

Wiesław Domasłowski

Badania nad hydrofobizacją murów ceglanych

Ochrona Zabytków 14/3-4 (54-55), 32-41

1961

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.

BADANIA NAD HYDROFOBIZACJĄ MURÓW Ceglanych

I. PRZEGLĄD METOD DOTYCHCZASOWYCH

Przeprowadzając prace związane z regotyacją katedry w Gnieźnie stwierdzono, że cegły pierwotnych murów gotyckich, pomimo stosunkowo niewysokiej nasiąkliwości, wykazują dużą higroskopijność, wskutek czego, podczas opadów deszczu, szybko chłoną wodę, uzyskując w niedługim okresie czasu pełne nasycenie. Kierownictwo robót, należycie oceniając niebezpieczeństwo wynikające z powyższego zjawiska, zwróciło się do autora artykułu o przeprowadzenie badań nad zwiększeniem hydrofobowości cegieł, aby w ten sposób zabezpieczyć je przed zniszczeniem.

Jak wiadomo zagadnienie uodpornienia murów ceglanych na działanie wody nie było dotychczas uwzględniane w pracach konserwacyjnych. W przypadku zniszczenia pojedynczych cegieł w murze zastępuje się je nowymi, o podobnych wymiarach i barwie. Zabieg powyższy, aczkolwiek z punktu widzenia konserwatorskiego niesłuszny, jest powszechnie praktykowany, ponieważ nie dysponujemy metodami i materiałami, pozwalającymi przywrócić cegłom ich pierwotną wytrzymałość. W świet-

le tego problem profilaktycznego zabezpieczenia murów ceglanych przed działaniem wody opadowej wydaje się niezmiernie ważny i aktualny. Stosowane środki do hydrofobizacji murów ceglanych powinny odpowiadać następującym wymaganiom konserwatorskim:

a) posiadać wysokie własności hydrofobowe;

b) powinny być trwałe w działaniu, łatwe w użyciu, tanie oraz usuwalne prostymi środkami jeżeli zachodzi tego potrzeba;

c) nie powinny: zmieniać barwy cegieł, tworzyć plam, wykwitów i zacieków, uszczelniać powierzchni cegieł, oraz tworzyć na powierzchni cegieł „skorup“ powierzchniowych o różnym współczynniku rozszerzalności termicznej.

Podanym warunkom najbardziej odpowiadają związki krzemooorganiczne (*silikony*), które z dużym powodzeniem są stosowane za granicą do konserwacji obiektów zabytkowych, oraz uodporniania na działanie wody materiałów budowlanych¹. Związki krzemooorganiczne tworzą na powierzchni hydrofobizowanych ma-

¹ Por. S. S. Chrustajew, M. G. Woronkow, B. N. Dolgow, *Powyszenie wodostojkości naturalnego gipsowego kamnia*, „Zurnal Prikladnoj Chimii“ XXVIII, Moskwa 1955, Nr 9, s. 916; E. Goebel, *Silicone im Bautenschutz*, „Baumeister“ LI, 1954, Nr 3, s. 167; M. Huberson, *L'hydrofugation de la maçon-*

nerie, „Batir“, Paris 1952, Nr 19, s. 16; W. Leśniński, *Nowe kierunki w dziedzinie mas plastycznych*, „Chemia i Technika“ VII, Warszawa 1950, s. 185; A. E. Williams, *Uses of silicones in building*, „Build. Industr.“, Glasgow 1954, Nr 766, s. 52; *Silikony „Rhodorsil“ jako powłoka ochronna dla wyrobów ceglarniczych*

teriałów ściśle związane z podłożem powłoki, odporne na działanie wody i nie zwilżalne przez nią. Powłoki są bardzo cienkie (50÷100Å), niewidoczne i nie zasklepiają porów w impregnowanych materiałach². Są one odporne na działanie gazów atmosferycznych, nie ulegają zmianom pod wpływem światła, temperatury i mikroorganizmów. Silikony działają odpychająco na wodę, podobnie jak wosk czy parafina, niemniej są trwalsze w działaniu i w przeciwieństwie do wymienionych, powłoki ich nie ulegają zabrudzeniu. Szerokie zastosowanie mają związki krzemooorganiczne do hydrofobizacji betonów, cegieł, dachówek, kamieni naturalnych, tynków, odlewów gipsowych i innych materiałów budowlanych.

Stosuje się je w rozpuszczalnikach organicznych oraz w postaci roztworów i emulsji wodnych. Do najczęściej stosowanych związków należą metylo- i etylosilikoniany sodowe, czteroetoksylany oraz chlorowcosilany. Omawiane związki tworzą powłoki nierozpuszczalne w zwykłych rozpuszczalnikach i ulegają rozkładowi jedynie pod wpływem kwasu fluorowodorowego, lub alkoholowego roztworu wodorotlenku potasowego. Pomimo stosunkowo wysokiej ceny związków krzemooorganicznych koszt hydrofobizacji, z uwagi na małe ich zużycie, nie przekracza kosztów zwykłego malowania³. Niestety, silikony dotychczas nie są w Polsce produkowane (nie są także dostępne w sprzedaży) co, siłą faktu, zmusza konserwatorów do szukania rozwiązań na innej drodze.

Spośród środków stosowanych powszechnie do ochrony budowli i materiałów budowlanych należy wymienić następujące:

1) **Fluorokrzemiany** (fluaty). Są one stosowane do impregnacji kamieni, betonów, tynków, wyrobów ceramicznych oraz

gipsowych. Do niedawna były używane także do konserwacji obiektów zabytkowych. Fluaty nie należą do substancji hydrofobowych tzn. niezwilżalnych wodą, a działanie ich polega głównie na zmniejszaniu porowatości (uszczelnianiu) powierzchni materiałów poddanych impregnacji. Fluatyzacja nie zmniejsza więc nasiąkliwości materiałów, a jedynie utrudnia przenikanie wody. Wskutek niewielkiej przenikliwości roztworów fluorokrzemianów tworzą się powierzchniowe, twarde i zwarte „skorupy“, różniące się współczynnikiem rozszerzalności termicznej i innymi cechami fizycznymi i mechanicznymi od warstw wewnętrznych materiałów. W wyniku niszczącego działania czynników atmosferycznych (głównie wody i zmian temperatury) następuje rozpad wewnętrzny materiałów i fluatyzowane warstwy powierzchniowe pękają, łuszczą się i odpadają od podłoża. Do dalszych wad, wynikających ze stosowania fluatów, należy powstawanie rozpuszczalnych w wodzie soli. Pomimo zalecania tych środków przez literaturę budowlaną⁴, fluaty nie powinny być stosowane do konserwacji obiektów zabytkowych⁵.

2) **Szkło wodne**. Szkło wodne znalazło podobne zastosowanie jak fluorokrzemiany. Tworzy ono na impregnowanych materiałach powłoki, które odznaczają się małą trwałością, przejawiającą się w pękaniu i odpadaniu od podłoża. Stosowanie szkła wodnego przyczynia się do przyspieszonego zniszczenia obiektów, a nie do ich ochrony. Oprócz nietrwałości powłok dalszą wadą szkła wodnego jest tworzenie się, wskutek zachodzących reakcji, rozpuszczalnych w wodzie soli. Ze względu na niemożność całkowitego usunięcia soli na drodze wymywania uintensyfikują one procesy

skich, „Materiały Budowlane“ XIII, Warszawa 1958, Nr 9, str. 283, (wg „Industrie Céramique“ nr 496, 1958, s. 122); N. Planeta, *Uodpornienie gipsu na działanie wody*, „Cement — Wapno — Gips“ XIII/XXII, Kraków 1957, Nr 6, s. 127; P. Wlassak, *Uodpornienie gipsu i elementów gipsowych przeciwko działaniu wody*, „Cement — Wapno — Gips“ XV/XXIV, Kraków 1959, Nr 2, s. 33.

² Por. E. Goebel, op. cit.

³ Por. M. Huberson, op. cit.

⁴ E. Januszewski, M. Czajnik, I. Pece-

nik, A. Rusiecki, *Chemiczna ochrona budowli*, „Budownictwo i Architektura“, Warszawa 1955, s. 14; S. Mazur, M. Lipecka-Zacharowa, *Impregnacja powierzchniowa odlewów gipsowych i warstwy ochronne*, „Cement — Wapno — Gips“ XVI/XXVI, Kraków 1961, Nr 1, s. 12.

⁵ Por. J. Lepiarczyk, *Konserwacja zabytków architektury*, Kraków 1954; H. Jędrzejewska, *Specjalne zagadnienia budowlane w konserwacji i rekonstrukcji zabytków murowanych*, „Biuletyn Konserwatorski“ I, Warszawa 1954, Nr 2, s. 27.

zniszczenia materiałów. Powłoki szkła wodnego nie posiadają, podobnie jak fluaty, własności hydrofobowych i działanie ich polega na uszczelnianiu powierzchni materiałów.

3) Wodorotlenki wapnia i baru. Do powszechnie stosowanych środków w pracach konserwacyjnych należą: woda wapienna i barytowa. Stosuje się je, przede wszystkim, do impregnacji tynków⁶ oraz kamieni.⁷ Pod wpływem dwutlenku węgla z powietrza powstają w powierzchniowych porach nasycanych materiałów odpowiednie węglany zmniejszające, podobnie jak omówione wyżej związki, porowatość powierzchni. Węglany wapnia i baru nie są trwałe w działaniu i — pomimo małej rozpuszczalności w wodzie — pod wpływem deszczu łatwo ulegają wypłukaniu. Ze względu na brak własności hydrofobowych nie zabezpieczają impregnowanych nimi materiałów przed przenikaniem wody.

4) Żywice sztuczne. Pomimo szerokiego stosowania żywic sztucznych w pracach konserwacyjnych nie znalazły one dotychczas (z wyjątkiem silikonów) zastosowania do hydrofobizacji obiektów zabytkowych, narażonych na bezpośrednie działanie opadów atmosferycznych. Tworzące się, wskutek odparowania rozpuszczalników, na powierzchni materiałów powłoki żywic pod wpływem czynników mechanicznych, lub długotrwałego działania wody ulegają mętnieniu, pękają i odpadają od podłoża⁸. W miejscach, w których powłoki uległy uszkodzeniu, procesy zniszczenia materiałów potęgują się. Opisane zjawiska zachodzą przede wszystkim w przypadku pokrywania materiałów o strukturze nieporowatej (np. marmuru). Powłoki wytwarzane na materiałach porowa-

tych (tynki, betony, piaskowce) nie ulegają tak szybkiemu zniszczeniu, niemniej, z uwagi na słabe własności hydrofobowe i pęcznienie cienkich powłok pod wpływem wody, nie stanowią skutecznej bariery, hamującej przenikanie wody w głąb materiałów. Stosowanie stężonych roztworów żywic, bądź też wielokrotne pokrywanie powierzchni hydrofobizowanej roztworami rozcieńczonymi, pozwala obniżyć przepuszczalność wody wskutek uszczelnienia powierzchni, niemniej zmienia się wówczas wygląd zewnętrzny materiałów (pomimo stosowania żywic bezbarwnych), a skuteczność ochronnego działania wytworzonej warstwy można porównać z własnościami powierzchni fluatyzowanych czy impregnowanych szkłem wodnym. Wydaje się, że znane dotychczas żywice sztuczne mogą być stosowane do wzmacniania (utwardzania) na drodze impregnacji materiałów ulegających zniszczeniu (kamienie, cegły, tynki itp.), a nie do ich ochrony profilaktycznej. Zalecane przez literaturę żywice⁹ są szczególnie przydatne do konserwacji obiektów zabytkowych nie narażonych na bezpośrednie działanie opadów atmosferycznych. Uwagi powyższe dotyczą impregnacji na drodze pokrywania roztworem żywic za pomocą pędzla lub natryskiwania. W przypadku impregnacji przez zanurzenie, a w szczególności pod zmniejszonym ciśnieniem, uzyskuje się rezultaty zadowalające, wskutek utwardzania głębokich warstw materiałów porowatych. Oczywiście zabiegom takim można poddawać jedynie obiekty o niewielkich wymiarach.

5) Woski i substancje woskowe. Duże znaczenie w pracach konserwacyjnych mają woski naturalne (pszczeli), mineralne (pa-

⁶ Por. E. Denninger, *Die chemischen Vorgänge bei der Festigung von Wandmalereien mit sogenanntem Kalksinterwasser*, „Maltechnik“, München 1958, Nr 3, s. 67.

⁷ Por. H. J. Plenderleith, *The Conservation of Antiquities and Works of Art*, London 1957.

⁸ Por. S. S. Chrustajew i in., op. cit.; M. Paraskavaidis, *La „maladie des pierres“ menace aussi le merbre grec*, „Figare Litteraire“ 1959, Nr. 678.

⁹ Por. E. Januszewski i in., op. cit.; S. Mazur, M. Lipecka-Zacharowa, op. cit.; H. J. Plenderleith, op. cit.; J. Zelinger, R. Ondraček, O. Pechová, J. Błażej, A. Sládek, *Príspevek k otázce konzervace maleb a omítek dispersenu syntetických pryskyřic*, „Zprávy Památkové Péče“ XVIII, Praga 1958, Nr 5—6, s. 147; W. Domański, *Własności żywic sztucznych i ich zastosowanie do prac konserwacyjnych*, „Materiały Zachodnio-Pomorskie“ VI, Szczecin 1960, (w druku); W. Skalmowski, *Naturalne i sztuczne materiały kamienne w budownictwie*, Warszawa 1956, s. 109.

rafina, cerezyna) i syntetyczne (makroparafina, cerezyna syntetyczna)¹⁰. Dzięki dobrym własnościom hydrofobowym tworzą one powłoki trudno zwilżalne i odporne na działanie wody. Powłoki w cienkich warstwach są niewidoczne; w grubych natomiast, uintensywniają naturalne zabarwienie pokrywanego materiału, zmieniając tym samym jego powierzchnię. Wadą omawianych substancji jest niska temperatura topnienia oraz własności lepiące, wskutek czego impregnowane materiały łatwo ulegają zabrudzeniu, szczególnie w partiach osłoniętych przed deszczem. Dalszą wadą wosku pszczelego jest mała odporność na działanie niskich temperatur. Omawiane substancje nie są trwałe w działaniu i, w zależności od warunków klimatycznych, zabiegi muszą być okresowo powtarzane. Pomijając wady, wynikające z własności tych związków, należy stwierdzić, że stanowią one ważny materiał w ochronie zabudowy. Cienkie powłoki nie uszczelniają powierzchni pokrywanych materiałów oraz dzięki dużej plastyczności, nie mają wpływu na zmianę współczynnika rozszerzalności termicznej nasyconej warstewki materiału. Poza tym, dzięki usuwalności pod wpływem czynników atmosferycznych, zabiegi mogą być wielokrotnie powtarzane bez szkody dla obiektów. Przeszkodą w szerokim stosowaniu wosku pszczelego jest jego wysoka cena.

6) Mydła. Mydła metali lekkich wykazują pod wieloma względami podobieństwo do powłok silikonowych oraz wosku i parafiny. Na powierzchniach hydrofobizowanych materiałów tworzą cienką, nie zmieniającą wyglądu, powłokę, niezwilżalną przez wodę i nie zasklepiającą porów. Powłoki mydeł nie są trwałe w działaniu i zabiegi należy okresowo powtarzać. Do najczęściej stosowanych należą mydła cynkowe i glinowe. Wadą mydeł, podobnie jak w przypadku wosków i substancji woskowych, jest niska temperatura topnienia

oraz lepkość, wskutek czego impregnowane powierzchnie nie są odporne na zabrudzenie. Hydrofobizację przeprowadza się dwoma sposobami. Pierwszy polega na stosowaniu wodnych roztworów mydła sodowego i odpowiednich soli. Najpierw nanosi się ciepły roztwór mydła w wodzie, a następnie powleka się roztworem (także ciepłym) siarczanu cynkowego lub alunu glinowo-potasowego. W wyniku reakcji podwójnej wymiany tworzy się w porach materiałów powłoka mydła cynkowego lub glinowego oraz, rozpuszczalne w wodzie, sole. Wykwity soli zmywa się po wyschnięciu materiałów za pomocą gorącej wody. Z uwagi na stosunkowo wysokie stężenie stosowanych roztworów (8÷10%) powierzchnie impregnowanych materiałów ciemnieją.

Lepsze wyniki uzyskuje się stosując roztwory mydeł metali lekkich w rozpuszczalnikach organicznych. Najczęściej stosuje się mydła cynkowe lub glinowe w postaci 1÷2% roztworów w benzynie lub węglowodorach aromatycznych (benzen, toluen, ksylen). Na powierzchniach porowatych materiałów tworzą się cienkie, niewidoczne, prawie nie powodujące ściemnienia powłoki o większej hydrofobowości niż w przypadku stosowania roztworów wodnych. Fakt ten można wytłumaczyć większą jednorodnością i trudniejszą zwilżalnością powłok dzięki nieobecności rozpuszczalnych w wodzie soli. Cienkie powłoki nie zmniejszają porowatości powierzchni impregnowanych materiałów oraz nie zmieniają współczynnika rozszerzalności termicznej.

Mydła glinowe i cynkowe są stosowane do hydrofobizacji tynków, betonów i kamieni¹¹. Interesujące prace nad hydrofobizacją miękkich kamieni wapiennych używanych jako oblicówki oraz do wykonywania detali architektonicznych przeprowadził z współpracownikami M. N. Subbotkin¹². Zraszali oni płytki kamienne wodą i stwierdzili, że nieimpregnowane prób-

¹⁰ Por. E. Januszewski, op. cit.; H. Jędrzejowska, op. cit.; H. J. Plenderleith, op. cit.; M. Paraskavaidis, op. cit.; M. N. Subbotkin, *Zaszcita kamiennych postrojok ot wlagi*, „Promysl. Stroit. Mater.” VI, Moskwa 1952, Nr 37, s. 4; S. Pawlikowski, *Zagadnienie ochrony budowli przed niszcącym działaniem atmosfery*, „Przegląd Budowlany” XXXII, Warszawa 1960, Nr 5, s. 201.

¹¹ Por. S. Mazur, M. Lipecka-Zacharowa, op. cit.; Z. Przedpełski, *Konserwacja kamienia w architekturze*, Warszawa 1957, s. 36.

¹² M. N. Subbotkin, *Nowyj sposob powyszenja dolgowiecznosti stroitielnych materialow*, „Streitielnaja Promyslennost XXX. Moskwa 1952, Nr 4, s. 25.

ki nasycaly się całkowicie wodą po upływie 5 minut, podczas gdy impregnowane wykazywały po 6 godzinach wzrost ciężaru zaledwie o 0,3% (całkowita nasiąkliwość kamienia wynosiła około 13,5%).

Jak wynika z powyższego przeglądu, spośród tanich i dostępnych w handlu substancji o własnościach hydrofobowych, najbardziej od-

powiadającymi do ochrony cegieł są mydła oraz substancje woskopodobne (parafina, cerezyna i inne). Stosując roztwory parafiny oraz mydeł cynkowych i glinowych przeprowadzono doświadczenia celem zbadania własności impregnowanych cegieł oraz dokonania wyboru środka o najlepszych własnościach hydrofobowych.

II. NOWE BADANIA DOŚWIADCZALNE

1) Przygotowanie roztworów. Do badań użyto parafinę o t.t. 54,5°C, mydło glinowe i cynkowe oraz roztwory wodne mydła sodowego i siarczanu cynkowego. Poniżej podano sposoby przygotowania poszczególnych roztworów:

a) Określoną ilość parafiny ogrzewano do całkowitego stopienia, a następnie, mieszając dodawano toluen. Temperatura stopionej parafiny wynosiła około 80°C. Przygotowano roztwory o stężeniach: 2,5%, 5% i 10% suchej substancji na 100 ml rozpuszczalnika.

b) W osobnych naczyniach rozpuszczano w ciepłej wodzie mydło sodowe oraz alun glinowo-potasowy. Sporządzano 10-procentowe roztwory powyższych substancji. Równe ilości roztworów o temperaturze około 50°C mieszało z sobą, w wyniku czego wytrącał się nierozpuszczalny w wodzie osad mydła glinowego¹³. Całość mieszając ogrzewano do temperatury około 90—95°C, mydło odsączało i w czystym naczyniu przemywano trzykrotnie gorącą wodą celem usunięcia rozpuszczalnych w wodzie soli. Mydło rozdrabniano i suszono w temperaturze pokojowej do stałej wagi. W opisany sposób przygotowano także mydło cynkowe, stosując zamiast alunu siarczan cynkowy. Suche rozdrobnione mydła rozpuszczano na zimno w toluenie. Do badań stosowano roztwory 1-procentowe.

c) W wodzie wodociągowej o temperaturze 50—60°C rozpuszczano w osobnych naczyniach określone ilości mydła sodowego oraz siarczanu cynkowego. Cegły impregnowano roztwo-

rami o podanej temperaturze. Stosowano 5- i 10-procentowe roztwory.

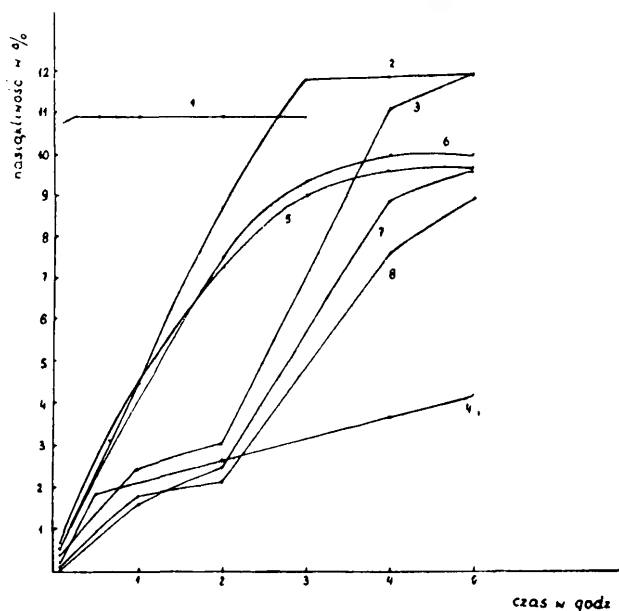
2) Sposób impregnacji cegieł. Z cegieł gotyckich, pochodzących z Katedry w Gnieźnie, wycinano próbki o wymiarach ok. 7 × 14 × 6,5 cm i pokrywano je za pomocą pędzla roztworami substancji hydrofobowych. Roztworami mydeł i parafiny w toluenie pokrywano płytki dwukrotnie. Następną warstwę наносzono po wsiąknięciu roztworu w cegłę, nie czekając jednak na wyschnięcie powłok. Próbki pokrywano także dwukrotnie, roztworami wodnymi przy czym наносzono najpierw roztwór mydła sodowego, a następnie roztwór siarczanu cynkowego. Powtórny zabieg omawianymi roztworami wykonano według podanej kolejności, po wsiąknięciu roztworów w cegły. Poddane hydrofobizacji próbki suszono przez 3 doby w temperaturze 20—23°C, a następnie badano ich nasiąkliwość, zanurzając w naczyniu z wodą oraz poddając działaniu „sztucznego deszczu“. Dla porównania podobne próby przeprowadzono z cegłami niehydrofobizowanymi.

3) Wpływ hydrofobizacji na nasiąkliwość cegieł zanurzonych w wodzie. Hydrofobizowane i nienasycane próbki cegieł zanurzano w wodzie wodociągowej o temperaturze 18—20°C i w określonych okresach czasu wyjmowano je, usuwano z powierzchni wodę za pomocą wilgotnej gazy i ważono. Nasiąkliwość obliczano według wzoru:
$$N = \frac{a_2 - a_1}{a_1} \cdot 100\%$$
 gdzie: a_1 — ciężar suchej próbki, a_2 — ciężar próbki nasycanej wodą. Wyniki doświadczenia zestawiono w tablicy I i II. Wykonano trzy próbki każdego rodzaju i podano wartości średnie.

¹³ Por. M. N. Subbotkin, op. cit.

L.p.	Nazwa substancji zabezpieczającej	stężenie roztworu w g/100 ml	Procentowy przyrost ciężaru próbek w czasie:								
			5 min.	15 min.	30 min.	1 godz.	2 godz.	3 godz.	4 godz.	5 godz.	24 godz.
1	nie zabezpieczana	—	0,78	10,93	10,93	10,93	10,93	—	—	—	11,12
2	parafina	2,5	0,56	1,36	2,63	4,47	8,76	11,74	11,83	11,93	12,21
3	parafina	5,0	0,38	0,81	1,37	2,44	3,05	6,25	11,13	11,98	12,13
4	parafina	10,0	0,16	0,74	1,85	2,17	2,64	2,92	3,73	4,27	48 godz. 10,56
5	mydło sodowe + siarczan cynku	5,0	0,62	1,67	2,73	—	7,30	8,98	9,60	9,68	10,95
6	mydło sodowe + siarczan cynku	10,0	0,38	1,37	2,22	—	7,64	9,40	10,01	10,09	12,31
7	mydło glinowe	1,0	0,17	0,30	0,60	1,61	2,43	6,14	8,89	9,62	12,12
8	mydło cynkowe	1,0	0,12	0,23	0,82	1,75	2,10	4,83	7,62	8,95	11,64

Tablica I
Nasiąkliwość próbek zanurzonych do wody



Tablica II

Wpływ czasu zanurzenia cegieł w wodzie na ich nasiąkliwość. 1 — cegła nieimpregnowana; cegły impregnowane: 2) 2,5% r. parafiny, 3) 5% r. parafiny, 4) 10% r. parafiny, 5) 5% r. mydła sodowego + 5% r. siarczanu cynkowego, 6) 10% r. mydła sodowego + 10% r. siarczanu cynkowego, 7) 1% r. mydła glinowego, 8) 1% r. mydła cynkowego

Jak wynika z tablic, nieimpregnowane próbki cegieł uzyskały po 5 minutach zanurzenia w wodzie 95,5% swej maksymalnej nasiąkliwości, którą osiągają po 24 godzinach nasycania wodą. Próbki hydrofobizowane wykazały w tymże okresie czasu nasiąkliwość od 1 do

5,6%. Najmniejszą nasiąkliwość wykazały próbki impregnowane 10-procentowym roztworem parafiny. Po pięciu godzinach nasycania nasiąkliwość ich wyniosła średnio 40,4% w stosunku do całkowitej nasiąkliwości po 48 godzinach. Pozostałe próbki osiągnęły po pięciu godzinach od 76,9 do 98,7% maksymalnej nasiąkliwości. Wynika stąd wnioszek że na drodze hydrofobizacji omawianymi substancjami nie ma możliwości pełnego zabezpieczenia cegieł przed przenikaniem wody stojącej. W przypadku próbek impregnowanych 10-procentowym roztworem parafiny wolniejsze przenikanie wody należy przypisać przede wszystkim uszczelnieniu powierzchni cegieł, a nie własnościom hydrofobowym parafiny. Podobnie użycie silikonów do hydrofobizacji materiałów budowlanych nie zapewnia całkowitego zahamowania przenikania wody przez płaszczyzny poziome narażone na działanie deszczu¹⁴.

Porównując skuteczność hydrofobizacyjnego działania poszczególnych substancji, należy stwierdzić, że najlepsze wyniki, odpowiadające stawianym warunkom, uzyskano stosując mydła cynkowe i glinowe w toluenie oraz 5-procentowy roztwór parafiny. Po dwóch godzinach nasycania poszczególne próbki wykazywały odpowiednio 18, 20 i 25% swej maksymalnej nasiąkliwości, podczas gdy impregnowane 10-procentowymi roztworami mydła i siarczanu cyn-

¹⁴ Por. E. Goebel, op. cit.; M. Huberson, op. cit.

kowego — 62%, 5-procentowymi roztworami — 66,6% oraz 2,5-procentowym roztworem parafiny — 71,7%. Szczególnie cenne okazały się mydła cynkowe i glinowe, które z uwagi na stosowanie niskoprocentowych roztworów tworzą cienkie, niewidoczne powłoki, nie zmieniające wyglądu powierzchni cegieł. Pozostałe roztwory, w mniejszym lub większym stopniu, powodowały ściemnienie powierzchni a na ceglach impregnowanych 10-procentowym roztworem parafiny występowały białe plamy.

Analizując krzywe na tablicy II, obrazujące wzrost nasiąkliwości, w zależności od czasu zanurzenia cegieł w wodzie, obserwujemy, że w przypadku próbek impregnowanych 5-procentowym roztworem parafiny (krzywa 3) oraz 1-procentowymi roztworami mydeł glinowych i cynkowych (krzywe 7 i 8) największy wzrost nasiąkliwości występuje w przedziałach czasu $0 \div 60$ minut oraz $2 \div 4$ godzin. W podanych okresach czasu próbki impregnowane 5-procentowym roztworem parafiny uzyskały w sumie 86,7% swej maksymalnej nasiąkliwości, 1-procentowym roztworem mydła glinowego — 66,6%, a 1-procentowym roztworem mydła cynkowego — 62,3%. W przeliczeniu na jedną godzinę nasycania wodą wynosi to odpowiednio: 28,9%, 22,2% i 20,8%. Obliczając analogicznie przyrost nasiąkliwości próbek w przedziale czasu $1 \div 2$ godzin nasycania stwierdzamy, że nasiąkliwość próbek impregnowanych 5-procentowym roztworem parafiny oraz 1-procentowymi roztworami mydła glinowego i cynkowego wzrosła odpowiednio o 5%, 6,8% i 3% w stosunku do ich maksymalnej nasiąkliwości. Minimalny wzrost nasiąkliwości próbek w podanym przedziale czasu odzwierciedlają załamania krzywych: 3, 7 i 8. Zjawisko nierównomiernego wzrostu nasiąkliwości można wytłumaczyć w ten sposób, że w pierwszym okresie nasycania ($0 \div 60$ min.) następuje wypełnienie przez wodę porów otwartych na powierzchni cegieł. W drugim okresie ($1 \div 2$ godz.) następuje powolne zwilżanie powłok hydrofobowych, czego odzwierciedleniem jest minimalny wzrost nasiąkliwości. W końcowym, tj. trzecim okresie nasycania (powyżej 2 godz.) następuje, wskutek ciśnienia hydrostatycznego, przenikanie wody w głąb cegieł. Przenikanie wody jest jednak nadal hamowane obecnością powłok hydro-

fobowych, tak że stan pełnej nasiąkliwości osiągną próbki po kilku godzinach nasycania.

Opisanego zjawiska nie obserwujemy w przypadku nasycania próbek impregnowanych 2,5-procentowym roztworem parafiny oraz 5- i 10-procentowymi roztworami wodnymi mydła sodowego i siarczanu cynkowego. Kształt krzywych dowodzi o niedostatecznych własnościach hydrofobowych próbek impregnowanych tymi roztworami. W pierwszym przypadku słabe własności hydrofobowe są wynikiem niedostatecznego stężenia roztworu parafiny. Niższe własności hydrofobowe cegieł impregnowanych roztworami wodnymi mydła i siarczanu cynkowego w porównaniu z próbkami nasycanymi roztworami mydeł w toalecie są, jak wspomniano wyżej, spowodowane obecnością w powłokach rozpuszczalnych w wodzie soli (powstających wskutek reakcji podwójnej wymiany) oraz nieprzereagowanych składników. Obecność tych substancji, których nie można całkowicie usunąć na drodze mycia, ułatwia zwilżalności powłok a tym samym przenikanie wody w głąb cegieł.

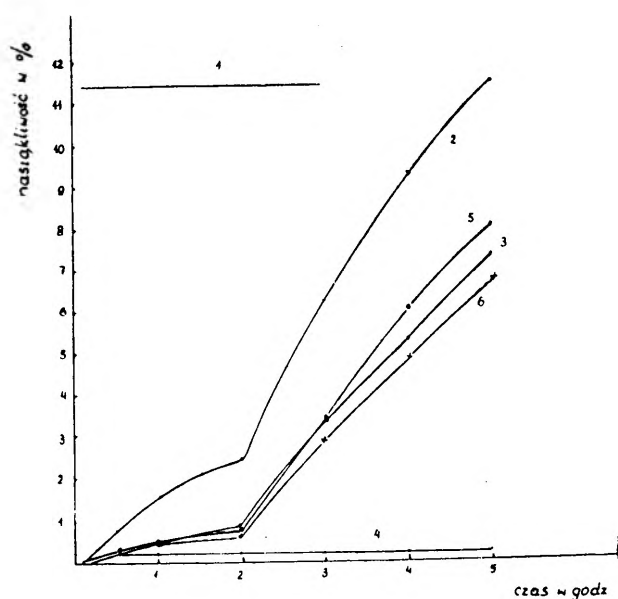
4) Wpływ hydrofobizacji na nasiąkliwość cegieł poddanych działaniu „sztucznego deszczu”. Badaniom poddano próbki impregnowane roztworami parafiny oraz mydeł cynkowych i glinowych.

Próbki cegieł ustawiano pod kątem 45° w stosunku do kierunku padania wody wypływającej z kranu, zakończonego lejkiem sitowym o średnicy 3 cm i zawierającym 50 otworów o średnicy 0,7—0,8 mm. Zraszaniu poddawano płaszczyznę cegły o powierzchni $7 \times 14 \text{ cm} = 98 \text{ cm}^2$. Szybkość wypływu wody wynosiła około 90 litrów na godzinę. Przez cały czas trwania doświadczenia przepłynęło przez powierzchnię pojedynczej próbki 450 litrów wody, co wynosi około 4,5 litra na 1 cm^2 powierzchni. Po upływie określonego czasu usuwano z powierzchni próbek wodę za pomocą wilgotnej gazy i określano przyrost ciężaru. Nasiąkliwość obliczano na podstawie podanego wzoru. Do badań wzięto po trzy próbki pokryte roztworem każdego rodzaju.

Wyniki zestawione w tablicy III i IV obrazują wartości średnie uzyskane z trzech pomiarów.

L.p.	Nazwa substancji zabezpieczającej	stężenie roztworu w g/100 ml	Procentowy przyrost ciężaru próbek w czasie:							
			5 min.	15 min.	30 min.	1 godz.	2 godz.	3 godz.	4 godz.	5 godz.
1	nie zabezpieczana		11,42	11,42	11,42	11,42	11,42	11,44	—	—
2	parafina	2,5	0,079	—	0,71	1,51	2,44	6,24	9,32	11,50
3	parafina	5,0	0,034	0,10	0,27	0,41	0,83	3,33	5,34	7,42
4	parafina	10,0	0,01	0,014	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
5	mydło glinowe	1,0	0,13	0,31	0,38	0,51	0,78	3,36	6,1	8,09
6	mydło cynkowe	1,0	0,08	0,15	0,30	0,45	0,62	2,89	4,92	6,84

Tablica III
Nasiąkliwość próbek poddanych działaniu „sztucznego deszczu“



Tablica IV

Wpływ czasu działania „sztucznego deszczu“ na nasiąkliwość cegieł. 1 — cegła nieimpregnowana; cegły impregnowane: 2) 2,5% r. parafiny, 3) 5% r. parafiny, 4) 10% r. parafiny, 5) 1% r. mydła glinowego, 6) 1% r. mydła cynkowego.

Jak wynika z tablicy III cegły nie poddane hydrofobizacji uzyskały, podobnie jak w doświadczeniu poprzednim, pełną nasiąkliwość już po pięciu minutach zraszania wodą.

Próbki impregnowane 10-procentowym roztworem parafiny wykazały pełną wodoodporność, uzyskując po pięciu godzinach działania

sztucznego deszczu nasiąkliwość 0,2%. Jest to rezultat wypełnienia przez wodę porów powierzchniowych. Analogiczne próbki zanurzone do wody posiadały o 2,135% większą nasiąkliwość po tym samym okresie czasu nasycania. Całkowita nieprzepuszczalność wody została spowodowana zmniejszeniem porowatości powierzchni próbek oraz wskutek niedostatecznego ciśnienia hydrostatycznego kropli „sztucznego deszczu“.

Analizując wzrost nasiąkliwości próbek impregnowanych 2,5 i 5-procentowymi roztworami parafiny oraz 1-procentowymi roztworami mydeł cynkowych i glinowych możemy wyodrębnić dwa okresy: od 0—2 godzin nasycania, w czasie którego następuje minimalny przyrost nasiąkliwości oraz powyżej dwóch godzin nasycania, kiedy następuje gwałtowny wzrost nasiąkliwości. Przebieg powyższych zjawisk obrazują załamania poszczególnych krzywych na tablicy IV. Wzrost nasiąkliwości próbek po dwugodzinnym okresie zraszania wodą należy przypisać obniżeniu własności hydrofobowych powłok. Jak wynika z wykresu próbki impregnowane 1-procentowymi roztworami mydła cynkowego i glinowego oraz 5-procentowym roztworem parafiny odznaczają się podobnymi własnościami hydrofobowymi. Omawiane próbki nie uzyskały po pięciu godzinach zraszania wodą swej pełnej nasiąkliwości.

Mniejszą odporność na przenikanie wody wykazały próbki impregnowane 2,5-procentowym roztworem parafiny, co się pokrywa z wynikami uzyskanymi w doświadczeniu poprzednim.

III. WYNIKI I WNIOSKI

Przeprowadzone doświadczenia wykazały, że skuteczność hydrofobizacyjnego działania użytych substancji jest uzależniona od sposobu impregnacji oraz od stężenia stosowanych roztworów. Znacznie większą skutecznością odznaczają się roztwory mydła cynkowego i glinowego w rozpuszczalnikach organicznych niż w przypadku wytwarzania tych mydeł na powierzchni zabezpieczanych cegieł przy użyciu wodnych roztworów mydła sodowego i siarczanu cynkowego. Niezależnie od stężenia stosowanych roztworów wodnych, impregnowane próbki odznaczają się niedostateczną hydrofobowością wskutek obecności rozpuszczalnych w wodzie składników ułatwiających zwilżalność powłok.

Własności cegieł pokrywanych roztworami parafiny są uzależnione od stężenia stosowanego roztworu. Najlepsze rezultaty uzyskano stosując roztwór 5-procentowy. W przypadku stosowania bardziej rozcieńczonych roztworów zmniejsza się wodoodporność cegieł, natomiast przy większych stężeniach następuje zmiana barwy oraz istnieje możliwość szczelnego zamknięcia powierzchni cegieł. Nie bez znaczenia jest także fakt, że wraz ze zwiększeniem grubości powłok ochronnych omawianych substancji zmniejsza się odporność impregnowanych cegieł na zabrudzenie.

Biorąc pod uwagę tę właściwość bardziej odpowiednimi substancjami okazały się mydła cynkowe i glinowe, które pomimo niewielkiego stężenia w roztworze wykazują podobną skuteczność w działaniu do 5-procentowego roztworu parafiny.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń można wyciągnąć orientacyjne wnioski odnośnie zachowania się hydrofobizowanych murów ceglanych w normalnych warunkach atmosferycznych. Zakładając, że średnie opady deszczu w Polsce wynoszą 1000 mm słupa wody rocznie, przez powierzchnię poszczególnych próbek poddanych działaniu „sztucznego deszczu“ w czasie dwóch godzin przeciekło tyle wo-

dy, ile opada na ziemię w okresie 18 lat, a w czasie pięciu godzin zraszania w ilości równej 45 latom. W założeniu przyjęto teoretyczną ilość opadów deszczu, faktycznie bowiem na większości obszarów Polski (z wyjątkiem Wysokich Tatr) roczne opady atmosferyczne, obejmujące ciekłe i stałe produkty kondensacji pary wodnej nie przekraczają 500–650 mm słupa wody. Poza tym tylko część wody deszczowej spływa po pionowych ścianach budowli i ilość jej jest uzależniona od kierunku i siły wiatru¹⁵. Przyjęcie powyższych założeń podyktowane było tym, że przenikanie wody w głąb materiałów porowatych, które jest między innymi uzależnione od ciśnienia hydrostatycznego będzie w przypadku silnego wiatru znacznie intensywniejsze niż w przeprowadzonym doświadczeniu.

Wnioski można sformułować w sposób następujący: Do hydrofobizacji murów ceglanych najbardziej odpowiednimi substancjami okazały się mydła cynkowe i glinowe w rozpuszczalnikach organicznych. Odpowiadają one w większości wymaganiom, stawianym środkom stosowanym do zabezpieczania ścian pionowych murów przed przenikaniem wody opadowej, a mianowicie:

- 1) posiadają wysokie własności hydrofobowe;
- 2) nie zmieniają barwy cegieł, nie tworzą plam i wykwitów;
- 3) nie uszczelniają powierzchni;
- 4) tworzą cienkie i elastyczne powłoki, nie zmieniające współczynnika rozszerzalności termicznej powierzchniowych warstw cegieł,
- 5) powłoki mydeł cynkowych i glinowych nie są trwałe w działaniu i pod wpływem czynników atmosferycznych ulegają, po pewnym okresie czasu, zniszczeniu i wydaleni z powierzchni murów. Właściwość tę należy ocenić pozytywnie, albowiem procesy impregnacji murów można powtarzać wielokrotnie, bez jakiegokolwiek szkody dla zachowania obiektów.

¹⁵ Por. S. S. Chrustajew i in., op. cit.

Do wad, wynikających ze stosowania omawianych mydeł, należy konieczność użycia deficytowych i łatwopalnych rozpuszczalników.

Wnioski powyższe można opatrzyć na zakończenie uwagami praktycznymi:

1) przed impregnacją należy oczyścić mury z brudu, kurzu i wykwitów;

2) impregnować należy mury suche, w dzień bezwietrzny i bezsłoneczny;

3) nie należy impregnować murów, zawierających sole, rozpuszczalne w wodzie;

4) płaszczyzny pionowe należy impregnować co najmniej dwukrotnie;

5) stężenie roztworów, jak i ostateczna ilość zabiegów impregnacyjnych, są uzależnione od porowatości i nasiąkliwości cegieł.

mgr Wiesław Domaśkowski
Uniwersytet im. M. Kopernika, Toruń
Katedra Technologii i Technik Malarskich.