

Soldenhoff, Bożena

Wzmacnianie drewna roztworami żywic termoplastycznych

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 11 (161), 77-103

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, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.

Zakład Konserwacji

Elementów i Detali Architektonicznych

Bożena Soldenhoff

WZMACNIANIE DREWNA ROZTWORAMI ŻYWIC TERMOPLASTYCZNYCH

Zarys treści. Artykuł zawiera wyniki badań nad określeniem wpływu impregnacji roztworami żywic termoplastycznych na właściwości drewna. Stosowano następujące żywice: Paraloid B 72, Movilith 40 i Osolan KL w roztworach toluenowych.

Szereg drewnianych obiektów zabytkowych zarówno ruchomych (rzeźby, meble, wystrój wnętrz, przedmioty rzemiosła artystycznego, obrazy na desce), jak i elementów architektonicznych wymaga wzmocnienia z racji daleko posuniętego procesu zniszczenia. Od wielu lat stosowane są powszechnie do tego celu żywice syntetyczne. Najszerze zastosowanie mają różnego rodzaju roztwory żywic termoplastycznych. Mimo powszechności ich użycia, w literaturze konserwatorskiej nie ma syntetycznego opracowania dotyczącego metod stosowania i zmian właściwości drewna nimi nasyconego.

Celem podjętej pracy jest przebadanie kilku wybranych żywic termoplastycznych i określenie ich przydatności jako impregnatów do wzmocnienia powietrznosuchego drewna.

Poza ustaleniem metodyki, badania obejmowały wpływ impregnacji przeprowadzonej różnymi metodami i przy użyciu roztworów o różnych stężeniach żywic na:

- stopień nasycenia drewna żywicą,
- rozłożenie żywicy w strukturze drewna,
- właściwości mechaniczne drewna impregnowanego,
- higroskopijność,
- nasiąkliwość wodą,
- pracę drewna pod wpływem zmian wilgotności,
- zmiany barwne powierzchni drewna.

Badania nie będą uwzględniały natomiast testowania samych żywic, tzn. badania ich odporności na działanie różnych czynników niszczących, starzenia, odporności mikrobiologicznej itp., jako że są to cechy znane

i opracowane w literaturze. Wszystkie próby przeprowadzone będą wyłącznie na drewnie zdrowym, odpowiednio spreparowanym.

Jako naczelne założenie przyjęto, że zabiegowi impregnacji musi być poddana cała struktura drewna. Jest to podstawowy wymóg stawiany pracownikom konserwatorskim przy zabiegach wzmacniania obiektów drewnianych. Tylko poprzez impregnację strukturalną jesteśmy w stanie zapobiec zmianom, jakie wywołują w drewnie różnice wilgotności otoczenia. Nasycenie powierzchniowe, czy ograniczające się tylko do zniszczonych partii drewna może powodować — w wyniku nagłych zmian wilgotności — powstanie dodatkowych naprężeń w jego strukturze, które z kolei doprowadzają często do spękań i zniszczeń impregnowanych obiektów. Każda substancja wprowadzona do drewna zmienia jego wrażliwość na działanie pary wodnej. Stworzenie więc, w wyniku częściowo przeprowadzonej impregnacji, dwóch różnych, inaczej pracujących środowisk w obrębie jednego elementu może wywołać po jakimś czasie duże różnice naprężeń i w efekcie końcowym doprowadzić do zmian destrukcyjnych. Dlatego pominięte tu zostały zupełnie metody nasycania powierzchniowego, a zastosowano jedynie te metody, które umożliwiają wprowadzenie impregnatu w całą strukturę drewna.

WYBÓR METOD I MATERIAŁÓW DO BADAŃ

PRZEGLĄD METOD

Literatura przemysłowa dotyczy najczęściej impregnacji środkami grzybo- i owadobójczymi z podaniem metod wprowadzania tych substancji w drewno. Najczęściej stosuje się metody nasycania powierzchniowego, gdzie w zależności od wilgotności drewna i rodzaju użytego środka impregnacja sięga zaledwie na głębokość 3—6 mm. Roztwory impregnatów nanosi się na powierzchnie drewna za pomocą pędzlowania, spryskiwania lub przez krótkotrwałe zanurzenie. Tego typu metody nasycania nie powinny być stosowane do wzmacniania obiektów zabytkowych i zupełnie nie odpowiadają postawionemu w tej pracy założeniu pełnej impregnacji strukturalnej.

Znacznie skuteczniejsze i poprawne z punktu widzenia konserwatorskiego są tzw. metody nasycania głębokiego, rzadziej stosowane dla celów przemysłowych z racji wysokich kosztów zabiegu i ilości zużytego środka. Według Kawczyńskiego¹, Czajnika, Lehnerta, Ważnego², B. A. Richardsona³ metody głębokiego nasycania można podzielić następująco:

¹ R. Kawczyński, *Nasycanie drewna środkami chemicznymi*, Warszawa 1972.

² M. Czajnik, Z. Lehnert, S. Lerczyński, J. Ważny; *Impregnacja i odgrzybianie w budownictwie*, Warszawa 1970.

³ B. A. Richardson, *Wood Preservation*, Lancaster 1978.

1. **Metoda kąpeli zimnej długotrwałej.** Oparta jest na wielodniowym kapilarnym wnikanii cieczy impregnacyjnej do drewna całkowicie zanurzonego. Czas zanurzenia zależy od wielkości elementu drewnianego i od lepkości impregnatu. Sposób ten jest najczęściej stosowany w pracach konserwatorskich. Jego powodzenie zależy w dużej mierze od stopnia zniszczenia obiektu i od spełnienia takich warunków, jak odpowiednio długi czas nasycania i stosunkowo niska lepkość roztworów. W przypadku obiektów polichromowanych długie działanie rozpuszczalnika na warstwy malarskie może być niebezpieczne (rozmiękczenie lub rozpuszczenie spoiwa).

2. **Metody nasycania dyfuzyjnego.** Wykorzystuje się w nich zjawisko dyfuzji, czyli samorzutnego wyrównywania stężeń w układzie. Metody te możliwe są tylko do zastosowania przy drewnie silnie zawilgoconym (znacznie powyżej 35% wilgotności) i przy użyciu impregnatów rozpuszczalnych w wodzie. Polegają one na pokryciu powierzchni mokrego drewna stężonym wodnym roztworem impregnatu. Roztwór powoli dyfunduje w głąb drewna do momentu, kiedy wilgotność drewna obniży się do 35%. Szybkość dyfuzji np. soli grzybobójczych w drewnie jest bardzo mała i — jak podaje Kawczyński⁴ — dla przesycaenia bielu słupa lub podkładu sosnowego i na wnikięcie około 10 mm w głąb odkrytej twardzieli potrzeba około 90 dni. Dlatego metody te stosuje się raczej do elementów o niewielkim przekroju. Nie znajdują one zastosowania w konserwacji powietrznosuchych zabytkowych obiektów drewnianych. Stosuje się je natomiast w konserwacji tzw. mokrego drewna archeologicznego.

3. **Metoda kąpeli gorąco-zimnych.** Polega na zanurzeniu suchego elementu drewnianego w gorącej cieczy impregnacyjnej (80—90°C) na 2—3 godziny i następnie przeniesieniu go do zimnej kąpeli tegoż impregnatu. Podczas przetrzymywania drewna w gorącym impregnacie nagrzewa się ono, a wraz z nim powietrze zawarte w komórkach drzewnych. Następuje wtedy rozprężenie powietrza i częściowe wydzielanie na zewnątrz. Po przeniesieniu do zimnej kąpeli powietrze ochładza się i zmniejsza objętościowo, powodując powstanie podciśnienia w komórkach drzewnych. W ten sposób roztwór cieczy impregnacyjnej znajdujący się pod ciśnieniem atmosferycznym zostaje zasysany w głąb drewna. Głębokość wnikanii impregnatu zależy przede wszystkim od różnicy temperatur obu kąpeli. Można też umieścić drewno w gorącym roztworze i po 2—3 godzinach roztwór ochładzać.

Również i ta metoda nie znajduje zastosowania w pracach konserwatorskich, gdyż podgrzewanie roztworów żywic w rozpuszczalnikach organicznych do tak wysokich temperatur nie zawsze jest możliwe, a przede wszystkim jest niebezpieczne zarówno dla osób przeprowadzających za-

⁴ R. Kawczyński, op. cit.

bieg, jak i dla samych obiektów (np. częściowe rozpuszczenie i przeprowadzenie do roztworu zniszczonych składników drewna, zniszczenie polichromii).

4. **Metody próżniowo-ciśnieniowe.** Są to metody, które dają najlepsze wyniki w głębokim nasycaniu drewna różnych gatunków i umożliwiają stosowanie dowolnych cieczy impregnacyjnych. Przy zastosowaniu specjalnych technologii można impregnować drewno o wilgotności zwiększonej do 50%. Metody próżniowo-ciśnieniowe można podzielić na trzy zasadnicze grupy:

a) **Metoda pełnego wchłaniania** (metoda „na pełno”) lub metoda Bethela-Burnetta. Polega ona na umieszczeniu drewna o wilgotności do 25% w komorach impregnacyjnych i wytworzeniu podciśnienia odpowiadającego 60 cm słupa rtęci. Taki układ utrzymuje się co najmniej przez 25—30 min. W tym czasie rozrzedza się powietrze w komórkach drzewnych, co ułatwia proces wchłaniania cieczy w następnym etapie zabiegu. Po upływie 30 min cylinder napełnia się podgrzaną do 60—70°C cieczą impregnacyjną (próżnia nie powinna opadać poniżej 50 cm słupa rtęci). Po napełnieniu cylindra cieczą wtłacza się do niego dodatkowe ilości cieczy, aż do osiągnięcia ciśnienia rzędu 7—8 atm. Ciśnienie to utrzymuje się co najmniej 50 min aż do chwili, kiedy drewno przestanie wchłaniać. Następnie usuwa się ciecz z cylindra i stosuje końcowe podciśnienie o wysokości 40—50 cm słupa rtęci przez około 5 min dla usunięcia nadmiaru impregnatu. Istnieje wiele odmian tej metody, np. metoda Giwalda — Jonata schodkowego podnoszenia ciśnienia, metoda Lowry’ego, w której nie stosuje się wstępnego podciśnienia itd.

b) **Metoda oszczędnościowa Rüpinga.** Umożliwia ona głębokie przesylenie drewna przy minimalnym zużyciu cieczy impregnacyjnej. Polega na wytworzeniu w cylindrze z drewnem ciśnienia powietrza 2—4 atm. przez 10—15 min. Następnie wpuszcza się ciecz impregnacyjną i zwiększa ciśnienie do 7—8 atm. Temperaturę cieczy utrzymuje się cały czas w granicach 85—110°C. Po usunięciu cieczy z cylindra utrzymuje się przez co najmniej 10 min podciśnienie wysokości 50—60 cm słupa rtęci. Przy stosowaniu tej metody ciecz nasycza głównie ścianki komórek drzewnych, w minimalnym stopniu natomiast pozostaje we wnętrzach komórek.

c) **Metoda nasycania próżniowego.** Polega ona na utrzymaniu suchego drewna przez co najmniej 30 min w próżni o wysokości 65—70 cm słupa rtęci i następnie — przy stale utrzymującym się podciśnieniu — napełnieniu cylindra impregnatem. Ostatni etap zabiegu to zlikwidowanie podciśnienia do ciśnienia atmosferycznego. W tym momencie następuje wtłoczenie impregnatu w głąb drewna. Stosowane w komorach podciśnienie może być oczywiście różne, zależne od wielu czynników, np. punktu wrzenia rozpuszczalnika. Metodę tę polecają do nasycania drewna (również zabytkowego) roztworami żywic syntetycznych m.in. Domasłowski, Czajnik, Ważny⁵.

5. **Metoda iniekcji.** Metoda dość powszechnie stosowana w pracach konserwatorskich do impregnacji obiektów drewnianych zniszczonych przez owady. Polega ona na wprowadzeniu w głąb drewna roztworu impregnacyjnego poprzez otwory wylotowe owadów. Roztwory wprowadza się przy pomocy strzykawek lekarskich, gruszek gumowych lub ciśnienia słupa cieczy z naczynia umieszczonego w odpowiedniej wysokości ponad powierzchnią drewna. Głębokość i równomierność przesycenia drewna zależy w tej metodzie przede wszystkim od stopnia zniszczenia drewna, gatunku owada powodującego rozkład, ilości i rozmieszczenia otworów na powierzchni, lepkości impregnatu i stosowanego ciśnienia cieczy.

Podane metody nie wyczerpują tematu, albowiem stosuje się ich w praktyce przemysłowej znacznie więcej. Richardson⁶ podaje np. około 20 metod nasycania drewna, które są głównie modyfikacjami opisanych sposobów lub łączeniem 2 metod.

Z podanych wyżej metod, sposób nasycania próżniowego wydaje się najodpowiedniejszy w konserwacji zabytkowych obiektów drewnianych. Uzyskuje się pełne przesycenie drewna, zabieg prowadzony jest bez podwyższania temperatury cieczy i w bardzo krótkim czasie. Pozwala również na szybkie i pełne przesycenie drewna bez względu na stan i rodzaj zniszczeń poszczególnych jego partii.

WYBÓR METODY IMPREGNACJI

W badaniach postanowiono wykorzystać dwie podstawowe metody wprowadzania impregnatów: metodę próżniową i kąpieli przez zanurzenie. Metoda impregnacji przez zanurzenie stosowana będzie w dwóch wersjach, które w założeniu powinny dać różne efekty. Pierwsza wersja to zanurzenie całkowite drewna ułożonego w pozycji poziomej (równoległe do układu włókien drzewnych), druga zaś polega na ustawieniu kształtek drewna w pozycji pionowej i stopniowym podnoszeniu poziomu cieczy w pojemniku impregnacyjnym w zależności od szybkości wznoszenia kapilarnego, aż do wysokości nieco poniżej górnej płaszczyzny kształtki. Dla odróżnienia tych dwóch sposobów impregnacji będziemy je w dalszej części pracy nazywali: pierwszą — „metodą zanurzenia”, drugą — „metodą

⁵ W. Domaśłowski, *Konserwacja (wzmacnianie, utwardzanie) drewna pod zmniejszonym ciśnieniem*, BMiOZ, Seria B, t. 3: 1961; M. Czajnik, *Z badań nad zastosowaniem tworzyw sztucznych do konserwacji drewna*, Zesz. nauk. SGGW, Leśnictwo 12: 1968; J. Ważny, *Wpływ Vinoflexu MP-400 na własności techniczne drewna dębu zniszczonego przez grzyby i czynniki atmosferyczne*, Ochrona Zabytków, 5, 1970, z. 2. M. Czajnik, P. Rudniewski, D. Tworek, *Niektóre zagadnienia z prac nad konserwacją elementów drewnianych*, Ochrona Zabytków, R. 15: 1962, nr 3.

⁶ B. A. Richardson, op. cit., s. 82—109.

wznoszenia kapilarnego". Co prawda określenia te nie są precyzyjne, jednak pozwolą na uniknięcie w tekście zbyt długich określeń.

Wybór powyższych metod podyktowany był przede wszystkim możliwością ich stosowania w konserwacji zabytkowych obiektów drewnianych.

WYBÓR MATERIAŁÓW DO BADAŃ

Drewno

W doborze gatunków drewna przeznaczonego do badań kierowano się przede wszystkim częstotliwością występowania w obiektach zabytkowych, jak również ich budową anatomiczną. Na terenie Polski w zabytkach budownictwa drewnianego i ruchomych spotykamy najczęściej następujące gatunki: z liściastych — lipa i dąb, z iglastych — sosna, świerk i modrzew. Początkowo do badań wybrano po jednym przedstawicielu obu grup, a mianowicie lipę i sosnę (część bielastą). Po przeprowadzeniu szeregu badań zrezygnowano ze stosowania sosny, albowiem uzyskane wyniki były tak bardzo rozbieżne, że nie można było obliczyć w sposób prawidłowy średnich danych⁷. Całość więc badań przeprowadzono wyłącznie na kształtkach drewna lipowego. Lipa należąca do rodzaju rozpięrzchnaczyniowych posiada względnie jednolitą strukturę, co pozwoliło uzyskać wyniki średnie bardziej obiektywne. Wszystkie podstawowe badania wykonano w 12 powtórzeniach.

Żywice

Substancje używane jako impregnaty wzmacniające zniszczone drewno zabytkowe powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- dostatecznie wzmacniać mechanicznie zniszczoną strukturę drewna;
- dobrze wnikać w drewno, co zapewni szybkie i prawidłowe jego nasycenie. Cechę tę łączy się zazwyczaj z niskim ciężarem cząsteczkowym żywicy i uzyskaniem roztworów o małej lepkości;
- po nasyceniu i utwardzeniu drewno powinno w dalszym ciągu zachowywać charakter materiału porowatego, co umożliwi w przyszłości — jeżeli zajdzie potrzeba — ponowną impregnację;
- obniżać higroskopijność drewna, bowiem z tym łączy się zmniejszenie pracy drewna pod wpływem zmian wilgotności względnej otoczenia oraz zredukowanie zakresu destrukcyjnego działania wody zarówno bezpośredniego jak i pośredniego⁸;
- powinny być całkowicie obojętne chemicznie w stosunku do skład-

⁷ Badania wykonywano w 12 powtórzeniach. Różnice np. w stopniu nasycenia drewna roztworami żywicy wynosiły od 30 do 160%.

⁸ Obniżenie higroskopijności drewna powinno zmniejszyć możliwości działania chemicznych, fizycznych i biologicznych czynników destrukcyjnych.

ników drewna, a w przypadku stosowania do obiektów polichromowanych również i do wszystkich składników warstw malarskich;

— powinny wykazywać odporność na destrukcyjne działanie czynników biologicznych. Pożądane byłyby tu właściwości toksyczne żywicy w stosunku do mikroorganizmów i owadów niszczących drewno;

— powinny być odporne na działanie destrukcyjne czynników atmosferycznych;

— nie ulegać procesom starzenia;

— rozpuszczać się w rozpuszczalnikach nie spęczniających drewna;

— tworzyć powłoki elastyczne;

— nie zmieniać wyglądu zewnętrznego drewna ani innych materiałów z nim łączonych, np. polichromii.

W badaniach zastosowano 3 rodzaje żywic termoplastycznych o nazwach handlowych: Paraloid B 72, Osolan KL i Movilith 40. Wybór podyktowany był powszechnością ich stosowania w praktyce konserwatorskiej. Poza tym w grupie żywic termoplastycznych charakteryzują się one właściwościami odpowiadającymi sformułowanym wyżej cechom⁹. Roztwory tych żywic różnią się znacznie między sobą lepkością, co było dodatkowym atutem w ich wyborze. Wszystkie rozpuszczają się w rozpuszczalnikach nie spęczniających drewna i zostały zastosowane w roztworach toluenowych.

Paraloid B 72 jest kopolimerem metakrylanu etylu i akrylanu metylu, produkowanym przez amerykańską firmę Rohn and Haas.

Osolan KL jest polimetakrylanem butylu. Produkowany przez Zakłady Chemiczne w Oświęcimiu w postaci 50% roztworu w octanie etylu. Do badań rozcieńczany był toluenem do żadanego stężenia.

Movilith 40 jest polioctanem winylu, produkowanym przez firmę Hoechst, RFN.

PRZYGOTOWANIE MATERIAŁÓW DO BADAŃ

DREWNO

Do badań przygotowano kształtki drewna lipowego pozbawione wad o wymiarach 4×4 i 5×5 cm oraz długości 5, 10 i 20 cm. Ponieważ dysponowano drewnem świeżym, sezonowanym zaledwie pół roku, należało z niego usunąć substancje łatwo rozpuszczalne w wodzie, takie jak soki, część związków pektynowych, sole, niskospolimeryzowane hemicelulozy itp. Substancje te mogłyby w trakcie badań utrudniać zarówno procesy nasycania jak i interpretację wyników. Najszybciej taki proces według

⁹ W. Domański, *Właściwości żywic sztucznych oraz ich zastosowanie do prac konserwatorskich*, Materiały Zachodnio-Pomorskie, 1960, nr 6. J. Wąży, op. cit., M. Czajnik, op. cit.

Grzeczyńskiego¹⁰ zachodzi w czasie gotowania drewna przy zwiększonym ciśnieniu.

Przygotowanie kształtek drewna do dalszych prac poprzedzone było badaniami wstępnymi. Drewno gotowano w autoklawie pod ciśnieniem 2 atm. przez 2, 6 i 10 godzin. Po wysuszeniu określano ubytek masy i higroskopijność drewna. Wyniki przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1

Wpływ gotowania drewna w autoklawie na ubytek masy i higroskopijność

Lp.	Czas gotowania drewna w godz.	Ubytek masy drewna w %	Higroskopijność świeżego drewna po 2 tyg. nawilżania (w %)	Higroskopijność drewna gotowanego po 2 tyg. nawilżania (w %)	Spadek higroskopijności drewna (w %)
1	2	2,08	16,09	13,53	15,9
2	6	2,92	14,06	9,7	30,8
3	10	3,28	16,77	9,1	45,4

Z tabeli wynika, że wraz z przedłużeniem procesu gotowania w autoklawie następuje stopniowy ubytek masy drewna i jednocześnie spada jego higroskopijność. Dla drewna gotowanego przez 2 godz. obniżenie higroskopijności sięga 15%, natomiast po 6 — 30%, a po 10 — 45%. Tak duży spadek higroskopijności, jaki notujemy po 6 i 10 godz., byłby niepożądany w dalszych badaniach, w których m.in. sprawdzać się będzie wpływ impregnacji żywicami na obniżenie higroskopijności drewna. Dlatego postanowiono próby przeznaczone do badań gotować przez 2 godz. Zabieg ten wykonano w następujący sposób: kształtki drewna moczoło przez 1 dobę w wodzie destylowanej, potem gotowano przez 2 godz. w autoklawie pod ciśnieniem 2 atm. i następnie ponownie płukano w wodzie destylowanej przez 24 godz., kilkakrotnie zmieniając kąpiel. Tak przygotowane drewno suszono początkowo w pomieszczeniu o wilgotności 50—60%. Po obniżeniu wilgotności drewna do około 20% dalej suszono w suszarce w temp. 110°C do wilgotności 0% celem określenia suchej masy drewna. Następnie drewno klimatyzowano w warunkach pracowni do wilgotności 5—6%. Tak przygotowane próby posłużyły do dalszych badań.

ZYWICE I ICH ROZTWORY

Do badań przygotowano roztwory żywic o stężeniach 5, 10, 15 i 20%. Paraloid B 72 i Movilith 40 rozpuszczono w czystym toluenie, a Osolan

¹⁰ T. Grzeczyński, O možnosti opredelenija stepeni razrušenija drevesiny po pokazatelem ej mehaničeskich svojstv. [Perspektivy zakladného vyskuma dreva]. Bratislava 1963.

KL rozcieńczono do określonych stężeń również toluenem. Zbadano lepkość roztworów przy pomocy viskozymetru Höpplera, a rezultaty pomiarów zamieszczono w tab. 2. Wynika z niej, że roztwory poszczególnych żywic różnią się znacznie lepkością. Najniższą lepkość wykazują roztwory Paraloidu, potem Osolanu, a najwyższą Movilithu. Stwierdzono również, że lepkość roztworów wszystkich żywic gwałtownie wzrasta przy stężeniu 15⁰/. Może to mieć znaczenie w procesie nasycania drewna, gdzie lepkość roztworu odgrywa dużą rolę — tym bardziej, że w praktyce konserwatorskiej stosuje się najczęściej stężenia 15 i 20⁰/.

Tabela 2
Lepkość roztworów żywic w temp. 20°C

Lp.	Rodzaj żywicy	Lepkość w cP			
		Stężenie żywicy w roztworze w %			
		5	10	15	20
1	Paraloid B 72	2,06	5,58	13,71	30,55
2	Osolan KL	4,28	12,78	32,80	70,69
3	Movilith 40	3,57	14,53	49,39	159,14

Określono również higroskopijność błon badanych żywic i wynosi ona po 48 godz. nawilżania w eksykatorze w wilgotności około 100⁰/ dla:

Paraloidu B 72 — 0,98⁰/,

Osolanu KL — 0,46⁰/,

Movilithu 40 — 1,86⁰/.

Najniższą higroskopijność posiadają błony Osolanu, dwukrotnie wyższą Paraloidu i prawie czterokrotnie wyższą Movilithu.

BADANIA WSTĘPNE

Przed przystąpieniem do badań właściwych, tzn. do impregnacji drewna wybranymi żywicami i metodami, wykonano szereg badań wstępnych. Ich zadaniem było ustalenie danych, które byłyby pomocne w prawidłowym przeprowadzeniu procesu nasycania.

KIERUNEK PRZEMIESZCZANIA SIĘ ROZTWORÓW ŻYWICY W DREWIE

W kształtkach drewna o wymiarach 4×4×10 cm izolowano powierzchnie przekrojów poprzecznych warstwą kauczuku silikonowego i cienką folią poliestrową. Tak przygotowane próbki zanurzano w pozycji poziomej w roztworze żywicy. Poziom roztworu sięgał połowy grubości próbki. W badaniach zastosowano 5 i 10⁰/ roztwory Paraloidu w toluenie zabar-

wione na czerwono Sudanem IV. Wybór roztworów Paraloidu podyktowany był ich najniższą ze wszystkich użytych do badań żywic lepkością, co zapewniało najszybszą penetrację w strukturę drewna. Głębokość przenikania roztworów badano na przekrojach drewna po 2, 6 i 24 godz. nasycania. Stwierdzono, że penetracja roztworów żywicy poprzez płaszczyzny przekrojów promieniowego i stycznego (w dalszej części pracy określanych dla uproszczenia jako przekroje boczne) jest minimalna i sięga zaledwie na głębokość od 3 do 6 mm. Zaobserwowano jedynie nieznaczne różnice w głębokości nasycenia w zależności od stężenia (lepkości) roztworów. Roztwory 5% przenikały nieco głębiej niż 10%. Nie stwierdzono natomiast wyraźnych różnic w głębokości nasycenia w zależności od czasu impregnacji.

Kształtki drewna pozbawione izolacji przekrojów poprzecznych zanurzone w roztworach Paraloidu zostały przesycane całkowicie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdza się, że przenikanie roztworów impregnatów w zdrowym drewnie następuje tylko od strony przekroju poprzecznego. Roztwory przemieszczają się w drewnie wzdłuż włókien drogą przenikania kapilarnego. Uwagi te zresztą znajdują potwierdzenie w literaturze dotyczącej m.in. badań nad impregnacją drewna środkami grzybo- i owadobójczymi ¹¹.

SZYBKOŚĆ WZNOSZENIA KAPILARNEGO IMPREGNATÓW W DREWNI

Szybkość wznoszenia kapilarnego roztworów żywic w drewnie badano używając kształtek o długości 10 cm i roztworów żywic o stężeniu 10%. Kształtki umieszczono w zamkniętym naczyniu w pozycji pionowej. Do naczynia wlało roztwór żywicy do poziomu 1 cm. W trakcie doświadczenia cały czas utrzymywano stały poziom cieczy. Czas mierzono od momentu wiania roztworu do momentu całkowitego zwilżenia roztworem górnej płaszczyzny kształtki. W drewnie niemożliwy jest pomiar czasów pośrednich, gdyż wznoszenie kapilarne odbywa się bardzo nierównomiernie.

Czas potrzebny do wzniesienia się cieczy w kapilarach drewna na wysokość 10 cm był dla poszczególnych żywic następujący:

Paraloid B 72	— 8 min,
Osolan KL	— 20 min,
Mowilith 40	— 37 min.

Notuje się tu wyraźną zależność szybkości wznoszenia kapilarnego od lepkości roztworów. Roztwory o niższej lepkości przenikają znacznie szybciej.

¹¹ F. Wytwer, *Badania nad rozmieszczeniem soli grzybobójczych w nasyconym drewnie sosny*, Zeszyty Naukowe SGGW, Leśnictwo 12: 1968.

SZYBKOŚĆ I KIERUNEK ODPAROWYWANIA ROZPUSZCZALNIKA
Z IMPREGNOWANEGO DREWNA

Celem tych badań było stwierdzenie, czy istnieje różnica w szybkości odparowywania rozpuszczalnika z impregnowanego drewna poprzez powierzchnie przekrojów poprzecznych i bocznych.

Kształtki lipy o wymiarach $5 \times 5 \times 10$ cm impregnowano w komorze próżniowej 10 i 20% roztworami Paraloidu. Bezpośrednio po impregnacji w części kształtek izolowano powierzchnię przekroju poprzecznego, a w części — powierzchnie boczne. Izolację wykonano za pomocą gorącej masy woskowej i cienkiej folii polietylenowej. W ten sposób ukie-runkowano odparowywanie rozpuszczalnika. Próbkę pozostawiono do swobodnego odparowania w temperaturze 20°C . Ubytek rozpuszczalnika określano wagowo, początkowo co 24 godz., a potem co 7 dni. Ponieważ powierzchnie parowania nie były równe — powierzchnie boczne 4-krotnie większe, dlatego uzyskane wyniki dla tych powierzchni dzielono przez 4. Rezultaty pomiarów ilustrują rys. 1—4.

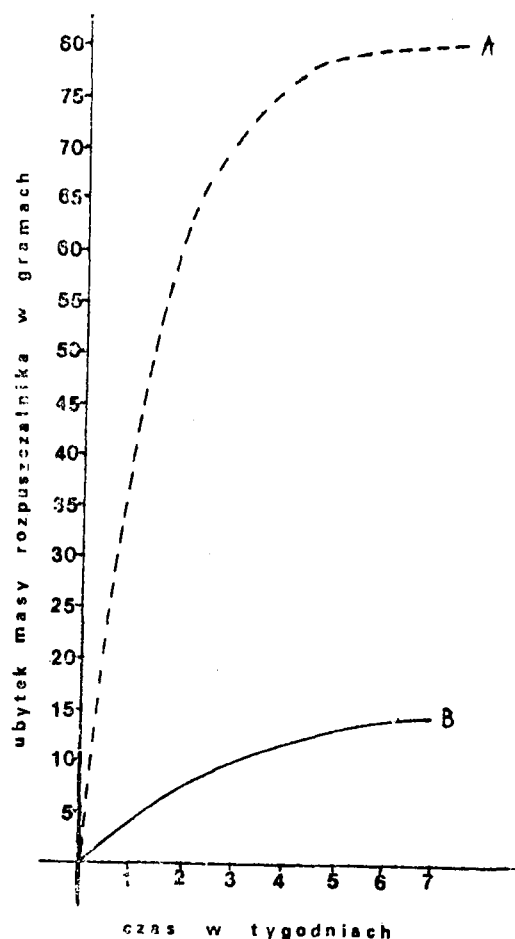
Doświadczenie wykazało, że odparowywanie rozpuszczalnika z impregnowanego drewna jest znacznie szybsze poprzez przekroje poprzeczne niż boczne i wynosi ono:

— dla drewna impregnowanego 10% roztworem Paraloidu po 7 dobach jest prawie 9-krotnie szybsze, a po 7 tygodniach ponad 5-krotnie,

— dla drewna impregnowanego 20% roztworem Paraloidu jest po 7 dobach i po 7 tygodniach około 7-krotnie szybsze.

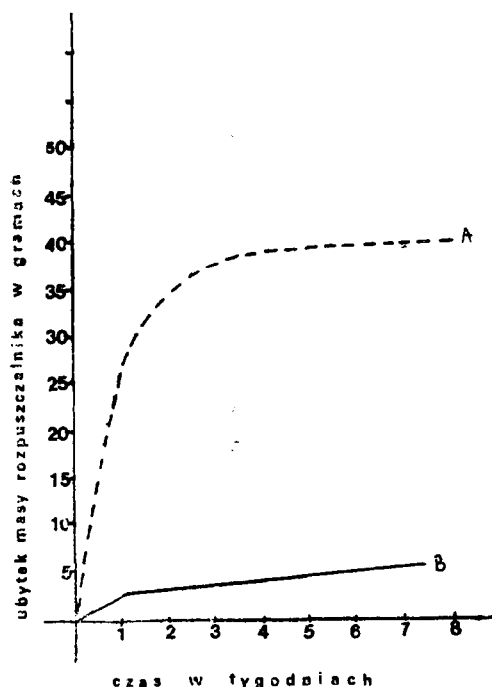
Ponadto stwierdzono, że znacznie szybciej odparowuje rozpuszczalnik z próbek impregnowanych roztworem 10% niż 20%. Po 7 tygodniach ilość odparowanego toluenu z próbek impregnowanych 10% roztworem jest dwukrotnie większa niż 20%. Można to tłumaczyć tym, że 20% roztwór żywicy znacznie szybciej ulega zagęszczeniu, im bardziej stężony roztwór tym wolniejsze odparowywanie rozpuszczalnika. Dodatkowe potwierdzenie znajdujemy w porównaniu rys. 2 i 4 (krzywe oznaczone linią przerywaną). Widzimy tu wyraźnie, że szybkość odparowywania zdecydowanie słabnie po 3 tygodniach, co wcale nie oznacza, że kończy się sam proces. Po prostu w obu przypadkach roztwór żywicy osiągnął już tak duże stężenie, że „uwięziony” w nim rozpuszczalnik odparowuje niesłychanie wolno. Przy szybkim odparowywaniu poprzez powierzchnie przekroju poprzecznego zachodzi prawdopodobnie zjawisko nierównomiernego wysychania żywicy. Partie bliżej powierzchni wysychają szybciej. O wiele bardziej regularny charakter mają krzywe obrazujące odparowywanie poprzez powierzchnie przekrojów bocznych. W tym przypadku wolniej ulatniający się rozpuszczalnik powoduje bardziej równomierne wysychanie żywicy w całej masie drewna.

Powyższe doświadczenia potwierdzają wnioski wysunięte z poprzednich badań, że przenikanie impregnatów w drewnie odbywa się głównie



Rys. 1. Szybkość odparowywania rozpuszczalnika z drewna lipy impregnowanego 10% roztworem Paraloidu B 72

A — izolowane powierzchnie boczne, B — izolowane powierzchnie poprzeczne



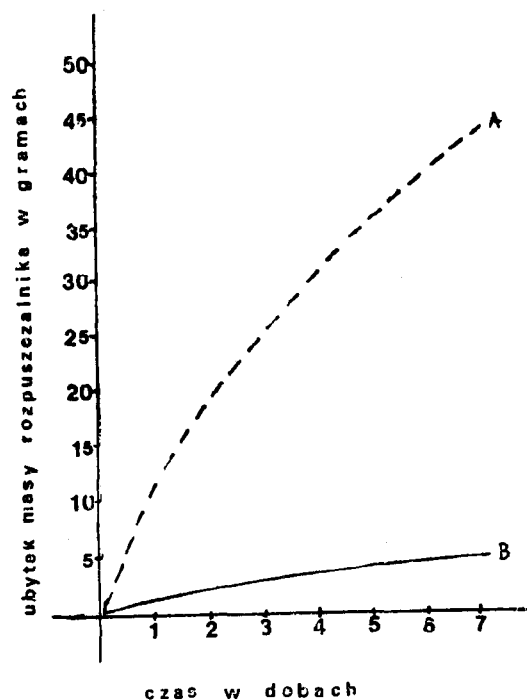
Rys. 2. Szybkość odparowywania rozpuszczalnika z drewna lipy impregnowanego 20% roztworem Paraloidu B 72

A — izolowane powierzchnie boczne, B — izolowane powierzchnie poprzeczne

w kierunku zgodnym z układem włókien, a więc w kierunku naturalnego przewodzenia cieczy w żywym drzewie. To samo zjawisko dotyczy odparowywania rozpuszczalników. Wyniki powyższe mogą mieć znaczenie w określaniu kierunku i zakresu migracji żywicy ku powierzchni drewna w trakcie odparowywania rozpuszczalnika.

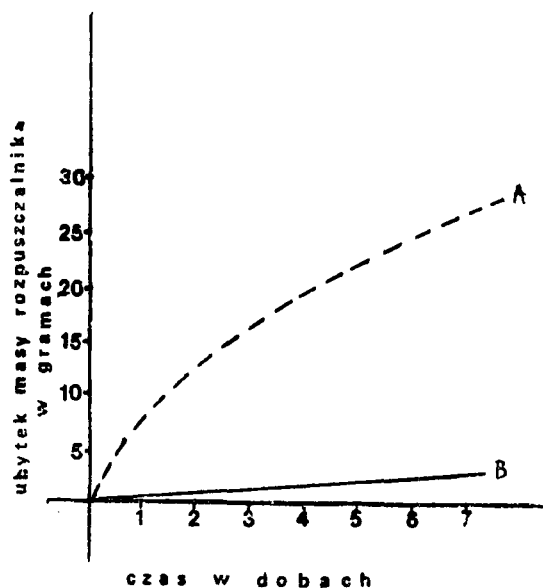
BADANIA STĘŻENIA IMPREGNATU W TRAKCIE JEGO PRZEMIESZCZANIA SIĘ W DREWNI

Podczas przeprowadzania badań nad impregnacją drewna zabarwionymi roztworami żywic stwierdzono na przełomach próbek, że były one intensywnie zabarwione na głębokość około 5—10 mm od strony przekro-



Rys. 3. Szybkość odparowywania rozpuszczalnika z drewna lipy impregnowanego 10% roztworem Paraloidu B 72

A — izolowane powierzchnie boczne, B — izolowane powierzchnie poprzeczne



Rys. 4. Szybkość odparowywania rozpuszczalnika z drewna lipy impregnowanego 20% roztworem Paraloidu B 72

A — izolowane powierzchnie boczne, B — izolowane powierzchnie poprzeczne

jów poprzecznych drewna. Obserwacje te wyraźnie wskazują na „filtrujące” właściwości drewna. Zachodziła więc obawa, że podobne zjawisko może również dotyczyć i roztworu żywicy, tzn. rozdzielania się w drewnie faz żywica — rozpuszczalnik. W związku z tym wykonano szereg badań, których celem było stwierdzenie, w jaki sposób żywica przemieszcza się w drewnie. Zastosowano 10 i 20% roztwory Paraloidu i Movilithu. Kształtki drewna o długości 10 i 20 cm przygotowano w ten sposób, że dłuższe powierzchnie boczne izolowano ściśle przylegającą warstwą kauczuku silikonowego i folią polietylenową. Roztwór ze zbiornika przenikał przez drewno wskutek różnicy ciśnień i był przy wylocie próbki odbierany do badań. Okazało się jednak, że można było odzyskać tylko roztwory o początkowym stężeniu 10%. Zawartość żywicy w tych roztworach po przejściu przez drewno wynosiła około 20% i więcej. Roztwory o stężeniu 20% zwilżały całkowicie drewno, ale zbyt szybkie odparowanie rozpuszczalnika w wyniku stosowania podciśnienia powodowało gromadzenie się na powierzchni drewna żywicy w postaci półstałej. Zastosowano więc inną metodę. W kształtkach 5 cm długości, o izolowanych kauczukiem bokach, wmontowywano w górnej części zbiornik szklany z roztworem, stale uzupełnianym do wysokości 10 cm. Pod takim ciśnieniem roztwór przenikał przez kształtkę i w dolnej jej partii nadmiar cieczy był odbierany do badań. Stosowano tylko roztwory 10%. Stwierdzono, że roztwór żywicy po przejściu przez drewno nie zmienia swojego stężenia. W kilku przypadkach roztwór zawierał nawet 12—13% żywicy, co prawdopodobnie było wynikiem błędu doświadczenia — rozpuszczalnik częściowo odparował z naczynia zbierającego.

Doświadczenia powyższe wskazywałyby na to, że nie zachodzi zjawisko rozdziału faz przy przejściu roztworu żywicy przez drewno. Jednak w obu doświadczeniach przepływ cieczy był w pewnym sensie wymuszony, tzn. odbywał się albo przy pomocy podciśnienia, albo ciśnienia słupa cieczy. Dla całkowitego upewnienia się w prawidłowości wyciągniętych wniosków zastosowano inną metodę, w której roztwór przenikał przez drewno w sposób swobodny. W tym celu użyto drewna znacznie większych rozmiarów $8 \times 8 \times 20$ cm. W bocznej ścianie próbki wywiercono po 5 otworów na głębokość około 5 cm, w odległości 2 cm od siebie. Ułożone poziomo próbki zalano do połowy grubości 10% roztworem Paraloidu zabarwionym Sudanem IV. Naczynie z próbkami szczelnie zamknięto, aby nie dopuścić do odparowania rozpuszczalnika. Zbierający się po pewnym czasie w otworach roztwór natychmiast wybierano pipetą i badano wagowo jego stężenie. W wyniku prób nie stwierdzono zmniejszania się stężenia żywicy w pobranych roztworach w stosunku do roztworu wyjściowego. Było ono nawet nieco większe — 12—13%. Rezultaty tych badań są identyczne jak w przeprowadzonych poprzednio — roztwór żywicy po przejściu przez strukturę drewna nie zmniejsza swojego stężenia. Nie zachodzi więc zjawisko rozdzielania faz.

OKREŚLENIE CZASU PEŁNEGO NASYCENIA DREWNA ZA POMOCĄ WYBRANYCH METOD

Do badań użyto 20% roztworów Paraloidu, Osolanu i Movilithu, wychodząc z założenia, że czas potrzebny do pełnego nasycenia kształtek drewna będzie najdłuższy przy roztworach o najwyższej lepkości. Część próbek drewna o wymiarach $4 \times 4 \times 5$ cm impregnowano metodą zanurzenia, a część metodą wznoszenia kapilarnego. W odstępach dobowych próbki ważono, a czas osiągnięcia stałej masy uznano za koniec nasycania. Stwierdzono, że czas potrzebny do pełnego nasycenia próbek wynosi w metodzie wznoszenia kapilarnego dla Paraloidu — 6 dni, dla Osolanu 6—7 dni, a dla Movilithu 7—8 dni. Podobne czasy uzyskano w metodzie zanurzenia — jedynie w przypadku Movilithu masa próbek ustaliła się po 9 dniach. W związku z powyższymi wynikami postanowiono w dalszych badaniach zastosować dla obu metod i wszystkich stężeń jednakowy czas nasycania wynoszący 10 dni. Spodziewano się w ten sposób uzyskać maksymalne efekty nasycania w każdej z metod.

W metodzie próżniowej przyjęto sposób nasycania sprawdzony w trakcie wieloletniej praktyki. Próbki w odpowiednim pojemniku umieszcza się w komorze próżniowej i obniża ciśnienie do $-0,9$ atm. Od momentu ustalenia ciśnienia próbki przetrzymuje się przez 10 min, a następnie wprowadza do naczynia roztwór impregnujący tak, aby jego poziom w naczyniu był znacznie wyższy od górnej płaszczyzny próbek. Zanurzone w roztworze drewno pod ciśnieniem $-0,9$ atm. przetrzymuje się przez 20 min, następnie ciśnienie w komorze podnosi się do ciśnienia atmosferycznego. W tym momencie następuje gwałtowne wtłaczanie impregnatu w strukturę drewna, co objawia się znacznym spadkiem poziomu cieczy w naczyniu.

PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

OKREŚLENIE STOPNIA NASYCENIA DREWNA ŻYWICAMI

Kształtki drewna lipowego o wymiarach $4 \times 4 \times 5$ cm impregnowano roztworami 5, 10, 15 i 20% Paraloidu B 72, Osolanu KL i Movilithu 40 w toluenie. Stosowano 3 metody impregnacji w sposób opisany w poprzednim rozdziale. Po wyjęciu z kąpeli impregnującej próbki drewna ważono i pozostawiono w temperaturze 20°C do swobodnego odparowania rozpuszczalnika przez 6—8 tygodni. Następnie suszono je w komorze próżniowej w temp. 40°C przez 10—14 dni do stałej masy.

Stopień nasycenia drewna suchą masą żywicy obliczano ze wzoru:

$$S_n = \frac{a_2 - a_1}{a_1} \cdot 100\%, \text{ gdzie}$$

a_1 — masa drewna o wilgotności 0%,

a_2 — masa drewna wraz z żywicą.

Uzyskane rezultaty przedstawiono w tab. 3. Stwierdzono wyraźne różnice w stopniu nasycenia drewna w zależności od zastosowanej metody impregnacji. Najmniej żywicy wprowadzono do drewna, stosując metodę zanurzenia. Lepsze efekty dał sposób impregnacji metodą wznoszenia kapilarnego. Największą ilość żywicy wprowadzono nasycając drewno w komorze próżniowej. Metoda ta pozwala na transpirację impregnatu również w te partie drewna, które są pod normalnym ciśnieniem dla cieczy trudno dostępne, a nawet niemożliwe do przeniknięcia ¹². Poza tym, w trakcie zabiegu roztwór żywicy ulega znacznemu zagęszczeniu w wyniku gwałtownego odparowywania rozpuszczalnika.

Tabela 3

Stopień nasycenia drewna lipowego żywicami termoplastycznymi

Lp.	Rodzaj żywicy	Metoda impregnacji	Stopień nasycenia drewna żywicą w %			
			Stężenie żywicy w roztw. impreg.			
			5 ⁰ /o	10 ⁰ /o	15 ⁰ /o	20 ⁰ /o
1	Paraloid B 72	zanurzenie	—	8,6	—	14,3
2		wzn. kapil.	7,5	11,2	16,4	20,1
3		próżnia	—	14,1	—	24,7
4	Osolan KL	zanurzenie	—	9,7	—	19,0
5		wzn. kapil.	8,4	12,9	20,5	23,7
6		próżnia	—	15,5	—	26,5
7	Movilith 40	zanurzenie	—	11,0	—	14,6
8		wzn. kapil.	—	10,0	—	15,9
9		próżnia	—	10,8	—	17,6

Interesujące są natomiast różnice uzyskane w dwóch pozostałych metodach. Należy tutaj przypomnieć, że dobierano warunki i czas impregnacji tak, aby osiągnąć maksimum możliwości nasycenia drewna w każdej metodzie. Wyraźne różnice w stopniu nasycenia są najprawdopodobniej wynikiem mniejszych możliwości wypierania przez impregnat powietrza znajdującego się w porach drewna w metodzie zanurzenia. Znaczna jego część zostaje niejako uwięziona w środkowych partiach kształtki przez roztwór żywicy wnikaający jednocześnie z obu stron poprzez powierzchnie przekrojów poprzecznych. W metodzie nasycania przez wznoszenie kapilarne, gdzie roztwór impregnujący wnika tylko od strony jednego przekroju poprzecznego, powietrze ma możliwość swobodnego wydostania się z porów drewna przeciwną, odsłoniętą płaszczyzną. Zostaje ono jeszcze

¹² Potwierdzają to badania W. Domańskiego, *Konserwacja...*

dodatkowo wypierane ciśnieniem słupa cieczy znajdującej się na zewnątrz drewna. Należy tu zaznaczyć, że doświadczenia przeprowadzone były na próbkach o długości zaledwie 5 cm. W przypadku impregnacji większych elementów drewnianych różnice w stopniu nasycenia w obu metodach będą niewątpliwie o wiele większe, na korzyść metody wznoszenia kapilarnego.

Stopień nasycenia drewna zależy od stężenia roztworu impregnującego. Im więcej roztwór zawiera żywicy, tym więcej pozostanie jej w drewnie.

Jedna z podstawowych cech, jakie powinien posiadać impregnat, to jego niska lepkość, ułatwiająca przenikanie w głąb materiałów porowatych. Następstwem tej cechy winien być większy stopień nasycenia drewna żywicą o mniejszej lepkości. W przeprowadzonych badaniach nie uzyskano potwierdzenia tych założeń. Stosowano żywice, których roztwory bardzo różniły się między sobą lepkością (patrz tab. 2). Jeżeli porównamy wyniki zamieszczone w tab. 3, to okazuje się, że najlepsze efekty nasycenia we wszystkich trzech metodach uzyskano stosując Osolan KL. W przypadku użycia Movilithu stopień nasycenia wykazuje nieznaczne tylko odchylenia od efektów uzyskanych przy nasycaniu Paraloidem (patrz tab. 3, poz. 1 i 7).

Różnice w stopniu nasycenia nie wynikają z różnicy ciężarów właściwych poszczególnych żywic, gdyż są one nieznaczne i nie mogą w sposób tak oczywisty rzutować na rozbieżność wyników. Rozbieżności tej również nie można tłumaczyć stosowaniem różnych rozpuszczalników. Paraloid i Movilith były rozpuszczane w toluenie a Osolan w octanie etylu, rozcieńczony toluenem. Różnice w stopniu nasycenia są podobne zarówno wtedy, kiedy używano roztworów 5⁰%, jak i 20⁰%, mimo że zawierały one inne procentowo ilości toluenu.

Wyjaśnienia różnic wielkości stopnia nasycenia drewna stosowanymi żywicami należałoby więc szukać w budowie cząsteczek. Osolan KL jest polimerem o niższej masie cząsteczkowej i większej polidispersyjności niż pozostałe żywice¹³. W związku z tym część jego niskopolimeryzowanych cząsteczek jest w stanie wnikać w drobniejsze pory drewna, podczas gdy bardziej jednorodne i większe polimery Paraloidu i Movilithu nie mają tej możliwości. Za wyjaśnieniem tym zdają się przemawiać szczególnie wyniki uzyskane w nasycaniu pod próżnią, gdzie różnice polidispersyjności są widoczne.

ZALEŻNOŚĆ STOPNIA NASYCENIA OD CZASU IMPREGNACJI

W celu zbadania zależności stopnia nasycenia drewna żywicą od czasu impregnacji przeprowadzono badania z użyciem 20⁰% roztworów Paraloidu

¹³ *Technologia tworzyw sztucznych*, pod red. W. W. Korszaka, Warszawa 1981, s. 182—183.

idu i Osolanu wprowadzonych metodą wznoszenia kapilarnego. Wymiary kształtek i sposób postępowania z impregnowanym drewnem były identyczne, jak w poprzednich badaniach. Impregnacja przebiegała w różnym czasie. Wyniki ilustruje tab. 4. Stwierdza się tu zdecydowaną zależność stopnia nasycenia od czasu impregnacji. Im dłuższy czas nasycania, tym więcej żywicy pozostaje w drewnie. Próbkę wyjętą z roztworów po 10 min mają stopień nasycenia 9,7⁰%, a po 10 dniach jest on ponad 100⁰% wyższy.

Tabela 4

Stopień nasycenia drewna lipowego impregnowanego w różnym czasie

Lp.	Rodzaj żywicy	Stopień nasycenia w %											
		Czas nasycenia											
		10 min.		2 godz.		4 godz.		72 godz.		144 godz.		240 godz.	
		R	Z	R	Z	R	Z	R	Z	R	Z	R	Z
1	Paraloid B 72	35	9,7	44	11,4	58	14,7	60	15,3	80	20	90	20,1
2	Osolan KL	36	9,7	43	11,4	60	13,6	79	18	85	223	88	23,7

R — stopień nasyc. roztworem żywicy.

Z — stopień nasyc. suchą masą żywicy.

W trakcie eksperymentu stwierdzono również, że stopień nasycenia drewna suchą masą żywicy nie jest proporcjonalny do stopnia nasycenia roztworem. Na przykład w drewnie impregnowanym 20⁰% roztworem Osolanu stopień nasycenia roztworem wynosi około 87⁰%, podczas gdy suchą żywicą prawie 24⁰%. Z obliczeń wynikałoby, że przy takiej ilości roztworu 20⁰% w drewnie powinno znajdować się około 16—17⁰% suchej żywicy. Proces suszenia próbek był długotrwały i bardzo dokładny — żywica została na pewno pozbawiona rozpuszczalnika. Ten znacznie wyższy od założonego teoretycznie procent żywicy można tłumaczyć tym, że podczas nasycania roztwór żywicy wypełnia całkowicie prześwity komórek. Stosunkowo duże cząsteczki polimeru nie są w stanie przeniknąć w strukturę błony komórkowej i pozostają w prześwicie komórek. Do błony natomiast może przenikać rozpuszczalnik, co powoduje z jednej strony zagęszczenie żywicy, a z drugiej umożliwia dodatkowe „dosycanie” kapilar nowymi porcjami roztworu ¹⁴. Tę hipotezę zdają się potwierdzać niewielkie różnice między obliczeniami teoretycznymi a stanem faktycznym w danych uzyskanych z pomiarów stopnia nasycenia drewna impregnowanego pod próżnią (patrz tab. 3). W tym przypadku szybki czas nasycania nie pozwolił na wyżej opisany sposób zagęszczania żywicy w strukturze drewna. Mimo

¹⁴ Występuje tu prawdopodobnie zjawisko przenikania rozpuszczalnika znajdującego się w błonach komórkowych drewna do roztworu impregnacyjnego, w którym znajduje się przedmiot drewniany. W ten sposób roztwór żywicy znajdujący się w prześwitach komórek ulega znacznemu zagęszczeniu.

wszystko nieco wyższe wyniki są niewątpliwie rezultatem znacznego odparowania rozpuszczalnika w komorze próżniowej.

Podsumowując wyniki badań należy stwierdzić, że stopień nasycenia drewna żywicą zależy od:

- stężenia roztworu,
- metody impregnacji,
- czasu impregnacji,
- prawdopodobnie też od rodzaju polimeru, jego masy cząsteczkowej i polidispersyjności.

W badaniach nie stwierdzono zależności stopnia nasycenia drewna od lepkości roztworów. Lepkość ma natomiast wyraźny wpływ na szybkość i głębokość przemieszczania się impregnatów w strukturze drewna.

WPŁYW IMPREGNACJI NA HIGROSKOPIJNOŚĆ DREWNA

Impregnowane i wysuszone do stałej masy próbki drewna zamknięto w eksykatorach w wilgotności bliskiej 100% i temperaturze 20°C. Wilgotność drewna obliczano metodą wagową. Pomiary prowadzono przez 3 tygodnie. Z zamieszczonych w tab. 5 danych wynika, że w porównaniu z drewnem nie impregnowanym nasycenie żywicą zmniejsza higroskopijność drewna. To osłabienie chłonięcia pary wodnej przez impregnowane drewno jest szczególnie widoczne w początkowym okresie nawilżania. Przez pierwsze 3 doby wilgotność próbek jest o połowę niższa niż drewna surowego. Im dłuższy czas nawilżania, tym mniejsze różnice. Jednak utrzymują się one po 3 tygodniach w granicach 18—50% w stosunku do próbek kontrolnych. W przeciwieństwie do drewna impregnowanego Paraloidem i Osolanem, próbki z Movilithem wykazują w początkowej fazie nawilżania znacznie mniejszy przyrost masy, natomiast po 3 tygodniach nieco wyższy. Związane jest to prawdopodobnie z większą higroskopijnością błon Movilithu — w początkowej fazie nasycania spęczniałe błony tej żywicy w powierzchniowych warstwach drewna blokują przez jakiś czas dostęp pary wodnej do warstw głębszych.

Wyraźnie widoczne są różnice w higroskopijności drewna w zależności od rodzaju żywicy, jej stężenia i metody impregnacji.

Drewno nasycone Osolanem wykazuje niższą higroskopijność niż analogiczne próby z Paraloidem i Movilithem. Byłby to jeszcze jeden argument przemawiający za tym, że Osolan dzięki swej niskiej masie cząsteczkowej wniknął w większą liczbę porów drewna i stanowi osłonę większej płaszczyzny wewnętrznej drewna przed wpływem wody niż pozostałe żywice. Poza tym Osolan tworzy błony o najniższej higroskopijności (rys. 5).

Stężenie użytych w trakcie impregnacji roztworów również rzutuje na ograniczenie higroskopijności drewna. Im niższe stężenie (w ramach jednej metody), tym wyższa wilgotność drewna. O higroskopijności drewna

Tabela 5

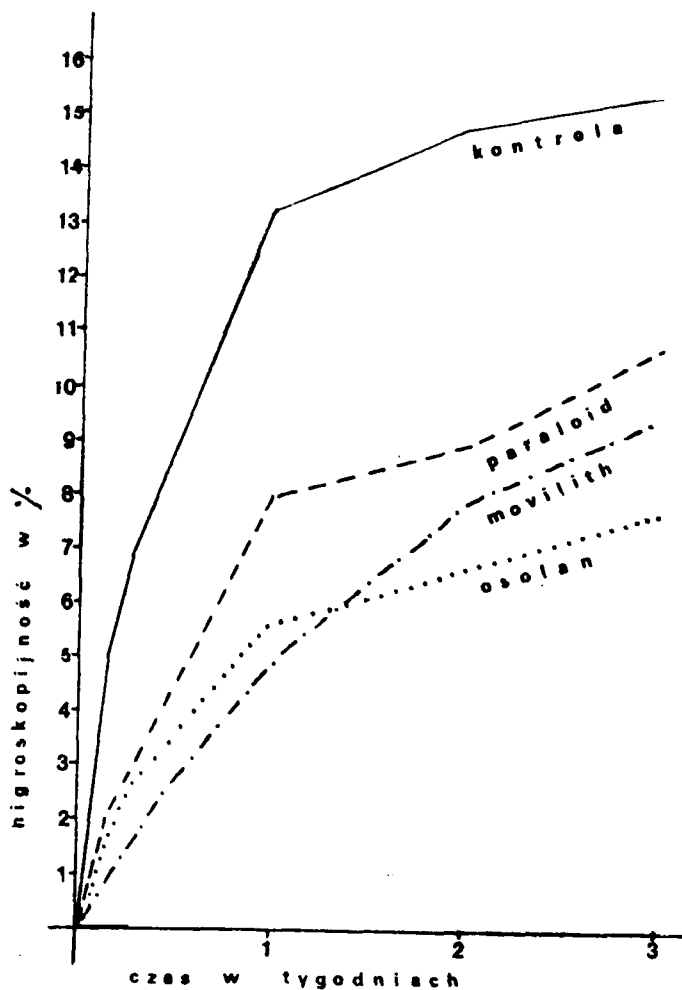
Higroskopijskość drewna lipy impregnowanego żywicami termoplastycznymi

Lp.	Rodzaj żywicy	Metoda impreg.	Stężenie impregn. w %	Higroskopijność drewna w %						Obniżenie higroskopijności po 21 dobach w stos. do drewna nieimpr. w %
				Czas w dobach						
				1	2	3	7	14	21	
1	drewno nieimpregnowane			4,9	6,9	8,3	13,2	14,7	15,4	—
2	Paraloid B 72	zanurz.	10	2,8	3,9	4,6	8,4	10,3	12,0	22
3		zanurz.	20	2,9	4,8	6,0	9,5	12,2	12,6	18
4		wzn. kap.	5	2,3	3,6	4,3	7,9	9,8	11,8	23
5		wzn. kap.	10	2,1	3,4	4,4	8,6	9,7	11,0	28,5
6		wzn. kap.	15	2,3	3,9	4,9	8,5	10,7	11,7	24
7		wzn. kap.	20	1,9	3,0	4,0	8,0	8,8	10,8	30
8		próżnia	10	2,4	3,7	4,4	8,1	10,1	11,3	26,6
9		próżnia	20	1,9	2,9	3,5	6,9	8,9	9,9	35,7
10	Osolan KL	zanurz.	10	2,6	4,5	5,7	9,5	11,3	12,2	20,7
11		zanurz.	20	2,5	3,6	4,4	6,7	8,1	9,5	38,3
12		wzn. kap.	5	2,4	3,5	4,2	7,4	9,7	10,8	29,8
13		wzn. kap.	10	2,0	3,2	3,8	6,6	8,3	9,7	37
14		wzn. kap.	15	1,7	2,8	3,4	5,9	7,1	8,2	46
15		wzn. kap.	20	1,7	2,6	3,2	5,6	6,7	7,7	50
16		próżnia	10	2,5	3,8	4,6	8,0	9,9	11,7	24
17		próżnia	20	2,2	3,3	4,1	7,0	8,8	9,8	36
18	Movilith 40	zanurz.	10	1,6	3,0	4,0	6,7	10,0	12,3	20
19		zanurz.	20	0,9	2,2	3,2	5,9	9,2	11,0	28,5
20		wzn. kap.	10	—	—	1,5	5,6	9,2	11,1	27
21		wzn. kap.	20	0,7	1,7	2,5	5,0	7,9	9,5	38,3
22		próżnia	10	1,3	2,3	4,6	9,2	12,4	14,2	8
23		próżnia	20	1,0	1,7	3,9	8,3	11,0	12,6	8

będzie tu prawdopodobnie decydowała grubość wytworzonej na ścianach kapilar błony żywicy, jak i higroskopijskość samej błony (rys. 6).

Dość znaczne różnice w higroskopijskości drewna obserwuje się przy porównaniu próbek impregnowanych różnymi metodami. Największą higroskopijskość posiada drewno impregnowane przez zanurzenie. Ma ono najmniej żywicy w swojej strukturze i jest ona prawdopodobnie nierównomiernie rozłożona. Najmniejszą higroskopijskość wykazują próbki nasycane metodą wznoszenia kapilarnego. Zastanawiająca jest natomiast wyższa nieco od niej wilgotność drewna nasycanego pod próżnią (dla Osolanu i Movilithu).

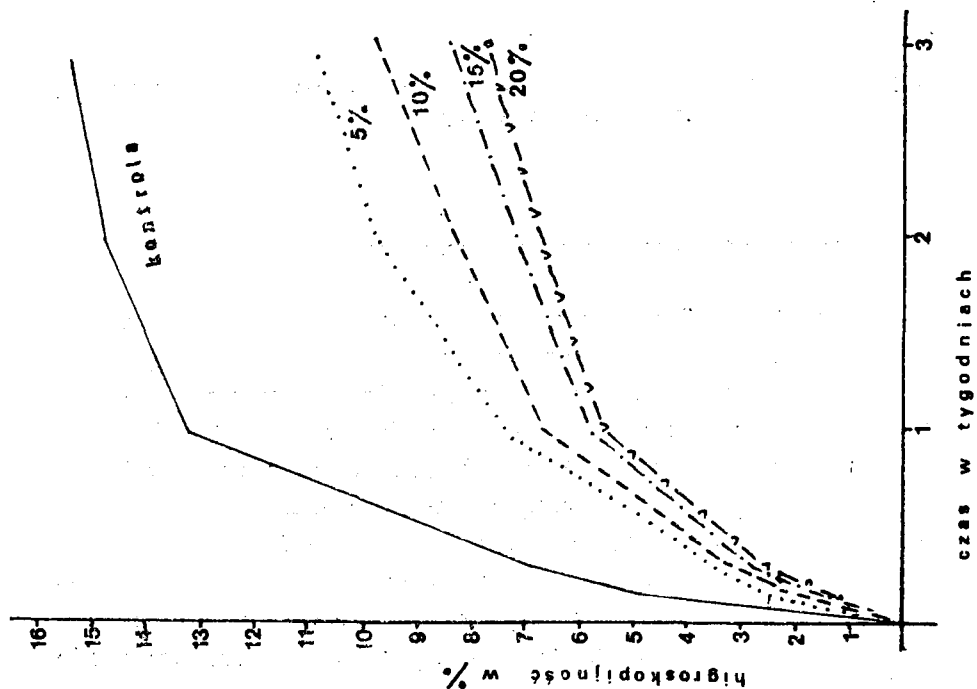
Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że impregnacja drewna żywicami termoplastycznymi zmniejsza jego higroskopijskość. Obniżenie możliwości chłonięcia pary wodnej zależy od stopnia nasycenia drewna żywicą, od rodzaju żywicy, higroskopijskości jej błon i metody impregnacji.



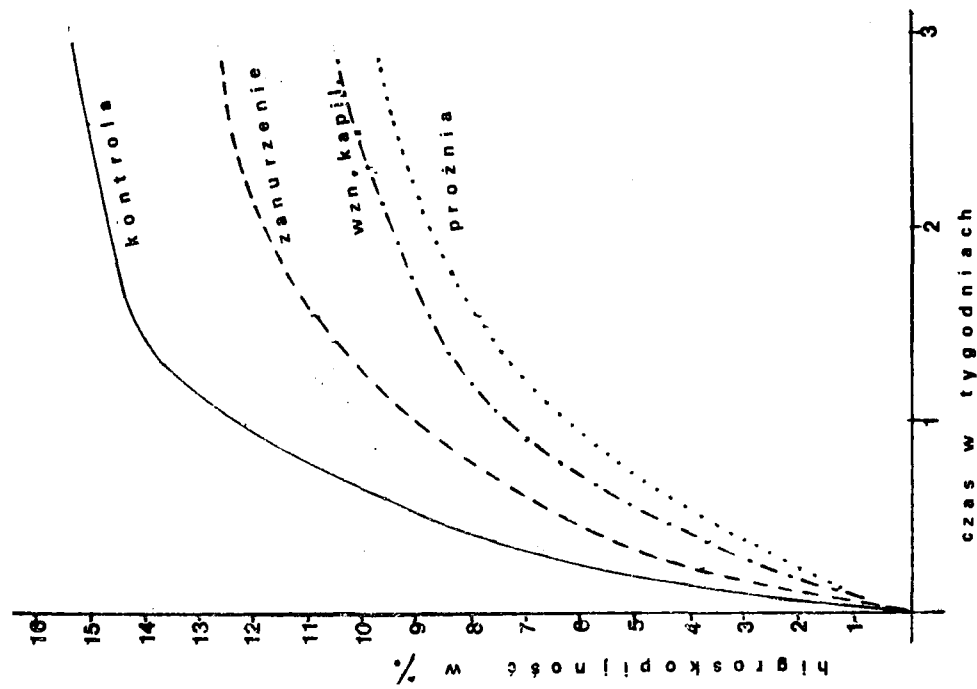
Rys. 5. Higroskopijność drewna lipy impregnowanego 20% roztworami żywic metodą wznoszenia kapilarnego

NASIĄKLIWOŚĆ WODĄ DREWNA IMPREGNOWANEGO

Kształtki drewna ($4 \times 4 \times 5$ cm) impregnowanego i nieimpregnowanego nasycono wodą metodą wznoszenia kapilarnego przez 4 doby. Znajdujące się w kapilarach drewna żywice zdecydowanie opóźniały ten proces. Próbkę nieimpregnowaną zwilżoną były całkowicie wodą już po 3—4 godzinach, natomiast impregnowane dopiero po 4 dobach. Z zamieszczonych w tab. 6 danych wynika, że nastąpił zdecydowany spadek nasiąkliwości w porównaniu z próbkami kontrolnymi. Spadek nasiąkliwości zależy od ilości żywicy znajdującej się w drewnie (stopnia nasycenia) i od metody impregnacji oraz rodzaju żywicy. Najlepsze wyniki (największy spadek nasiąkliwości) uzyskano w próbkach impregnowanych Osolanem, następnie Paraloidem i Movilithem.



Rys. 6. Zależność higroskopijności drewna od stężenia środka impregnującego. Drewno nasączone roztworami Osolanu KL metodą wznoszenia kapilarnego



Rys. 7. Zależność higroskopijności drewna od metody wprowadzania środka impregnującego. Drewno nasączone 20% roztworami Paraloidu B 72

Tabela 6

Nasiąkliwość wodą drewna lipowego impregnowanego żywicami termoplastycznymi
Czas nasycania — 4 doby

Lp.	Rodzaj żywicy	Metoda impregnacji	Nasiąkliwość wodą w ‰			
			Stężenie impregnatu			
			5‰	10‰	15‰	20‰
1	Drewno nieimpregnowane	—	62			
2	Paraloid B 72	zanurzenie	—	35	—	31
3	Paraloid B 72	wzn. kapil.	41	45	39	35
4	Paraloid B 72	próżnia	—	29	—	24
5	Osolan KL	zanurzenie	—	38	—	23
6	Osolan KL	wzn. kapil.	42	34	36	21
7	Osolan KL	próżnia	—	27	—	30
8	Poliocetan winylu	zanurzenie	—	38	—	39
9	Poliocetan winylu	wzn. kapil.	—	40	—	31
10	Poliocetan winylu	próżnia	—	36	—	33

WPŁYW IMPREGNACJI NA WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNĄ DREWNA

Impregnowane kształtki drewna (trzema żywicami z zastosowaniem trzech metod nasycania i różnych stężeń) ściskano wzdłuż włókien w prasie hydraulicznej. Uzyskane wyniki zamieszczone w tab. 7 nie pozwalają na jednoznaczną interpretację. Nieco wyższą wytrzymałość niż drewno nieimpregnowane wykazują próbki zawierające najwięcej żywicy w swojej strukturze, tzn. nasycane pod próżnią. Wydaje się, że określenie różnic wytrzymałościowych w nasyconym drewnie poszczególnymi żywicami, metodami itp. byłoby możliwe jedynie w przypadku przeprowadzenia badań na próbkach drewna zniszczonego. Drewno zdrowe jest bardzo wytrzymałe mechanicznie ($R_{sc}=640 \text{ Kg/cm}^2$) i wprowadzone w jego strukturę żywice termoplastyczne wpływają tylko nieznacznie na wzrost tych parametrów.

BADANIA NAD ROZŁOŻENIEM IMPREGNATU W STRUKTURZE DREWNA

W impregnacji materiałów porowatych roztworami żywic, gdzie twardnienie środka wzmacniającego odbywa się na zasadzie odparowania rozpuszczalnika, obserwuje się zjawisko tzw. migracji powrotnej. Polega ona na przemieszczaniu się żywicy wraz z rozpuszczalnikiem z wewnętrznych partii struktury porowatej ku powierzchni, poprzez którą następuje odparowanie. Zjawisko to badał w odniesieniu do impregnacji kamieni

Tabela 7

Wpływ impregnacji żywicami termoplastycznymi na wytrzymałość drewna lipy na ściskanie wzdłuż włókien

Lp.	Rodzaj żywicy	Metoda impregnacji	$R_{\text{śc}}$ wzdłuż włókien w Kg/cm ²			
			stężenie roztworu impregn. w %			
			5	10	15	20
1	Paraloid B 72	zanurzenie	—	630	—	717
2		wzn. kapil.	659	678	642	653
3		próżnia	—	617	—	702
4	Osolan KL	wzn. kapil.	648	682	667	684
5		próżnia	—	685	—	744
6	Movilith 40	zanurzenie	—	630	—	686
7		wzn. kapil.	—	724	—	700
8		próżnia	—	696	—	767
9	Kontrola		640			

Domasłowski¹⁵. Celem badań było sprawdzenie, czy tego typu zjawisko występuje również w drewnie i jaki jest jego zakres oraz jak rozkłada się żywica w strukturze drewna w zależności od warunków impregnacji.

W określeniu rozłożenia żywicy w strukturze drewna napotkano na duże trudności w metodyce badań. Stosowano kilka sposobów polegających na:

- wprowadzeniu do drewna roztworów żywic barwionych Sudanem IV, Rodaminą B i barwnikami tłuszczowymi,
- barwieniu przełomów impregnowanego drewna Safraniną,
- ekstrakcji wycinków drewna w aparacie Soxhleta.

Badania te nie dały zadowalających rezultatów. Dopiero wycięcie z impregnowanych kształtek drewna (w odstępach 1-centymetrowych) preparatów i obserwacja ich powierzchni pod mikroskopem w świetle padającym (powiększenie 100×) pozwoliły uzyskać dane obrazujące rozłożenie żywicy w drewnie.

Stwierdzono, że żywice we wszystkich próbach rozłożone były równomiernie w strukturze drewna w postaci błon wokół światła komórek. Grubość tych błon zależała od stopnia nasycenia drewna impregnatem — im wyższe stężenie, tym grubsze błony. Niewielkie prześwity komórek włókna drzewnego były przy dużych stężeniach impregnatu niemal całkowicie wypełnione żywicą. Migrację stwierdzono jedynie na niewielkiej głębokości pod powierzchnią przekrojów poprzecznych. Objawiało się to cał-

¹⁵ W. Domasłowski, *Badania nad strukturalnym wzmacnianiem kamieni roztworami żywic epoksydowych*, BMiOZ, Seria B. t. 15: 1966.

kowitym zablokowaniem przez żywicę komórek drewna na powierzchni tego przekroju na głębokość 2—3 mm. Pod tą silnie nasyconą warstwą stwierdzono na dalszej głębokości 3—4 mm znacznie mniej żywicy w komórkach drewna (cienkie błonki) niż w głębszych warstwach. Zjawisko to występowało wyraźniej w próbkach drewna nasyconych roztworami o stężeniu żywicy 5 i 10%.

Niewielkie różnice w rozłożeniu żywicy w strukturze drewna zauważono w przypadku stosowania różnych metod nasycania. Drewno nasycone metodami wznoszenia kapilarnego i pod próżnią miało całkowicie wypełnione żywicą komórki włókna drzewnego, natomiast nasycone metodą zanurzenia — większe prześwity komórek włókna posiadały wokół wyraźną grubą błonę. Uwagi te dotyczą w równym stopniu wszystkich stosowanych do badań żywic.

Z powyższych obserwacji wynika, że żywice termoplastyczne wprowadzone w postaci roztworów do drewna rozkładają się w jego strukturze równomiernie. Występuje co prawda zjawisko migracji żywicy ku powierzchni w trakcie odparowania rozpuszczalnika. Jest ono jednak niewielkie i odbywa się tylko w jednym kierunku, tzn. wzdłuż włókien. Nie powinno mieć praktycznie znaczenia dla dalszego stanu zachowania drewna, a przede wszystkim nie powinno wpływać ujemnie na jego pracę (kurczenie i pęcznienie) pod wpływem zmian wilgotności względnej powietrza.

ZMIANY W WYGLĄDZIE POWIERZCHNI IMPREGNOWANEGO DREWNA

Powierzchnia kształtek drewna impregnowanego badanymi żywicami termoplastycznymi uległa nieznacznemu ściemnieniu. Drewno nasycone Movilithem i Osolanem zmieniało się minimalnie. Nieco większe zmiany obserwowano pod wpływem Paraloidu. Intensywność zmian zależała też od stężenia roztworów impregnujących i metody. Najsilniej ciemniało drewno impregnowane pod próżnią.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Roztwory impregnatów wnikają w kapilary drewna praktycznie tylko w jednym kierunku, tzn. wzdłuż włókien, poprzez powierzchnie przekroju poprzecznego. Zjawisko to dotyczy przede wszystkim drewna zdrowego. W zniszczone i spękane struktury drewna obiektów zabytkowych substancje impregnujące będą wnikały na pewną, niekiedy znaczną, głębokość również i poprzez przekroje boczne. Uzależnione to będzie od rodzaju i głębokości zniszczeń drewna. Jednak charakterystyczny dla drewna kierunek przenikania roztworów będzie zawsze dominował.

2. Kierunek i szybkość odparowywania rozpuszczalników z impregno-

wanego drewna jest również zależny od budowy anatomicznej i odbywa się głównie poprzez powierzchnie przekroju poprzecznego drewna.

3. Szybkość wnikania kapilarnego roztworów impregnatów do drewna zależy od ich lepkości. Im niższa lepkość tym szybsze i zarazem głębsze wnikanie.

4. Stopień nasycenia drewna żywicą zależy od rodzaju i stężenia impregnatu oraz od metody nasycania. Ze stosowanych w pracy trzech metod impregnacji największe nasycenie żywicą uzyskano w metodzie próżniowej. Pozwala ona na głębokie i szybkie przesycenie drewna oraz na stosowanie impregnatów o dużych stężeniach i znacznej lepkości. Ma to szczególne znaczenie w obiektach zabytkowych, których stan wymaga silnego wzmocnienia mechanicznego. Krótki czas zabiegu jest dla obiektów polichromowanych bardzo cenną zaletą, gdyż większość spoiw malarskich jest wrażliwa na długie działanie rozpuszczalników. Do wad metody nasycania próżniowego należą: konieczność posiadania odpowiednio dużych komór próżniowych i ograniczone możliwości stosowania przy wzmacnianiu obiektów bardzo zniszczonych. Stosowane podciśnienie może być niebezpieczne dla obiektów zniszczonych na znaczną głębokość rozkładem brunatnym lub o strukturze całkowicie zniszczonej przez owady. W takich sytuacjach stosowanie metody próżniowej jest możliwe pod warunkiem wytworzenia w komorze niewielkiego podciśnienia. Należy jednak oczekiwać wtedy znacznego zmniejszenia efektywności zabiegu.

Również metoda impregnacji drogą wznoszenia kapilarnego daje dobre efekty. Uzyskuje się przy jej pomocy wysoki stopień nasycenia drewna żywicą. Można ją stosować do obiektów zabytkowych o każdym rodzaju i zakresie zniszczeń. Wadą jej w porównaniu z metodą próżniową jest stosunkowo długi czas nasycenia.

Najmniej wydajną z zastosowanych metod okazała się metoda zanurzenia.

5. Impregnacja drewna stosowanymi w pracy żywicami termoplastycznymi wpływa na zmianę szeregu jego właściwości. W zależności od rodzaju żywicy, stężenia roztworów impregnujących i metod nasycania, właściwości drewna zmieniają się w różnym stopniu.

6. Drewno nasycone badanymi żywicami posiada mniejszą higroskopijność w porównaniu z drewnem nieimpregnowanym. Cecha ta jest na pewno korzystna dla stanu zachowania impregnowanych obiektów zabytkowych. Zmniejszenie higroskopijności związane jest z ograniczeniem pracy drewna, jak również z ograniczeniem możliwości działania różnego rodzaju czynników destrukcyjnych, których występowanie uzależnione jest od odpowiednio dużej zawartości wilgoci w drewnie (np. działanie czynników biologicznych, procesy hydrolityczne itp.). Impregnacja badanymi żywicami powinna niemal całkowicie chronić drewno przed wpływem krótkotrwałych zmian wilgotności względnej otoczenia.

7. Impregnacja zmniejsza nasiąkliwość drewna wodą. Ma to znaczenie

w konserwacji obiektów zabytkowych, szczególnie narażonych na bezpośrednie działanie czynników atmosferycznych, z powodów wymienionych poprzednio.

8. Impregnacja wpływa niewątpliwie na zwiększenie wytrzymałości mechanicznej drewna, jednak w warunkach przeprowadzonych doświadczeń nie udało się tej zależności dokładnie określić.

9. Z badanych żywic najlepsze właściwości jako impregnat do drewna wykazał Osolan KL wprowadzony metodą kapilarnego wznoszenia. Przy pomocy tego środka uzyskano największy stopień nasycenia drewna i najlepsze jego właściwości. Nieco gorsze efekty otrzymano nasycając drewno Paraloidem B 72 i wreszcie Movilithem 40.

10. W warunkach przeprowadzonych doświadczeń żywice we wszystkich przypadkach rozłożyły się w strukturze drewna równomiernie. Zaobserwowano co prawda zjawisko migracji żywicy ku powierzchniom przekroju poprzecznego drewna, jest ono jednak nieznaczne i odbywa się tylko w jednym kierunku. Należy zaznaczyć, że w zniszczonej strukturze drewna migracja może mieć znacznie większy zakres i dotyczyć również powierzchni bocznych drewna.

Bożena Soldenhoff

DIE STÄRKUNG DES HOLZES MITTELS THERMOPLASTISCHER HARZLÖSUNGEN

(Zusammenfassung)

Die Abhandlung enthält Forschungsergebnisse zur Bestimmung von Imprägnierungseinflüssen mittels thermoplastischer Harze auf die Holzeigenschaften. Verwendet wurden folgende Harze: Paraloid B 72, Movilith 40 und Osolan KL in Toluollösungen.

Die Untersuchungen erlaubten folgendes zu bestimmen: den Einfluß der Harzart, die Konzentration der Lösungen, Methoden der Imprägnierung auf den Harzsättigungsgrad des Holzes, Beschränkung seiner Hygroskopizität und Wasseraufnahme, mechanische Verstärkung und Farbänderungen.

Darüber hinaus wurden bestimmt: die Eindrigungsrichtung der Imprägnate ins Holz, Geschwindigkeit und Richtung der Abdampfung der Lösungsmittel, die Zerlegung der Imprägnate in der Holzstruktur. Es wurde festgestellt, daß bei Einhaltung bestimmter Imprägnierungsbedingungen (entsprechende Konzentration, Methode und Zeit des Eingriffs) die untersuchten Harze mit Erfolg zur Verstärkung der zerstörten Holzdenkmalobjekte, die im Innern exponiert werden, angewendet werden können.