

Marian Paciorek

Zastosowanie tomografii komputerowej do badania rozmieszczenia i udziału tworzywa w drewnie impregnowanym strukturalnie

Ochrona Zabytków 45/3 (178), 159-172

1992

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.

ZASTOSOWANIE TOMOGRAFII KOMPUTEROWEJ DO BADANIA ROZMIESZCZENIA I UDZIAŁU TWORZYWA W DREWIE IMPREGNOWANYM STRUKTURALNIE

Realizacja głębokiej strukturalnej impregnacji, a zarazem osiągnięcie dostatecznego wzmocnienia lub ochrony drewna zależy nie tylko od zastosowania metod spełniających warunków wystarczającego przesycenia czy użycia odpowiednich substancji, lecz także od stworzenia możliwości trwałego związania ich w strukturze drewna poprzez zjawiska fizyczne, reakcje chemiczne lub oba te czynniki jednocześnie.

Jak wynika z dotychczasowych badań nad strukturalną impregnacją wzmacniającą drewna i drewna obiektów zabytkowych, takie czynniki jak: właściwości drewna (rodzaj, gatunek, stan zachowania itp.), rodzaj użytych tworzyw i rozpuszczalników, stosowane metody nasycania, procesy chemiczne i zjawiska fizyczne oraz ścisłe współzależności między nimi – decydują nie tylko o samym procesie nasycania, ale mają również istotny wpływ na rozmieszczenie się tworzywa w porowatej strukturze drewna^{3,6,13,14}. Na rozmieszczenie tworzywa znacznie wpływają reakcje chemiczne polimeryzacji i towarzyszące im zjawiska termiczne (w wypadku nasycania monomerami i żywicami reaktywnymi) oraz fizyczne – odparowanie rozpuszczalnika nieaktywnego (w wypadku tworzyw termoplastycznych, żywic naturalnych zestalających się wyłącznie na skutek odparowania rozpuszczalnika^{3,5,8}. Jedną z najważniejszych przyczyn nierównomiernego rozmieszczenia się tworzyw jest – zachodzące w procesie zestalania się – zjawisko migracji tworzywa do warstw przypowierzchniowych nasyczonego materiału porowatego. Intensywność tego zjawiska prowadzi do uszczelnienia i nadmiernego utwardzenia warstw przypowierzchniowych w stosunku do mniej przesyconych partii wewnętrznych, zwiększając tym samym niejednorodność materiału i powodując powstawanie dodatkowych niebezpiecznych naprężeń w nierównomiernie utwardzonych warstwach. Widzimy więc, że w całym kompleksie zagadnień konserwacji najtrudniejsze problemy stwarza strukturalna impregnacja ochronna i wzmacniająca, szczególnie tak skomplikowanego materiału, jak zniszczone drewno obiektów zabytkowych. Możliwość uzyskania jak najpełniejszej informacji w tym zakresie jest niezmiernie istotna dla rozwiązania złożonych problemów impregnacji. Stosowane dotychczas metody badawcze, wykorzystujące osiągnięcia wielu dziedzin nauki i techniki, spełniają to zadanie w różnym stopniu i zakresie^{5,8,9,12}. Główny ich mankament tkwi jednak w tym, że – obok niedostatecznej w pewnych wypadkach efektywności i skomplikowanej często te-

chnice realizacji – są to metody niszczące, fragmentaryczne, wymagające cięcia lub pobierania próbek materiału badanego. Nie stwarzają więc możliwości prześledzenia przebiegu procesu nasycania wraz z towarzyszącymi mu zmianami struktury w sposób nie niszczący. Nie dają także możliwości wglądu w całą strukturę drewna, porównania jego właściwości w tych samych miejscach przed, w trakcie i po procesie zestalania się tworzywa, określenia jego ilościowego udziału i rozmieszczenia czy zaistniałych defektów w głębokich warstwach materii. Niedoskonałość dotychczasowych metod badawczych, zarówno ze względu na technikę ich przeprowadzania, jak i jakość informacji, była powodem podjęcia (w badaniach nad przydatnością do impregnacji wzmacniającej tworzyw termoplastycznych – Winacetu R-50, Osolanu KL, Osolanu K i Paraloidu B-72) prób zastosowania tomografii komputerowej do stwierdzenia zdolności ich rozmieszczania się w drewnie lipowym w określonych warunkach impregnacji.

Interesujące możliwości tomografii komputerowej wykorzystano również w badaniach rzeźby drewnianej polichromowanej *Król Kazimierz Wielki* z 1380 r. z Muzeum UJ w Krakowie.

Podstawowym dążeniem w tych próbach było określenie wielkości zmian umownej gęstości drewna impregnowanego w poszczególnych strefach tego samego materiału na podstawie głównej zasady tej metody (zależność absorpcji promieniowania X od gęstości materiału) wyrażanej skalą liniowego współczynnika osłabienia promieniowania X w jednostkach Hounsfielda.

Zasada metody, materiały i zakres przeprowadzonych badań

Potencjalne możliwości nieniszczącego wykrywania i obrazowania wszelkich zmian strukturalnych materiałów, w tym również drewna, tkwią we właściwościach promieni rentgenowskich, w metodach badań przy ich zastosowaniu^{2,11}.

Klasyczna metoda tomografii zyskała nowe wartości w połączeniu z systemem komputerowym. Dzięki możliwości cięcia (skanowania) obiektu wąską wiązką promieniowania rentgenowskiego wyeliminowana została prawie całkowicie zależność uzyskiwanego obrazu od grubości badanego materiału. W wyniku tego stworzone zostały również możliwości ilościowego ujęcia wielkości istniejących lub zachodzących zmian w strukturze materii.

Założeniem metody jest wykonanie serii wizualnych, graficznych lub cyfrowych obrazów uzyskanych z wąskiej wiązki promieni X na każdym możliwym do wykonania przekroju całości badanego obiektu. Każdy obraz otrzymywany jest z kolejnych skanowanych plastrów. W aparaturze połączonej z systemem komputerowym III generacji, którą wykorzystano do badań (SOMATOM SD firmy Siemens) obiekt prześwietlany jest wąską wiązką promieni X w warstwie o szerokości 4-7 mm. Somatom SD działa na zasadzie wirującego wachlarza pulsującego promieniowania X. Wachlarz rentgenowskiego promieniowania składa się z 256 promieni skanujących oraz 4 promieni odniesienia, skierowanych w stronę takiej samej liczby detektorów. Lampa, system wielodetektorowy i kolimatory sztywno połączone ze sobą wirują stale wokół obiektu (rys.1). Zarówno źródło promieniowania, jak i detektory przecinają obiekt w płaszczyźnie poprzecznej, rejestrując 256 odczytów transmisji przez próbkę. Podczas skanowania obiekt prześwietlany jest 720 lub 360 razy przez błyski wachlarza promieni rentgenowskich co 0,5° lub 1° przy rotacji systemu o 360°. Równoległy plaster obiektu prześwietlany jest przy kącie aperturowym 42°, co daje możliwość badania obiektów o grubości 530 mm. Rozkład gęstości każdego prześwietlenia (profil absorpcyjny) rejestrowany jest przez system 256 detektorów SCIENTILLARC, co dla odwrotzenia obrazu gęstości plastra w całym zakresie 360° daje profil absorpcyjny zawierający 256 x 360 lub 256 x 720 odczytów transmisji dokonanych przez każdy detektor.

Dane intensywności promieniowania, rejestrowane przez detektory, przekazywane są do komputera i notowane na dysku do przetwarzania przez minikomputer. Obraz badanej warstwy oglądany jest na ekranie telewizyjnym lub zapisywany na dysku, co umożliwia późniejsze analizy. Dla komputera opracowane są programy analizujące, przetwarzające dane w formie wartości cyfrowej, przedstawień graficznych, wykresów (histogramów) i innych, z możliwością manipulacji w szerokim zakresie kontrastu oraz dokumentowania ich fotograficznie. Dla ułatwienia porównań wartości absorpcji po prawej stronie zdjęcia umieszczona jest skala. Jej zakres w jednostkach Hounsfielda wyznaczają gęstości: powietrza = -1000 j.H., wody = 0 j.H. i kości = +1000 j.H.

Oprócz skali, w górnej części obrazu zawarte są informacje podające: typ tomografu, instytucję, datę, grubość i numer warstwy na dysku. W dolnym lewym narożniku podawane są warunki testu. Na dokumentacji fotograficznej wykresów w miejscu warunków testu umieszczone są dane z przetwarzania. Inne możliwości komputera to: 4-krotne powiększenie części obrazu, subtrakcja elektroniczna, rekonstrukcja wertykalna, prezentacja linii isodensyjnych oraz program statystyczny do analizy osłabienia promieniowania X w dowolnym polu.

Przy wykorzystaniu możliwości technicznych i wartości informacji tomografu komputerowego określono rozmieszczenie i udział tworzywa w strukturze drewna lipowego impregnowanego próżniowo, w zależności od następujących zmiennych:

– rodzaju tworzywa impregnującego,

- stężenia roztworu impregnującego (10 i 20%),
- rodzaju użytego rozpuszczalnika lub mieszaniny rozpuszczalników,
- sposobu odparowania rozpuszczalnika (normalny i opóźniony w parach benzyny lakowej).

Badania te przeprowadzono na znormalizowanych próbkach drewna lipowego 5 x 5 x 5 cm:

- impregnowanych próżniowo Paraloidem B-72, Osolanem KL, Osolanem K i Winacetem R-50 w roztworach toulenowych przy zmiennym stężeniu roztworów i odmiennych warunkach odparowania rozpuszczalnika;
- impregnowanych próżniowo 20% roztworami Paraloidu B-72 w czterech rozpuszczalnikach o zróżnicowanej lotności (ksylen, toluen, benzen, aceton), ich wzajemnych mieszaninach i mieszaninach z benzyną lakową, w warunkach normalnego odparowania.

Badania obiektu – rzeźby drewnianej polichromowanej *Król Kazimierz Wielki* impregnowanej 20% roztworem Paraloidu B-72 w ksylenie prowadzone były przed impregnacją, po impregnacji próżniowej i po odparowaniu rozpuszczalnika (fot. 12, 13, 14).

Podstawowym dążeniem w tych próbach było wizualne i ilościowe określenie udziału i rozmieszczenia tworzywa, głównie w centralnych i przypowierzchniowych strefach tego samego materiału, na przekroju poprzecznym, w obiekcie i promieniowym na próbkach.

Wpływ rodzaju tworzywa i jego stężenia na strukturalną impregnację

Dążąc do określenia wielkości zmian drewna impregnowanego, stwierdzenia udziału i rozmieszczenia tworzywa w jego strukturze wszystkie próbki przebadano w płaszczyźnie przekroju promieniowego przez środek próbki. Uzyskane obrazy wizualne wewnętrznej struktury próbek porównano oraz poddano analizie komputerowej ich środkowe i przypowierzchniowe strefy. Wykorzystując jednakowe powiększenia badanej warstwy, uzyskane histogramy dla strefy środkowej i przypowierzchniowej zestawiono w celu ułatwienia bezpośredniego porównania wielkości i kierunków zaistniałych zmian (fot. 3, 4, 6, 7). Na podstawie badań i analiz tomografu komputerowego można stwierdzić, że niejednorodna struktura samego drewna jest znacznie zróżnicowana i wywiera niewątpliwie wpływ na proces jego impregnacji. W drewnie lipowym ze słojami rocznymi słabo rozgraniczonymi zależności te przedstawiają się następująco: drewno wczesne, o komórkach cienkościennych i dużym świetle, ma gęstość niższą (-700 do -520 j.H.) od drewna późnego (-500 do -380 j.H.), zbudowanego z grubościennych komórek o małym świetle. Różnice istnieją także między poszczególnymi przyrostami rocznymi, średnio od 50 do 160 j.H. Jednocześnie daje się zauważyć, że średnia gęstość drewna w środkowej partii próbki jest nieco wyższa od średniej przy powierzchni przekroju poprzecznego. Porównując średnią gęstość drewna w próbce nie impregnowanej w środkowej strefie przekroju promieniowego ze średnią gęstością tej samej strefy próbek impregnowanych stwierdzamy, że wszystkie tworzywa zostały wprowadzone do najgłębszych warstw (fot. 1). Nie wszystkie partie strefy środkowej zostały przesycone

w jednakowym stopniu, co najbardziej uwidacznia się na obrazie próbki nasyconej 10% roztworem Winacetu R-50. W środkowej strefie przekroju promieniowego próbek impregnowanych obraz zróżnicowania gęstości między drewnem późnym a wczesnym wskazuje na większy udział tworzywa w drewnie późnym. W miarę zbliżania się do warstw przypowierzchniowych przekroju poprzecznego wzrasta udział tworzywa na korzyść drewna późnego, pogłębiając te naturalne różnice. Łatwiejsze odparowanie rozpuszczalnika i większa migracja w drewnie o mniejszej gęstości powoduje zagęszczenie się tworzywa w partiach drewna wczesnego, wzdłuż granicy jego styku z drewnem późnym, a w dalszej kolejności tuż pod powierzchnią przekroju poprzecznego.

Prowadzi to w tej strefie do niwelowania różnic gęstości, powstawania charakterystycznych uszczelnień, na skutek gwałtownego wzrostu gęstości drewna wczesnego (fot. 4, 7). Przy stosowaniu roztworów o wyższym stężeniu najczęściej występuje pogłębianie się różnicy między drewnem wczesnym a późnym i występowanie szerszej warstwy uszczelnień w strefie przypowierzchniowej.

Opóźniając odparowanie rozpuszczalnika stwierdzono bardziej równomierne rozmieszczenie tworzyw w całej strukturze drewna, np. dla obróbki nasyconej 20% roztworem Osolanu K przy opóźnionym odparowaniu (fot. 5) proces migracji uległ znacznemu ograniczeniu. Różnice gęstości między środkową a przypowierzchniową strefą w drewnie późnym i wczesnym są w tym wypadku nieduże i wynoszą średnio 165 j.H. i 158 j.H. Przy normalnym odparowaniu rozpuszczalnika wynoszą odpowiednio 362 j.H. i 377 j.H., czyli ponad dwukrotnie więcej (fot. 6, 7).

Podobnie proces migracji został powstrzymany w drewnie nasyconym 20% roztworem Paraloidu B-72 (fot. 2, 3) i Osolanu KL (fot. 8, 9). W drewnie nasyconym Winacetem R-50 występuje znaczne uszczelnienie warstw przypowierzchniowych oraz mniejszy udział tworzywa w warstwach środkowych (fot. 1). Jak można sądzić, korzystne oddziaływanie wzrastającego stężenia na równomierność rozmieszczenia się tworzywa określone jest optymalną granicą lepkości, pozwalającą równocześnie na przesycenie materiału porowatego.

Z bezpośredniego porównania zdolności badanych tworzyw do bardziej lub mniej równomiernego osadzania się w strukturze przesyconego drewna, przy warunkach normalnego i opóźnionego odparowania wynika, że tworzywem najbardziej równomiernie rozmieszczającym się w strukturze drewna jest Paraloid B-72, a następnie Osolan KL i Osolan K. Ostatnie z porównywanych tworzyw – Winacet R-50 – nawet przy korzystnie wpływających na efekty strukturalnego wzmocnienia warunkach opóźnionego odparowania rozpuszczalnika, wykazuje tendencje migracji do warstw przypowierzchniowych lub jest w tych strefach najłatwiej osadzany.

Wpływ rodzaju rozpuszczalnika na sposób rozmieszczenia się tworzywa w drewnie

Odparowaniem rozpuszczalników, a zwłaszcza ich przemieszczaniem się w strukturze drewna impregnowanego rządzą bardziej złożone prawidłowości niż w tym samym materiale bez udziału tworzywa. Odparowanie rozpusz-

czalnika związanego z polimerem odbywa się nie tylko z drewna, ale także z żelu tworzywa, które w wyniku tego procesu przechodzi stopniowo w ciało stałe^{7,15}. Ponieważ szybkość przemieszczania się rozpuszczalnika w drewnie impregnowanym uzależniona jest głównie od jego lotności, aktywności chemicznej, lepkości roztworu oraz różnic temperatury w środkowych i przypowierzchniowych warstwach drewna, czynniki te decydują o wielkości migracji tworzywa i jego rozmieszczeniu w porowatej strukturze. Jak wykazały badania, opóźniając proces odparowania (w atmosferze par nierozpuszczalnika) zmniejsza się zjawisko migracji. Porównując środkowe skanery próbek drewna impregnowanych tym samym tworzywem, lecz z udziałem różnych rozpuszczalników (ksylen, toluen, benzen, aceton), można stwierdzić, że zjawisko migracji w większym stopniu zachodzi przy stosowaniu roztworów z pojedynczych rozpuszczalników i zwiększa się wraz z lotnością cieczy. W przeprowadzonym teście najmniejszą migrację uzyskano w próbce impregnowanej 20% roztworem Paraloidu B-72 w ksylenu. W porównaniu z pozostałymi obraz wizualny (fot. 10/1) tej próbki wykazuje nieznaczne uszczelnienie warstwy powierzchniowej i mniejsze zróżnicowanie między drewnem późnym a wczesnym. Nieco gorsze rezultaty uzyskano w próbce impregnowanej roztworem toluenowym. Z dwóch pozostałych próbek impregnowanych z udziałem benzenu i acetonu (fot. 10/2, 3) znacznie większy udział tworzywa wykazuje próbka impregnowana roztworem acetonowym, zarazem w niej właśnie w największym stopniu występuje migracja tworzywa. O wiele korzystniejsze rezultaty rozmieszczenia tworzywa w strukturze drewna uzyskano stosując mieszaniny rozpuszczalników o wyższej lotności z wolnoparującymi lub z rozcieńczalnikami. Szczególnie dobre efekty dało zastosowanie mieszaniny ksylenu z benzyną lakową w stosunku 6:1 (fot. 10/7). Niewiele gorsze rezultaty daje zastosowanie mieszaniny toluenu z ksulenem (2:1) i acetonu z benzyną lakową (2:1) (fot. 10/4). W pozostałych testach uszczelnienie warstwy tuż pod powierzchnią wykazują próbki impregnowane 20% roztworami Paraloidu B-72 w mieszaninach acetonu z ksylenem (1:2) oraz benzenu z ksylenem (2:1).

Uzyskane w badaniach tomograficznych obrazy rozmieszczenia tworzywa i jego udziału w poszczególnych partiach drewna pozwoliły określić wpływ właściwości rozpuszczalników na uzyskane rezultaty impregnacji. Ustalono na tej podstawie wielkości zaistniałych zmian pozwalają stwierdzić, że stosowane do impregnacji strukturalnej rozpuszczalniki o dużej lotności i aktywne chemicznie w stosunku do tworzywa wywołuje największe zróżnicowanie w jego rozmieszczeniu, prowadząc równocześnie do powstawania uszczelnień warstw przypowierzchniowych.

Znacznie lepsze rezultaty uzyskano stosując rozpuszczalniki o niskiej lotności i mocy rozpuszczania, takie jak ksylen lub toluen. Roztwory z nich uzyskiwane mają wyższą lepkość, co przy stosowaniu głębokich metod nasycania nie stanowi istotnej przeszkody w ich przenikaniu, ograniczając migrację i pozwalają na bardziej równomierne rozmieszczenie się tworzywa. Przeprowadzone testy pozwalają przypuszczać, że bardziej korzystny wpływ na równomierność rozmieszczenia się tworzywa

w strukturze drewna wywierać będą mieszaniny rozpuszczalników z nierozpuszczalnikami w stosunkach, które nie powodują jeszcze wytrącenia się tworzywa z roztworu.

Badania rezultatów impregnacji strukturalnej na obiekcie zabytkowym

Dzięki zaletom tomografii komputerowej realne stało się prześledzenie procesu i efektów impregnacji na obiekcie zabytkowym. Badania na rzeźbie drewnianej polichromowanej *Król Kazimierz Wielki* impregnowanej próżniowo 20% roztworem Paraloidu B-72, przeprowadzono na 10 skanerowanych warstwach (rys. 2, fot. 11) w trzech etapach: przed impregnacją, po nasyceniu oraz pod odparowaniu rozpuszczalnika (fot. 12, 13, 14).

Dla oceny stopnia nasycenia, rozmieszczenia tworzywa i osiągniętych efektów strukturalnej impregnacji wykorzystano oprócz obrazów wizualnych program statystyczny, dla czterech wybranych warstw skanerowania. Na podstawie miejscowych zmian jasności obrazu, proporcjonalnych do występujących zmian gęstości drewna, można stwierdzić, że przy zastosowanej metodzie impregnacji próżniowej cała porowata struktura drewna została przesycona.

Nie wszystkie jednak przestrzenie wypełnione zostały impregnatem w równej mierze. Mniejszy lub większy dla danego miejsca stopień nasycenia, widoczny w formie rozjaśnień o różnej intensywności, bardziej zdecydowanie ujawnił stan zachowania drewna i zmiany jego struktury oraz ich wpływ na możliwość równomiernego przesylenia (fot. 13).

Jak wynika z przeglądu kolejnych warstw przekroju poprzecznego, mniej przesycone zostały warstwy przyrdzeniowe drewna, a także drewno zdrowe, czasowo późniejsze, użyte do rekonstrukcji lewej ręki postaci.

W każdej z kolejnych badanych warstw struktury rozmieszczenie impregnatu i stopień nasycenia drewna wykazuje miejscowe zróżnicowanie, jednakże średni udział roztworu dla poszczególnych skanerów jest zbliżony. Po odparowaniu rozpuszczalnika obraz rozmieszczenia tworzywa w poszczególnych strefach przekroju poprzecznego nie uległ bardziej zdecydowanym zmianom, które mogłyby świadczyć o przemieszczaniu się tworzywa i jego zagęszczaniu w warstwach przypowierzchniowych obiektu. Większe zagęszczenie tworzywa można stwierdzić w przesyconych partiach drewna stoczonych przez owady i w korytarzach wypełnionych pyłem drzewnym oraz w pobliżu wolnych przestrzeni, gdzie łatwiej przebiega proces odparowania rozpuszczalnika. Poddając takiej samej ocenie histografy zmian gęstości drewna rzeźby w odpowiednich etapach procesu jej impregnacji nie stwierdzono uszczelnień wkraczających poza wielkość 100 j.H. (fot. 14).

Oceniając na podstawie histografów stopień uszkodzenia drewna w porównaniu z danymi dla drewna zdrowego stwierdzono, że średnia gęstość drewna rzeźby jest niższa od średnich gęstości drewna zdrowego o około 150 j.H., co przy procentowym określeniu stopnia zniszczenia drewna daje wielkość dochodzącą do 30%. Nie-

mniej są takie miejsca, w których stopień zniszczenia substancji drzewnej osiąga wartość 80%. Przeciętne różnice w gęstości drewna późnego i wczesnego, mieszczące się w zakresie 130 j.H. dla drewna zdrowego, w drewnie obiektu zostały w wielu wypadkach naruszone i zwiększone do 220 j.H. Wymienione zmiany gęstości drewna i ich zróżnicowania w obrębie anatomicznej budowy występują najczęściej w bliskim sąsiedztwie tych partii, gdzie nastąpiło uszkodzenie struktury drewna przez żerujące owady (fot. 12).

Przedstawione w histografach zmiany gęstości drewna po procesie jego nasycenia, badane wzdłuż linii biegnącej promieniowo, przebiegają odmiennie na każdym z przekrojów poprzecznych (rys. 3, 4). Oznaczony na tych liniach najwyższy stopień nasycenia zwiększa gęstość drewna średnio o 600-700 j.H., co w odniesieniu do jego gęstości pierwotnej stanowi 150-175% nasycenia. Natomiast dla wspomnianych trudniej przesylnych miejsc gęstość drewna wzrasta o 100-200 j.J., co daje jedynie 25-50% wzrostu stopnia nasycenia.

W warunkach zahamowanej migracji tworzywa jego udziału i rozmieszczenie po odparowaniu rozpuszczalnika jest w przybliżeniu proporcjonalne do osiągniętego stopnia nasycenia.

Wnioski

Istota i wartość przeprowadzonych prób zawiera się przede wszystkim w zaprezentowaniu technicznej doskonałości urządzenia, jego możliwości informacyjnych, analitycznych i dokumentacyjnych dla nieniszczącej metody oceny właściwości tworzyw i rozpuszczalników pod kątem ich przydatności w zabiegach strukturalnej impregnacji drewna obiektów zabytkowych.

Podstawową zasadą metodyki badań tomograficznych jest prowadzenie ich na tym samym materiale i przestrzeganie tych samych linii skanerowania we wszystkich etapach zbiegu. Stworzone w ten sposób warunki bezpośredniego odniesienia pozwalają stosunkowo łatwo i bardzo dokładnie określić zachodzące zmiany w ujęciu ilościowym. Przeprowadzone tak badania na obiekcie zabytkowym dały wystarczającą liczbę danych do stwierdzenia zarówno stopnia nasycenia, udziału tworzywa, wielkości i kierunków migracji, jak też wpływu budowy strukturalnej drewna i jego stanu zachowania na rezultaty i przebieg procesu impregnacji.

Tomografia komputerowa może znaleźć także inne zastosowanie, np. do określenia nasiąkliwości i przemieszczania się wilgoci w impregnowanym materiale, oceny własności hydrofobowych tworzyw itp. Technika ta bez wątplenia może przyczynić się do rozwiązania także wielu problemów w technologii konserwacji obiektów zabytkowych.

Pragnę wyrazić serdeczne podziękowanie dr. med. Leszkowi Gajosowi z Centralnego Szpitala Klinicznego w Katowicach-Ligocie za możliwość przeprowadzenia badań oraz życzliwą i fachową pomoc w ich technicznej realizacji.

Marian Paciorek

BIBLIOGRAFIA

1. Ambrosse J., *Computerized transverse axial scanning (tomography)*, Part I. *Description of system*, Part II. *Clinical application*, „British Journal of Radiology”, vol. 46, no 552, 1973, s. 1022 - 1036.
2. Berger H., *Radiography as a tool of nondestructive testing*, „Forest Journal”, no 7, 1964, s. 290-292.
3. Boissonnas P.B., *Emploi du Vacuum pour les Tableaux sur Bois*, „Studies in Conservation”, 2, 1964, s. 44-49.
4. Burmester A., *Bois amélioré par impregnation de monomers radiopolymerises*, „Cahier d'Information Eurisotop”, 22, 1969, s. 53.
5. Domasłowski W., *Strukturalne wzmacnianie wapienia pińczowskiego polimetakrylanem butylu*, „Ochrona Zabytków” nr 4, 1976.
6. Ewans R. C., *New frontier for radiology: Computer tomograph*, „American Journal of Roentgenology” Vol. 126, 1977, s. 1117-1125.
7. Feller R.I., *The relative solvent power needed to remove various aged solvents – type coatings*, (w:) „Conservation and Restoration of Pictorial Art”, London-Boston 1972.
8. Furuno T., Nagadoni N., Goto T., *Structure of the interface between wood and synthetic polymer. VI. Separation of cell walls from wood-polymer composite (WPC) by ultrasonic method and existence of polymer in wood cell wall*. „J. Japan, Wood Res, Soc.”, 21, 1975, s. 144-150.
9. Greaves H., *X-ray analysis of selected anatomical structures in cooper chrome-arsenic-treated wood*. „Wood Sci.”, 7, 1974, s. 164-168.
10. Hounsfield G. N., *Computerized transverse scanning tomography: Description of system*, „British Journal of Radiology”, 46, 1973, s. 1016-1021.
11. Kozłowski R., *Mikrostereoradiografia. Nowa metoda badania dzieł sztuki*, „Ochrona Zabytków”, 1956, nr 4, s. 248-256.
12. Langwig J. E., Meyer J. A., Dawidson W. R., *Influence of polymer impregnation on mechanical properties of basswood*, „Forest Production Journal”, 18, 7, 1968, s. 33.
13. Ławniczak M., *Sposób polimeryzacji monomerów w drewnie*, Poznań 1975.
14. Meyer J. A. *Treatment of wood-polymer systems using catalast-heat techniques*. „Forest Production Journal”, 15, 1965, s. 362.
15. Stolor N., *Solvent Action*, (w:) „Conservation and restoration of pictorial art”, London-Boston, 1972.
16. Witte E. D., Goessen-Landrie M., Goethals E. J., Simonds R., *The Structure of „Old” and „New” Paraloid B-72*, „ICOM Committee for Conservation”, 16, 1978.
17. Badania technologiczne rzeźby drewnianej polichromowanej *Król Kazimierz Wielki* (1380 r.) z Muzeum UJ w Krakowie oraz jej konserwację przeprowadziła w 1981 r. doc. Maria Niedzielska.

MATERIAŁY UŻYTE W BADANIACH

PARALOID B-72 – kopolimer metakrylanu etylu i akrylanu metylu (70:30), prod. NRF, Röhm und Haas, polimeryzacja perełkowa.

OSOLANK – kopolimer metakrylanu metylu i metakrylanu butylu (1:3), prod. Zakłady Chemiczne „Oświęcim”, polimeryzacja w toluenie, 50% roztwór.

OSOLAN KL – polimetakrylan butylu, prod. Zakłady Chemiczne „Oświęcim”, polimeryzacja w octanie etylu, 50% roztwór.

WINACET R-50 – poliocetan winylu, prod. Zakłady Chemiczne „Oświęcim”, polimeryzacja w metanolu, 50% roztwór.

THE USE OF COMPUTER TOMOGRAPHY FOR THE EXAMINATION OF THE PARTICIPATION AND COLLOCATION OF MATERIAL IN STRUCTURALLY IMPREGNATED WOOD

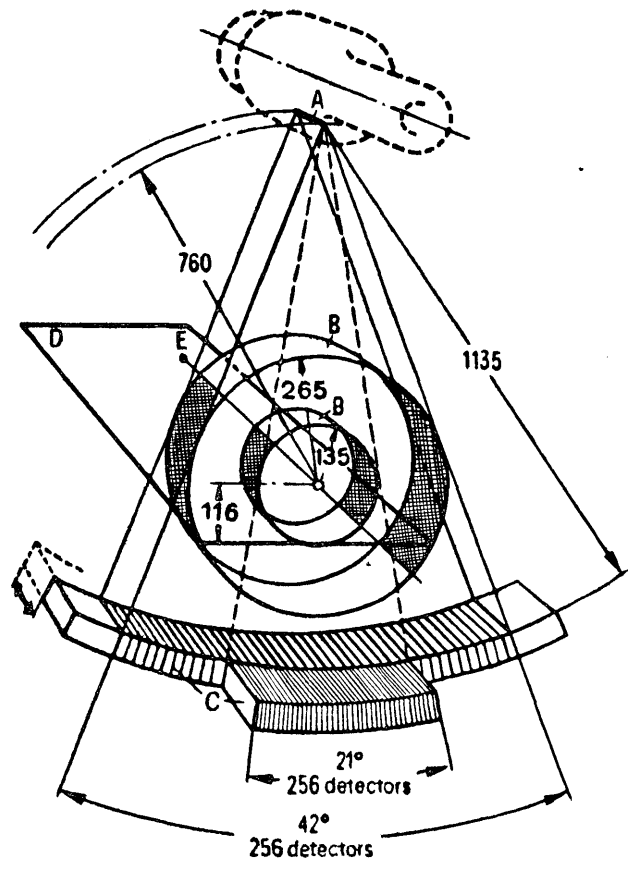
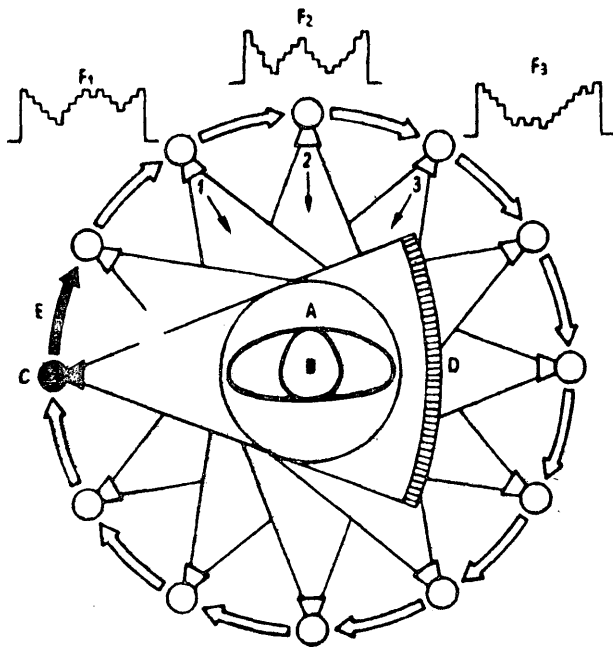
The article presents the possibilities and effects of the application of computer tomography for research into the structural impregnation of wooden historical objects. The heretofore employed research methods do not provide full information as regards the obtained degree of impregnation, participation and arrangement of the material in the porous structure of the impregnated object. Their fault lies in the fact that apart from insufficient effectiveness and complicated technique, those methods are highly destructive and fragmentary, calling for cutting or taking samples of the material under examination. By way of contrast, computer tomography, used for the first time in Poland, gives a chance for studying the process of impregnation together with the accompanying changes in the structure on one material. At the same time, it enables to obtain a visual picture and quantitative estimation of those changes in the whole structure, in

a way which is non-destructive and offers a practical estimation of the effects of impregnation on an arbitrarily chosen part of the historical object.

With this methods, the usefulness of chosen thermoplastic material – Winacet R-50, Osolan KL, Osolan K and Paraloid B-72 – was judged for reinforcing impregnation, by basing ourselves on their allocation in limewood, under certain conditions created by the impregnation technology.

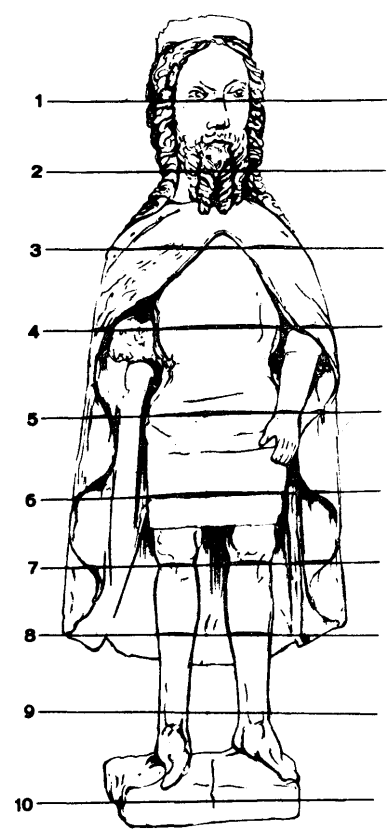
The interesting possibilities of computer tomography were also used in research concerning the polychrome wooden sculpture „King Casimir the Great” (1380) in the Jagiellonian University Museum in Cracow, which was impregnated in a vacuum with a 20 per cent solution of Paraloid B-72 in xylene.

(translated by A. Rodzińska-Chojnowska)



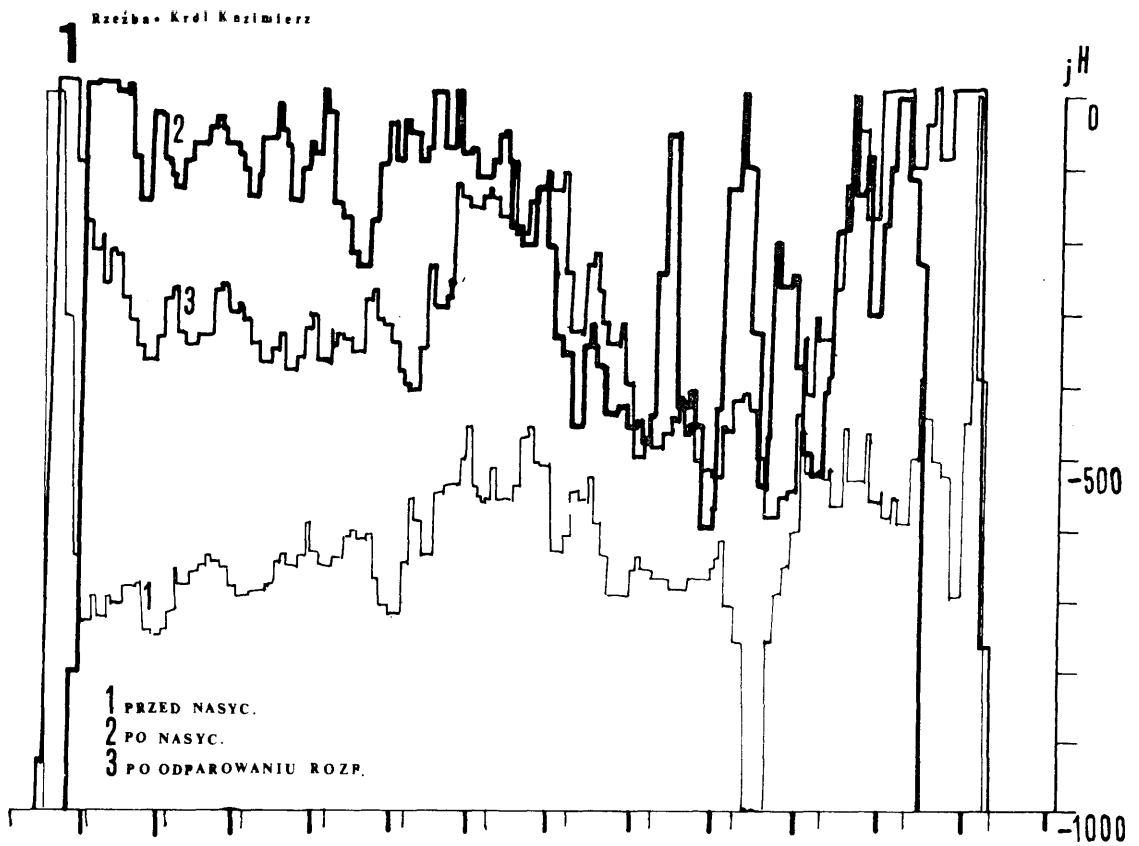
Rys. 1. Zasada działania tomografu komputerowego SOMATOM SD i jego dane techniczne

Drawing 1. The principle of the SOMATOM SD computer tomograph operation and its technical parameters



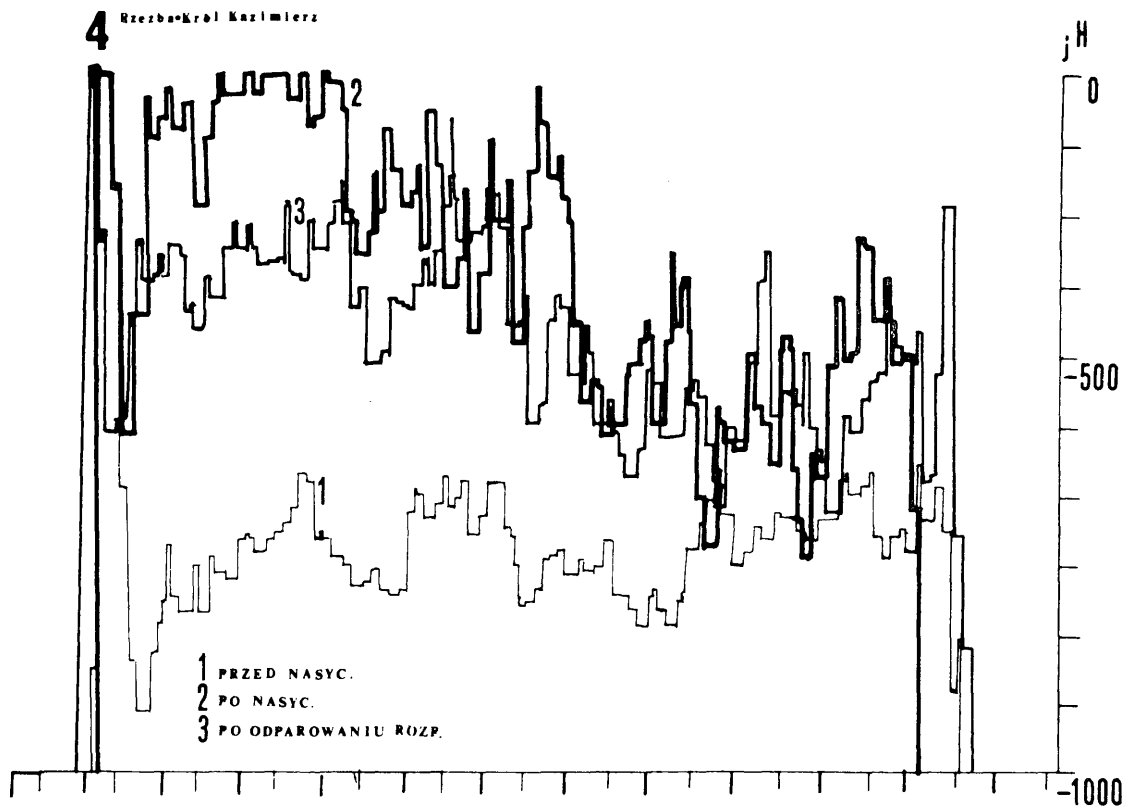
Rys. 2. Rzeźba „Król Kazimierz Wielki” (1380 r. wł. Muzeum UJ). Oznaczone linie skanerowania dla poszczególnych warstw

Drawing 2. „King Casimir the Great” – a sculpture from 1380 owned by Jagiellonian University Museum. The lines of scanning for separate layers marked



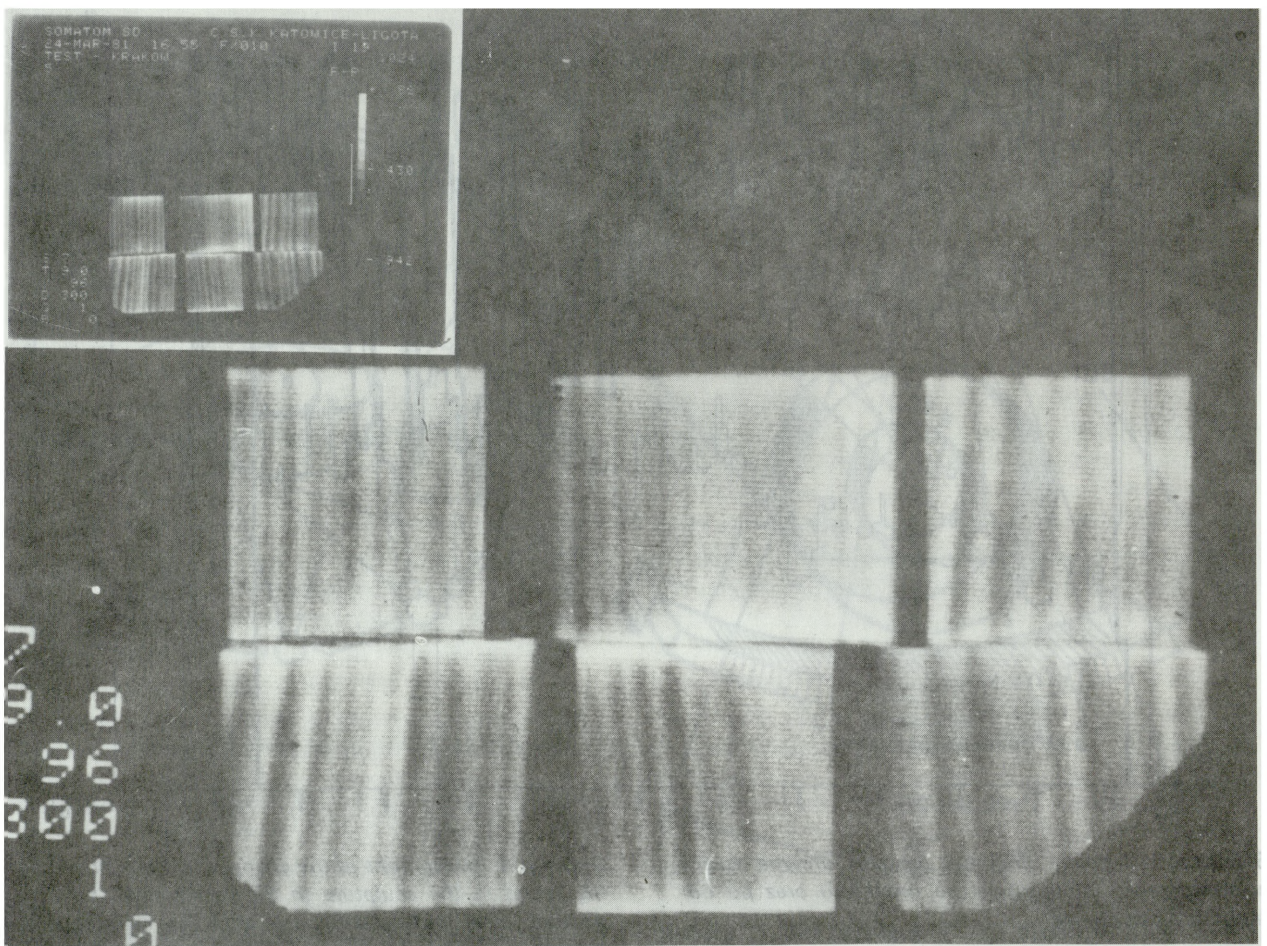
Rys. 3. Histogramy zmian umownej gęstości drewna rzeźby w 4 warstwie przed impregnacją, po nasyceniu oraz po odparowaniu rozpuszczalnika

Drawing 3. Histograms of the changes in the relative density of the wood in the sculpture in the fourth layer before impregnation, after impregnation and after the evaporation of the solvent



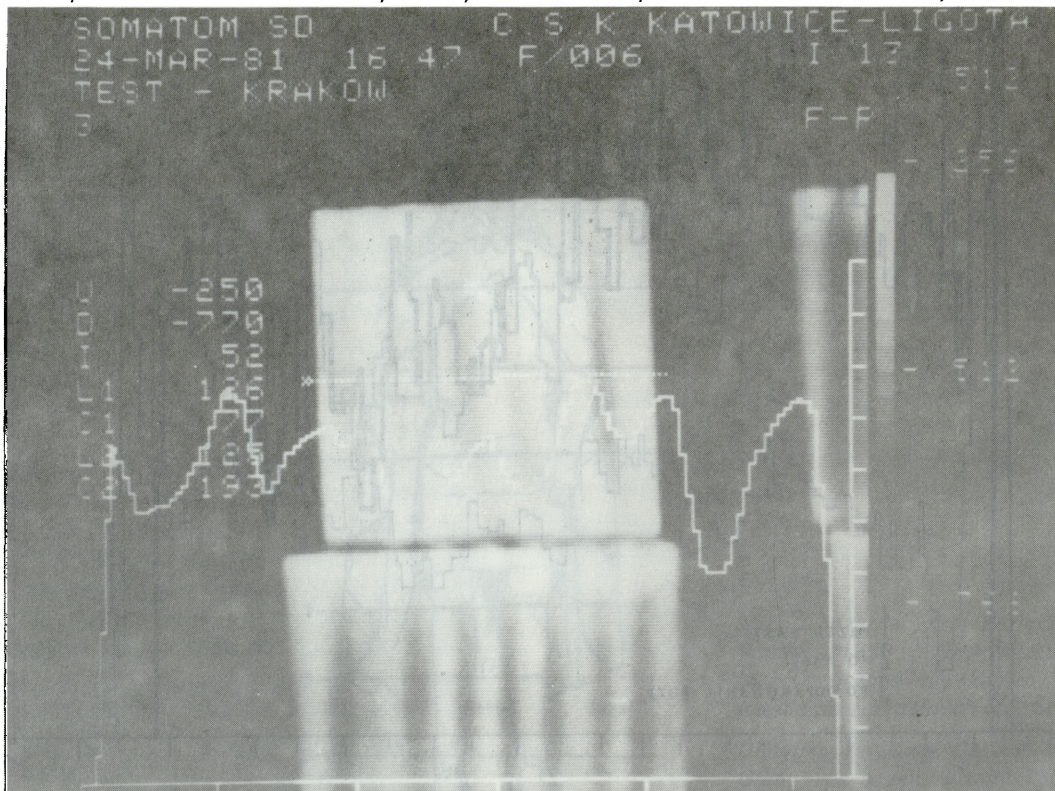
Rys. 4. Histogramy zmian umownej gęstości drewna rzeźby przed impregnacją, po nasyceniu oraz po odparowaniu rozpuszczalnika

Drawing 4. Histograms of the changes in the relative density of the wood in the sculpture before impregnation, after impregnation and after the evaporation of the solvent



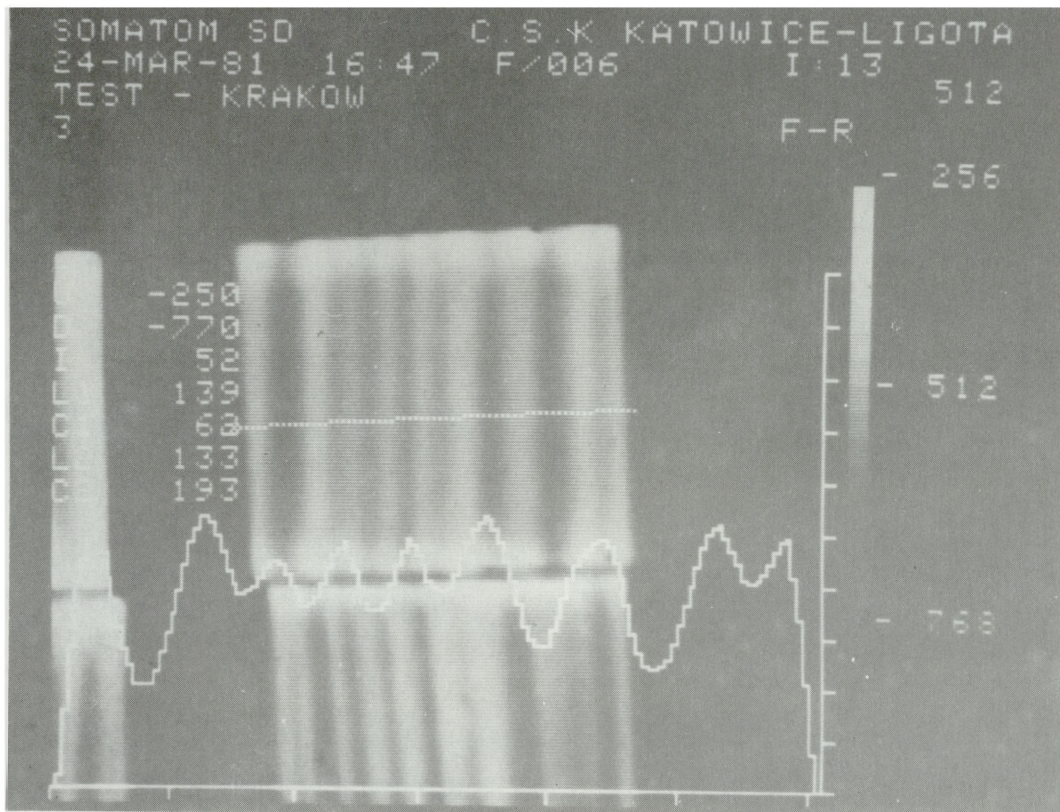
Fot. 1. Obraz tomograficzny środkowej warstwy przekroju promieniowego impregnowanych próbek drewna lipowego. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach opóźnionych i normalnych

Photo 1. The tomograph picture of the central layer of the radial section of the impregnated samples of limewood. The state after the evaporation of the solvent in delayed and normal conditions



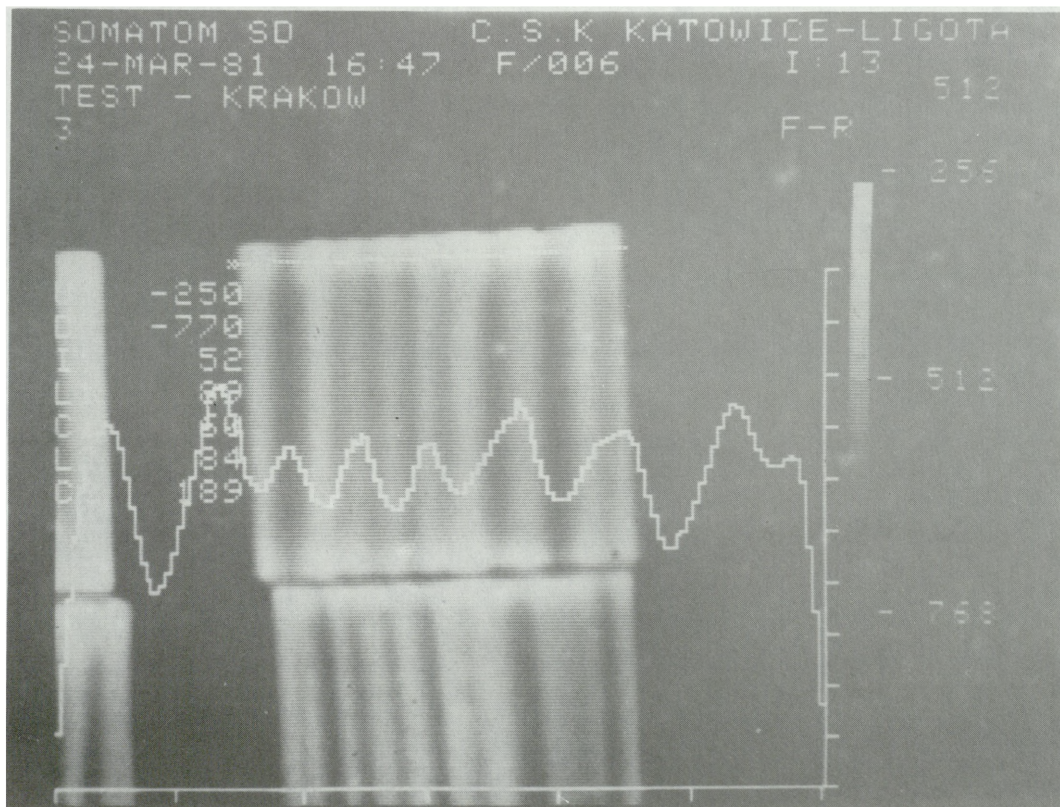
Fot. 2. Histogram zmian gęstości drewna w strefie środkowej przekroju promieniowego przez środek próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach opóźnionych

Photo 2. The histogram of the changes in the density of wood in the central part of the radial section through the middle of the sample. The state after the evaporation of the solvent in delayed conditions



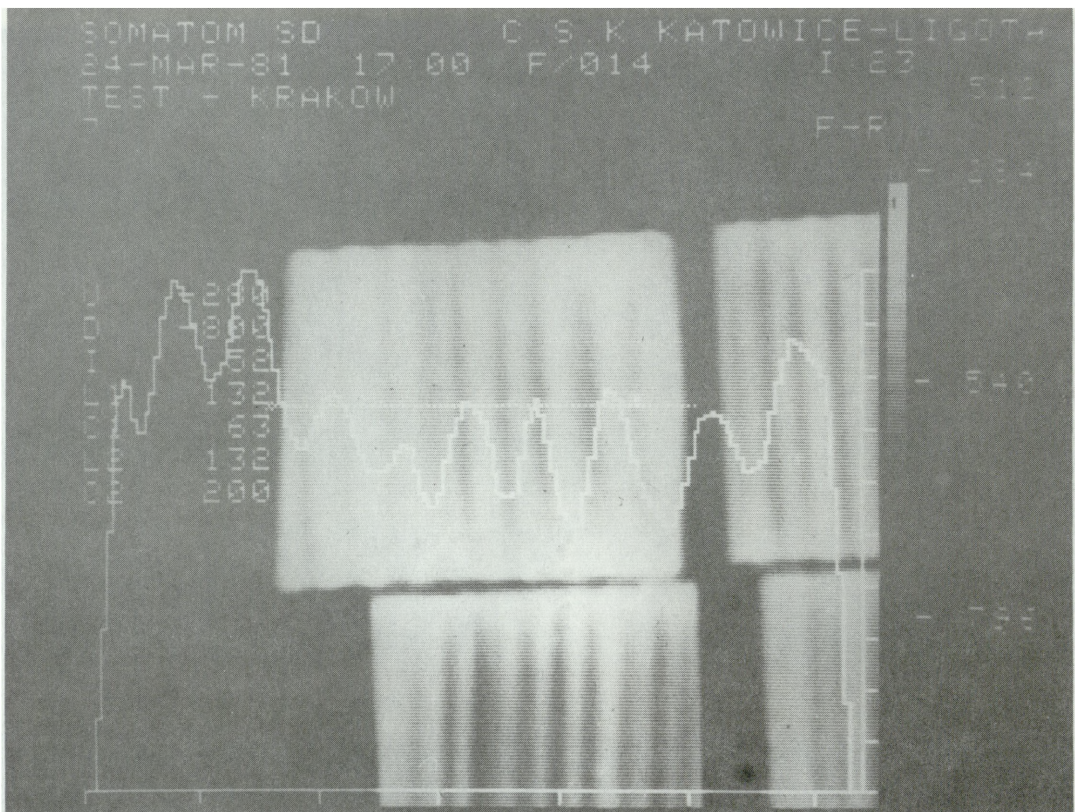
Fot. 3. Histogram zmian gęstości drewna w strefie środkowej przekroju promieniowego przez środek próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach opóźnionych

Photo 3. The histogram of the changes in the density of wood in the central part of the radial section through the middle of the sample. The state after the evaporation of the solvent in delayed conditions



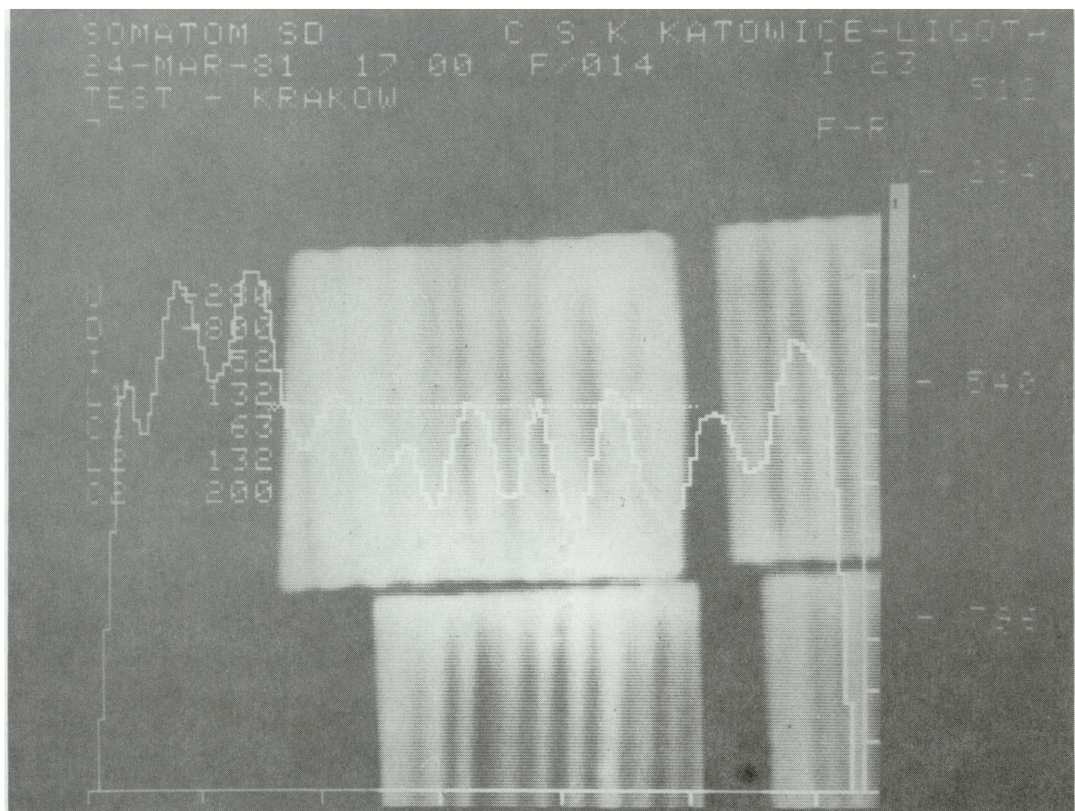
Fot. 4. Histogram zmian gęstości drewna w strefie przypowierzchniowej przekroju promieniowego przez środek próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach opóźnionych

Photo 4. The histogram of the changes in the density of wood in the surface layer of the radial section through the middle of the sample. The state after the evaporation of the solvent in delayed conditions



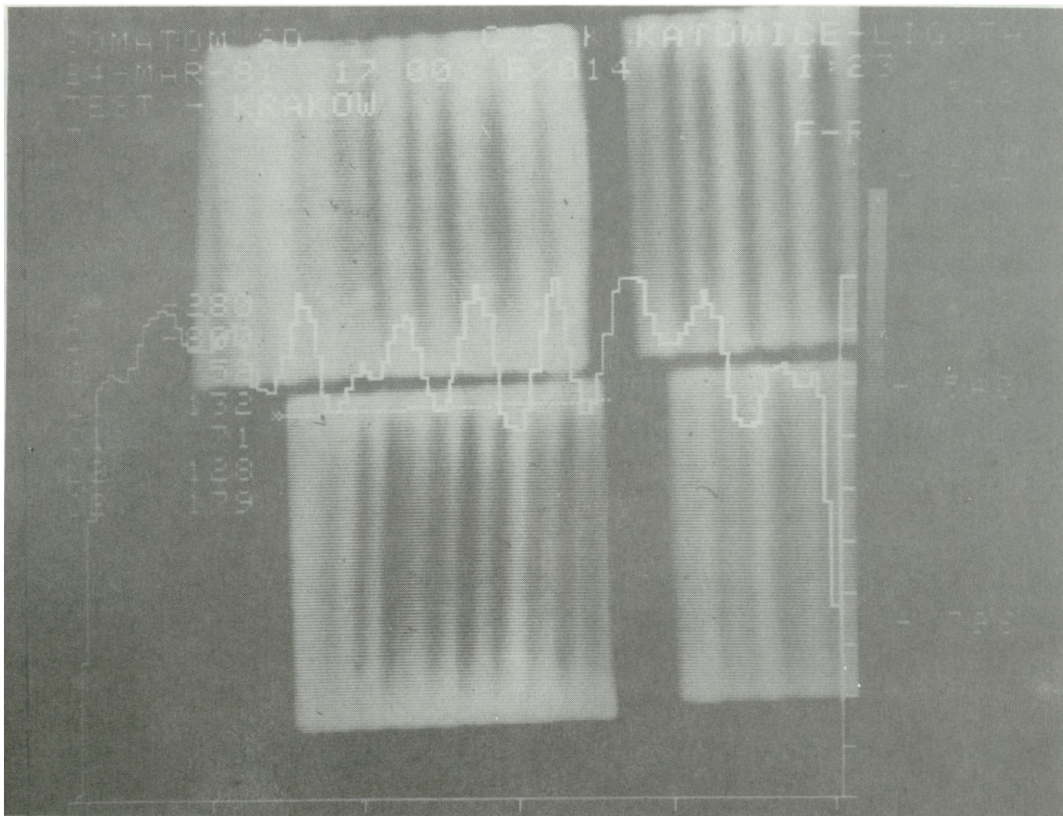
Fot. 5. Histogram zmian gęstości drewna w strefie środkowej przekroju promieniowego próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach opóźnionych

Photo 5. The histogram of the changes in the density of wood in the central part of the radial section of the sample. The state after the evaporation of the solvent in delayed conditions



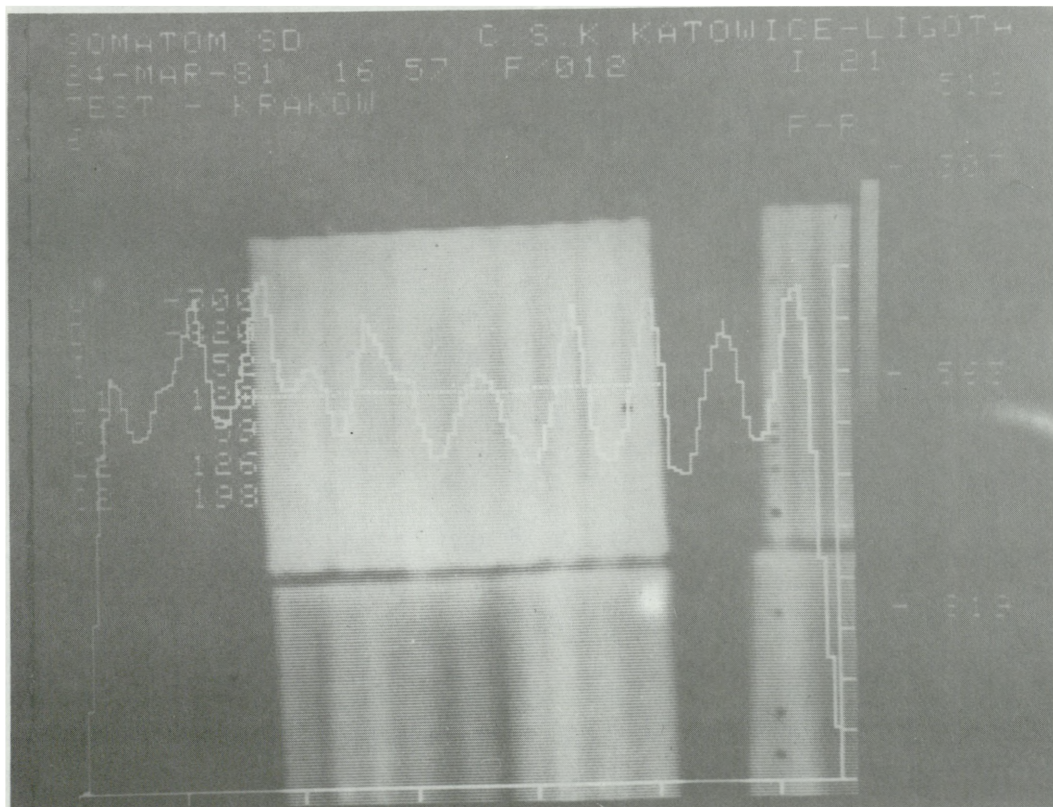
Fot. 6. Histogram zmian gęstości drewna w strefie środkowej przekroju promieniowego przez środek próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach normalnych

Photo 6. The histogram of the changes in the density of wood in the central part of the radial section through the middle of the sample. The state after the evaporation of the solvent in normal conditions



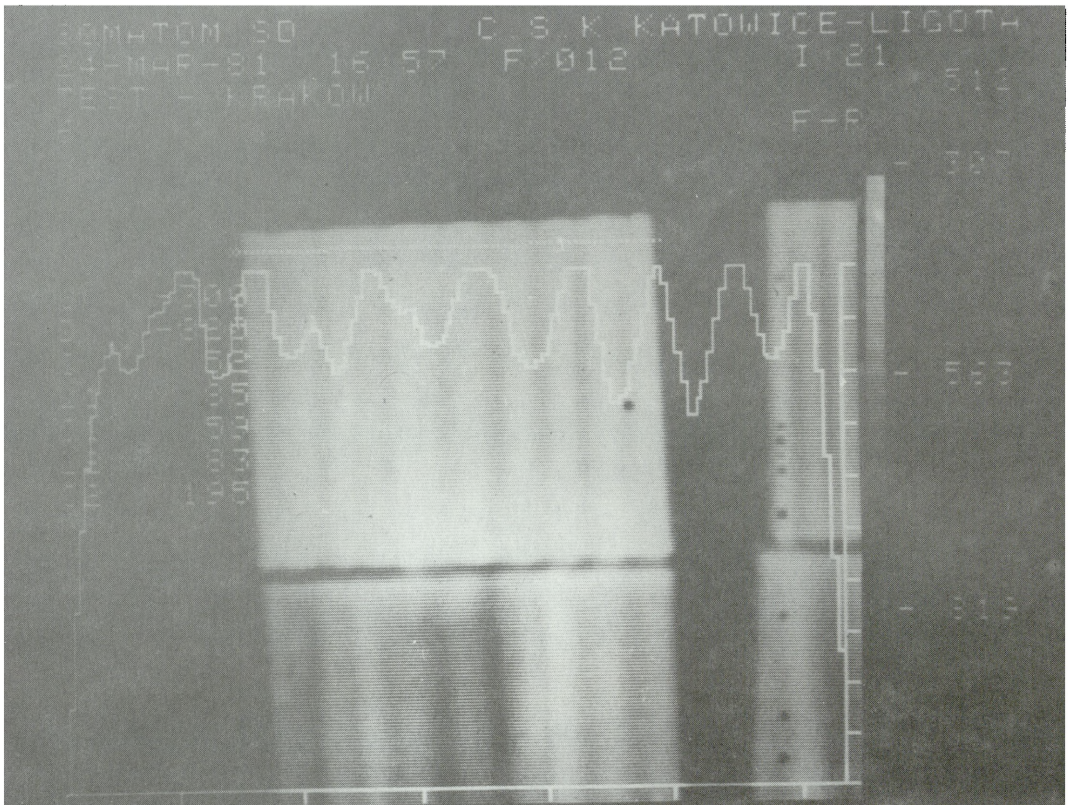
Fot. 7. Histogram zmian gęstości drewna w strefie przypowierzchniowej przekroju promieniowego przez środek próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach normalnych

Photo 7. The histogram of the changes in the density of wood in the surface layer of the radial section through the middle of the sample. The state after the evaporation of the solvent in normal conditions

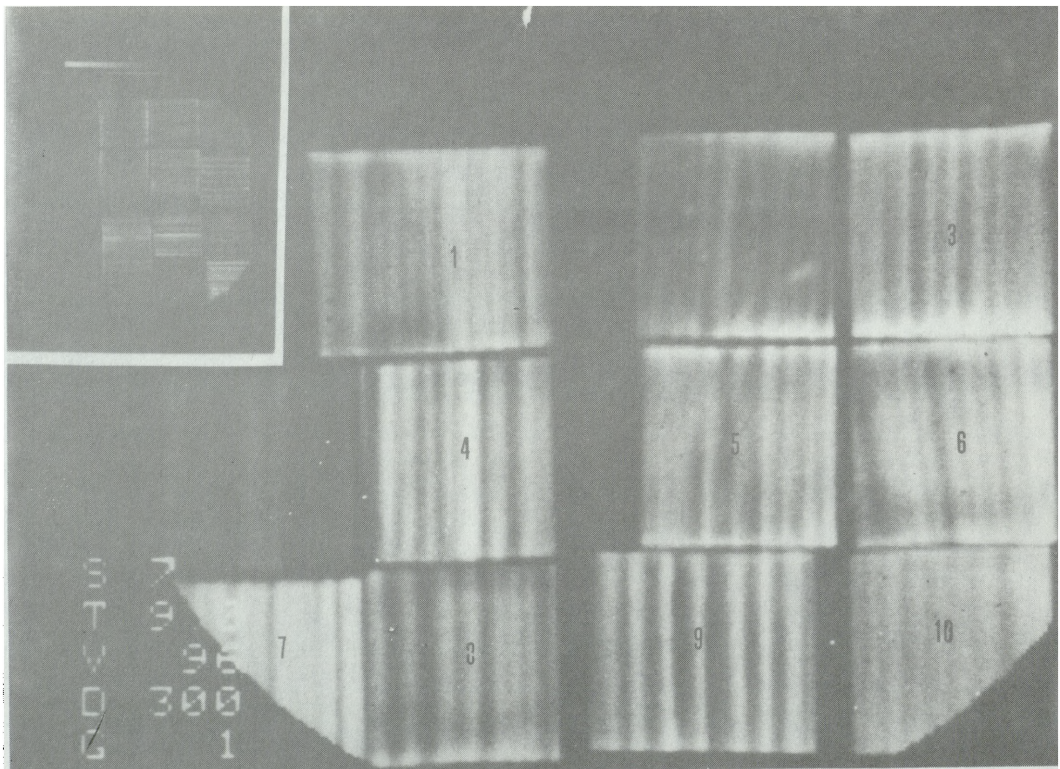


Fot. 8. Histogram zmian gęstości drewna w strefie środkowej przekroju promieniowego przez środek próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach opóźnionych

Photo 8. The histogram of the changes in the density of wood in the central part of the radial section through the middle of the sample. The state after the evaporation of the solvent in delayed conditions

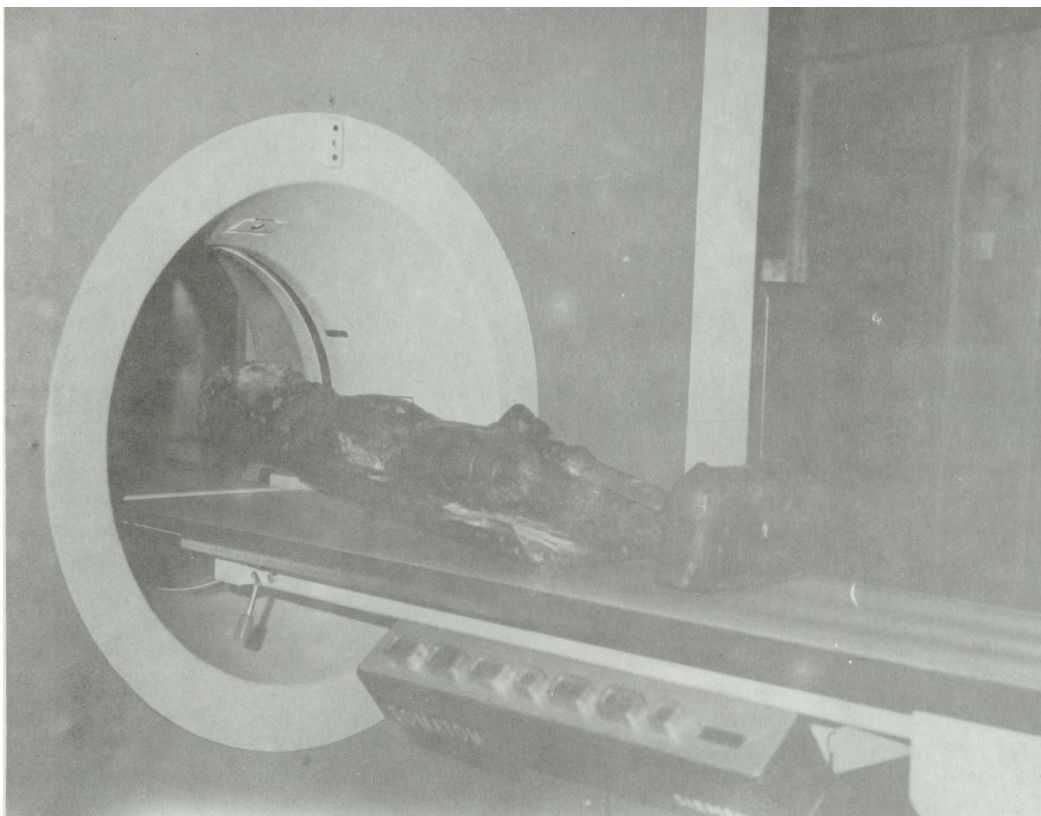


Fot. 9. Histogram zmian gęstości drewna w strefie przypowierzchniowej przekroju promieniowego przez środek próbki. Stan po odparowaniu rozpuszczalnika w warunkach opóźnionych
 Photo 9. The histogram of the changes in the density of wood in the surface layer of the radial section through the middle of the sample. The state after the evaporation of the solvent in delayed conditions



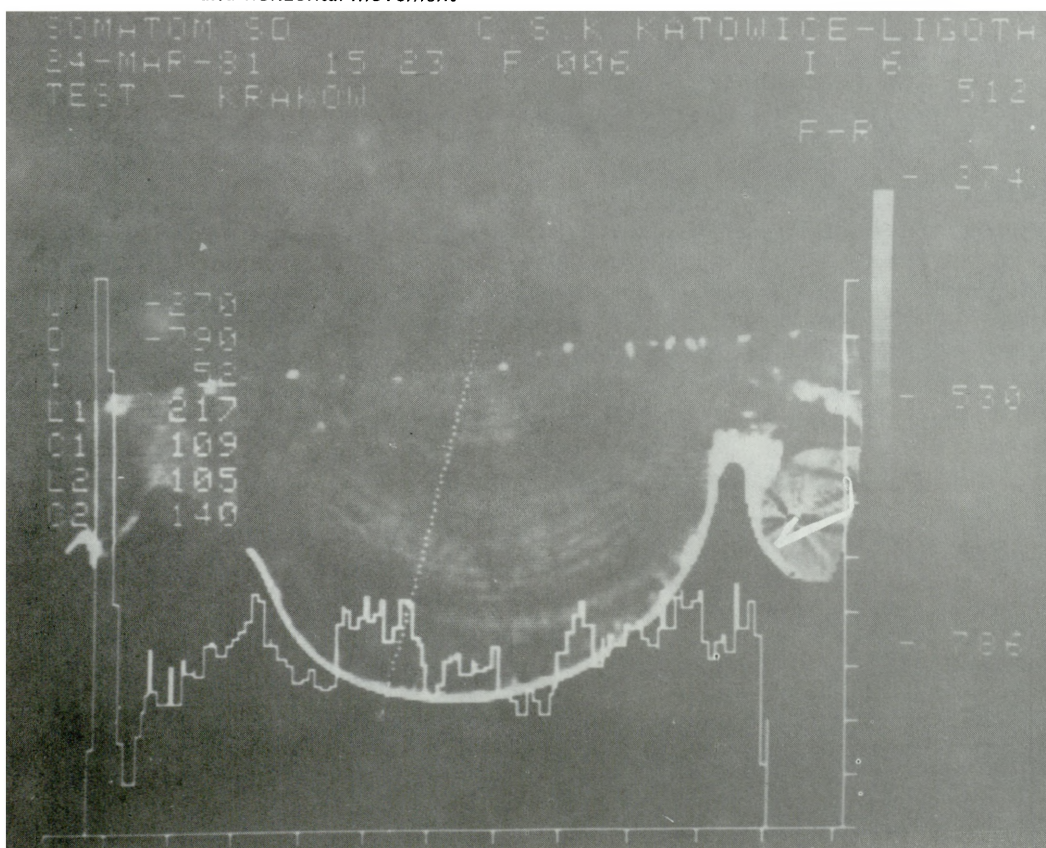
Fot. 10. Obraz tomograficzny rozmieszczenia tworzywa w strukturze drewna impregnowanego 20% roztworami Paraloidu B-72: 1. w ksylenie, 2. w benzenie, 3. w acetonie, 4. w toluenie + ksylen 1:2, 5. w benzenie + ksylen 1:2, 6. w acetonie + ksylen 1:2, 7. w ksylenie + b.lak. 1:6, 8. w toluenie + b.lak. 1:2, 9. w benzenie + b.lak. 2:1, 10. w acetonie + b.lak. 2:1. Przekrój promieniowy przez środek próbki.

Photo 10. The tomograph picture of the distribution of substances in the structure of wood impregnated with a 20% solution of Paraloid B-72 in: 1. xylene, 2. benzene, 3. acetone, 4. toluene and xylene (1:2), 5. benzene and xylene (1:2), 6. acetone and xylene (1:2), 7. xylene and petroleum spirits (1:6), 8. toluene and petroleum spirits ((1:2), 9. benzene and petroleum spirits (2:1), 10 acetone and petroleum spirits (2:1). The radial section through the middle of the sample



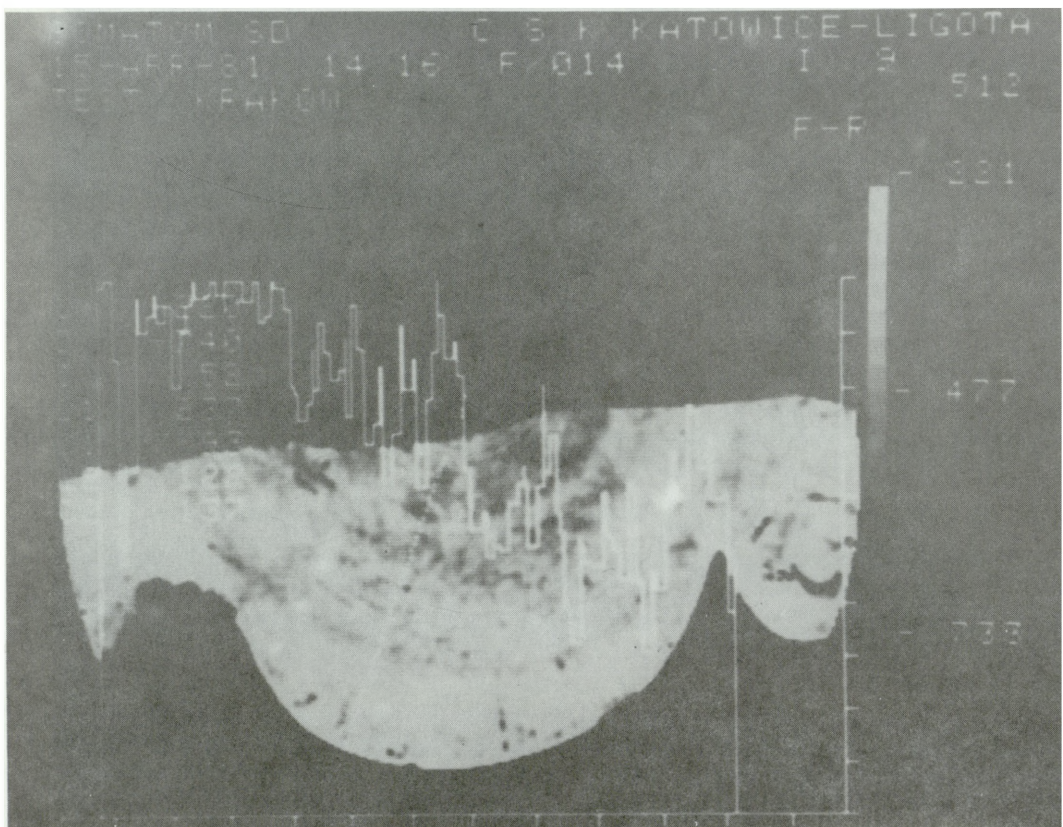
Fot. 11. Rentgenowski tomograf komputerowy SOMATOM SD – stół do badania z elektronicznym ruchem poziomym i pionowym

Photo 11. SOMATOM SD X-ray computer tomograph – the operation table with electronically controlled vertical and horizontal movement



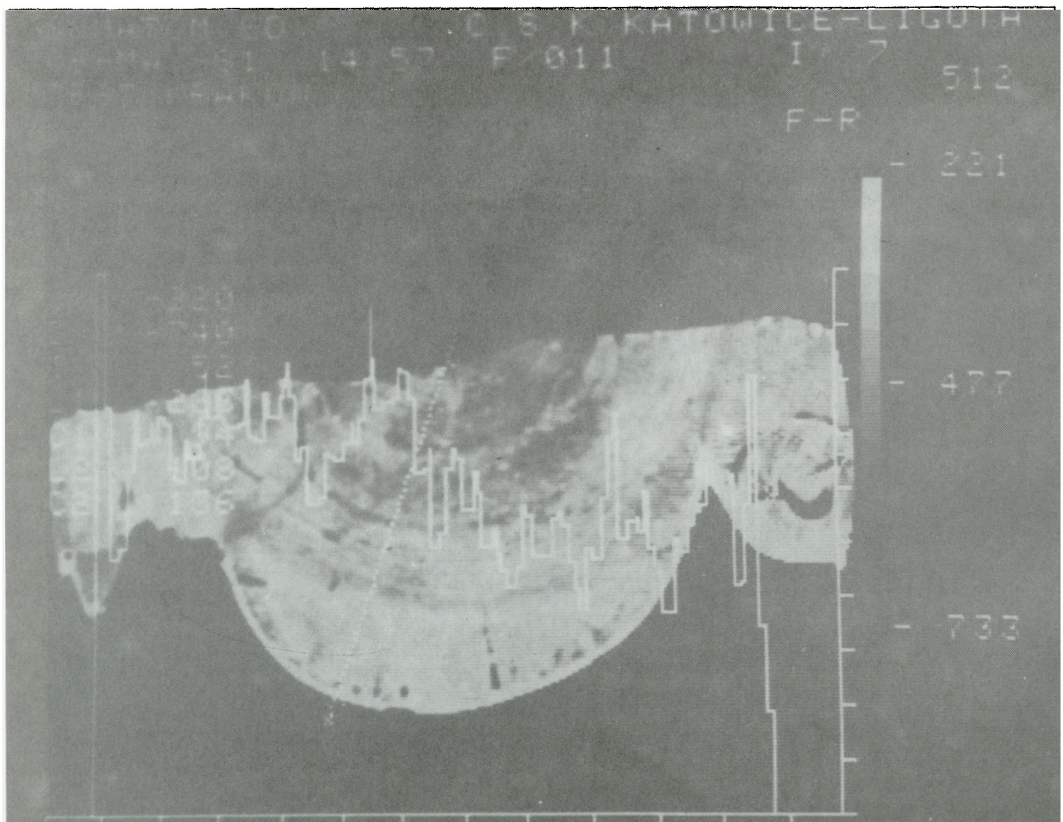
Fot. 12. Rzeźba „Król Kazimierz Wielki” – histograf zmian gęstości drewna przed impregnacją

Photo 12. The sculpture „King Casimir the Great” – the histogram of the changes in the density of wood before impregnation



Fot. 13. Rzeźba „Król Kazimierz Wielki” – histogram zmian gęstości drewna po nasyceniu 20% roztworem Paraloidu B-72 w ksylenie

Photo 13. The sculpture „King Casimir the Great” – the histogram of the changes in the density of wood after impregnation with a 20% solution of Paraloid B-72 in xylene



Fot. 14. Rzeźba „Król Kazimierz Wielki” – histogram zmian gęstości drewna po odparowaniu rozpuszczalnika

Photo 14. The sculpture „King Casimir the Great” – the histogram of the changes in the density of wood after the evaporation of the solvent