

# Żankowska, Danuta

---

## Badania nad wpływem wilgotności drewna na stopień nasycenia impregnatem paraloid B-72

---

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 12 (164), 199-211

---

1987

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](http://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

*Danuta Zankowska*

## BADANIA NAD WPŁYWEM WILGOTNOŚCI DREWNA NA STOPIEŃ NASYCENIA IMPREGNATEM PARALOID B-72 \*

Zarys treści. Przeprowadzone doświadczenia wykazały zależność pomiędzy formą związania wody w drewnie a efektywnością impregnacji. Stwierdzono korzystny wpływ wzrostu ilości wody związanej drogą adsorpcji (w przedziale 0—15% wilgotności drewna) na stopień nasycenia żywicą oraz hamowanie procesu nasycania przez wodę kapilarną (w przedziale 15—29% wilgotności drewna). Ponadto uzyskane wyniki potwierdziły przypuszczenia o możliwości i skuteczności nasycania drewna silnie zawilgoconego (powyżej 20%) oraz wykazały, że impregnat utrwała częściowo spęczniałą postać drewna i chroni je przed gwałtownym wysychaniem.

### WSTĘP

Celem niniejszej pracy było zbadanie możliwości nasycania drewna silnie zawilgoconego i określenie optymalnych warunków przeprowadzania tego zabiegu. Wydaje się, że podejmowanie tego rodzaju eksperymentów jest niezwykle ważne, a to z następujących powodów. Wiele drewnianych obiektów zabytkowych, które trafiają do pracowni konserwatorskich, wykazuje stopień zawilgocenia wyższy od normalnie występującego w drewnie naszej strefy klimatycznej. W praktyce impregnację przeprowadzano dotychczas na obiektach w stanie powietrzno-suchym. Nie zbadano dotąd możliwości nasycania drewna o wilgotności przewyższającej 15%. Tymczasem osuszanie obiektów zabytkowych do tego poziomu może być powodem ich dalszej destrukcji (zmiany objętości implikują pękanie i paczenie się drewna, osłabienie przyczepności polichromii czy nawet jej całkowite odspojenie). Nie bez znaczenia jest też fakt, że taki proces osuszania jest długotrwały, co uniemożliwia natychmiastowe przystąpienie

\* Artykuł jest skrótem pracy magisterskiej wykonanej w 1980 r. w Zakładzie Konserwacji Elementów i Detali Architektonicznych UMK w Toruniu pod kierunkiem dr Bożeny Soldenhoff.

do zabiegów konserwatorskich. Powszechnie wiadomo, że wahania wilgotności i obecność wilgoci w samym drewnie są najgroźniejszą przyczyną zmian w zabytkach drewnianych. Jako materiał porowaty drewno charakteryzuje się dużą higroskopijnością, z czym związane są zjawiska pęcznienia i kurczenia. Pośrednio wilgoć i woda inicjują również zniszczenia chemiczne i biologiczne (są m.in. warunkiem koniecznym dla rozwoju grzybów i owadów).

Profilaktyka i praktyka konserwatorska wobec obiektów drewnianych z reguły stoi przed problemem stabilizacji materiału oraz usuwania szkód spowodowanych tymi czynnikami. Jedną z podstawowych metod zabezpieczania i wzmacniania drewna jest impregnacja. Dobór środka i sposobu przeprowadzania zabiegu jest zwykle zależny od stanu zachowania zabytku i rodzaju zniszczeń. I właśnie zbyt silne zawilgocenie obiektu uważane jest za barierę uniemożliwiającą zastosowanie tej metody. Oczywiście najprostszym wyjściem byłoby tę wilgotność obniżyć. Pozostaje problem, do jakiego stopnia można obiekt suszyć — aby ani nie powiększać zniszczeń, ani nie osłabiać skuteczności zabiegu. Badania postanowiono przeprowadzić stosując Paraloid B-72, spełniający większość postulowanych cech dobrego impregnatu i powszechnie używany w pracowniach konserwatorskich. W doświadczeniach chodziło o sprawdzenie przede wszystkim możliwości nasycania drewna o różnych poziomach wilgotności (0, 10, 15, 20 i 29%) — od absolutnie suchego do takiego, gdzie wartość zawilgocenia zbliżała się do punktu nasycenia włókien. Zasadniczą sprawą było określenie, czy można dostatecznie nasycić drewno o wilgotności przekraczającej stan powietrzno-suchy. Zastosowano dwa stężenia impregnatu — 10- i 20-procentowe roztwory toluenowe, z których pierwszy charakteryzuje się mniejszą lepkością (a więc lepszymi właściwościami penetracyjnymi), zaś drugi zapewnia wprowadzenie do drewna większej ilości czystej żywicy. Pozwoliło to ustalić, który impregnat jest bardziej wydajny. Przyjęto zasadę strukturalnego nasycania drewna, co ograniczyło ilość możliwych metod do trzech: kąpieli, podciągania kapilarnego i nasycania pod zmniejszonym ciśnieniem.

Ze względów praktycznych ważnym punktem badań było określenie zmian objętościowych impregnowanego drewna. Zbyt silne pęcznienie pod wpływem impregnatu czy zbyt nagły skurcz podczas wysychania mogłyby wprost zdeprecjonować którąś z metod. Istotna była też odpowiedź na pytanie: czy impregnacja zawilgoconego, a więc już spęczniałego, drewna zmienia czy utrwała jego wymiary.

#### WYBÓR I PRZYGOTOWANIE MATERIAŁU DO BADAŃ

Badania przeprowadzono na surowym drewnie lipowym, sezonowanym ok. 5 lat, o wilgotności początkowej 5—7%. Lipa jako gatunek rozpięchło-naczyniowy jest materiałem o względnie jednorodnej budowie, poz-

walającym na uzyskanie próbek o zbliżonych właściwościach. Wybrano drewno bez wad, bezszpeczne, o równoległym i równomiernym usłojeniu. Wykonano z niego 94 kształtki o wymiarach ca  $2 \times 2 \times 10$  cm (ostatni wymiar wzdłuż włókien).

Przy sporządzaniu impregnatów spośród wielu rodzajów żywic wybrano Paraloid B-72 (prod. Rohm and Haas Co., USA). Pod względem chemicznym Paraloid B-72 jest kopolimerem akrylanu metylu i metakrylanu etylu, w którym obydwie monomery występują w stosunku 29 : 79. Jest żywicą bezbarwną, przezroczystą, minimalnie ściemniającą drewno. Oto niektóre właściwości fizykochemiczne Paraloidu B-72 (wg broszury firmowej: *Synthetic Resins for Coatings. Acryloid — Thermoplastic Acrylic Ester Resins*, Rohm and Haas Co., 1976):

- stopień polimeryzacji — ok. 900,
- temperatura, przy której następuje degradacja termiczna — 250—  
—300°C,
- współczynnik załamania światła — 1,484,
- twardość w skali Tukana — 10—11,
- gęstość — 1,11 g/cm<sup>3</sup>.

Żywica ta uważana jest za całkowicie odwracalną, bowiem nie tworzy struktur usieciowanych. Wykazuje odporność na działanie wody, alkoholi, kwasów, olejów mineralnych i tłuszczów, a także światła oraz średnią odporność na zabrudzenie. Cechuje się dobrą elastycznością (pośrednią między PMM a PMB) oraz dobrą adhezją do drewna. Lepkość roztworów Paraloidu B-72 jest niezwykle niska w porównaniu z innymi termoplastami i wynosi w temp. 20°C dla roztworu 10-procentowego ok. 5,5 cP, a dla 20-procentowego ok. 30 cP.

W badaniach stosowano takie właśnie roztwory toluenowe, sporządzone z granulatu Paraloidu B-72. Wybór toluenu uzasadnia fakt, że spełnia on większość postulowanych cech dobrego rozpuszczalnika<sup>1</sup>. Bezbarwny, wystarczająco lotny (6,1 — w skali opartej o lotność eteru = 1), o wysokiej temperaturze wrzenia (109,5—110,5°C), co pozwala bezpiecznie stosować go w metodzie próżniowej. Daje roztwory o niskiej lepkości (własna lepkość toluenu w temp. 20°C: 0,59 cP). Co najważniejsze, toluen wykazuje niską wartość stałej dielektrycznej = 2,39. W konsekwencji, w porównaniu z wodą spęczniającą drewno w 100<sup>0</sup>/e (wg umownej skali), toluen wykazuje właściwości spęczniające rzędu 1,6<sup>0</sup>/e, czyli prawie żadne.

W celu ustalenia czasu zabiegów przeprowadzono na wstępie badania pomocnicze. Cztery próbki impregnowano 20-procentowym roztworem Paraloidu B-72 metodą kąpieli i podciągania kapilarnego przez 4 tygodnie. Stwierdzono, że przedłużenie czasu impregnacji w ogóle nie wpływa na wzrost stopnia nasycenia — bowiem przy tak małych rozmiarach próbek

<sup>1</sup> Dane liczbowe zob. W. Domaśowski, *Zagadnienia konserwacji drewna*, Materiały Zach.-Pomorskie 1958, t. 4, s. 402, tab.

przesycenie drewna następuje już po jednej dobie zabiegów. Kierując się powyższymi względami uznano jedną dobę za czas wystarczający dla przeprowadzania impregnacji tymi metodami. Czas nasycania w komorze próżniowej — ustalony na podstawie długoletniej praktyki — wynosił 20 min od chwili wprowadzenia roztworu.

W celu określenia stałej masy próbki drewna suszono przez 30 dni w suszarce, w temp.  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ . Pomiary masy wykonano z dokładnością do 0,0001 g, a wymiarów liniowych z dokładnością do 0,1 mm. Pięć grup próbek umieszczono następnie w ekzykatorach o różnych warunkach wilgotnościowych (Rh: 5—8%, 55%, 75%, 90%, 98%), w których drewno miało uzyskać odpowiednio wilgotność równoważną rzędu: 0, 10, 15, 20 i 29%.<sup>2</sup> Najniższą wilgotność (w ekzykatorze I) utrzymywano za pomocą żelu krzemionkowego. W pozostałych ekzykatorach wymaganą wilgotność względną powietrza (Rh) uzyskano dzięki roztworom gliceryny o stężeniach: II-80%, III-67,5%, IV-60%, V-10%. Według Krzysika<sup>3</sup> w temp.  $20^\circ\text{C}$  w tych warunkach drewno osiąga wilgotność równoważną odpowiednio: 0—2%, 9,8%, 14,7%, 20,2% i 28,3%.

Po 45 dobach nawilżania próbki nie uzyskały jeszcze wymaganych poziomów wilgotności. W celu uintensywnienia procesu wnikania pary wodnej w drewno podniesiono temperaturę do  $25\text{—}30^\circ\text{C}$ . Próbki w ekzykatorach II i III po miesiącu osiągnęły wymaganą wilgotność, która kształtowała się w zakresach 9—11% i 14—16%. Dwie ostatnie grupy próbek (wymagana wilgotność drewna: 20 i 29%) zwilżono trzykrotnie wodą i umieszczono na 3 tygodnie w ekzykatorach w warunkach temp.  $20^\circ\text{C}$  i Rh 100%, aby woda z warstw przypowierzchniowych rozeszła się równomiernie w całym drewnie.

#### PRZEBIEG DOŚWIADCZEŃ

Próbki drewna o wilgotności ca 0, 10, 15, 20 i 29% poddano impregnacji strukturalnej w kąpieli i przez podciąganie kapilarne — przez 1 dobę, w temp.  $20^\circ\text{C}$  — oraz w komorze próżniowej przez 20 min, w podciśnieniu 0,9 at. Badania prowadzono w trzech powtórzeniach. Po wyjęciu z impregnatu próbki natychmiast ważono i mierzono ich wymiary liniowe. Po zakończeniu pomiarów wszystkie próbki pozostawiono w klimacie pracowni ( $20^\circ\text{C}$ , 50—80% Rh) w celu odparowania toluenu. Ponieważ nasycanie tymi metodami i roztworami przeprowadzono w różnych terminach, próbki przechowywano w pracowni przez czas od 20 dni (najpóźniej impregnowane) do 63 dni. Wszystkie wysuszono do stałej masy w suszarce próżniowej (temp.  $40^\circ\text{C}$ , ciśnienie 0,9 at) — co nastąpiło po 17 dobach. Za-

<sup>2</sup> Ostatnia wartość odpowiada wilgotności granicznej drewna lipowego. Wg S. Wanin, *Nauka o drewnie*, Warszawa 1953.

<sup>3</sup> F. Krzysik, *Nauka o drewnie*, Warszawa 1978, s. 365, tab. 48.

bieg ten był konieczny: dopiero z różnicy między stałą masą próbek nasyconych i nienasyconych można było obliczyć faktyczny stopień nasycenia suchą żywicą. Proces swobodnego odparowania rozpuszczalnika jest długotrwały, nawet przy niewielkich wymiarach próbek — tak więc toluen pozostały w głębszych warstwach fałszowałby wyniki pomiarów. Poza tym drewno, nawet zaimpregnowane, reaguje nadal na zmiany wilgotności względnej powietrza. Stwierdzono, że próbki wykazujące przed impregnacją wilgotność 0, 10 i 15%, pozostając w klimacie pracowni, pochłaniały wilgoć (dążąc do wilgotności równowaznej w zakresie 9,0—16,3%)<sup>4</sup>. Po dwóch miesiącach masa ich wzrosła średnio o 0,5 g (impregnowane 10-procentowym Paraloidem B-72) i 0,4 g (impregnowane roztworem 20-procentowym). Po przeliczeniu dałoby to o 2,5% wyższe stopnie nasycenia w stosunku do faktycznych wartości (błąd rzędu 25%)<sup>5</sup>.

Po zakończeniu suszenia próbki jeszcze raz zważono i zmierzono. Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono stopień nasycenia oraz pęcznienie objętości drewna, wg wzorów<sup>5</sup>:

$$W_o = \frac{G_w - G_o}{G_o} \times 100\% \quad (1)$$

$W_o$  — stopień nasycenia, %  
 $G_w$  — masa próbki nasyc. g  
 $G_o$  — stała masa próbki, g

$$P_v = \frac{V_1 - V_o}{V_o} \times 100\% \quad (2)$$

$P_v$  — pęcznienie objętości drewna, %  
 $V_1$  — objętość próbki spęczn., cm<sup>3</sup>  
 $V_o$  — objętość próbki całkowicie suchej, cm<sup>3</sup>.

#### WYNIKI BADAŃ

Stwierdzono wyraźną zależność między stopniem zawilgocenia drewna a możliwością jego nasycania. We wszystkich metodach impregnacji dwoma roztworami Paraloidu B-72 wystąpił wzrost stopnia nasycenia w przedziale 0—15% wilgotności drewna, osiągając maksymalne wartości przy wilgotności 15%. W jednym wypadku (podciąganie kapilarne 20-procentowego impregnatu) przyrost stopnia nasycenia zanotowano nawet w zakresie 0—20% wilgotności drewna. Można jednak sądzić, że na wynik ten złożyły się wyjątkowe czynniki (być może związane z budową drewna). Powyżej 15% wilgotności drewna nastąpił systematyczny spadek wartości stopnia nasycenia do poziomu nieco niższego od rezultatów impregnacji drewna całkowicie suchego (wykres I).

Należy jednak podkreślić, że mimo to uzyskane wyniki są stosunkowo wysokie i nawet najniższa wartość — 5,8% (kapiel próbek o wilgotności

<sup>4</sup> Ibid.

<sup>5</sup> Wzór (1) zaczerpnięto z pracy: H. Krach, D. Krutul, *Przewodnik do ćwiczeń z chemii drewna i innych polimerów*, Warszawa 1976, s. 109. Wzór (2) pochodzi z pracy F. Krzysika, op. cit., s. 391.

Tabela 1

Stopień nasycenia suchą żywicą drewna lipowego impregnowanego Paraloidem B-72

Stęż. impregnatu	Metoda impregnacji	Stopień nasycenia impregnatem (%) przy wilgotności drewna				
		0%	10%	15%	20%	29%
10%	Kąpiel	6,6	7,9	8,8	8,2	5,8
	Podciąganie kapil.	8,5	8,3	9,6	9,1	7,1
	Próżnia	18,2	19,5	19,1	17,5	11,5
20%	Kąpiel	9,4	9,8	11,9	9,1	6,6
	Podciąganie kapil.	11,7	11,6	12,0	13,9	9,6
	Próżnia	27,3	27,9	29,4	23,4	22,8

29% w roztworze 10-procentowym) jest wynikiem pozytywnym z punktu widzenia skuteczności impregnacji.

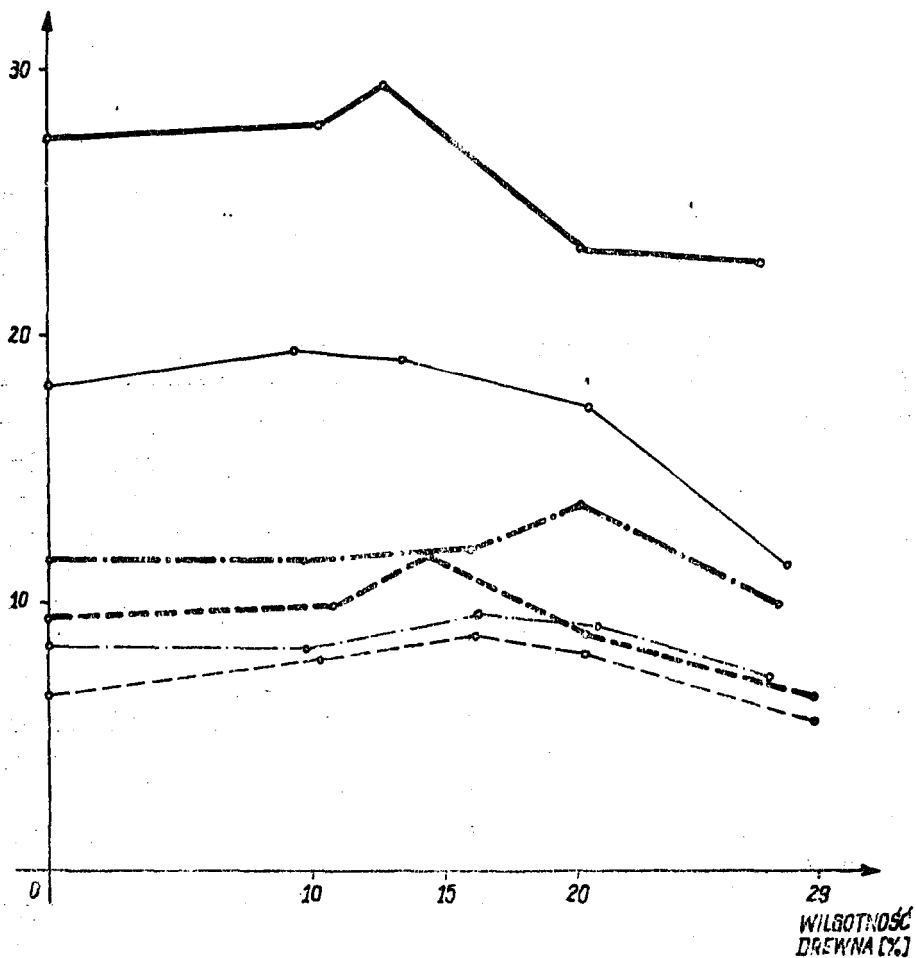
Analizując wpływ poszczególnych metod na wysokość stopnia nasycenia stwierdzono wyraźną różnicę między dwiema pierwszymi (kąpielą i podciąganiem kapilarnym) a nasycaniem pod zmniejszonym ciśnieniem. Metody bezciśnieniowe dały wyniki z reguły dwu- a nawet trzykrotnie niższe. Ale też w metodzie próżniowej spadek stopnia nasycenia w przedziale 15—25% wilgotności był największy. Różnice między kąpielą a podciąganiem kapilarnym były mniejsze, przy czym korzystniejsze wyniki dała ta ostatnia metoda. Ilustruje to wykres i tab. 1.

Stężenie impregnatu miało decydujący wpływ na stopień nasycenia we wszystkich metodach impregnacji. Nasycenie roztworem 10-procentowym było mniej skuteczne niż 20-procentowym, a w metodzie próżniowej różnice te były prawie dwukrotne. Impregnacja metodami bezciśnieniowymi 10-procentowym roztworem dała wyniki wyraźnie określające metodę podciągania kapilarnego jako bardziej skuteczną (różnice w efektywności nasycania rzędu 5—23%). Obydwie te metody były gorsze od kąpieli w 20-procentowym impregnacie (wzrost efektywności o ok. 15%). Najlepszą z metod bezciśnieniowych okazało się podciąganie kapilarne 20-procentowego roztworu (wzrost efektywności w porównaniu z kąpielą w tymże roztworze — o ok. 20%).

Osiągnięty stopień nasycenia dostatecznie spełnia warunki stawiane impregnacji wzmacniającej — co więcej, nawet spadek jego wartości w przedziale 15—29% wilgotności jest tak niewielki, że w efekcie w punkcie nasycenia włókien jest tylko nieco niższy od uzyskanego przy impregnacji drewna o wilgotności 0%.

Podczas porównywania wyników wszystkich badań nasuwa się pytanie: czy istnieje zależność między rodzajem związania wody w drewnie a wnikiem impregnatu, lub ściślej, osadzaniem się żywicy. Według

STOPIEŃ NASYCENIA  
SUCHA, ŻYWICA [%]



DZNACTENIE GRAFICZNE	STĘŻENIE IMPREGNATU	METODA IMPREGNACJI
—————	20 %	— próżnia
—————	10 %	
—————	20 %	— podciąganie kapilarne
—————	10 %	
—————	20 %	— kapiel
—————	10 %	

Wykres I

Wpływ wilgotności drewna na stopień nasycenia Paraloidem B-72



teorii Kollmanna <sup>6</sup> pochłanianie pary wodnej przez drewno odbywa się trójfazowo, w następujący sposób: w przedziale wilgotności od 0<sup>0</sup>/o do 8<sup>0</sup>/o głównie przez adsorpcję chemiczną; od 8<sup>0</sup>/o do 15<sup>0</sup>/o głównie przez adsorpcję fizyczną; od 15<sup>0</sup>/o do punktu nasycenia włókien głównie przez kondensację kapilarną <sup>7</sup>. Poszczególne przedziały mogą się jednak zazębiać ze sobą i trudno jest ustalić ściśle granice. Podane zakresy trzeba więc traktować jako orientacyjne.

Analizując wyniki badań należy uznać za nieprzypadkowy fakt, że w punkcie, w którym stopień nasycenia suchą masą żywicy osiągnął wartości maksymalne, kończą się możliwości drewna wiązania wody drogą adsorpcji i zaczyna się kondensacja kapilarna. Opierając się na teorii Kollmanna można postawić następującą hipotezę: w zakresie wilgotności drewna od 15<sup>0</sup>/o do punktu nasycenia włókien proces impregnacji środkami niewodnymi jest hamowany przez wodę kapilarną związaną w drewnie. Hipotezę tę zdaje się potwierdzać fakt, że w przeprowadzonym doświadczeniu tylko w wypadku impregnacji drewna o wilgotności 20<sup>0</sup>/o i 29<sup>0</sup>/o nastąpiło wypieranie wody z drewna — co objawiło się zmętnieniem impregnatów (najsilniejszym w metodzie próżniowej, najslabszym w kąpielu). Tłumaczy się to znacznie słabszymi siłami wiązania wody kapilarnej w porównaniu z adsorpcyjną oraz tym, że występuje ona (woda kapilarna) w błonie komórkowej w postaci cieczy, a nie pary. Kondensacja kapilarna przebiega zgodnie z następującym zjawiskiem: w rurkach włoskowatych — a takimi są submikroskopowe kapilary błony komórkowej — siły adhezji między cząsteczkami wody a ścianami naczynia mogą pokonać siły kohezji między cząsteczkami wody, jeśli tylko średnica naczynia jest odpowiednio mała. Tymczasem adsorbowanie wody przez drewno ma charakter reakcji chemicznych: syntezy (adsorpcja chemiczna) i hydratacji (adsorpcja fizyczna), a energia potrzebna do zerwania tych wiązań jest nieporównywalnie większa od wydatkowanej na oderwanie wody kapilarnej <sup>8</sup>.

W przedziale wilgotności drewna 0<sup>0</sup>/o—15<sup>0</sup>/o stwierdzono przyrost stopnia nasycenia żywicą — stąd wniosek, że woda adsorpcyjna sprzyja impregnacji, wbrew dosyć logicznym przypuszczeniom o najlepszej nasycalności drewna całkowicie suchego. Teoretyczne wyjaśnienie podłoża tego zjawiska wykracza poza ramy tej pracy.

---

<sup>6</sup> F. Kollmann, *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*, München 1951.

<sup>7</sup> F. Krzysik, op. cit., s. 346—349 i 353, stosuje inną nomenklaturę i wyznacza inne przedziały. Twierdzi mianowicie, iż w przedziale 0—4<sup>0</sup>/o najbardziej intensywnie przebiega adsorpcja jednocząsteczkowa (czyli chemiczna), w przedziale 4—9<sup>0</sup>/o adsorpcja wielocząsteczkowa (fizyczna), zaś kondensacja kapilarna obejmuje zakres od 9<sup>0</sup>/o do punktu nasycenia włókien.

<sup>8</sup> Szczegółowo na tem. mechanizmów sorpcji wody przez drewno por. F. Krzysik, op. cit., s. 347—349.

Drugim zasadniczym celem przeprowadzanych badań było określenie zmian objętościowych drewna w trakcie impregnacji i po jej zakończeniu. Według Krzysika<sup>9</sup> maksymalne pęcznienie objętościowe drewna lipowego wynosi 15,5%. Próbkę drewna nawilżoną do wymaganych poziomów wykazywały różny stopień spęcznienia — ilustruje to tab. 2 — nie większy jednak niż 11,6%.

W trakcie impregnacji stopień spęcznienia nieznacznie podniósł się (o ok. 0,9—2,2%, a tylko w grupie próbek o wilgotności początkowej 0% o 4,7%). Wyniki pomiarów objętości próbek po zakończeniu ich swobodnego wysychania trudno ze sobą porównywać, bowiem — jak już wspomniano — próbki przechowywano w pracowni od 20 do 63 dni. Odpowiednio do wahań  $R_h$  powietrza w pracowni część próbek już w trakcie odparowywania rozpuszczalnika pochłaniała parę wodną — zaś część oddawała jej nadmiar — zależnie od poziomu wilgotności początkowej. Drewno o zakresie 0—10% wilgotności znajdowało się w stanie równowagi ruchomej (utracony toluen kompensowało wnikanie pary wodnej), natomiast w grupie próbek o wilg. 20 i 29% zanotowano spadek wartości pęcznienia: o 4,5% i 6,3%. Warto przypomnieć, że właśnie podczas impregnacji tego drewna nastąpiło zmętnienie roztworów, czyli wypieranie wody z drewna. Równocześnie wartości pęcznienia w trzech ostatnich grupach były wyższe, średnio o połowę, od spęcznienia wykazywanego przez drewno nie impregnowane, przechowywane w tych warunkach, wynoszącego około 4%. Wynika z tego, że dzięki impregnacji odparowywanie wody było utrudnione, a tym samym zahamowano proces kurczenia się drewna w trakcie uzyskiwania przez nie nowej, niższej wilgotności równowaznej. Po wysuszeniu do stałej masy wszystkie próbki wykazywały spęcznienie rzędu 2,5—1,8% — co oznacza, że impregnat całkowicie zablokował część pary wodnej (wszak drewno pozbawione zupełnie wody wykazywałoby objętość taką jak wysuszone do stałej masy przed impregnacją — czyli 0% spęcznienia).

W efekcie stopień pęcznienia wszystkich próbek zamknął się w granicach 3,5—8,7% (wartości krańcowe), przy czym skurcz podczas swobodnego wysychania był każdorazowo proporcjonalny do wilgotności i objętości początkowej drewna (por. tab. 2).

Porównując te wyniki z pęcznieniem wykazywanym przez drewno zaimpregnowane, wysuszone do stałej masy, można stwierdzić, że impregnacja nie tylko nie spowodowała gwałtownego wysuszenia drewna, ale stała się czynnikiem częściowo stabilizującym jego wymiary.

#### WNIOSKI

1. Wilgotność drewna wywiera zauważalny wpływ na proces impregnacji drewna lipowego roztworami Paraloidu B-72 w toluenie.

<sup>9</sup> Ibid., tab. II.

Tabela 2

Pęcznienie objętościowe drewna lipowego impregnowanego Paraloidem B-72 (w stosunku do objętości drewna o wilgotności 0%)

Stężenie impregnatu	Metoda impregnacji	Etap badań	Pęcznienie objętościowe (%) przy wilgotności drewna:				
			0%	10%	15%	20%	29%
Średnie pęcznienie po nawilżeniu drewna do wymaganego poziomu (przed impregnacją)			—	4,8	7,9	7,9	11,6
10%	Kąpiel	Zakończenie impregnacji	4,1	6,4	9,7	9,3	12,0
	Podc. kapilarne		4,1	6,0	10,6	10,5	12,8
	Próżnia		5,5	5,4	7,8	9,3	12,9
20%	Kąpiel	Zakończenie impregnacji	4,1	6,1	8,1	10,0	11,2
	Podc. kapilarne		4,6	6,7	10,1	11,2	13,7
	Próżnia		5,9	5,2	7,8	10,2	12,6
Średnie pęcznienie po wyjęciu z impregnatu			4,7	6,0	8,9	10,1	12,5
10%	Kąpiel	Odprowadzenie rozpuszczalnika w warunkach: temp. 20°C i 50–80% Rh	3,9	3,9	4,9	3,7	4,8
	Podc. kapilarne		3,8	3,5	4,5	4,5	5,2
	Próżnia		4,6	4,7	6,0	8,0	8,7
20%	Kąpiel	Odprowadzenie rozpuszczalnika	3,8	4,9	3,8	4,8	5,9
	Podc. kapilarne		4,1	4,3	5,3	5,5	6,0
	Próżnia		4,8	5,1	5,6	5,6	6,8
Średnie pęcznienie po odparowaniu rozpuszczalnika			4,2	4,4	5,0	5,6	6,2
10%	Kąpiel	Wysuszenie do stałej masy w suszarce próżniowej (temp. 40°C, ciśnienie — 0,9 at)	2,4	1,7	2,2	0,8	1,7
	Podc. kapilarne		2,0	1,5	2,1	0,8	1,1
	Próżnia		3,2	3,7	2,2	1,6	1,9
20%	Kąpiel	Wysuszenie do stałej masy	1,5	2,1	1,9	1,2	1,5
	Podc. kapilarne		2,4	1,7	3,1	1,8	2,5
	Próżnia		3,5	2,9	2,8	2,6	1,8
Średnie pęcznienie po wysuszeniu do stałej masy			2,5	2,3	2,4	1,5	1,8

2. Wzrost wilgotności drewna w zakresie wiązania wody drogą adsorpcji, od 0% do 15%, sprzyja impregnacji, przy czym stopień nasycenia uzyskuje maksymalną wartość przy wilgotności 15%. Powyżej tego punktu proces impregnacji jest hamowany — prawdopodobnie przez wodę kapilarną zwilżającą błony komórkowe drewna.

3. Wartość stopnia nasycenia zależy od sposobu impregnacji. Wśród zbadanych metod najlepsza okazała się próżniowa, a z bezciśnieniowych — podciąganie kapilarne; jednakże nawet najmniej efektywna metoda kąpieli okazała się wystarczająco skutecznym sposobem impregnacji wznacniającej.

4. W tej samej metodzie stopień nasycenia uzależniony jest od stężenia impregnatu. Roztwór 20-procentowy Paraloidu B-72 gwarantuje lepsze nasycenie niż 10-procentowy.

5. Impregnacja 10- i 20-procentowymi roztworami Paraloidu B-72 powoduje niewielki wzrost stopnia pęcznienia drewna lipowego, niezależnie od metody nasycania i od wilgotności drewna.

6. W przypadku drewna o wilgotności wykraczającej poza stan powietrzno-suchy (powyżej 15%) impregnacja strukturalna stanowi czynnik stabilizujący wymiary liniowe drewna, hamując zbyt gwałtowne oddawanie pary wodnej w trakcie uzyskiwania przez drewno nowej wilgotności równoważnej. Impregnat utrwala (w pewnym stopniu) spęczniałą postać drewna.

\*  
\*      \*

Wyniki i wnioski płynące z przeprowadzonych badań wykazują mylność powszechnie uznanego twierdzenia, wykluczającego powodzenie impregnacji drewna o wilgotności większej niż stan powietrzno-suchy. Zaobserwowany spadek stopnia nasycenia powyżej tej granicy nie pozostaje w związku ze skutecznością impregnacji jako takiej — bowiem nawet najniższe wartości są wystarczająco wysokie, by drewno uznać za zaimpregnowane strukturalnie.

Z konserwatorskiego punktu widzenia impregnacja drewna o wilgotności dochodzącej nawet do punktu nasycenia włókien jest nie tylko możliwa, ale znacznie bardziej bezpieczna i wygodna, niż długotrwałe klimatyzowanie czy suszenie, częstokroć pogłębiające procesy destrukcyjne. Dodatkową zaletą takiego zabiegu jest hamowanie zmian objętościowych drewna w trakcie odparowywania nadmiaru wilgoci.

Oczywiście, wyników tej pracy nie można wprost odnosić do praktyki. Badania przeprowadzono wszak na niewielkich próbkach drewna zdrowego, które stosunkowo łatwo ulegały nasyceniu impregnatem. W wypadku obiektów zabytkowych może wystąpić szereg czynników utrudniających impregnację — przypuszczać jednak należy, że podwyższona wilgotność drewna nie będzie tym decydującym.

*Danuta Żankowska*

DER EINFLUß DER HOLZFEUCHTIGKEIT  
AUF DEN GRAD DER SÄTTIGUNG  
MITTELS IMPRÄGNIERMITTEL PARALOID B-72

(Zusammenfassung)

Im Artikel wurden Untersuchungsergebnisse zur Abhängigkeit des Holzimprägnierungsprozesses mit Kunstharzen von der Holzfeuchtigkeit dargestellt, und genauer gesagt — von der Wassergebundenheitsform im Holz. Außer dem Zweck, die Möglichkeit der Sättigung des übermäßig feuchten Holzes (über 20%) zu prüfen, stellte man sich in der Arbeit zum Ziel, die Volumenänderungen des Holzes im Imprägnierungsprozeß und nach seinem Abschluß zu bestimmen. Die Untersuchungen wurden mit rohem, 5 Jahre gelagertem Lindenholz durchgeführt — an einer Anfangsfeuchtigkeit 5—7%, woraus Proben mit Ausmaßen 2×2×10 cm (letztes der Fasern entlang gemessen) vorbereitet wurden.

Bei Vorbereitung der Imprägniermittel wählte man aus vielen Harzarten das in konservatorischen Werkstätten allgemein verwendete Paraloid B-72 (Prod. Rohm and Haas Co., USA; amerikanische Bezeichnung: Acryloid B-72). Das Harz in Granulatform wurde im Toluol aufgelöst und folglich in einer Lösung von 10% und 20% Konzentration angewendet. Angenommen wurde das Prinzip der Struktursättigung des Holzes, was die möglichen Verfahren auf drei einschränkte: Bad, Kapillarszension und Sättigung unter verminderten Druck, auch Vakuumverfahren genannt. Um die Zeit der drucklosen Eingriffe festzulegen, führte man Hilfsuntersuchungen durch und stellte fest, daß bei so geringen Probenausmaßen ein Tag dazu genügt (24 Stunden), um das Holz mit dem Imprägnierungsmittel vollkommen zu sättigen. Die Sättigungszeit in der Vakuumkammer — festgelegt aufgrund langjähriger Praxis — betrug 20 Minuten von der Einführung der Lösung gerechnet.

In diesen Experimenten handelte es sich hauptsächlich um die Prüfung der Möglichkeiten, Holz mit verschiedenem Feuchtigkeitsgrad — vom ganz trockenen bis auf solches, in dem der Feuchtigkeitswert sich dem Fasernsättigungsgrad näherte, zu sättigen.

Nachdem die ständige Holzmasse (Trockner—Waage—Verfahren) binnen 30 Tage bestimmt worden war, teilte man die Proben in 5 Gruppen ein und legte sie für etwa 2 Monate in Exsikkatoren von verschiedenen Feuchtigkeitsbedingungen rein (relative Luftfeuchtigkeit: I — 5—8%, II — 55%, III — 75%, IV — 90%, V — 98%), in denen das Holz die entsprechende Feuchtigkeit erlangen sollte, und zwar gleichwertig der Reihe: 0, 10, 15, 20 und 29%.

Nach diesem Prozeß wurden die Proben der Strukturimprägnierung gemäß o/g Methoden mit Harzlösungen unterzogen. Nach Beendigung der Bemessungen und Berechnungen wurden die Untersuchungsergebnisse festgelegt (vgl. Tab. 1 und 2 und Diagramm) und folgende Schlußfolgerungen gezogen:

1. Die Holzfeuchtigkeit beeinflußt deutlich den Imprägnierungsprozeß des Lindenholzes mit Paraloid B-72 im Toluol.
2. Der Anstieg der Holzfeuchtigkeit im Bereich der Wasserbundenheit auf dem Wege der Adsorption von 0% bis 15% begünstigt die Imprägnierung, wobei der Sättigungsgrad seinen maximalen Wert bei 15% der Feuchtigkeit erlangt. Über diesen Punkt wird der Imprägnierungsprozeß gehemmt — offensichtlich durch das Kapillarwasser, das die Holzzellenhaut befeuchtet.

3. Der Wert des Sättigungsgrades hängt von der Imprägnierungsart ab. In untersuchten Verfahren erwies sich die Vakuummethode am besten, und unter den va-

kuumlosen Methoden — die Kapillaraszension, doch sogar die effektiv — unwirksamste Methode des Bades erwies sich als ausreichend in Hinsicht auf die stärkende Imprägnierung.

4. In derselben Methode ist der Sättigungsgrad von der Konzentration des Imprägnierungsmittels abhängig. Die 20%-Lösung vom Paraloid B-72 sichert bessere Sättigung als die 10%.

5. Die Imprägnierung mit 10% und 20% Lösungen vom Paraloid B-72 bewirkt einen geringen Anstieg des Schwellungsgrades des Lindenholzes, unabhängig von der Sättigungsmethode oder der Holzfeuchtigkeit.

6. Bei Holz mit einer Feuchtigkeit über den Trockenluftstand (über 15%) bildet die Strukturimprägnierung einen Faktor, der die linearen Ausmaße stabilisiert, indem die allzuheftige Wasserdampfabgabe während der Erlangung der neuen äquivalenten Feuchtigkeit durch das Holz gehemmt wird. Das Imprägnierungsmittel fixiert (im gewissen Grad) die geschwellte Form des Holzes.

\*  
\*   \*  
\*

Die Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen weisen nach, daß die These über Mißerfolge bei der Imprägnierung des Holzes vom höheren Feuchtigkeitsgrad als der Trockenluftstand, irre war. Die beobachtete Senkung des Sättigungsgrades über diese Grenze hinaus steht in keinem Zusammenhang mit der Wirksamkeit der Imprägnierung selbst, denn sogar die niedrigsten Werte sind genügend, um das Holz als strukturimprägniert anzuerkennen.

Vom konservatorischen Standpunkt gesehen, ist die Imprägnierung des Holzes von einer Feuchtigkeit, die sogar bis an den Fasersättigungsgrad steigt, nicht nur möglich, sondern sogar bedeutend sicherer und bequemer als die langwierige Klimatisierung oder Trocknung, die oft die destruktiven Prozesse vertiefen. Zusätzlich wäre noch ein Vorteil dieses Eingriffes zu betonen, nämlich die Hemmung der Volumenveränderungen des Holzes während der Abdampfung des Feuchtigkeitsüberschusses.

Selbstverständlich können sich die Untersuchungsergebnisse nicht direkt auf die Praxis beziehen. Die Untersuchungen wurden an kleinen Proben des gesunden Holzes geführt, die sich verhältnismäßig leicht mit dem Imprägnierungsmittel sättigen ließen. Bei Denkmalobjekten kann eine ganze Reihe von Faktoren auftreten, welche die Imprägnierung erschweren. Es kann aber mit Gewißheit angenommen werden, daß die erhöhte Holzfeuchtigkeit zu keinem entscheidenden Faktor wird.