

Mieszaniny woskowo-żywiczne⁶ przechodzą w podwyższonych temperaturach ze stanu stałego w ciekły. Po oziębieniu powracają do stanu pierwotnego, wypełniając wolne przestrzenie w drewnie. Najczęściej do impregnacji w tym przypadku stosuje się wosk pszczeli w mieszaninie z żywicami naturalnymi: kalafonią, damarą. Zawartość żywicy w mieszaninie 30—50% warunkuje jej lepkość i zdolność wsiąkania do wnętrza materiału, przy czym żywica decyduje o właściwościach mechanicznych impregnatu. Wprowadzenie masy następuje przez: pokrywanie obiektu roztopioną mieszaniną, a następnie wtapienie promiennikami podczerwieni lub żelazkami, kauterami, bądź przez zanurzenie obiektu w pojemniku z roztopioną masą.

2.2. WZMACNIANIE NA DRODZE IMPREGNACJI ROZTWORAMI ŻYVIC

Roztwory żywic wprowadza się za pomocą pokrywania pędzlem, zastrzyków i zanurzenia⁷. Dwa pierwsze sposoby, często stosowane w przeszłości, powodują utwardzenie tylko powierzchniowe. Zanurzenie obiektu w impregnacie przeprowadza się pod ciśnieniem atmosferycznym i pod zmniejszonym ciśnieniem. Zabieg wykonywany pod ciśnieniem atmosferycznym polega na zanurzeniu całkowitym lub stopniowym obiektu, przy wykorzystaniu zjawiska podciągania kapilarnego roztworu przez materiał porowaty. Żywice w roztworach powinny być całkowicie rozpuszczone w rozpuszczalnikach o niskiej stałej dielektrycznej. Roztwory te winna charakteryzować niska lepkość, co warunkuje stopień pęcznienia drewna w trakcie zabiegu.

roztworami żywic termoplastycznych, AUNC, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 11, 1987, s. 77; J. Woźny, *Wpływ Vinoflexu MP-400 na własności techniczne drewna dębu zniszczonego przez grzyby i czynniki atmosferyczne*, Ochrona Zabytków 5, 1970, z. 2.

⁶ W. Domaśłowski, *Konserwacja drewna pod zmniejszonym ciśnieniem*, BMiOZ, seria B, t. 3, 1961, s. 45—46.

⁷ Tamże, s. 46—57.

2.3. MATERIAŁY STOSOWANE W BADANIACH

Do badań stosowano próbki z drewna lipowego sezonowanego, o wymiarach $8 \times 3,5 \times 2$ cm, impregnowane wybranymi roztworami żywic sztucznych (Paraloid B-72 i Osolan K1) oraz substancjami używanymi w przeszłości (masa woskowo-żywiczna, kalafonia, olej lniany).

Wykonano również porównawcze badania przed i po nasyceniu Paraloidem B-72 rzeźb polichromowanych (Głowa Chrystusa, Św. Olaf, Św. Jakub Starszy konserwowanych w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej UMK w Toruniu).

2.3.1. WŁASNOŚCI PARALOIDU B-72

Na rynku amerykańskim występuje pod nazwą Akryloid B-72, a na europejskim — Paraloid B-72⁸.

Jest kopolimerem metakrylanu etylu (70%) i akrylanu metylu (30%), produkowanym przez amerykańską firmę Rohm and Haas. W handlu występuje w dwóch postaciach: granulowanej żywicy i 50% roztworu w toluenie. Do doświadczeń użyto granulatu żywicy rozpuszczonego w toluenie.

Właściwości:

- stopień polimeryzacji 900,
- temperatura zeszklenia 40°C ,
- temperatura mięknięcia $70\text{—}75^{\circ}\text{C}$,
- temperatura uplastycznienia $145\text{—}150^{\circ}\text{C}$,
- rozkład termiczny $250\text{—}300^{\circ}\text{C}$,
- nie żółknie pod wpływem światła,
- wykazuje dużą odporność na sieciowanie,
- mały współczynnik załamania światła.

Żywicę tę stosuje się głównie do otrzymywania werniksów ochronnych, produkcji farb artystycznych polimerowych, utrwalania malowideł ściennych, strukturalnego wzmacniania materiałów porowatych.

Rozpuszcza się w rozpuszczalnikach organicznych: węglowodorach aromatycznych, chlorowcopochodnych węglowodorów alifatycznych i aromatycznych, estrach, ketonach, eterach. Daje w tych rozpuszczalnikach roztwory o niedużej lepkości. Do strukturalnego wzmocnienia materiałów porowatych zaleca się 5—10% roztwory tej żywicy w trójchloroetylenie, chlorku etylenu, ksylenie, toluenie.

Paraloid B-72 jest jedną z najlepszych żywic termoplastycznych, jakimi dysponuje współczesna konserwacja zabytków.

⁸ J. Ciabach, *Właściwości i zastosowanie Paraloidu B-72*, *Ochrona Zabytków* 1—2, 1982, s. 111.

2.3.2. WŁASNOŚCI OSOLANU K1

Jest kopolimerem metakrylanu butylu z kwasem metakrylowym⁹, producent — Zakłady Chemiczne „Oświęcim”. W handlu występuje jako 50% roztwór w octanie etylu. Dzięki obecności w kopolimerze ok. 5% kwasu metakrylowego w makrocząsteczce występują wolne grupy karboksylowe wydatnie zwiększające przyczepność żywicy do innych materiałów.

Charakteryzuje się dużą elastycznością, małą chłonnością wody, dobrą odpornością na działanie mikroorganizmów. Wadą jest nieodporność żywicy na działanie promieniowania nadfioletowego, pod wpływem którego łatwo ulega sieciowaniu. Stosowany jest do wzmacniania materiałów porowatych (drewno, wapienie), konsolidacji malowideł ściennych, zabezpieczania wyrobów ze srebra.

W badaniach stosowano Osolan K1 rozcieńczony do pożądanego stężenia benzyną lakową.

2.3.3. WŁAŚCIWOŚCI MASY WOSKOWO-ZYWICZNEJ

Próbki nasycano masą z wosku pszczelego i damary w stosunku 1:1 części wagowych.

Woski są estrami wyższych alkoholi jednowodorotlenowych. Wosk pszczeli jest ciałem bezpostaciowym barwy szarozółtej, o temperaturze topnienia 63—65°C, ciężarze właściwym 0,958—0,967 i liczbie jodowej 8—11. Rozpuszcza się w chloroformie, dwusiarczku węgla, olejku terpentynowym zupełnie, natomiast w olejach schnących na ciepło, w eterze — 50%, w benzynie — 20%, nie rozpuszcza się w alkoholach na zimno¹⁰.

Damara¹¹ jest żywicą miękką otrzymywaną z drzew rodzaju *Dipterocarpaceae*. Ciężar właściwy — 1,007, zawiera 23% kwasu damarowego (daminorolu), 40% rezenu (alfa damary), 22% beta damary, 15% olejków eterycznych. Istnieje wiele jej gatunków w zależności od miejsca występowania, najbardziej przydatna do celów artystycznych i konserwatorskich jest damara bawajska.

Rozpuszcza się w benzynie, chloroformie, czterochlorku węgla, dwusiarczku węgla, olejku terpentynowym, częściowo w alkoholu: amyłowym, etylowym, metylowym.

Roztopione mieszaniny woskowo-żywiczne mają dobrą przenikliwość, wolne przestrzenie w materiale porowatym zostają wypełnione, co podnosi jego właściwości mechaniczne. Wodoodporność masy ogranicza pracę drewna. Jednak takie wady jak: zbyt niska wytrzymałość mecha-

⁹ Podaję za: tenże, *Właściwości i zastosowanie żywic otrzymywanych z metakrylanu butylu*, *Ochrona Zabytków* 3, 1984, s. 206—208.

¹⁰ J. Hopliński, *Farby i spoiwa malarskie*, Wrocław—Kraków 1959, s. 29.

¹¹ Tamże, s. 41; M. Doerner, *Materiały malarskie i ich zastosowanie*, Warszawa 1975, s. 91.

niczna, wysoki współczynnik załamania światła, skłonność wosku do migracji oraz jego nieodporność na niskie temperatury, kosztowność składników impregnatu, a także znaczny wzrost ciężaru obiektu po zaimpregnowaniu, eliminują masę woskowo-żywiczną jako środek wzmacniający strukturę drewna¹².

2.3.4. WŁAŚCIWOŚCI KALAFONII

Jest żywicą miękką, przetworzoną z balsamu drzew iglastych drogą destylacji¹³. Ciężar właściwy — 1,071—1,083. W swym składzie zawiera: kwas pimarowy, sapinowy, kwas przechodzący w sylwinowy, które podczas podgrzewania przechodzą w kwasy kalafoniowe — abietynowy i izopimarowy. Rozpuszcza się w acetonie, alkoholach: amylowym, butylowym, etylowym, metylowym, w benzynie, eterze, ksylenie, toluenie, olejku terpentynowym. Żywica ta jest mało odporna na działanie promieni ultrafioletowych, na skutek krystalizacji traci swe właściwości wiążące. Podwójne wiązanie występujące w łańcuchu kwasu abietynowego (80% zawartości w składzie) jest przyczyną twardnienia i brunatnienia kalafonii.

Do nasycania próbek stosowano alkoholowy roztwór kalafonii. Środek ten nie jest obecnie stosowany przy impregnacji drewna, ze względu na właściwości żywicy, a także zdolność alkoholi do spleźniania drewna.

2.3.5. GOTOWANY OLEJ LNIANY

Cechą olejów schnących jest znaczna zawartość trójglicerydów nienasyconych kwasów tłuszczowych (linolowego, linolenowego, stearynowego). Otrzymuje się go z dojrzałych nasion lnu¹⁴. Najlepsze dla celów malarskich i konserwatorskich gatunki uzyskuje się w trakcie wyciskania nasion na zimno — olej jest wówczas jasny, bardziej ciekły, zawiera minimalną ilość substancji stałych. Jakkolwiek chemiczny proces schnięcia oleju nie jest wyjaśniony, stwierdzono w tym procesie przyłączenie tlenu, polimeryzację cząsteczki i koagulację koloidalną. Twardnienie oleju, jego schnięcie, w odróżnieniu od wysychania przez parowanie, odbywa się w wyniku utleniania kwasów nienasyconych i tworzenia się nowej substancji, tzw. oksyny. Właściwości błonotwórcze oleju lnianego polepsza się przez gotowanie lub przez nasycanie go w trakcie gotowania tlenem.

Stosowany bardzo często do przesycańia drewna zabytkowego olej lniany, którego produkty polimeryzacji są szkodliwe dla drewna, utleniają celulozę do oksycelulozy, powoduje brązowienie i pękanie mate-

¹² W. Domasłowski, *Konserwacja drewna*, s. 46.

¹³ J. Hopliński, *Farby i spoiwa*, s. 40; M. Doerner, *Materiały malarskie*, s. 93.

¹⁴ W. Ślesiński, *Techniki malarskie. Spoiwa organiczne*, Arkady, Warszawa 1984, s. 45.

riału. Impregnacja strukturalna olejem lnianym nie wzmacnia dostatecznie osłabionej tkanki drewna.

Próbki nasycono olejem lnianym gotowanym (*linseed oil boiled*) produkowanym przez firmę Talens (Holandia), rozcieńczonym olejkiem terpentynowym w stosunku 1:1 części objętościowych.

2.4. OPIS APARATURY I MATERIAŁÓW ŚWIATŁOCZUŁYCH STOSOWANYCH DO WYKONANIA RENTGENOGRAMÓW

Aparat — ogólnodiagnostyczny — Multax 60 — xD12: stacjonarny, o zakresie napięcia 38—125 kV; możliwość ekspozycji od 0,6 do 6 sek. Lampa rentgenowska z wirującą anodą umieszczona w kołpaku (230 kW) o natężeniu prądu anodowego 12—80 mA.

Materiał negatywowy — błony Rentgen XS, X14* o wymiarach 30 × 40 cm, o podłożu poliestrowym, niebieskim, emulsja bromowosrebrna; producent — Zakłady Fotochemiczne „Organika-Foton” w Warszawie; folie wzmacniające — wolframowo-wapniowe Perlux-Universal DDR.

Wywoływacz — W-16-9 — wywoływacz rentgenowski; producent — Bydgoskie Zakłady Fotochemiczne „Foton”; czas wywoływania: 4 min.

Utrwalacz — U5 — utrwalacz rentgenowski; producent — Bydgoskie Zakłady Fotochemiczne „Foton”; czas utrwalania: 10 min.

Płukanie — pod strumieniem bieżącej wody, w czasie 40 min.

3. CZĘŚĆ BADAWCZA

3.1. IMPREGNACJA PRÓBEK

3.1.1. ROZTWORAMI ŻYWIC

Próbki z drewna lipowego zanurzono w roztworach żywic na głębokość począwszy od 1 cm i systematycznie dolewano impregnatu w miarę podciągania kapilarnego do 4 cm. Zabieg przeprowadzano równocześnie w następujących stężeniach roztworów poszczególnych żywic:

- Paraloid B-72 10%, 15%, 20% w toluenie,
- Osolan K1 rozcieńczony benzyną lakową do 30% i 20% roztworu,
- kalafonia w alkoholu etylowym 30%, 50%,
- olej lniany gotowany rozcieńczony olejkiem terpentynowym w stosunku objętościowym 1:1.

* Czulość około 16—19 DIN — wiadomość uzyskana od p. Michała Mieczkowskiego, st. technika elektroradiologii, pracownika Akademickiej Przychodni Lekarskiej UMK w Toruniu.

Nasycanie przerywano w momencie, gdy granica najszybciej wnika-
jącego roztworu sięgała ok. 2 cm od górnej krawędzi próbki*. Po tym
czasie (ok. 5 min.) suszono je w pozycji odwrotnej do ustawienia ich
w trakcie impregnacji, aby migracja żywicy odbywała się w kierunku
przeciwnym do podciągania. Proces suszenia trwał trzy tygodnie w wa-
runkach temperatury pokojowej, a następnie tydzień w suszarce w
temperaturze 50°C. W zabiegu tym należało mieć pewność, że rozpusz-
czalniki odparowano, gdyż mogłyby one fałszować rentgenograficzne
obrazy żywic.

3.1.2. MASĄ WOSKOWO-ZYWICZNA (WOSK PSZCZELI I DAMARA W STOSUNKU WAGOWYM 1:1)

Roztopioną masę (100—110°C) наносzono pędzlem na sztorce —
ogrzanych w suszarce — próbek. Następnie wtapiano impregnat kaute-
rem do momentu częściowego nasycenia próbki (tak jak wyżej).

3.2. IMPREGNACJA RZEŻB POLICHROMOWANYCH**

1. Głowa Chrystusa — fragment krucyfiksu (nr inw. ZKMiRP 574),
rzeźba pełna; drewno klonowe (?); wzmocnienie struktury drewna —
15% roztwór Paraloidu B-72 w toluenie; impregnat wprowadzono pod
ciśnieniem atmosferycznym przez stopniowe zanurzanie obiektu w roz-
tworze żywicy¹⁵.

2. Św. Olaf (nr inw. ZKMiRP 447); ok. 1420 r., rzeźba półpełna
drażona w kawałku drewna lipowego, substancja impregnująca — 20%
roztwór Paraloidu B-72 w toluenie; zabieg wykonano przez stopniowe
zanurzanie obiektu w roztworze pod ciśnieniem atmosferycznym¹⁶.

3. Św. Jakub Starszy (nr inw. ZKMiRP 449); ok. 1420 r.; rzeźba
półpełna drażona w kawałku drewna lipowego; obiekt zanurzany był
w 20% roztworze Paraloidu B-72 w toluenie pod ciśnieniem atmosferycznym¹⁷.

Oslabienie struktury^o powyższych rzeźb polichromowanych spowodowane było atakiem owadów.

* Doświadczenie wykonano w dwóch powtórzeniach.

** Prace wykonane w trakcie konserwacji przez studentów, w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej UMK w Toruniu.

¹⁵ Dokumentacja konserwatorska znajduje się w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej UMK w Toruniu, nr 574.

¹⁶ Dokumentacja konserwatorska znajduje się w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej UMK w Toruniu, nr 447.

¹⁷ Dokumentacja konserwatorska znajduje się w Zakładzie Konserwacji Malarstwa i Rzeźby Polichromowanej UMK w Toruniu, nr 449.

3.3. WYKONANIE BŁON Z IMPREGNATÓW

W celu wykonania badań porównawczych roztwory poszczególnych żywic użytych do nasycania próbek rozlano na szkiełka mikroskopowe. Tak przygotowane preparaty poddano suszeniu przez trzy tygodnie, w warunkach temperatury pokojowej.

3.4. WYKONANIE RENTGENOGRAMÓW

Wszystkie zdjęcia w promieniach rtg wykonał st. technik elektroradiologii Michał Mieczkowski w Pracowni Rtg Akademickiej Przychodni Lekarskiej UMK w Toruniu. Rentgenogramy wykonano metodą podstawową, układając badane obiekty i próbki bezpośrednio na kasecie z błoną rtg i kierując wiązkę promieni rtg pod kątem 90° względem błony.

Warunki techniczne podczas ekspozycji:

1. Rzeźby polichromowane naświetlano przed i po zabiegu impregnacji w tych samych warunkach:

- napięcie 38—40 kV,
- odległość błony od źródła 1,5 m,
- czas 0,8 sek.

2. Częściowo nasycone próbki drewna lipowego naświetlono w trzech ułożeniach względem źródła promieniowania (przekrój styczny, promieniowy, sztorcowy), stosując dla:

- przekroju promieniowego: 38 kV, odległość błony od źródła promieniowania 1,5 m, czas 0,6 sek.
- przekroju stycznego: 40 kV, odległość błony od źródła promieniowania 1,5 m, czas 0,6 sek.
- przekroju sztorcowego: 44 kV, odległość błony od źródła promieniowania 1,5 m, czas 0,6 sek.

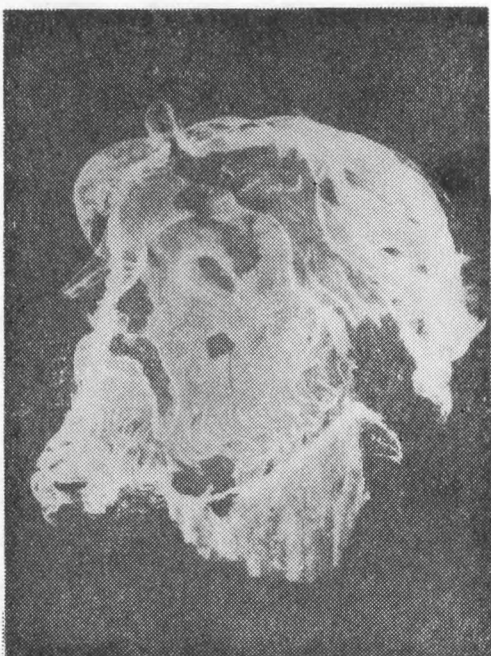
3. Błony impregnatów naświetlano z odległości 1,5 m, przy napięciu 38 kV, w czasie 0,6 sek.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Z porównania rentgenogramów wykonanych przed i po zabiegu strukturalnego wzmacniania drewna rzeźb polichromowanych wynika, że rentgenograficzne obrazy obiektów po impregnacji są jaśniejsze od obrazów wykonanych przed zabiegiem, przy czym różnica ta jest bardziej czytelna w przypadku rzeźby „Głowa Chrystusa” (por. fot. 1 i 2, 3 i 4, 5 i 6).

Zdjęcia rentgenowskie przekrojów promieniowych i stycznych próbek (fot. 7, 8) nie wykazują różnic gęstości optycznej obrazów miejsc nasyconych żywicą i nienasyconego drewna lipowego.

A

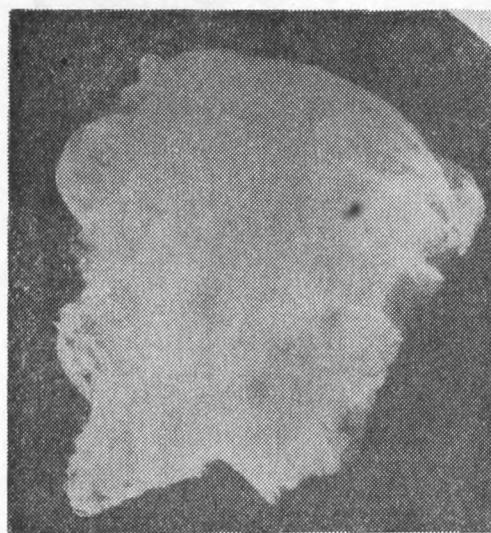


B



Fot. 1. Głowa Chrystusa. Rentgenogram, stan przed konserwacją: A. Ujęcie 3/4, B. Ujęcie profilowe

A

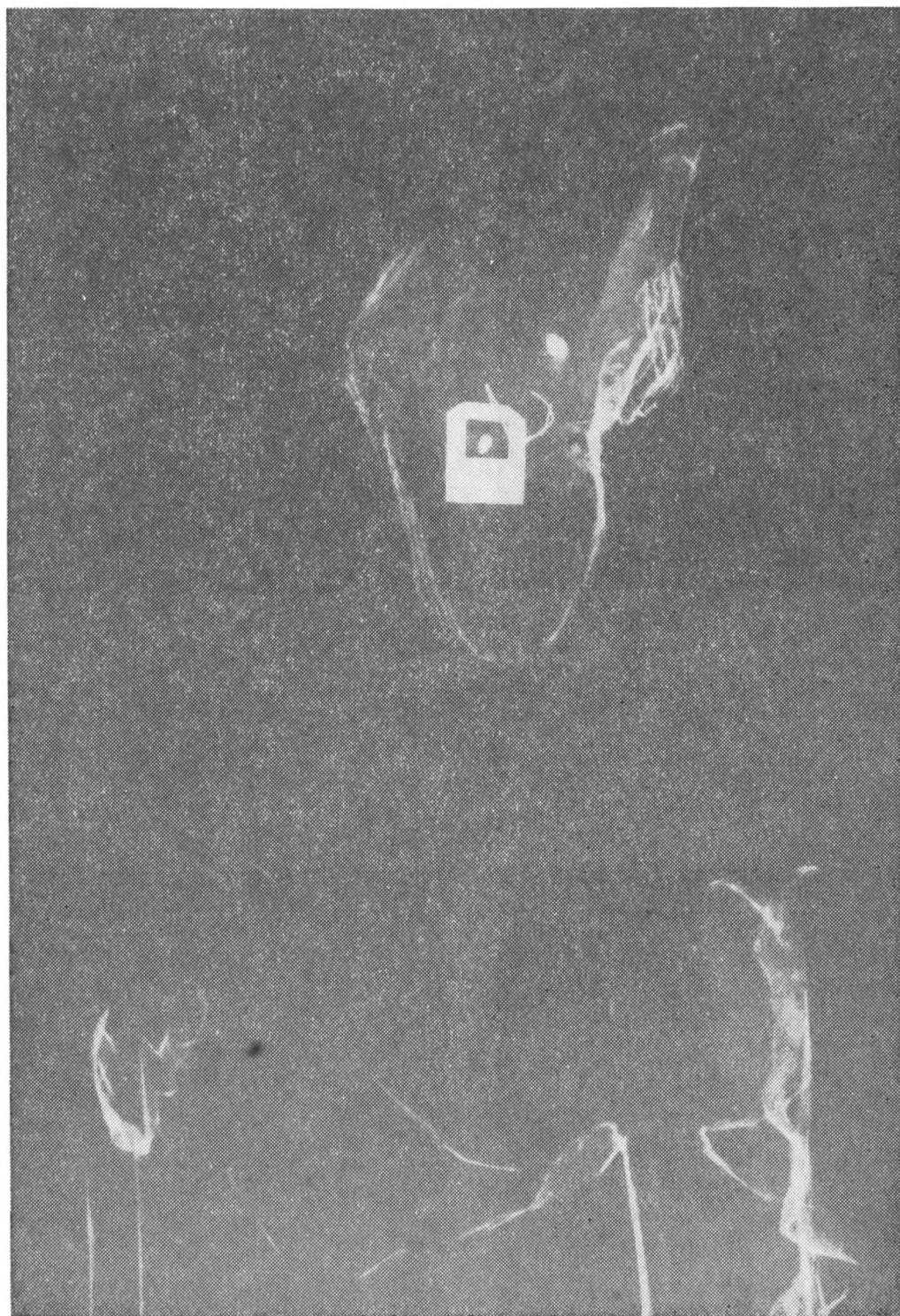


B

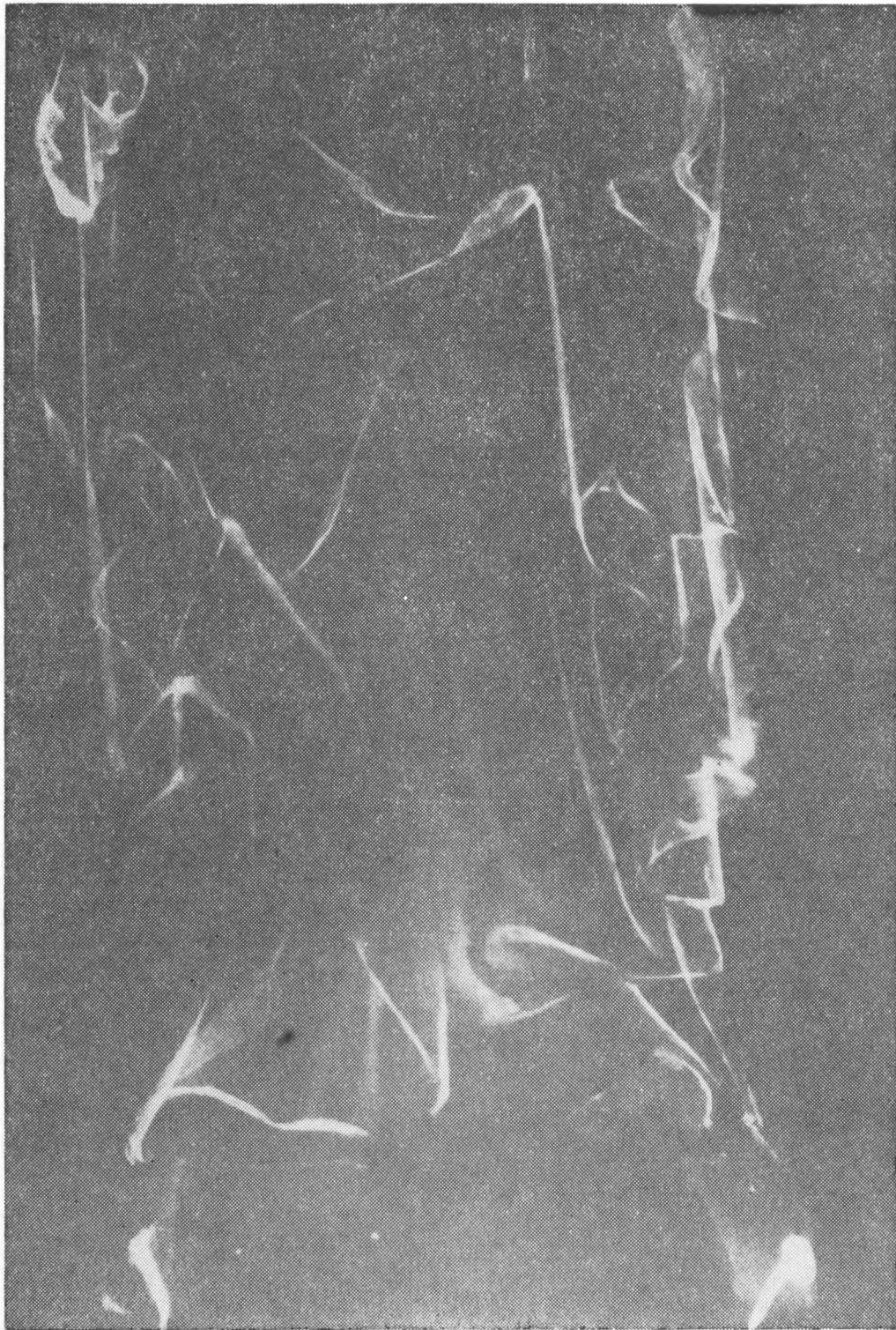


Fot. 2. Głowa Chrystusa. Rentgenogram, stan po przeprowadzeniu impregnacji: A. Ujęcie 3/4, B. Ujęcie profilowe

A



B



Fot. 3. Św. Olaf. Rentgenogram, stan przed konserwacją: A. Fragment, górna partia rzeźby, B. Fragment, dolna partia rzeźby

A

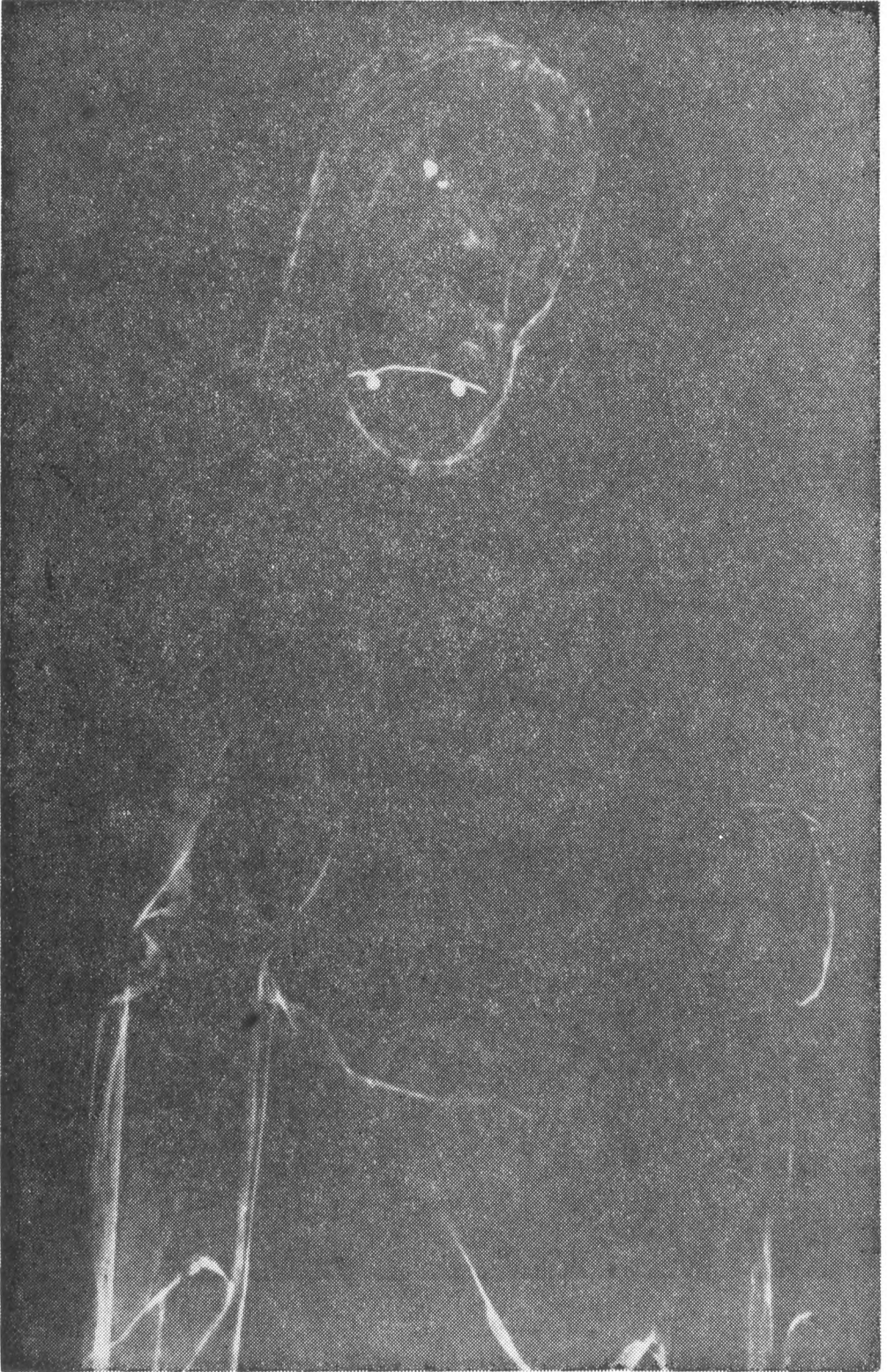


B

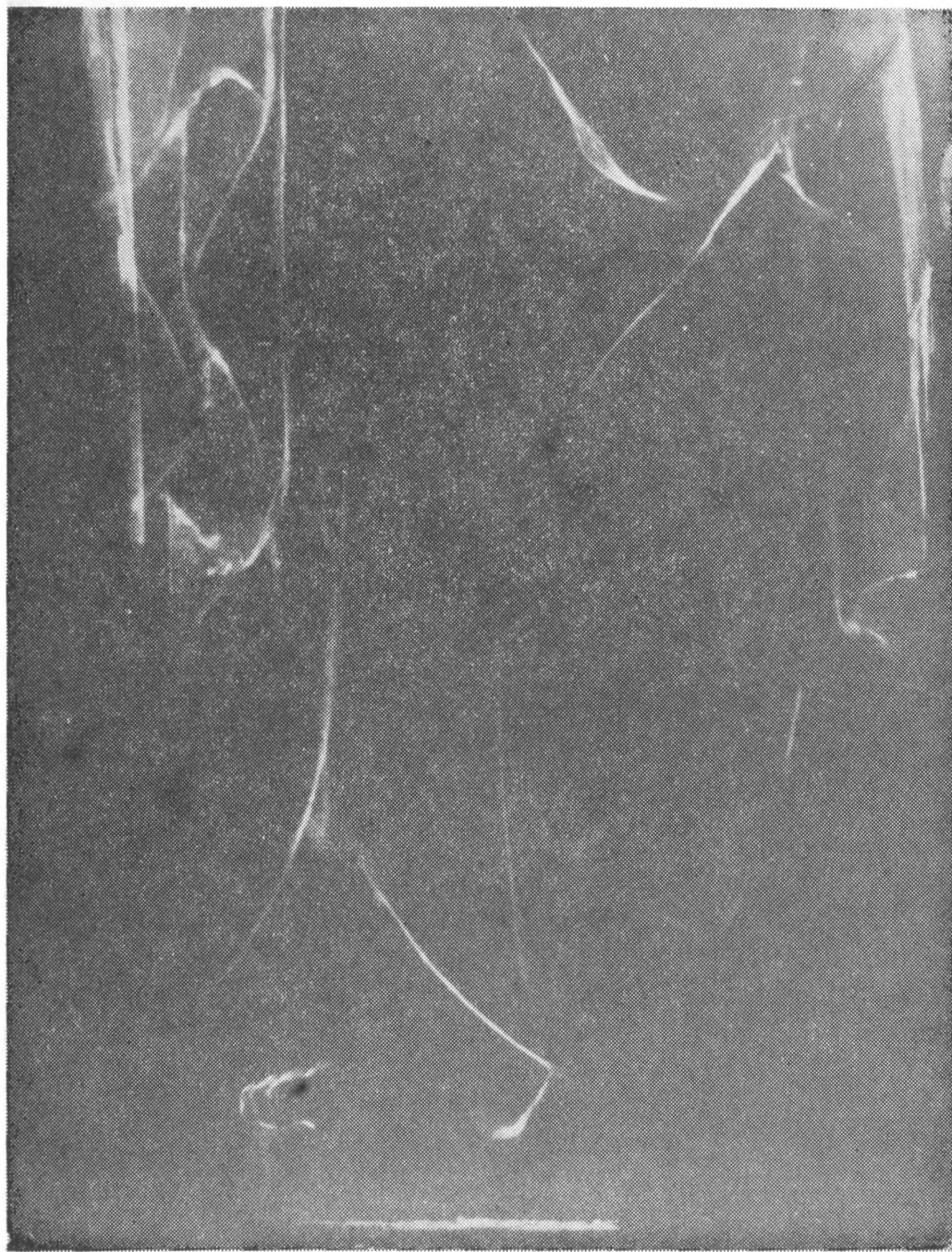


Fot. 4. Św. Olaf. Rentgenogram, stan po przeprowadzeniu impregnacji: A. Fragment, górna partia rzeźby, B. Fragment, dolna partia rzeźby

A



B

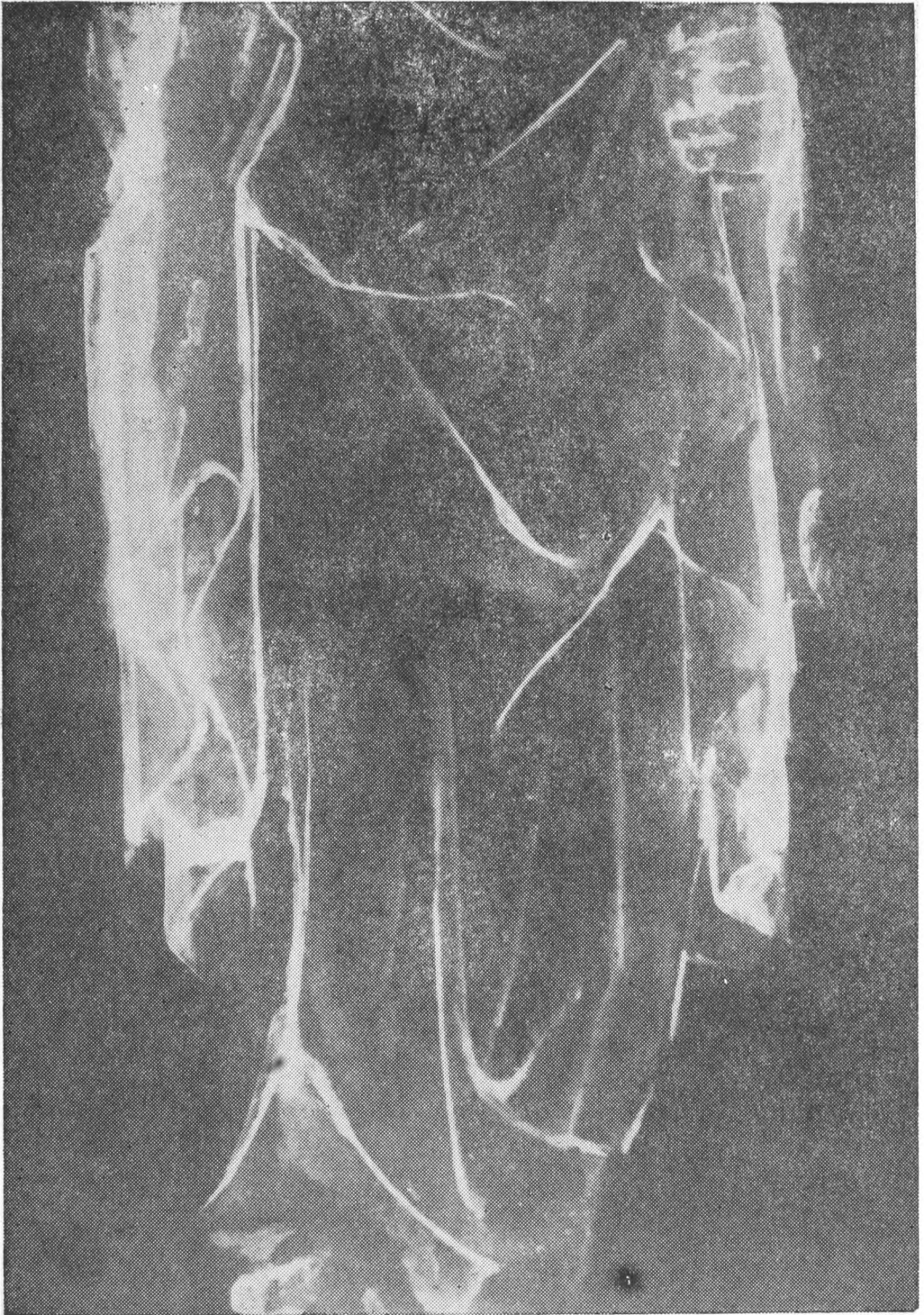


Fot. 5. Św. Jakub Starszy. Rentgenogram, stan przed konserwacją: A. Fragment, górna partia rzeźby, B. Fragment, dolna partia rzeźby

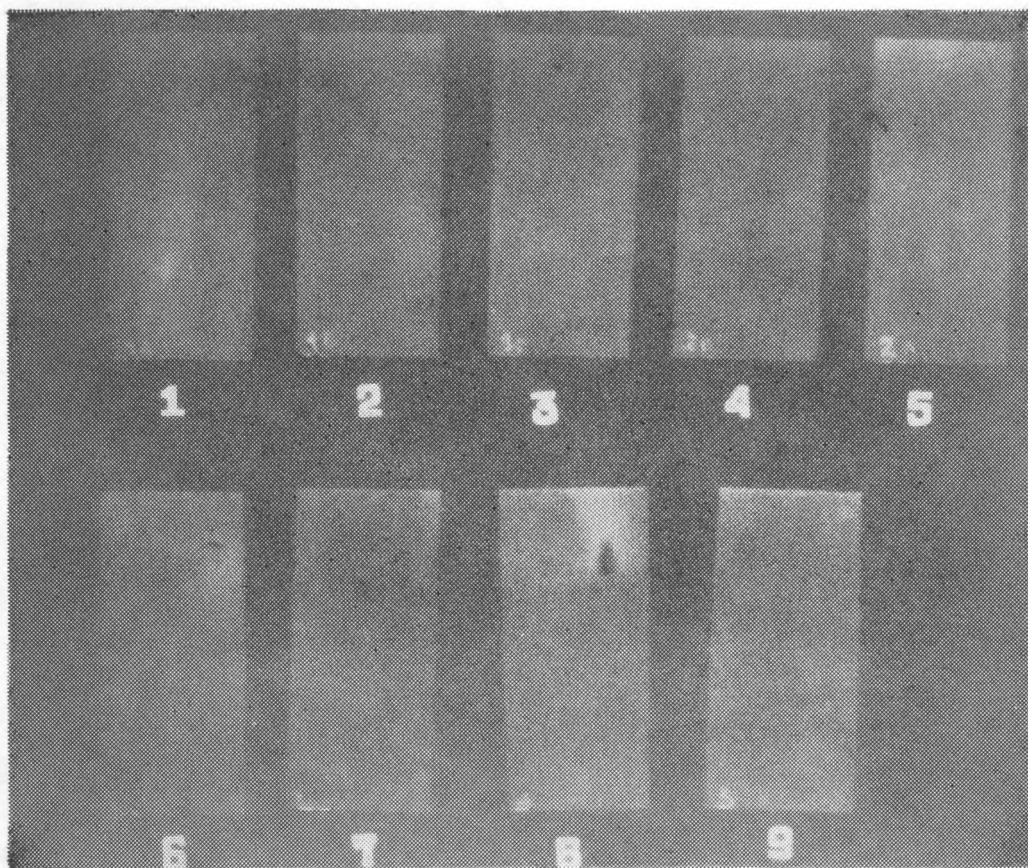
A



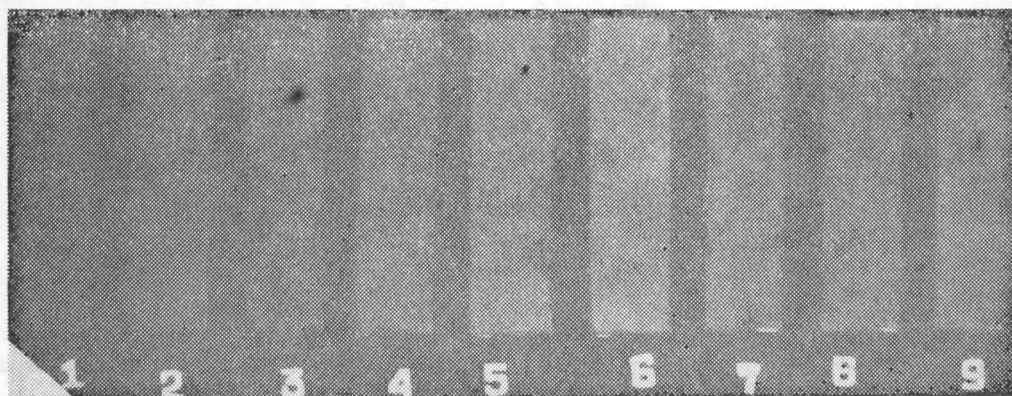
B



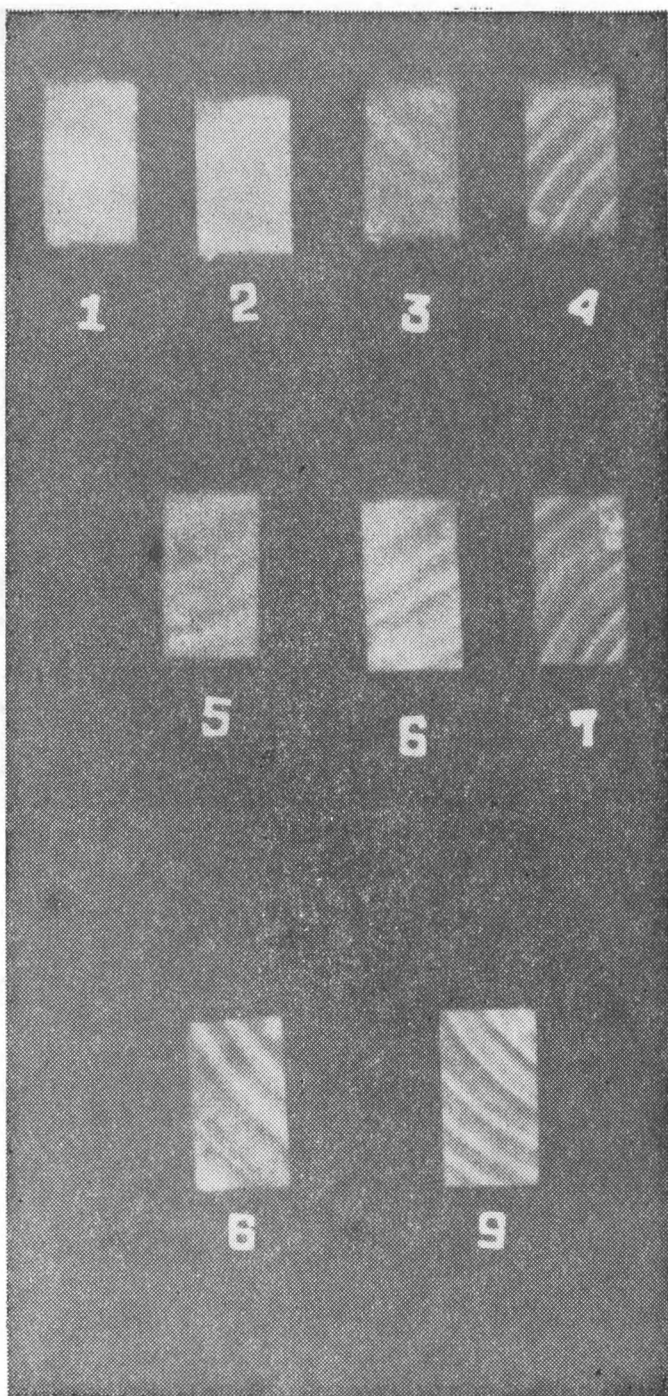
Fot. 6. Św. Jakub Starszy. Rentgenogram, stan po przeprowadzeniu impregnacji:
A. Fragment, górna partia rzeźby, B. Fragment, dolna partia rzeźby



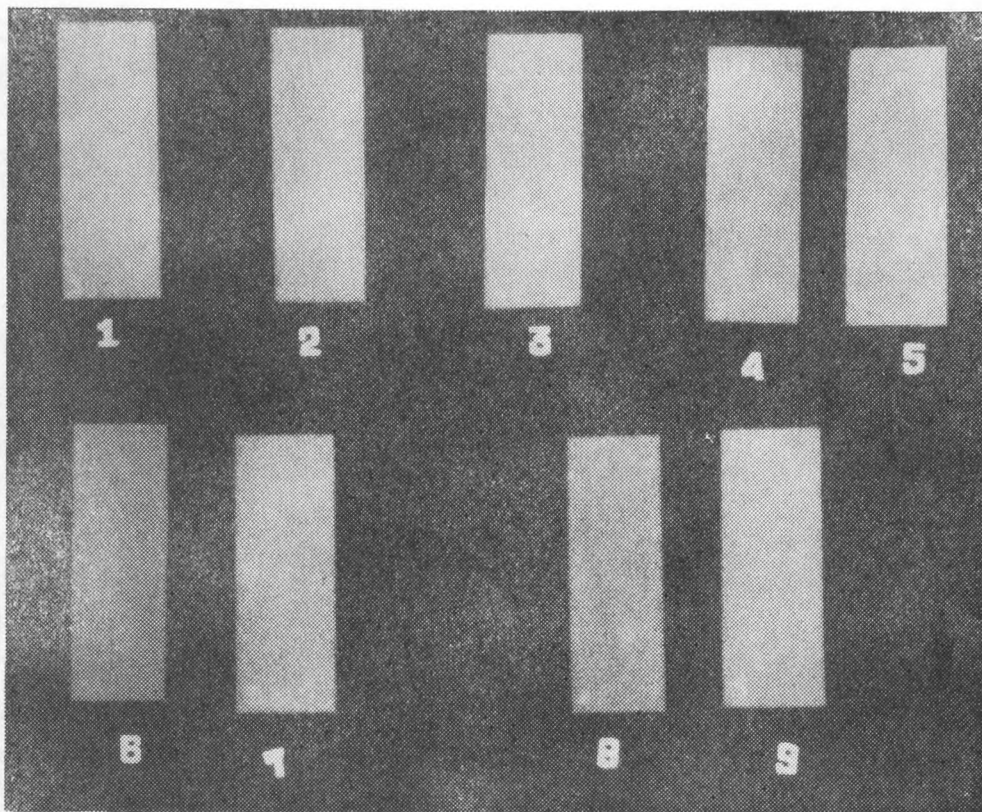
Fot. 7. Próbki drewna lipowego — przekrój promieniowy. Rentgenogram, stan po częściowym nasyceniu impregnatami



Fot. 8. Próbki drewna lipowego — przekrój styczny. Rentgenogram, stan po częściowym nasyceniu impregnatami



Fot. 9. Próbki drewna lipowego — przekrój sztorcowy. Rentgenogram, stan po częściowym nasyceniu impregnatami



Fot. 10. Substancje impregnujące (użyte w badaniach). Rentgenogram

Natomiast porównując obrazy rentgenograficzne przekrojów sztorcowych (fot. 9) stwierdza się, co następuje:

— próbki nasycone Paraloidem B-72 dają najjaśniejsze obrazy w promieniach rtg spośród wszystkich badanych, przy czym najbardziej nieczytelny rysunek słoików na sztorcu ma próbka nr 1, następnie — nr 2 i nr 3 (kolejno nasycone 20%, 15%, 10% roztworem żywicy w toluenie);

— w drugiej kolejności pod względem jasności obrazu rtg są próbki nasycone Osolanem K1; i tak próbka nr 5 (30% roztwór) ma o wiele bardziej nieczytelny rysunek słoików drewna niż próbka nr 4 (20% roztwór);

— próbki nasycone kalafonią zajmują w tej klasyfikacji trzecie miejsce, z tym, że próbka nasycona roztworem żywicy o wyższym stężeniu daje obraz rtg jaśniejszy;

— na końcu szeregu należy umieścić obrazy próbek nr 8 i nr 9 nasyconych olejem lnianym i masą woskowo-żywiczną, które charakteryzują się dużą wyrazistością i gęstością optyczną rysunków przekrojów.

Na rentgenogramach folii impregnatów użytych w badaniach (fot. 10) nie zostały zarejestrowane obrazy tych żywic.

5. WNIOSKI

Absorpcja promieni X przez substancje użyte do nasycania próbek maleje według kolejności: Paraloid B-72, Osolan K1, kalafonia, przy czym współczynnik absorpcji zależy również od stężenia roztworu danej żywicy. Im wyższe stężenie danego impregnatu, tym jego obraz rtg jest jaśniejszy. Olej lniany i masa woskowo-żywiczna wykazują bardzo małą wrażliwość na promieniowanie rentgenowskie. W porównaniu z obrazami drewna, szkła czy ołowiu (oznakowanie próbek olejną bielą ołowiową) substancje te mają niewielki współczynnik absorpcji promieni rtg. Uzyskane zróżnicowane obrazy żywic, w zależności od rodzaju i stężenia, przy prześwietlaniu sztorcowych przekrojów dają pojęcie tylko pogłądowo-porównawcze (fot. 9).

Ponieważ nie uzyskano pożądanych efektów w formie rentgenograficznych obrazów o zróżnicowanej gęstości optycznej tych substancji, w trakcie prześwietlania próbek w ustawieniu promieniowym i stycznym (fot. 7 i 8) można mniemać, że nieznaczna ilość impregnatu w materiale przy jego grubościach 2—3,5 cm (w porównaniu ze sztorcowym ustawieniem — 8 cm) były przyczyną tego stanu rzeczy. Poza tym ewentualny obraz żywic został maskowany przez drewno, które jest materiałem bardziej pochłaniającym promieniowanie rtg.

Nie powiodły się również próby otrzymania rentgenograficznych obrazów folii żywic stosowanych w doświadczeniach (fot. 10), pomimo że ekspozycja odbywała się przy maksymalnie niskim napięciu, jakie daje aparat Multax 60 (30 kV). Do otrzymania dobrego efektu w tym przypadku, wzięwszy pod uwagę grubość warstw prześwietlanych folii (0,5—1,5 mm) oraz ich niski współczynnik absorpcji promieni X, należałoby zastosować aparaturę wytwarzającą bardziej miękkie promieniowanie rtg.

Porównane ze sobą rentgenogramy wykonane przed i po impregnacji obiektów — rzeźb polichromowanych — wykazują obecność środka wprowadzonego w strukturę podłoża. Pomimo że jeden z obiektów — głowa Chrystusa — został zaimpregnowany roztworem Paraloidu B-72 o niższym stężeniu (15%), to zdjęcia rtg wykazują znaczniejsze różnice walorowe niż zdjęcia pozostałych obiektów (Św. Olaf, Św. Jakub Starszy — 20% roztwory). Ten większy lub mniejszy stopień zróżnicowania warunkowany jest długością drogi, jaką przebywają promienie X w obrębie naświetlonego materiału*.

Reasumując — efekty i możliwości przeprowadzonych badań były ograniczone warunkami technicznymi dostępnej aparatury rtg (od 38 kV, czas 0,6—6 sek.) i materiałów światłoczułych.

* Natężenie promieniowania po przejściu przez materię zależy od natężenia wiązki padającej, współczynnika osłabienia, grubości warstwy pochłaniającej.

Metoda podstawowa stykowego prześwietlania promieniami rtg daje pojęcie o niektórych środkach wprowadzonych w trakcie konserwacji. W powyższym przypadku, spośród wybranych impregnatów dotyczy to tylko: Paraloidu B-72, Osolanu KL, kalafonii. Te orientacyjne wnioski można wysunąć tylko na podstawie porównywania rentgenogramów wykonanych przed i po impregnacji obiektu. Na podstawie prześwietlenia nie można przeprowadzać analiz ilościowych ani sądzić o położeniu impregnatu w poszczególnych obszarach materiału wzmacnianego. Nawet stosując aparaturę wytwarzającą niezwykle miękkie promieniowanie, obszary rzeźb z nieregularnie zalegającym impregnatem będą „przesłonięte” przez warstwy polichromii czy rzeźbiarski modelunek. Elementy te dają obrazy rtg o większej ostrości i czytelności, ze względu na bliskość błony rtg w trakcie wykonywania rentgenografii podstawowej oraz grubość materiału. Na podstawie badań stwierdzono, że na etapie obecnych doświadczeń analiza jakościowa czy ilościowa impregnatu możliwa jest jedynie przy stosowaniu innych metod rtg badań, tj. tomografii warstwowej lub tomografii komputerowej.

IDENTIFICATION OF WOOD CONSOLIDANTS BY MEANS OF X-RAY MONITORING

Summary

The aim of the present work was to apply a non-destructive method of identification of a consolidating product introduced into the structure of a wooden object. Contact X-ray examinations were performed on lime-tree samples partly impregnated with: Osolan KL, Paraloid B-72, resin-wax mixture, linen oil, colophony of various concentration as well as on reference samples before and after treatment with Paraloid B-72.

It can be noticed that the X-ray photographs taken after consolidation of polychrome sculptures are brighter than those taken before the treatment. The difference is more distinct for the sculpture "Head of Christ" (see Photos 1 and 2, 3 and 4, 5 and 6). X-ray photographs of radial and parallel cross-sections (Photos 7, 8) do not show any difference in optical density of the impregnated and nonimpregnated area of the lime-tree. However, a comparison of vertical cross-sections (Phot. 9) reveals that:

- the samples treated with Paraloid B-72 give the brightest X-ray photographs of all samples examined. The least legible picture was obtained for sample nr 1, better pictures were recorded for samples nr 2 and 3 impregnated with 20%, 15% and 10% solutions in toluene, respectively;
- samples treated with Osolan KL show worse brightness; sample 5 (30% solution) gives a less legible picture of annual rings than sample 4 (20% solution);
- samples treated with colophony are classified in the third position; the higher the resin concentration, the brighter X-ray picture is registered;
- samples 8 and 9 (impregnated with linen oil and wax-resin mixture) are on the last position giving distinct pictures and high optical density of cross-sections; No X-ray pictures were registered for the films of impregnates tested (Phot. 10).

The conclusions drawn from the investigations are the following: the resins

can be ranged according to their absorption of X-rays in the following order: Paraloid B-72, Osolan KL, colophony. The absorption factor depends on the concentration of every resin — the higher the concentration, the brighter X-ray photograph is obtained. Linen oil and wax-resin mixture show very low sensitivity to X-ray. As compared to wood, glass or lead (samples marked with lead white), resin products show a low absorption coefficient to X-ray. Thus, the varied photographs of vertical cross-sections give only a draft idea (Phot. 9).

The effects of the obtained X-ray pictures of varied optical density by radial and tangential orientation were not satisfactory (Photos 7 and 8). It is assumed that this is due to a scarce quantity of impregnate in the material 2—3.5 cm thick as compared to 8 cm thick sample at vertical orientation. The picture of resins has been masked by the wood which presents higher absorption capacity to X-rays.

We failed to register X-ray photographs of resin films (Phot. 10) in spite of low voltage exposition with the use of a Multax 60 (38 kV) apparatus. In this case more soft X-ray radiation should be used, taking into account the thickness of resin layers (0.5—1.5 mm) and their low absorption coefficient of X-rays.

Comparison of X-ray photographs taken before and after impregnation of polychrome sculptures reveal the presence of consolidant. Although the "Head of Christ" was impregnated with only a 15% solution, X-ray photographs show the most significant value differences, even more pronounced than in case of other objects (St. Olaf, St. James The Elder) treated with 20% solutions. This difference is due to the difference in optical way of X-rays through the material examined.

To sum up, the results of investigations were limited by technical conditions of the research and apparatus available (minimum voltage 38 kV, time 0.6—6 s) as well as light-sensitive materials.

The basic contact method of X-raying gives a general idea of some products introduced in course of conservation work as e.g. Paraloid B-72, Osolan KL and colophony. Draft conclusions can be drawn after comparison of X-ray pictures taken before and after impregnation. Neither quantitative analysis can be done in this way, nor the distribution of consolidant in the treated material can be evaluated. Even if very soft X-ray radiation was applied, the inner layers of material would be screened by polychromy or sculptural workout that provide brighter and better visible pictures because of a close contact with the X-ray film and the thickness of material. At the present stage of investigation, only layer tomography or computer tomography enable qualitative and quantitative analyses of consolidants.