

Wacława Szmidel-Domasłowska, Wiesław Domasłowski

Konserwacja korony murów

Ochrona Zabytków 20/1 (76), 33-43

1967

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.

KONSERWACJA KORONY MURÓW*

1. WYMAGANIA STAWIANE WARSTWOM OCHRONNYM

Głównym czynnikiem niszczącym mury nieza-
bezpieczone dachem jest deszcz, który rozpu-
szcza węglan wapnia i rozmywa zaprawę. Poza
tym niszczenie zaprawy i cegieł następuje
wskutek zamarzania wody w okresie jesienno
i wiosenno-zimowym. Stąd celem ochrony koro-
ny murów, w przypadku niemożności pokrycia
ich dachem, należy stosować warstwy ochron-
ne przed wodą.

Warstwy tego rodzaju powinny odznaczać się
następującymi właściwościami:

a) powinny posiadać wysokie właściwości hy-
drofobowe, zbliżony do muru współczynnik roz-
szerzalności cieplnej oraz zbliżoną odporność
mechaniczną i porowatość,

b) powinny być elastyczne, odporne na działa-
nie czynników atmosferycznych, mikroorganiz-
mów i starzenie, twardnieć bez zmiany objęto-
ści (skurczu) w warstwach o dowolnej grubości,
oraz mieć dobrą przyczepność do muru,

c) nie powinny zawierać soli rozpuszczalnych w
wodzie i innych substancji, mogących wywierać
szkodliwe działanie na zaprawę i cegły.

Dzięki wysokim właściwościom hydrofobowym
warstwy ochronne powinny stanowić zaporę po-
wstrzymującą przesiąkanie wody opadowej
(deszcz, topniejący śnieg) do muru. Jest to pod-
stawowe zadanie tych warstw, trudne jednak
do osiągnięcia ze względu na konieczność speł-
niania wyżej wymienionych warunków, a przede
wszystkim warunku zachowania porowatości
otwartej. Zachowanie porowatości otwartej
wynika z konieczności umożliwienia odparowy-
wania wody zawartej w murze, a dostającej się
doń z gleby lub wskutek wsiąkania wody de-
szczowej (przy skośnie padającym deszczu). W
przypadku istnienia szczelnej lub mało porowa-

tej warstwy, powierzchniowe partie korony mu-
ru stykające się z cegłą będą przez bardzo dłu-
gi okres pozostawały w stanie wilgotnym wsku-
tek utrudnionego odparowywania wody. W wy-
niku zaprawa wapienna będzie rozpuszczana i
rozmięczana, a w przypadku zmian tempera-
tury poniżej i powyżej 0°C będzie następo-
wało w tych partiach intensywniejsze niszcze-
nie muru, spowodowane rozsadzającym działa-
niem lodu. Natomiast hydrofobowa, lecz poro-
wata warstwa uniemożliwia bądź utrudnia je-
dyne przenikanie wody ciekłej, lecz nie stano-
wi zapory dla pary wodnej, dzięki czemu nie
hamuje procesu odparowywania wody z muru.

Obecność warstwy izolującej o wymienionych
właściwościach (hydrofobowa i porowata) nie
rozwiązuje jednak całkowicie zagadnienia pra-
widłowej ochrony muru, w przypadku częstego
jego nawilżania wodą gruntową. Istnieje miano-
wicie wówczas niebezpieczeństwo, że przy du-
żej infiltracji wody z gruntu, na granicy muru
i warstwy izolującej będą krystalizowały roz-
puszczalne w wodzie sole, jako następstwo od-
parowywania wody. Działanie krystalizujących
soli jest bardziej niebezpieczne od działania za-
marzającej wody, gdyż narastające kryształy w
porach cegły czy zaprawy, mogą wywierać
większe ciśnienie na otaczające je ścianki, a
poza tym częstotliwość rozpuszczania i ich kry-
stalizacji jest w naszych warunkach atmosferycz-
nych większa niż zamarzania i odmarzania
wody. Należy podkreślić, że jeżeli mur znajdu-
je się na gruncie mokrym, lub często nawilżanym,
to ilość odkładanych soli będzie wzrastała i w
konsekwencji nastąpi nieuchronne zniszczenie
tych partii, w których sole osadzały się. Dlatego
też wydaje się celowe pokrycie powierzchni
korony muru dwoma lub trzema warstwami
ochronnymi. Pierwsza z nich, leżąca bezpośrednio
na murze powinna posiadać dużą porowatość,
wyższą od porowatości cegieł i zaprawy
wapiennej, aby możliwe było przenikanie do
niej wody zawartej w murze. Funkcja tej
warstwy polegałaby na akumulowaniu kry-

* Praca podjęta z inicjatywy Wojewódzkiego Konser-
watora Zabytków w Bydgoszczy, oraz Miejskiego Kon-
serwatora Zabytków w Toruniu.

stalizujących soli i w przypadku dużych ich ilości ulegałaby ona w pierwszym rzędzie zniszczeniu, a nie składniki muru. Następna warstwa powinna odznaczać się niższą porowatością, a co za tym idzie wyższą odpornością mechaniczną i niższą nasiąkliwością wodą. Ewentualna trzecia warstwa powinna posiadać jeszcze niższą porowatość i nasiąkliwość, a wyższą odporność mechaniczną. Zadanie warstwy powierzchniowej polegałoby wyłącznie na zabezpieczeniu muru przed przenikaniem wody opadowej oraz uszkodzeniem mechanicznym.

Oprócz wymienionych czynników duży wpływ na trwałość zabezpieczenia ma współczynnik rozszerzalności cieplnej muru i warstwy ochronnej. W przypadku dużych różnic na granicy warstw będą powstawały w wyniku zmian temperatury naprężenia ścinające, prowadzące do zniszczenia warstwy o niższych wskaźnikach mechanicznych (ewentualnie obydwu warstw). W omawianym układzie mamy do czynienia z trzema różnymi materiałami (cegła, zaprawa wapienna, warstwa izolująca), z których cegła i zaprawa wapienna mają zbliżone współczynniki rozszerzalności. Wartość współczynnika warstwy izolującej może ulegać dużym zmianom w zależności od zastosowanego materiału. W przypadku dużych różnic w pierwszym rzędzie będzie ulegała zniszczeniu zaprawa wapienna (warstwa powierzchniowa powinna mieć wyższą odporność mechaniczną), w partiach pozostających w kontakcie z warstwą ochronną. W dalszej kolejności zniszczeniu będzie ulegała cegła lub warstwa izolująca (także w zależności od właściwości mechanicznych). W pierwszym przypadku ulegnie zniszczeniu powierzchnia cegieł, w drugim nastąpi spękanie i utrata przyczepności warstwy izolacyjnej. Zjawisko powyższe może jednak nie występować, jeżeli warstwa ochronna, pomimo różnego współczynnika rozszerzalności, będzie odznaczała się dużą elastycznością. Warstwy twarde i sztywne

muszą ulec zniszczeniu (zaprawa cementowa), lub spowodować zniszczenie powierzchni muru. Dlatego też oprócz warunku zbliżonej rozszerzalności cieplnej warstwa izolująca nie powinna mieć wyższej odporności mechanicznej od podłoża (cegły). Warunek ten może być spełniony przy zakładaniu dwóch (trzech) warstw izolujących. Pierwsza warstwa (stykająca się z murem) powinna być, jak zaznaczono porowata, a co za tym idzie jej odporność mechaniczna powinna być stosunkowo niska. Zwiększenie porowatości, a zarazem obniżenie odporności mechanicznej można uzyskać stosując większe ilości wypełniacza w stosunku do lepiszcza, a zatem wraz ze wzrostem ilości wypełniacza (piasek, miąż kamienny) będzie także ulegał obniżeniu współczynnik rozszerzalności cieplnej tej warstwy. Jak z tego wynika stosowanie warstwy pośredniej pozwala zrealizować szereg ważnych dla trwałości obiektu postulatów. Warstwę powyższą można więc nazwać, ze względu na spełnioną funkcję, warstwą amortyzującą.

Ze stosowania jej wynika także i inna korzyść, a mianowicie ta, że wraz ze zwiększaniem ilości wypełniacza w stosunku do lepiszcza maleje skurcz zapraw będący następstwem ich wiązania, bądź wysychania (wyjątek gips), co także jest niezmiernie ważnym czynnikiem. W przypadku dużego skurczu powstaną na granicy łączenia z murem naprężenia, w wyniku których przy zmianach temperatury nastąpi utrata przyczepności warstwy izolującej, jej spękanie i odpadanie od podłoża. Należy zaznaczyć, że przy znacznym skurczu zapraw powstają w powłokach pęknięcia już w trakcie wysychania (wiązania). Oczywiście warstwa taka nie będzie spełniała swych zadań. Poza tym w przypadku wiązania zapraw bez zmiany objętości można nakładać je w dowolnie grubych warstwach, co jest także ważnym czynnikiem z punktu widzenia ekonomicznego.

2. WŁAŚCIWOŚCI WARSTW OCHRONNYCH, UZYSKIWANYCH Z MIESZANIN ŻYWIC EPOKSYDOWYCH Z WYPEŁNIACZAMI

Stosowane dotychczas materiały do ochrony kory murów nie spełniają większości wymienionych wyżej wymagań. Zaprawa cementowa, która znalazła największe zastosowanie, jest twarda, krucha i różni się zwykle współczynnikiem rozszerzalności termicznej od muru. Ulega ona spękaniu i odspajaniu, bądź niszczy składniki muru.

Inne materiały izolacyjne, stosowane na skalę przemysłową, jak asfalty, szkło wodne i roztwory kazeiny w mieszaninie z wypełniaczami mineralnymi i różnymi dodatkami, także odznaczają się dużymi wadami, uniemożliwiającymi stosowanie ich do ochrony obiektów zabytkowych.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że dotychczas brak jest publikacji dotyczących badań nad zagadnieniem ochrony murów.

W nawiązaniu do sformułowanych wymagań należy stwierdzić, że odpowiednie materiały izolujące można uzyskać stosując żywice epoksydowe w mieszaninie z wypełniaczami mineralnymi, np. piaskiem.

Ciekłe żywice mogą być utwardzane w temperaturze normalnej, tworząc ciała stałe twarde, o znacznej elastyczności i wytrzymałości mechanicznej, odporne na działanie wody, czynników atmosferycznych, podwyższonej i niskiej temperatury, mikroorganizmów i starzenie. Do

utwardzania najczęściej stosuje się trójetylenoczweroaminę.

Żywice epoksydowe nie zawierają żadnych substancji mogących wpływać szkodliwie na mury. Utwardzaniu żywicy towarzyszy skurcz (przejście od ciała ciekłego do ciała stałego) w granicach 1—2%, który wydatnie obniżają dodatki wypełniaczy. Badając mieszaniny żywicy epoksydowej z piaskiem, w których na 1 część żywicy przypadało 10 ÷ 50 części piasku, nie zdołano stwierdzić, na kształtkach długości 12 cm skurczu (dokładność pomiaru 0,01 mm)¹.

2.1. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW EPOKSYDOWYCH

Badania, które przeprowadzono stosując żywicę epoksydową oraz piasek, pozwoliły ustalić szereg parametrów mających wpływ na własności mieszanin (przed i po utwardzeniu). Do doświadczeń stosowano:

- żywicy Epidian 5 (Ep 5),
- trójetylenoczweroaminę (TECZA),
- piasek o granulacji 0,125/0,250(Ps).

Próbki sztucznego kamienia (zapraw) otrzymywano stosując:

- żywicy epoksydową bez rozpuszczalników (100%) i b) roztwory żywicy epoksydowej.

ad. a) do określonej ilości żywicy (w gramach) dodawano 20% utwardzacza (w ml) i po dokładnym wymieszaniu ucierano z piaskiem. Mieszaniny umieszczano w formach o wym. 20 × 20 × 20 mm i utwardzono przez 3 godziny w temperaturze 80°C i 1 godzinę w 160°C (w przypadku stosowania innych warunków utwardzania zaznaczono opisując doświadczenie).

ad. b) piasek wsypywano do form o wym. 5 × 5 × 7 cm, a następnie dodawano 20% roztwór żywicy Epidian 5 w mieszaninie toluen + metanol = 1 : 2. Formy przykrywano i utwardzono sztuczne kamienie przez 10 dni w odizolowanej od atmosfery komorze, suszono przez 10 dni w temperaturze normalnej, a następnie przez 6 godzin w temperaturze 100°C. Do utwardzania stosowano TECZA w ilości 18%.

Zbadano wpływ różnych czynników na własności mechaniczne, nasiąkliwość, wodo- i mrozoodporność oraz rozszerzalność cieplną sztucznych kamieni (zapraw).

Sposób wykonania badań:

- Odporność mechaniczna (Rśc).

Określano odporność na ściskanie. Badania próbek uzyskanych bez rozpuszczalników zostały wykonane przez Laboratorium Zespołu Toruńskich Zakładów Ceramiki Budowlanej w Grębocinie. Wyniki prób po-

dano w kG/cm². Badania pozostałych próbek przeprowadził autor.

- Wodoodporność (Rw).

Próbki o wymiarach 20 × 20 × 20 mm zanurzano do wody na 24 godziny, a o wymiarach 50 × 50 × 50 mm na 48 godzin i następnie badano ich odporność na ściskanie.

- Nasiąkliwość (N).

Próbki wysuszone do stałego ciężaru w temp. 110°C nasycano wodą o temperaturze pokojowej przez okres 1 doby (o wym. 2 × 2 × 2 cm) i 2 doby (5 × 5 × 5 cm).

- Mrozoodporność.

Próbki nasycone wodą zamrażano w temperaturze -23 ÷ -20°C przez 1 godzinę, zanurzano na 15 minut do wody o temperaturze 55—65°C, a następnie do wody o temperaturze 18—20°C, i po 15 minutach ponownie zamrażano. Wykonano 50 cykli zamrażania i odmrażania, sprawdzając po każdym 10 cyklach stan zachowania próbek.

- Rozszerzalność cieplna.

Rozszerzalność badano na próbkach długości ok. 8 cm i średnicy ok. 1 cm w dylatometrze kwarcowym, w zakresie temperatur 0 ÷ 100°C.

2.1.1. Wpływ rozpuszczalników na własności sztucznych kamieni.

Ciekłe żywice epoksydowe odznaczają się dobrą zwilżalnością, dzięki czemu można mieszać z nimi bardzo duże ilości piasku, przy czym, z uwagi na wysoką lepkość żywicy, mieszaniny takie posiadają znaczną kleistość, spistość i plastyczność. Te ostatnie cechy pozwalają na nakładanie mieszanin nawet na powierzchnie pionowe, oraz na formowanie plastyczne mieszanin. Przeciwstawieniem omawianych zalet jest fakt, że uzyskanie jednorodnych mieszanin wymaga dużego nakładu pracy (duża lepkość żywicy utrudnia mieszanie). Bez trudu i szybko można natomiast mieszać piasek ze stężonym roztworem żywicy. Przeciwstawieniem tej zalety jest z kolei obniżenie spistości, kleistości i plastyczności mieszanin, które stają się bardziej sypkie. O ile pierwsze z wymienionych mieszanin można stosować do formowania, czy jak wspomniano do nakładania na powierzchnie pionowe, o tyle drugie do kształtowania nie nadają się i na powierzchnie pionowe mogą być nakładane jedynie w cienkich warstwach. Przy dużym rozcieńczeniu żywicy, a zatem znacznym obniżeniu lepkości można je użyć tylko do nakładania na powierzchnie nachylone pod pewnym kątem.

Do wad wynikających ze stosowania roztworów należy obniżenie mechanicznej odporności żywicy. Przykładem są wyniki badań żywicy na złamanie (Rzg) zamieszczone w tabeli nr 1 (próbki o wym. 4 × 10 × 15 mm badano w aparacie „DynaSta”). Uzyskane rezultaty pozwalają stwierdzić, że nawet niewielkie dodatki rozpuszczalników (20%) obniżają odporność mechaniczną żywicy. W przypadku toluenu

Tabela 1

Wpływ dodatków rozpuszczalników do żywicy epoksydowej (Ep 5) na jej odporność na złamanie.
stężenie roztworu : 80%
stężenie TECZA : 20%

rozpuszczalnik	Rzg kG/cm ²	spadek Rzg %
bez rozpuszczalnika	1356	—
etanol	1145	15,5
toluen	884	34,8

¹ W. Domasłowski, *Badania nad technologią materiałów do kitowania i rekonstrukcji kamiennych rzeźb i detali architektonicznych*, Zeszyty Naukowe UMK w Toruniu 1966, Z. 21, s. 179.

spadek t:n jest bardzo duży, bo około 1/3 wytrzymałości próbek nie zawierających rozpuszczalników. Ponieważ alkohol wywiera mniejszy wpływ na właściwości mechaniczne żywicy, jego mieszaniny z toluenem (lub innymi węglowodorami aromatycznymi) pozwalają uzyskać sztuczny kamień o lepszych właściwościach niż z samym toluenem. Obrazują to wyniki badań podane w tabeli 2. Sztuczne kamienie uzyskano mieszając piasek z roztworem żywicy.

Tabela 2

Wpływ mieszanin toluen+metanol (T+M) na właściwości sztucznego kamienia.

rozpuszczalnik	Cob g/cm ³	Rśc kG/cm ²	spadek %
bez rozpuszczalnika	1,626	186	—
T+M = 1 : 4	1,744	174	6,5
T+M = 1 : 2	1,741	161	13,4
T	1,687	135	27,4

Jak wynika z tabeli nr 2 próbki uzyskane z 20% roztworem żywicy wykazują niższe właściwości mechaniczne od próbek otrzymanych przez zmieszanie żywicy 100% z piaskiem. Różnice powyższe byłyby jeszcze większe, gdyby ciężar objętościowy próbki nr 1 był wyższy. Na odporność mechaniczną wywiera także wpływ ilość alkoholu w stosunku do toluenu. Przy dużej zawartości alkoholu odporność próbek jest wyższa. Dane powyższe pokrywają się z wynikami tabeli nr 1.

2.1.2. Wpływ temperatury utwardzania na właściwości sztucznych kamieni.

Badania, które przeprowadzono nad utwardzaniem żywic epoksydowych wykazały, że próbki utwardzane przez 1 godzinę w temperaturze 50°C wykazywały maksymalną odporność na zginanie, wyższą o ponad 200% od próbek utwardzanych przez 48 godzin w temperaturze pokojowej². Różnice te stawały się z biegiem czasu mniejsze i próbki utwardzane w temperaturze pokojowej przez 126 dób uzyskiwały odporność zbliżoną do utwardzanych (1 godz.) w temperaturze 50°C. W przypadku stosowania mieszanin żywicy z piaskiem (lub innym wypełniaczem) utwardzanie w temperaturze pokojowej i związana z tym odporność mechaniczna są uzależnione od ilości stosowanego wypełniacza, oraz od rodzaju spoiwa (roztwór, żywica 100%). Jeżeli stosuje się żywicę 100%, to wraz ze zwiększeniem ilości wypełniacza maleje zdolność utwardzania się żywicy w temperaturze pokojowej. I tak na przykład po 30 dobach utwardzania, próbki zawierające 10 części piasku na 1 część żywicy wykazywały o 55,4% niższą odporność na złamanie, a z 30 częściami piasku o 36,5% od próbek utwardzanych przez 3 godziny w temperaturze 80°C i 1 godzinę w temperaturze 160°C. Biorąc pod uwagę fakt: 1) że całkowite utwardzanie w temperaturze pokojowej lanej żywicy epoksydowej (bez rozpuszczalnika) nie zawierającej wypełniacza, lub zawierającej go w takiej ilości, że mieszaniny są nieporowate jest tylko kwestią czasu, 2) oraz to że b. cienkie powłoki żywicy i mieszaniny porowate nie ulegają pełnemu utwardzeniu w temperaturze pokojowej, a wyłącznie w podwyższonej, wyrażono przypuszczenie, że zjawisko powyższe wywołane jest inhibującym wpływem gazów atmosferycznych (para wodna, dwutlenek węgla?). Hipotezę powyższą potwierdza także to, że próbki wykonane z piasku i roztworów żywicy epoksydowej mogą być utwardzane w temperaturze

pokojoyej pomimo stosowania dużych ilości piasku. Jak podano wyżej, próbki te wykonywano w ten sposób, że piasek w formach zalewano roztworem, aż do całkowitego wypełnienia wolnych przestrzeni, a następnie utwardzano przez 10 dób w warunkach uniemożliwiających odparowanie rozpuszczalnika. Jak z tego wynika, utwardzanie żywicy odbywało się bez możliwości oddziaływania gazów atmosferycznych. Powyższe wywody ilustrują wyniki badań zamieszczone w tabeli nr 3.

Tabela 3

Wpływ czasu i temperatury utwardzania żywicy epoksydowej na odporność mechaniczną sztucznych kamieni.

rodzaj spoiwa	Ep : Ps	Temp. utwardzania °C	czas utwardzania w dobach	Cob g/cm ³	Rśc kG/cm ²	wzrost Rśc %
100% Ep5	1 : 50	pokojoya	50	1,641	17	—
		3 godz.	80	1,543	65	282
			100	1,633	83	388
			130	1,628	144	747
		160	1,625	144	747	
20% roztwór Ep5	1 : 30	pokojoya	25	1,749	158	—
			40	1,739	149	—
			70	1,791	175	—
		pokojoya	25	1,740	161	—
		100	6 godz.	1,740	161	—

Jak wynika z liczb przytoczonych w tabeli nr 3, dla pełnego utwardzenia sztucznego kamienia, otrzymanego z żywicy 100%, konieczne jest ogrzewanie go w temperaturze wyższej od 100°C. Kamienie utwardzane w temperaturze pokojowej odznaczają się bardzo niską odpornością. Należy nadmienić, że pełne utwardzenie, a tym samym maksymalny wzrost odporności mechanicznej sztucznych kamieni można osiągnąć ogrzewając je po dowolnie długim okresie czasu utwardzania w temperaturze pokojowej. Np. próbki po 50 dobach utwardzania w temperaturze pokojowej, oraz 3 godzinach w temperaturze 150°C posiadały odporność 128 kG/cm² a więc o 653% wyższą (tabl. 3, pr. nr 1).

W przypadku mieszanin z roztworem żywicy epoksydowej podwyższona temperatura nie wywarła wpływu na odporność mechaniczną. Można uznać, że po 25 dobach utwardzania w temperaturze pokojowej następuje całkowite utwardzenie żywicy. Obserwowany po 70 dobach wzrost wytrzymałości (ok. 11%) może być zarówno wynikiem wzrostu usieciowania żywicy, całkowitego odparowania rozpuszczalnika, jak też większego ciężaru objętościowego próbek. Te same wyniki, jeżeli chodzi o szybkość i stopień utwardzania żywicy w temperaturze pokojowej, uzyskuje się mieszając żywicę (zawierającą utwardzacz) z wypełniaczem, a następnie po zagęszczeniu (ubicu), nasycając mieszaninę cieczą, aż do wypełnienia wolnych przestrzeni (porów). Omawianą cieczą może być benzyna, w której żywica nie rozpuszcza się, lub alkohole, w których rozpuszcza się częściowo.

Utwardzanie sztucznych kamieni, uzyskanych z roztworów żywicy epoksydowej przez 10 dób w warunkach uniemożliwiających odparowanie rozpuszczalnika nie jest podyktowane wyłącznie koniecznością odizolowania żywicy od wpływu gazów atmosferycznych. Przeprowadzone badania nad utwardzaniem żywic epoksydowych w roztworach wykazały bowiem, że w wyniku krótkotrwałego utwardzania, pozostają

² W. D o m a s ł o w s k i, *Badania...*, op. cit. s. 172.

w roztworach duże ilości rozpuszczalnych frakcji żywicy³. Zjawisko to nie jest korzystne, albowiem zawarta w roztworze żywica migruje w przypadku swobodnego odparowywania rozpuszczalnika i osadza się w powierzchniowych porach warstw izolujących, kitów, czy sztucznych kamieni.

2.1.3. Wpływ rodzaju żywicy epoksydowej na odporność mechaniczną sztucznych kamieni.

W Polsce, Zakłady Chemiczne „Sarzyna” produkują pięć podstawowych typów żywicy epoksydowych: Epidian 1 ÷ 5. Epidian 1 i 2 są ciałami stałymi i w temperaturze normalnej mogą być utwardzane jedynie w postaci roztworów. Epidian 3 ÷ 5 są gęstymi cieczkami o dużej lepkości, malejącej wraz ze wzrostem podanych liczb. Mogą być utwardzane zarówno w roztworach, jak w postaci bezrozpuszczalnikowej (żywica 100%). Postać fizyczna żywicy jest uwarunkowana ich ciężarem cząsteczkowym, oraz związaną z nim zawartością grup epoksydowych w żywicy. Najwyższy ciężar i najniższą liczbę epoksydową posiadają żywice Epidian 1 — w przeciwieństwie do żywicy Epidian 5. Wpływ, jaki wywiera rodzaj żywicy na właściwości mechaniczne sztucznych kamieni ilustruje tabela 4. Do ich otrzymania stosowano 20% roztwory żywicy.

Tabela 4

Wpływ rodzaju żywicy epoksydowych na właściwości mechaniczne sztucznych kamieni
Ep : Ps = 1 : 30

rodzaj żywicy	ilość TECZA %	Cob g/cm ³	Rśc kG/cm ²	spadek Rśc w stosunku do próbek z Ep 1 %
Ep 1	7,2	1,749	182	—
Ep 2	10,8	1,729	180	1,1
Ep 3	14,4	1,706	149	18,1
Ep 4	16,0	1,737	154	15,4
Ep 5	18,0	1,741	161	11,6

Jak wynika z tabeli próbki otrzymane z żywicą Epidian 1 i 2 posiadały większą odporność na ściskanie od pozostałych. Ten niewielki wzrost (11—18%) można przypisać jednak błędom doświadczenia, a nie właściwości żywicy, ponieważ badania nad impregnacją kamieni nie potwierdziły przedstawionych powyżej wyników⁴. Rodzaj stosowanej żywicy w praktyce nie wydaje się więc, z punktu widzenia odporności mechanicznej tworzyw, istotny.

2.1.4. Wpływ stężenia trójetylenoceteroaminy na właściwości sztucznego kamienia.

Badania przeprowadzone nad utwardzaniem żywicy epoksydowych przy pomocy trójetylenoceteroaminy pozwoliły ustalić, że wraz ze wzrostem jej stężenia różnie szybkość utwardzania, oraz następuje zwiększenie mechanicznej odporności żywicy, a obniżenie jej odporności na podwyższoną temperaturę⁵. Do badań uży-

³ W. Domasłowski, T. Zaremba, *Badania nad ustaleniem optymalnych warunków impregnacji drewna roztworami żywicy epoksydowych*, Zeszyty Naukowe UMK, w druku. W. Domasłowski, *Badania nad strukturalnym wzmacnianiem kamieni przy pomocy roztworów żywicy epoksydowych*, Biblioteka Muzeal-

to TECZA w ilości odpowiadającej liczbie epoksydowej stosowanej żywicy Epidian 5 oraz jej 50 i 100% nadmiar. Piasek mieszano z 20% roztworem żywicy. Wyniki podano w tabeli 5.

Tabela 5

Wpływ stężenia trójetylenoceteroaminy na właściwości sztucznego kamienia.

Ep : Ps = 1 : 30

Ilość TECZA %	Cob g/cm ³	Rśc kG/cm ²	wzrost Rśc %
12	1,739	140	—
18	1,741	161	15,0
24	1,719	172	23,0

Z tabeli 5 wynika, że wraz ze zwiększaniem stężenia TECZA następuje pewien wzrost odporności mechanicznej. Wzrost ten jest jednak zbyt mały, aby można mu przypisywać duże znaczenie dla celów praktycznych.

2.1.5. Wpływ ilości wypełniacza na odporność mechaniczną sztucznego kamienia

Jak wspomniano, z żywicą epoksydową można zmieszać nawet bardzo duże ilości piasku, niemniej maksymalną jego ograniczają właściwości mechaniczne i fizyczne produktów. Wraz ze zwiększaniem ilości piasku odporność mechaniczna ulega obniżeniu, a wzrasta porowatość. Ilustruje to tabela 6.

Tabela 6

Wpływ ilości piasku w stosunku do żywicy epoksydowej na odporność mechaniczną sztucznych kamieni

rodzaj spoiwa	Ep : Ps	Cob g/cm ³	Rśc kG/cm ²	spadek Rśc %
100% Ep 5	1 : 10	1,766	538	—
	1 : 30	1,626	186	54,1
	1 : 50	1,590	138	65,9
30% roztwór Ep 5	1 : 18	1,790	217	—
20% roztwór Ep 5	1 : 30	1,741	161	25,8

Wyniki zamieszczone w tabeli 6 wskazują, że próbki uzyskane z roztworami żywicy epoksydowych, pomimo większych ciężarów objętościowych posiadają niższą odporność mechaniczną. Jeszcze raz potwierdza się więc słuszność tezy o niekorzystnym wpływie rozpuszczalników na właściwości żywicy.

W przypadku stosowania żywicy bezrozpuszczalnikowych spadek odporności występuje wraz ze zmniejszeniem ciężaru objętościowego sztucznego kamienia. Należy to przypisać większemu tarcu przy stosowaniu dużych ilości piasku, które utrudnia zagęszczenie mie-

nictwa i Ochrony Zabytków, Warszawa 1966, t. XV, s. 99.

⁴ W. Domasłowski, *Badania nad strukturalnym...*, op. cit., s. 126.

⁵ W. Domasłowski, *Badania nad technologią...*, op. cit., s. 170.

szanin. Jeżeli stosuje się roztwory, różnice ciężarów objętościowych są z podanych przyczyn mniejsze. Oczywiście wraz ze zmniejszaniem ilości żywicy w stosunku do piasku maleje odporność mechaniczna, pomimo zbliżonych ciężarów objętościowych sztucznych kamieni.

Ponieważ na właściwości mechaniczne wywiera duży wpływ ciężar objętościowy sztuczного kamienia, a więc gęstość ułożenia ziarn piasku i, co za tym idzie, wielkość powierzchni ich sklejenia, celem zwiększenia odporności na ściskanie należy stosować mieszaninę piasku grubo i drobnoziarnistego w takim stosunku, aby wykazywała ona najwyższą szczelność. Świadczą o tym wyniki badań zestawione w tabeli nr 7. Próbkę uzyskano stosując żywicę bez rozpuszczalnika. Najpierw mieszano z żywicą frakcją gruboziarnistą, a następnie drobnoziarnistą. Poszczególne frakcje piasku otrzymano przesiewając go przez sito o oczkach kwadratowych. W rubryce 1-szej podano długości boku oczka w mm.

Tabela 7

Wpływ ciężaru objętościowego wypełniacza (szczelności) na mechaniczną odporność sztuczного kamienia
Ep : Ps = 1 : 50

rodzaj frakcji piasku	Cob piasku g/cm ³	Cob sztuczного kamienia g/cm ³	wzrost Cob sztuczного kamienia %	Rśc kG/cm ²	wzrost Rśc %
100% 0,125/0,250	1,587	1,559	—	147	—
80% 0,25/0,50 20% 0,063/0,125	1,852	1,840	18,0	217	47,6
60% 1,0/1,6 40% 0,125/0,25	1,942	1,933	24,0	222	51,0

Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że stosując piasek składający się z dwóch frakcji znacznie różniących się wielkością ziarn, oraz użytych w takich ilościach, aby mieszanina posiadała najwyższą szczelność, można bardzo znacznie zwiększyć odporność mechaniczną sztuczного kamienia. Zjawisko to jest spowodowane tym, że drobne ziarna piasku wypełniają wolne przestrzenie pomiędzy cząsteczkami o większej średnicy, wskutek czego następuje zwiększenie ilości punktów stykowych pomiędzy nimi, a tym samym wzmocnienie „szkieletu” sztuczного kamienia.

Stosując piasek o dwóch różnych frakcjach można stosować większe ilości wypełniaczy przy zachowaniu wysokiej odporności sztuczного kamienia na ściskanie. Wynika to z tabeli nr 8. Do uzyskania sztuczного kamienia stosowano żywicę bez rozpuszczalnika.

Porównując uzyskane rezultaty z danymi zamieszczonymi w tabeli nr 6 możemy stwierdzić, że w przypadku stosowania ziarn mieszanych piasku nastąpił wzrost odporności przy próbkach z 30 częściami piasku o 86%, a 50 o 57%. Przy dalszym zwiększaniu ilości piasku odporność ulega dalszemu obniżeniu.

Tabela 8

Wpływ ilości wypełniacza o maksymalnej szczelności na właściwości mechaniczne sztuczного kamienia
skład piasku : 80% frakcji 0,25/0,50
: 20% frakcji 0,063/0,125

Ep : Ps	Cob g/cm ³	Rśc kG/cm ²	spadek Rśc %
1 : 30	1,920	346	—
1 : 50	1,840	217	37,3
1 : 60	1,846	132	61,9
1 : 70	1,796	108	68,8

Na odporność mechaniczną sztuczного kamienia wywiera także wpływ kolejność mieszania składników. W przypadku mieszania z żywicą najpierw frakcji gruboziarnistej, a następnie drobnoziarnistej sztuczny kamień posiada o ponad 30% wyższą odporność niż w przypadku mieszania z żywicą mieszaniny obu frakcji. Zjawisko powyższe zaobserwował Michaels i zostało ono potwierdzone badaniami przeprowadzonymi przez autora⁶.

2.1.6. Wodoodporność sztuczного kamienia.

Żywica epoksydowa odznacza się wysoką hydrofobowością i całkowitą wodoodpornością. Stwierdzenie całkowitej wodoodporności dotyczy żywic lanych, spoin klejowych, oraz powłok ochronnych. Nieco mniejszą wodoodpornością odznaczają się natomiast bardzo cienkie błonki żywicy, jakie tworzą się w wyniku zmieszania jej z dużą ilością wypełniaczy. Na przykład przy zmieszaniu z 1 częścią żywicy 50-ciu części piasku o granulacji 0,074/0,149, powstaje na jego ziarnach błona o grubości około 0,7 mikrona, a w przypadku piasku o granulacji 0,297/0,420 około 2,5 mikrona. Tak bardzo cienkie błony ulegają większemu pęcznieniu niż błony grube, (w których pęcznieniu ulega jedynie cienka warstewka powierzchniowa), stąd obserwuje się spadek odporności sztuczного kamienia po jego nasyceniu wodą.

Na wodoodporność sztuczного kamienia nie wywierają wpływu takie czynniki, jak stężenie trójetyleno-czterooaminy, ilość piasku w stosunku do żywicy (przy dużych jego ilościach), szczelność mieszanin piasku oraz nasiąkliwość sztuczного kamienia.

W przypadku stosowania rozcieńczonych roztworów żywic epoksydowych wodoodporność sztucznych kamieni jest także niezależna od temperatury utwardzania. Jest ona natomiast uzależniona od temperatury utwardzania, jeżeli używa się żywic bez rozpuszczalników. Wraz z wzrostem temperatury (badano do temperatury 160°C) wodoodporność rośnie. Zjawisko powyższe jest oczywiście związane ze stopniem usieciowania żywicy. Kamienie sztuczne, uzyskiwane z roztworami żywic, już po 25 dobach utwardzania w temperaturze pokojowej uzyskują dużą wodoodporność. Ilustruje to tabela nr 9 (stosowano 20% roztwór żywicy).

Spadek odporności próbek utwardzanych ponad 25 dób w granicach dwudziestu kilku procent można uznać za niewysoki. Jak wynika z tabeli wraz z czasem utwardzania wodoodporność wzrasta. Przyczyną tego jest zarówno zwiększenie stopnia usieciowania żywicy, jak i ulatniania się rozpuszczalnika. Podane wyniki nasiąkliwości wodą są bardzo niskie, co należy przypisać właściwościom hydrofobowym żywicy. Przeprowadzone badania przy pomocy benzyny wykazały, że

⁶ A. S. Michaels, *A low cost construction material*, Industrial and Engineering chemistry, t. II. (1960)

nr 9, s. 785; W. Domasłowski, *Badania nad technologią...*, op. cit. 192.

Tabela 9
Wpływ czasu utwardzania żywicy epoksydowej
w temperaturze pokojowej
na wodoodporność sztucznych kamieni
Ep : Ps = 1 : 30

czas utwardzania w dobach	N %	Rw kG/cm ²	wzrost Rw w stosunku do próbek utwardzanych 25 dób %	spadek Rw w stosunku do próbek suchych (tabl. 3) %
25	2,9	97	—	38,6
40	2,2	113	17,5	24,2
70	3,1	127	31,0	27,4

nasiąkliwość benzyną próbek sztucznego kamienia (tabela nr 9) wynosi średnio 6,5%, a porowatość otwarta 14,8%. Ponieważ podana nasiąkliwość benzyną jest równoważna 8,4% nasiąkliwości wodą można stwierdzić, że dzięki właściwościom hydrofobowym żywicy nastąpił spadek nasiąkliwości wodą o ok. 68%. Należy zaznaczyć, że przy stosowaniu większych ilości trójetylenoczweroaminy obserwuje się wzrost nasiąkliwości sztucznego kamienia, co jest prawdopodobnie wynikiem nieprzereagowania całkowitego aminy. Amina „wypaca się” na powierzchnię żywicy ułatwiając jej zwilżanie wodą, a tym samym przenikanie do wnętrza kamieni.

Dobłą wodoodpornością charakteryzują się także sztuczne kamienie, otrzymane przez zmieszanie piasku z żywicą bez rozpuszczalnika (utwardzono w temp. podwyższonej). Wyniki zestawiono w tabeli 10.

Tabela 10

Wpływ ilości piasku na wodoodporność sztucznych kamieni.

Ep : Ps	N %	wzrost N %	Rw kG/cm ²	spadek Rw w stosunku do próbki pierwszej %	spadek Rw w stosunku do próbek suchych (tabl. 6)
1 : 10	2,5	—	313	—	41,8
1 : 30	11,2	348	123	60,7	33,9
1 : 50	11,9	376	76	75,7	44,8

Jak wynika z tabeli nr 10 próbki uzyskane przez zmieszanie piasku z żywicą 100% odznaczają się wyższą nasiąkliwością, oraz nieco niższą wodoodpornością od sztucznych kamieni uzyskanych z roztworem żywicy (tabl. 9). Z faktu powyższego nie należy jednak wyciągać wniosku o lepszych właściwościach sztucznych kamieni otrzymywanych z roztworami. W podanym przypadku na wyniki wpłynęły wielkości badanych próbek. W pierwszym przypadku (żywica 100%) stosowano próbki o wym. 20 × 20 × 20 mm, w drugim (20% roztwór żywicy) o wym. 50 × 50 × 50 mm. Ponieważ dzięki właściwościom hydrofobowym próbek woda może przeniknąć jedynie na pewną odległość od

ich powierzchni, a tym samym stosunek warstw nasyconych do nienasyconych wodą jest dla próbek małych niekorzystny, nasiąkliwość wyraża się wyższą liczbą.

Na podstawie powyższych wyników można wyciągnąć więc wniosek, że wodonieprzepuszczalność warstw izolacyjnych korony murów będzie zależna zarówno od ilości wypełniacza w stosunku do żywicy, jak też od grubości warstw. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji można stwierdzić, że przy stosunku Ep:Ps, jak 1 : 30 wystarczy warstwa grubości 1,5 cm, a przy stosunku 1 : 50 grubości 2 cm.

Podobną wodoodpornością odznaczają się sztuczne kamienie uzyskane z piasku o frakcjach mieszanych (najwyższej szczelności). Dane zamieszczono w tabeli 11 (próbki z żywicą 100%).

Tabela 11

Wpływ ilości piasku o maksymalnej szczelności na wodoodporność sztucznych kamieni.
skład piasku : 80% frakcji 0,25/0,50
: 20% frakcji 0,063/0,125

Ep : Ps	N %	wzrost N %	Rw kG/cm ²	spadek Rw w stosunku do próbki 1-szej %	spadek Rw w stosunku do próbek suchych (tabl. 8) %
1 : 50	9,9	—	136	—	37,3
1 : 60	11,9	20,2	83	38,6	27,1
1 : 70	13,9	40,4	74	45,6	31,5

Jak wynika z tabeli także w przypadku stosowania 2 frakcji piasku następuje po nasyceniu wodą spadek odporności w granicach 30 ÷ 40%. Nasiąkliwość jest nieco niższa niż przy stosowaniu piasku o jednakowych ziarnach dzięki mniejszej porowatości próbek. I w tym przypadku z uwagi na małe wymiary próbek nasiąkliwość ich w porównaniu z próbkami o wymiarach 50 × 50 × 50 mm jest dość znaczna.

2.1.7. Odporność sztucznego kamienia na zamrażanie i zmiany temperatury

W okresie 50 cykli zamrażania i odmrażania w podanych wyżej warunkach nie zaobserwowano pęknięcia i rozkruszania się próbek sztucznych kamieni otrzymanych przy stosunku Ep:Ps = 1:10; 1:30 i 1:50. Świadczy to o ich pełnej odporności na zamrażanie i zmiany temperatury.

2.1.8. Rozszerzalność cieplna sztucznego kamienia.

Tabela nr 12 ilustruje wyniki badań uzyskane przy zmiennych ilościach piasku do żywicy.

Tabela 12

Wpływ ilości piasku w stosunku do żywicy epoksydowej na rozszerzalność cieplną sztucznego kamienia.

Ep : Ps	współczynnik rozszerzalności cieplnej liniowej α.10 ⁻⁶	obniżenie współczynnika rozszerzalności %
1 : 10	22,9	—
1 : 30	11,2	51,1
1 : 50	8,06	64,8

Z tabeli wynika, że wraz z zwiększaniem ilości piasku w stosunku do żywicy w bardzo dużym stopniu maleje współczynnik rozszerzalności cieplnej. Podane współczynniki są zbliżone do współczynników rozszerzalności cieplnej materiałów budowlanych (cegła: $5 \div 6 \cdot 10^{-6}$, tynk wapienny: $8 \div 9 \cdot 10^{-6}$, beton: $6 \div 14 \cdot 10^{-6}$).

Biorąc pod uwagę powyższe, oraz fakt, że sztuczne kamienie odznaczają się dużą elastycznością można wyrazić przypuszczenie, że procesy niszczenia na granicy mur — sztuczny kamień, wywołane zmianami temperatury będą zachodziły w minimalnym stopniu.

2.2. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań pozwalają stwierdzić, że stosując do wytwarzania warstw izolacyjnych korony murów mieszaniny żywicy epoksydowych z piaskiem, można zrealizować postulaty, jakie sformułowano w 1-szej części niniejszej pracy.

1. Dzięki wysokim właściwościom hydrofobowym żywicy epoksydowej warstwy izolacyjne mogą być skuteczną zaporą przeciwko przesiąkaniu wody, przy zachowaniu porowatości tych warstw, a tym samym umożliwieniu odparowywania wody z muru.

2. Właściwości mechaniczne warstw izolacyjnych, oraz ich porowatość i nasiąkliwość można zmieniać w szerokim zakresie stosując różne ilości piasku w stosunku do żywicy. Tworzywa o większej odporności mechanicznej uzyskuje się stosując mieszaninę piasku o co najmniej dwóch frakcjach ziarn znacznie różniących się wielkością. W ostatnim przypadku o własnościach produktu decyduje kolejność mieszania składników. Możliwość regulowania właściwości pozwala na nakładanie na koronę muru dwóch, lub więcej warstw izolacyjnych o podanych w części 1-szej właściwościach.

3. Przy stosowaniu odpowiedniej ilości piasku w stosunku do żywicy (ponad 30 części na 1 część żywicy) warstwy izolacyjne posiadać będą współczynnik rozszerzalności cieplnej zbliżony do współczynnika składników muru.

4. Mieszaniny zawierające duże ilości piasku (ponad 10 części na 1 część żywicy) nie kurczą się w czasie twardnienia, dzięki czemu pomiędzy warstwami izolacyjnymi i murem nie powinny powstawać naprężenia. Właściwość powyższa pozwala także na nakładanie na mur dowolnie grubych warstw izolacyjnych.

3. PRAKTYCZNE WYKONANIE KONSERWACJI KORONY MURU.

1. Przed przystąpieniem do właściwej konserwacji należy uporządkować powierzchnię korony muru, a mianowicie:

a. usunąć wszelkie naleciałości i nawarstwienia (ziemia, roślinność itp.),

b. usunąć zwietrzałą zaprawę wapienną i umocować luźne cegły świeżą zaprawą,

5. Badania odporności na działanie wody, mrozoodporności i odporności na zmiany temperatury pozwoliły ustalić, że warstwy izolacyjne powinny być odporne na działanie czynników atmosferycznych.

6. Aby ułatwić mieszanie składników, żywicę można rozcieńczyć niewielką ilością rozpuszczalników (10—20%: benzen, toluen, ksylen, metanol, etanol, propanol). Duże rozcieńczanie jest niecelowe, albowiem wskutek obniżenia lepkości żywicy mieszaniny odznaczają się małą kleistością, co utrudnia praktyczne ich stosowanie. W przypadku rozcieńczania żywicy węglowodorami aromatycznymi następuje przedłużenie czasu utwardzania żywicy, co umożliwiłoby zrobienie większych ilości mieszanin. Natomiast niekorzystnym objawem stosowania węglowodorów aromatycznych jest obniżenie odporności mechanicznej produktów. Mniej szkodliwy wpływ wywierają dodatki alkoholi alifatycznych.

7. Odporność mechaniczna produktów jest niezależna od rodzaju żywicy epoksydowej, jednak ze względów praktycznych najodpowiedniejszymi żywicami wydają się Epidian 5 lub 4. Odznaczają się one najniższą lepkością przy najwyższej ciekłości, stąd nietrudno jest przygotować ich roztwory i nie zachodzi konieczności stosowania dużych ilości rozpuszczalników, aby uzyskać roztwory łatwo mieszające się z piaskiem (bez konieczności ucierania).

8. Do utwardzania żywicy należy stosować niewielki nadmiar utwardzacza (do 50%). Pomimo, że ze wzrostem stężenia aminy wzrasta nieco odporność mechaniczna produktów, stosowanie jej dużego nadmiaru nie jest korzystne, ponieważ nie jest związana aminą, ułatwia przesiąkliwość wody.

9. Celem pełnego utwardzenia żywicy można:

a. po stwardnieniu mieszanin (kilka dób) ogrzać je do temperatury powyżej 100°C.

b. po założeniu warstwy izolacyjnej nasączyć ją benzyną lakową i całość odizolować od otoczenia przy pomocy folii polietylenowej, na okres 14 dób. W tych warunkach nastąpi utwardzenie bez konieczności stosowania podwyższonej temperatury.

c. wypełnić dziury powstałe wskutek ubytku cegieł nowymi cegłami,

d. wyrównać nierówności powierzchni korony murów zaprawą wapienną.

Oczyszczenie powierzchni korony muru z naleciałości jest konieczne, aby uzyskać odpowied-

nie związaną warstwę ochronnej z murem. Wymiana zwietrzałej zaprawy ma na celu stabilizację powierzchniowych warstw cegieł. Uzupełnianie brakujących cegieł ma uniemożliwić gromadzenie się w dziurach i zagłębieniach wody. Ostatni z wymienionych zabiegów (wyrównanie zaprawą powierzchni korony) jest poddyktowany względami ekonomicznymi. Chodzi mianowicie o to, aby na powierzchni nie zawierającej dużych nierówności i zagłębień można było założyć warstwę zabezpieczającą o możliwie niewielkiej grubości z uwagi na to, że jest ona znacznie droższa niż zaprawa wapienna.

Zarówno do uzupełnienia brakującej zaprawy, jak i do wyrównywania powierzchni korony należy stosować wapno o możliwie najwyższej jakości, tzn. dostatecznie długo i w odpowiedni sposób dołowane, oraz nie zawierające cementu. Powinno ono być dołowane minimum 1 rok, zawierać ponad 95% wodorotlenku wapnia, a nie zawierać soli rozpuszczalnych w wodzie. Wapno niedołowane, oraz hydratyzowane nie powinno być stosowane. Przed nałożeniem zaprawy mur należy silnie zwilżyć wodą. Do zaprawy celowej jest dodać miąższo ceglany. Stosunek wapno : piasek : miąższo ceglany powinien zawierać się w granicach 1 : 1,5 : 0,5 (skład zaprawy wg prof. Leonarda Torwirta). Po nałożeniu zaprawy powinna być ona utrzymywana w stanie wilgotnym co najmniej przez 14 dob. Gwarantuje to prawidłowe jej związanie. Przez cały okres trwania wymienionych prac, mury muszą być chronione przed opadami atmosferycznymi oraz bezpośrednim działaniem słońca (przyspiesza odparowywanie wilgoci z zaprawy). Prace mogą być rozpoczęte w okresie wiosennym, jeżeli temperatura nie będzie ulegała obniżeniu do 0°C. W przypadku konieczności wypełniania dużych nierówności muru, do zaprawy można dodawać gruby tłuczeń ceramiczny (np. z dachówek). Zapobiegnie to jej pękaniu.

2. Zakładanie warstw izolacyjnych można rozpocząć nie wcześniej, jak po 30 dobach od chwili zakończenia wyżej omówionych prac. Temperatura otoczenia nie powinna być niższa jak 18—20°C, a powierzchnia korony muru sucha. Zasadniczo prac nie powinno się prowadzić przy wysokiej wilgotności powietrza (deszcz).

Całość prac można podzielić na 3 etapy:

1. Pokrycie powierzchni korony muru roztworem żywicy epoksydowej.
2. Nałożenie na powierzchnię korony muru warstw izolacyjnych.
3. Utwardzenie warstw izolacyjnych w podwyższonej temperaturze.

ad 1. Na oczyszczonej powierzchni muru należy rozprowadzić przy pomocy pędzla cienką warstwę roztworu żywicy epoksydowej zawierającego odpowiednią ilość utwardzacza. Pokrycie

wymienionym roztworem jest konieczne, aby zapewnić przyczepność warstw izolacyjnych nakładanych w dalszym etapie pracy. Stężenie roztworu musi być tak dobrane, aby nie wsiąkał on w mur, lecz pozostawał na jego powierzchni. Dlatego najodpowiedniejszą do tego celu żywicą jest Epidian 1, który z uwagi na wysoki ciężar cząsteczkowy tworzy roztwory o najwyższej lepkości (spośród Epidianów). W przypadku Epidianu 5 lub 4 należy stosować roztwory bardziej stężone. Poza tym wpływ na lepkość roztworów, a więc i na ich zdolność wsiąkania ma temperatura, oraz porowatość cegieł i zaprawy.

Przy wysokiej temperaturze należy stosować roztwory bardziej stężone. W przypadku użycia żywicy Epidian 1 stężenie roztworu (w toluenie, lub ksylenie) powinno wynosić około 65—80%, a żywicy Epidian 5 około 75—90%. W przypadku przygotowania roztworu o zbyt niskim stężeniu można po dodaniu trójetylenocząteroaminy odstawić roztwór w naczyniu do czasu aż ulegnie odpowiedniemu zagęszczeniu i wówczas pokryć nim powierzchnię muru.

Rozprowadzanie roztworu żywicy powinno być prowadzone równoległe z przygotowywaniem mieszaniny do wykonania warstw izolacyjnych, a nawet po wykonaniu tych ostatnich. Natychmiast po jego rozprowadzeniu powinny być nakładane warstwy izolacyjne.

Przygotowanie roztworu żywicy (Epidian 1 lub 5):

Żywicę należy ogrzać na wrzącej łaźni wodnej (w przypadku Epidianu 1 do stopienia) i dodawać małymi porcjami toluen lub ksylen (z daleka od ognia). Stosować po wymieszaniu i ostudzeniu. Celem utwardzenia do roztworu należy dodać trójetylenocząteroaminę w ilości 6% (w stosunku do żywicy) przy użyciu żywicy Epidian 1 i 15% do Epidianu 5. Po dodaniu TE-CZA roztwór należy dokładnie wymieszać. Przygotowuje się go w takiej ilości, jaka jest konieczna do natychmiastowego użycia. Trójetylenocząteroaminę należy przechowywać w naczyniach zamkniętych. Na pokrycie 1 m² powierzchni muru zużywa się 250—300 ml roztworu.

ad 2. Jak wspomniano, po pokryciu roztworem korony muru należy natychmiast nanosić warstwy izolacyjne. Przygotowuje się je przez proste zmieszanie roztworu żywicy Epidian 5 z piaskiem. Stężenie roztworu powinno wynosić 90 ÷ 95%. Do utwardzenia żywicy stosuje się, podobnie jak w p.l., trójetylenocząteroaminę (także o podanym stężeniu). Celem zharmonizowania kolorystycznego nakładanych warstw, mieszaniny można zabarwiać barwnikami, stosując je w ilości uzależnionej od intensywności zabarwienia cegieł.

Izolacja powierzchniowa powinna składać się co najmniej z dwóch warstw, przy czym po na-

łożeniu pierwszej i lekkim jej ubiciu nakłada się natychmiast drugą (ewentualnie trzecią) i całość silnie ubija i wyrównuje. Po wykonaniu powyższych czynności można nałożone warstwy nasycić benzyną i pod przykryciem z folii polietylenowej utwardzać je w temperaturze otoczenia przez 14 dni, bądź przykryć folią dla zabezpieczenia przed deszczem na okres 2—3 dni, przez dalsze 2—3 dni suszyć bez przykrycia, a następnie ogrzać (np. lampą benzynową) do temperatury 150—200°C. Pierwszy sposób nie był dotychczas stosowany w praktyce, dlatego poleca się raczej utwardzanie sposobem drugim, który poza tym jest bardziej ekonomiczny.

Jako wypełniacz należy stosować mieszaninę piasku o dwu granulacjach, znacznie różniących się wielkością ziarn np.:

- a. I frakcja o granulacji 1,0/1,6 mm, II frakcja o granulacji 0,125/0,25 mm.
- b. I frakcja o granulacji 0,5/1,0 mm, II frakcja o granulacji 0,063/0,125.

W zasadzie nie powinno się stosować piasku o większych ziarnach niż podano, ponieważ powierzchnie warstw będą chropowate i ziarna łatwiej będą się z nich wykruszały. Stosunek ilościowy dwóch frakcji piasku należy ustalić na podstawie pomiaru ciężaru objętościowego mieszanin i stosować te, które wykazują najwyższy ciężar. Z żywicą (całą jej ilością) należy najpierw zmieszać frakcję gruboziarnistą, a następnie dodać drobnoziarnistą i ponownie dokładnie wymieszać (można stosować naczynie żelazne, ceramiczne itp., nie używać natomiast cynkowych, aluminiowych).

Przeprowadzone doświadczenia w 1965 r. na fragmentach muru Zamku Krzyżackiego w Toruniu pozwoliły ustalić, że warstwy powierzchniowe zawierające 30 ÷ 50 części piasku na 1 część żywicy (Epidian 5) posiadały dobrą twardość, zwartość i odporność mechaniczną, natomiast niedostatecznymi własnościami odznaczały się warstwy z 70 częściami piasku (stosunkowo łatwo można je uszkodzić). Dlatego do

utworzenia warstwy 1-szej, amortyzującej proponuje się użyć na 1 część (objętościową) 90—95% roztworu żywicy 50 części (ciężarowych) piasku, a do utworzenia warstwy powierzchniowej 30 do 40 części piasku.

Do pokrycia 1 m² powierzchni muru warstwą grubości 1 cm zużyje się:

a. warstwa 1-sza (1 : 50) : 330 ml 90% roztworu żywicy Epidian 5 (297 g żywicy + 33 ml rozpuszczalnika) 45 ml trójetylenoczteteroaminy, 17 kg piasku

b. warstwa 2-ga (1 : 40) : 420 ml 90% roztworu żywicy Epidian 5 (378 g żywicy + 42 ml rozpuszczalnika) 57 ml trójetylenoczteteroaminy, 17 kg piasku

lub 2. (1 : 30) : 550 ml 90% roztworu żywicy Epidian 5 (495 g żywicy + 55 ml rozpuszczalnika) 74 ml trójetylenoczteteroaminy, 17 kg piasku.

4. Uwagi

1. Wszystkie materiały stosowane do prac konserwacyjnych powinny być suche.

2. Nie należy zakładać warstw izolacyjnych w okresie deszczu.

3. Naczynia i narzędzia powinny być natychmiast oczyszczane po każdorazowym wykonaniu zabiegu (butanon, toluen, aceton, mieszanina toluenu z denaturatem).

4. Przy stosowaniu trójetylenoczteteroaminy należy zachować dużą ostrożność z uwagi na jej właściwości trujące i możliwość wywoływania egzem podrażnienia skóry. Pracownicy powinni być zaopatrzeni w rękawice gumowe. Należy ich przestrzec przed przypadkowym spożyciem (zanieczyszczone ręce itp.).

dr Wiesław Domaśkowski
Uniwersytet im. Mikołaja Kopernika
Toruń
mgr Wacława Szmidel-Domaśłowska
Pracownie Konserwacji Zabytków
Toruń

CONSERVATION DU COURONNEMENT DES MURS

Les matériaux employés jusqu'alors en vue de la conservation des couronnements des murs ne répondent plus aux exigences actuelles des conservateurs. Le mortier de ciment, appliqué le plus couramment comme couche d'isolation superficielle, constitue un matériel trop dur en même temps que trop fragile. Il est sujet aux craquelures et la perte d'adhérence en raison de la différence de son coefficient de dilatation thermique et de celui du mur qui lui sert de support. Il agit parfois de façon destructive sur certains

éléments d'alliage du mur. Les autres matériaux appliqués à l'occurrence tels que les asphaltes, le verre d'eau et les solutions de la caséine dans les mélanges contenant des remplisseurs minéraux, démontrent également des caractères nocifs qui excluent actuellement leur emploi dans la conservation des monuments historiques.

Dans le cadre des recherches relationnées des expériences ont été faites en vue de l'application des résines mélangées au sable pour former des couches

d'isolation superficielles sur les couronnements des murs.

Il a été constaté qu'elles possèdent les qualités suivantes:

1) Grâce aux propriétés hydrophobes considérables la résine époxyde constitue un empêchement efficace à la pénétration de l'eau tout en conservant la porosité des couches d'isolation qui permet l'évaporation de l'humidité des murs.

2) Les propriétés mécaniques des couches d'isolation ainsi que leur porosité et possibilité d'absorption peuvent être modifiées en large part par l'emploi du sable en quantités diverses par rapport à la résine (tableaux 6 et 10).

On obtient des matériaux d'une plus grande résistance mécanique en utilisant un mélange sableux d'au moins deux fractions de grains d'une grandeur sensiblement différente (tableaux: 7, 8 et 11). Dans ce dernier cas, la successivité des composants additionnés au mélange conditionne les propriétés du produit.

La possibilité d'obtenir un produit de telle ou autre qualité permet de couvrir le couronnement des murs par deux ou par plusieurs couches d'isolation, différenciant les unes des autres par leurs propriétés: porosité, saturation et résistance mécanique.

3) En employant le sable en quantité propre, par rapport à la résine (plus de 30 fractions sur 1 fraction de la résine), les couches d'isolation possèdent un coefficient de dilatation thermique similaire au coefficient des composants du mur (tableau 12).

4) Les mélanges contenant de grandes quantités de sable (plus de dix fractions sur une fraction de la résine) ne sont pas sujets à la contraction au cours de leur durcissement, ce qui fait qu'aucune tension ne se manifeste entre les couches d'isolation et le mur. Cette particularité permet également de recouvrir le mur par des couches d'isolation d'épaisseur voulue.

5) Les épreuves effectuées pour mesurer le degré de la résistance contre l'humidité et les mutations de la

température ainsi que la résistance contre le gel ont permis de constater que ces couches d'isolation devraient être suffisamment résistantes à l'action des facteurs atmosphériques.

6) Pour faciliter l'addition des divers composants, on peut délayer la résine dans des dissolvants de quantité restreinte (10—20%: benzène, toluène, sylène, méthanol, étanol, propanol).

Une dissolution trop forte n'est pas recommandée, car en abaissant le degré de la viscosité de la résine les mélanges en question s'avèrent peu adhérents ce qui rend, en pratique, leur application difficile. La dissolution de la résine à l'aide des hydrocarbonates aromatiques prolonge la période de son durcissement, ce qui permet de l'introduire dans une quantité plus grande de mélanges. Toutefois l'application des hydrocarbonates aromatiques se manifeste d'une façon nocive par une réduction de la résistance mécanique des produits. L'influence des suppléments d'alcool aliphatique est bien moins nuisible (tableaux 1 et 2).

7) La résistance mécanique des produits est indépendante de la qualité de la résine époxyde (tableau 4), toutefois, pour des raisons pratiques les résines contenant un grand nombre d'époxydes semblent être les mieux appropriées. Elles se distinguent par la plus basse viscosité en même temps que par la plus grande fluidité; donc, il est facile de préparer leurs solutions et il n'est pas nécessaire d'employer un grand nombre de dissolvants pour obtenir des solutions faciles à mélanger au sable.

8) Pour durcir les résines, il faudrait employer une petite quantité du durcisseur (jusqu'à 50%). Malgré que la résistance mécanique des produits augmente à mesure de la concentration de l'amine (tableau no. 5), son application en plus grande quantité n'est pas recommandable vu que l'amine non-lié, favorise la pénétration de l'eau à travers les couches d'isolation.

9) Pour obtenir la consolidation complète de la résine il faut, ayant acquis le durcissement des mélanges (qui dure plusieurs jours), la rechauffer jusqu'à la température de plus de 100°C (tableau no. 3).