

Polak, Katarzyna

Określenie przydatności mieszanin akrylo-silikonowych do strukturalnego wzmocnienia i ochrony kamiennych obiektów zabytkowych

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 20 (265), 127-146

1993

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

KATARZYNA POLAK

OKREŚLENIE PRZYDATNOŚCI MIESZANIN
AKRYLOWO-SILIKONOWYCH
DO STRUKTURALNEGO WZMACNIANIA I OCHRONY
KAMIENNYCH OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH

Zarys treści. Artykuł niniejszy omawia badania, których celem było określenie przydatności mieszanin akrylowo-silikonowych do jednoczesnego wzmocnienia i hydrofobizacji kamiennych obiektów zabytkowych¹. Na podstawie badania parametrów mechanicznych i odporności wzmocnionego kamienia na działanie czynników niszczących potwierdzono zależność jego własności od obecności poszczególnych żywic oraz stwierdzono przydatność mieszanin żywic Paraloid B-72 i Silak M-11. Prowadzono porównawcze badania z zastosowaniem żywicy akrylowo-silikonowej Eurostac consolidante ACS 2001 i żywicy silikonowej Dri film 104.

1. WSTĘP

Impregnacja kamienia żywicami sztucznymi ma na celu wprowadzenie do jego struktury substancji mogących pełnić funkcję lepiszcza. Zgodnie z wymaganiami konserwatorów impregnat obecny w kamieniu powinien również chronić go przed wpływem czynników niszczących, a więc głównie wody, bowiem działanie większości tego rodzaju czynników związane jest z jej obecnością. Żywice akrylowe doskonale nadające się do wzmocnienia struktury kamienia nie chronią go dostatecznie przed działaniem wody ze względu na możliwość pęcznienia ich błon pod wpływem wody². Doskonałą zdolnością hydrofobizacji kamienia charakteryzują się żywice krzemooorganiczne. Jednak własności mechaniczne ich powłok ustępują znacznie właściwościom innych żywic. Są bardziej kruche, nieciągle, spękane i dlatego praktyczne ich znaczenie jako środków wzmacniających kamień jest niewielkie, szczególnie w przypadku

¹ Artykuł jest skróconą wersją pracy magisterskiej napisanej w 1985 r. w Instytucie Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK pod kierunkiem prof. dra hab. W. Domaśłowskiego.

² W. Domaśłowski, *Badania nad strukturalnym wzmocnianiem wapienia pińczowskiego termoplastycznymi żywicami sztucznymi*, Acta Universitatis Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 7, 1979, s. 78—40 oraz 8, 1979, s. 3—36 i 9, 1980, s. 3—44 (wraz z J. Łukaszewicz).

obiektów o silnie zniszczonej strukturze³. Z powodzeniem można jednak stosować te żywice do powierzchniowej hydrofobizacji obiektów po ich uprzednim wzmocnieniu żywicami o dobrych własnościach mechanicznych.

Słabe własności żywic krzemoorganicznych można poprawić stosując dodatki innych żywic, np. polimerów nitrocelulozowych, epoksydowych, mocznikowo-formaldehydowych i innych. Modyfikacja może być przeprowadzona przez prekondensację niskocząsteczkowych składników krzemoorganicznych i organicznych lub przez mieszanie roztworów żywic. Niewielki dodatek żywic silikonowych (ok. 10%) do organicznych też wybitnie polepsza ich wodoodporność⁴.

Konserwatorzy włoscy zaproponowali do wzmocniania piaskowców mieszaninę Paraloidu B-72 i żywicy silikonowej Dri film 104. Badania laboratoryjne wykazały, że doskonale łączy ona dobrą adhezję do kamienia i wysokie parametry mechaniczne akrylanów z trwałą hydrofobowością żywic silikonowych. Publikacje R. Rossi-Manaresi⁵ dowodzą wyższości tej mieszaniny nad innymi preparatami powszechnie stosowanymi do wzmocniania kamieni (Rhodorsil X-54802, Steinfestiger H, Tegowakon, Araldit) ze względu na możliwość trwałego zabezpieczenia i korzystnej poprawy parametrów mechanicznych, dużą światłoodporność, łatwość użycia, odwracalność zabiegu. We Włoszech mieszaniny akrylo-silikonowe stosowano do impregnacji wielu obiektów z piaskowca, marmurów, wapieni zbitych, tufu. W literaturze można znaleźć różne receptury, jednak autorzy nie podają kryteriów takiego doboru proporcji⁶.

W Wenecji do wzmocniania rzeźb stosowano kopolimer akrylo-silikonowy E-0073 produkcji ARD Racanello. Według R. Rossi-Manaresi roztwory tej żywicy mają ograniczoną zdolność wnikania do kamienia, a powstające w kamieniu błony żywicy są kruche i nieciągle⁷.

³ R. Rossi-Manaresi, *Treatments for sandstone consolidation*, [w:] *The Conservation of Stone*, Bolonia 1976, s. 556.

⁴ N. N. Sokółow, *Metody syntezy poliorganosiloksanów*, Warszawa 1961, s. 23; P. Rościszewski, *Zastosowanie silikonów*, Warszawa 1964, s. 108.

⁵ R. Rossi-Manaresi, *Effectiveness of conservation treatment for the sandstone of monuments in Bologna*, [w:] *The Conservation of Stone*, Bolonia 1981, s. 667—675; tenże, *Treatments for sandstone*, s. 550—570.

⁶ O zastosowaniu tych mieszanin piszą: O. Nonfarmale, *A method of consolidation and restoration for decayed sandstones*, [w:] *The Conservation of Stone*, Bolonia 1976, s. 401—411; E. Riccomini, *Notes sur la restauration de la facade de la cathedrale de Fidenza*, [w:] *The Conservation of Stone*, Bolonia 1981, s. 798; R. Rossi-Manaresi, G. Alessandrini, S. Fuzzi, R. Peruzzi, *Assessment of effectiveness of some preservatives for marble and limestone*, [w:] *Deterioramento e Conservazione della Pietra, Atti del 3 Congresso Internazionale*, Wenecja 24—27 październik 1979, s. 357.

⁷ R. Rossi-Manaresi, G. Alessandrini, S. Fuzzi, R. Peruzzi, *Assessment of effectiveness*, s. 357 i n.

Pozytywne opinie o przydatności mieszanin akrylowo-silikonowych do wzmacniania i zabezpieczania kamieni skłoniły do przetestowania mieszaniny żywic Paraloid B-72 i Silak M-11. Celem badań było określenie optymalnego składu takiej mieszaniny. Oceniono również żywice Eurostac consolidante AC-S 2001 produkowaną do celów konserwacji.

2. CHARAKTERYSTYKA BADANYCH PREPARATÓW

2.1. ŻYWICE SZTUCZNE

2.1.1. PARALOID B-72

Jest to kopolimer akrylanu metylu i metakrylanu etylu, powszechnie stosowany do konserwacji⁸. W stosunku do innych żywic akrylowych jest bardziej światłotrwały. Przydatność Paraloidu B-72 do strukturalnej impregnacji kamieni wszechstronnie zbadał W. Domasłowski⁹.

2.1.2. SILAK M-11

Jest to żywica produkowana do hydrofobizacji materiałów budowlanych i drewna. Produkt handlowy to około 25% roztwór żywicy metylo-silikonowej w ksylenie i chlorku metylenu. Do hydrofobizacji stosuje się 5% roztwory w rozpuszczalnikach organicznych. Hydrofobowe powłoki uzyskuje się bez wygrzewania po kilkudziesięciu godzinach¹⁰.

2.1.3. DRI FILM 104

Jest to żywica silikonowa przeznaczona do hydrofobizacji materiałów budowlanych i drewna przez General Electric. Producent zaleca rozcieńczenie handlowego 70% preparatu do 5% benzyną lakową¹¹.

⁸ O praktycznym zastosowaniu do konserwacji kamiennych obiektów zabytkowych piszą: J. Riederer, *Steinkonservierung am Aphaia Tempel auf Agine*, Maltechnik-Restauro, t. 79, 1973, s. 193; L. Cardilli-Alloisi, I. di Bella, *La Fontanna del Tritone di G. L. Bernini — problemi di restauro e manutenzione*, [w:] *Deterioramento e Conservazione*, s. 527; G. G. Amoroso, V. Furlan, *Utilisation de resines acryliques pour le protection de gros tendres*, *Studies in Conservation*, t. 20, 1975, s. 337; J. Riederer, *The Preservation of Historical Monuments in Sri Lanka*, [w:] *The Conservation of Stone*, Bolonia 1981, s. 752; G. Toracca, *Treatment of Stone in Monuments. A Review of Principles and Process*, [w:] *The Conservation of Stone*, Bolonia 1972, s. 310.

⁹ Patrz przyp. 2 oraz W. Domasłowski, J. Łukaszewicz, *Badania nad strukturalnym...*, *Acta Universitatis Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo*, t. 10, s. 27—67; W. Domasłowski, *Badania nad strukturalnym*, t. 11, s. 167—197.

¹⁰ *Instrukcja silikonowania powierzchni elewacyjnych ścian i elementów budowlanych*, Warszawa 1984, s. 7.

¹¹ Dane zaczerpnięto z ulotki reklamowej.

2.1.4. EUROSTAC CONSOLIDANTE AC-S 2001

Jest to roztwór kopolimeru akrylowo-silikonowego w rozpuszczalnikach organicznych (stężenie 10%) przeznaczony do hydrofobizacji i wzmacniania materiałów porowatych¹².

2.2. CHARAKTERYSTYKA STOSOWANYCH ROZTWORÓW

Symbolem A oznaczono 10% roztwór Paraloidu B-72 w toluenie. Symbolem B oznaczono mieszaninę przygotowaną wg receptury:

- 1 cz. 30% roztworu Paraloidu B-72 w toluenie,
- 1 cz. 70% roztworu żywicy Dri film 104,
- 8 cz. trójchloroetyleny.

Uzyskano klarowny roztwór o sumarycznym stężeniu obu żywic ok. 10%. Stosunek żywicy akrylowej do silikonowej wynosi 1:2,3. Symbolem C oznaczono żywicę Eurostac consolidante AC-S 2001. Do przygotowania mieszanin Paraloid-Silak użyto 10% roztworu Paraloidu B-72 w toluenie i ok. 10% roztworu Silaku M-11 uzyskanego przez rozcieńczenie preparatu handlowego toluenem. Skład i oznaczenie poszczególnych mieszanin i roztworów użytych do badań podano w tab. 1. Dodatkowo prowadzono badania próbek kamienia impregnowanych 10% roztworem Paraloidu B-72 w toluenie i następnie hydrofobizowanych powierzchniowo 5% roztworem Silaku M-11 w benzynie lakowej. Oznaczono je symbolem H. Wszystkie badania wykonano na próbkach wapienia pińczowskiego.

Tabela 1
Oznaczenie i skład badanych roztworów i mieszanin

| Symbol roztworu | Rodzaj żywicy | Stężenie roztworu |
|-----------------|--|-------------------|
| A | Paraloid B-72 | 10% |
| B | Paraloid B-72 (1 cz.) Dri film 104 (2,3 cz.) | 10% |
| C | Eurostac Consolidante AC-S 2001 | 10% |
| D | Paraloid B-72 (3 cz.) Silak M-11 (1 cz.) | 10% |
| E | Paraloid B-72 (1 cz.) Silak M-11 (1 cz.) | 10% |
| G | Paraloid B-72 (1 cz.) Silak M-11 (3 cz.) | 10% |
| H | Paraloid B-72 i hydrofobizacja powierzchniowa 5% roztw. Silaku M-11 w benz. lakowej | — — — |

¹² Dane z ulotki reklamowej „Silicones Product Data. General Electric”.

3. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

3.1. OKREŚLENIE SZYBKOŚCI KAPILARNEGO WZNOŚZENIA SIĘ ROZTWORÓW

Płytki kamienia o wymiarach $10 \times 40 \times 150$ mm zanurzono do roztworu na głębokość 10 mm. Zmierzono czas wznoszenia kapilarnego na wysokość 1, 2, 3, 4 cm. Wyniki przedstawiono w tab. 2. W uzupełnieniu podano wartości lepkości i gęstości roztworów.

Tabela 2
Szybkość kapilarnego wznoszenia się roztworów w kamieniu

| Symbol próbki | Czas wznoszenia kapilarnego (minuty) | | | | Lepkość (cP) 20°C | Gęstość (g/cm ³) |
|------------------------|--------------------------------------|----|-----|-----|-------------------|------------------------------|
| | wysokość (cm) | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| A | 20 | 70 | 110 | 160 | 5,79 | 0,89 |
| B | 10 | 25 | 48 | 95 | 5,2 | 0,99 |
| C | 15 | 37 | 85 | 150 | 2,5 ± 0,5* | 0,9 ± 0,06 |
| D | 12 | 35 | 68 | 100 | 4,7 | 0,88 |
| E | 11 | 29 | 45 | 85 | 3,8 | 0,87 |
| G | 8 | 20 | 39 | 60 | 2,1 | 0,84 |
| Silak M-11 (5% roztw.) | 4 | 16 | 29 | 48 | 1,4 | 0,81 |

* temperatura pomiaru 25°C

Jak stwierdzono we wcześniejszych badaniach dotyczących czasu wznoszenia się roztworów żywic termoplastycznych w kamieniu, na czas wznoszenia największy wpływ ma lepkość roztworu. Odzwierciedlają to uzyskane wyniki. Roztwory zawierające Silak M-11 charakteryzują się niższą lepkością i szybciej wnikają do kamienia. Skrócenie czasu podciągania jest proporcjonalne do zawartości Silaku w próbce. Wszystkie roztwory posiadają dostateczną szybkość wnikania do kamienia umożliwiającą niekłopotliwe nasycanie „in situ”.

3.2. NASIĄKLIWOŚĆ KAMIENI BADANYMI ROZTWORAMI

Po nasyceniu próbek kamieni badanymi roztworami przez podciąganie kapilarne (wybrano tę metodę ze względu na zbieżność ze stosowanymi praktycznie) zważono je i obliczono stopień nasycenia roztworem. Wyniki zestawiono w tab. 3.

Nasiąkliwość kamieni badanymi roztworami jest wysoka, zbliżona do nasiąkliwości benzyną lakową lub przewyższająca ją (próbki A, B,

Tabela 3
Nasiąkliwość kamienia roztworami. Zawartość żywicy w próbkach

| Symbol próbki | Nasiąkliwość roztworem | | Nasiąkliwość w stosunku do nasiąkliwości wodą (%) | Nasiąkliwość w stosunku do b. lakowej (%) | Zawartość żywicy (%) |
|------------------------|------------------------|------------------|---|---|----------------------|
| | wagowa (%) | objętościowa (%) | | | |
| A | 14,72 | 16,53 | 86,08 | 100,47 | 1,44 |
| B | 22,46 | | 131,3 | 123,3 | 2,4 |
| C | 13,73 | 15,37 | 80,29 | 91,72 | 1,33 |
| D | 14,85 | 16,63 | 86,84 | 101,36 | 1,3 |
| E | 14,35 | 16,07 | 83,9 | 97,95 | 1,42 |
| G | 13,73 | 15,37 | 80,29 | 93,72 | 1,32 |
| H | — | — | — | — | 1,7 |
| Nasiąkliwość wodą | 17,1 | 17,1 | — | 116,72 | |
| Nasiąkliwość b. lakową | 14,65 | | 85,67 | | |
| Nasiąkliwość Siłakiem | 16,3 | | 95,3 | 112,4 | 1,48 |

C). Nasycanie kamieni przez podciąganie kapilarne zapewnia wystarczające nasycenie ich badanymi roztworami.

3.2.1. PROCENTOWA ZAWARTOŚĆ ŻYWICY W PRÓBKACH

Po wysuszeniu próbek kamienia do stałej masy obliczono procentową zawartość żywicy w próbkach. Wyniki zestawiono w tab. 3.

3.3. OKREŚLENIE ROZMIESZCZENIA ŻYWICY W STRUKTURZE KAMIENIA

Z nasyconych roztworami i wysuszonych do stałej masy próbek wycięto płytki o grubości ok. 3 mm. Po 90 min. trawienia płytek w kwasie solnym (5% roztwór HCl) stwierdzono, że we wszystkich przypadkach następuje migracja żywicy. Jej stopień jest zróżnicowany. Na wszystkich próbkach uwidoczniły się wokół krawędzi charakterystyczne „ramki” o różnej grubości. Najsilniejsza migracja wystąpiła w próbkach A i D. Prawidłowemu rozłożeniu żywicy w próbce B sprzyjał użyty rozpuszczalnik, w którym Paraloid B-72 osiąga $R_f = 0,84$.

3.4. WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNA WZMACNIANEGO KAMIENIA

Zaimpregnowane i wysuszone do stałej masy próbki kamienia zgniatano w prasie hydraulicznej o nacisku do 30 ton. Wyniki zamieszczono w tab. 4.

Tabela 4
Wytrzymałość mechaniczna wzmocnionego kamienia

| Symbol próbki | $R_{śc}$ (kG/cm ²) | Procentowy wzrost $R_{śc}$ w stos. do kontrolnej | Zmiany w stos. do A (%) |
|---------------|-----------------------------------|--|-------------------------------|
| A | 175,3 | 59 | — |
| B | 138,5 | 25,7 | — |
| C | 176,5 | 60,2 | — |
| D | 176,7 | 61,3 | +0,8% |
| E | 155,7 | 41,28 | -11,6% |
| G | 134,8 | 22,32 | -23,1% |
| H | 170,5 | 54,7 | — |
| Kontrolna | 110,2 | — | — |

Jednakowe stężenie roztworów użytych do impregnacji i wynikająca z tego podobna procentowa zawartość żywicy w próbkach upoważniają do bezpośredniego porównania uzyskanych wyników, wyciągnięcia wniosków i oceny zdolności „wzmacniających” poszczególnych żywic. Zbliżony wzrost wytrzymałości wykazały próbki wzmocnione żywicami: Paraloid, Eurostac i mieszaniną Paraloid:Silak — 3:1 (wzrost ok. 55—60%). Wyraźny jest wpływ zawartości Paraloidu na wytrzymałość w grupie próbek wzmocnianych mieszaninami z Silakiem. Wraz ze spadkiem zawartości Paraloidu maleje wytrzymałość mechaniczna próbek. Próbka E wykazuje o 19% mniejszą wytrzymałość niż A (Paraloid), a próbka G aż o 40%. Nawet przy najmniejszej zawartości Paraloidu w próbce osiągnięto wzmocnienie odpowiadające użyciu 5% roztworu tej żywicy.

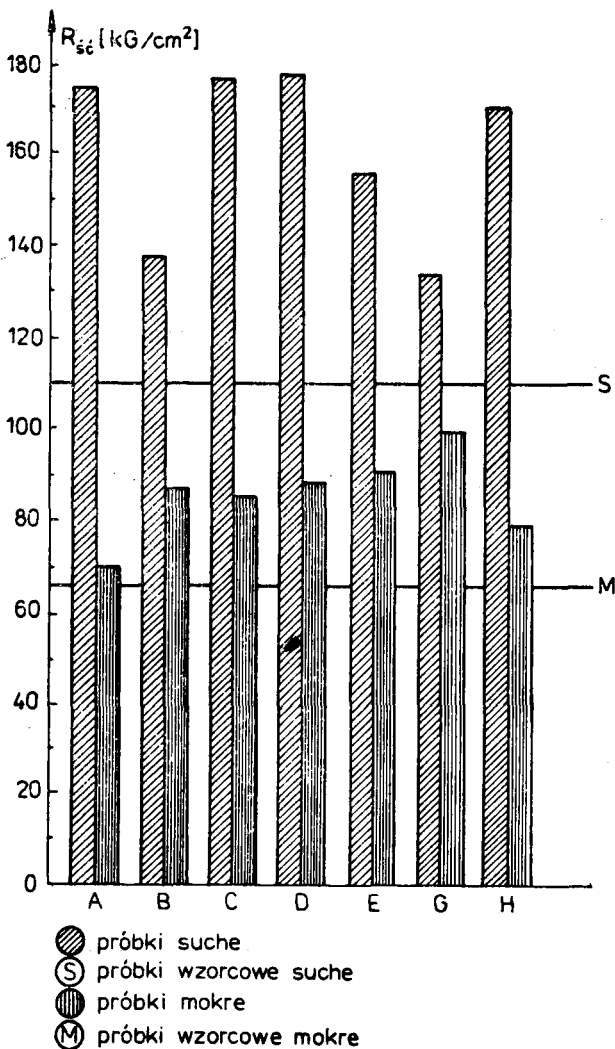
3.5. ODPORNOŚĆ WZMOCNIONYCH KAMIENI NA DZIAŁANIE WODY

Próbki wzmocnionych kamieni nasycono wodą w ciągu 14 dni, a następnie zgniatano w prasie hydraulicznej o nacisku do 30 ton. Wyniki zestawiono w tab. 5.

Jak wynika z uzyskanych danych, odporność badanych żywic na wodę nie jest jednakowa. Najsłabsza jest w przypadkach próbek wzmocnionych Paraloidem. Żywica ta nadaje wzmocnionym kamieniom tylko niewiele większą od kontrolnych wytrzymałość. Wysoka zdolność wzmocniania zanika pod wpływem wody. Jest to wynik braku trwałych własności hydrofobowych żywicy, o czym również świadczy wysoka nasiąkliwość wodą (por. tab. 6 i 7). Cienkie błony żywicy pęczniejąc pod wpływem wody tracą wytrzymałość mechaniczną i pozostają bez wpływu na wytrzymałość kamienia. Pozostałe próbki nie wykazały tak dużego spadku wytrzymałości. Zbliżona jest wytrzymałość próbek B, C, D (wynosi ok. 85 kG/cm²), jednak w porównaniu z wytrzymałością wzmocnianych

Tabela 5
Wytrzymałość wzmocnionych kamieni „na mokro”

| Symol próbki | R_{4c} (kG/cm ²) | Wzrost R_{4c} w stosunku do kontrolnych mokrych (%) | Zmiany w stosunku do kontrolnych suchych (%) | Zmiany w stosunku do wzmocnionych suchych (%) |
|--------------|--------------------------------|---|--|---|
| A | 69,6 | 4,95 | -36,8 | -60,3 |
| B | 86,4 | 29,7 | -21,6 | -32,7 |
| C | 85,0 | 27,6 | -22,9 | -51,8 |
| D | 87,8 | 31,8 | -20,3 | -50,3 |
| E | 90,1 | 35,3 | -18,2 | -33,6 |
| G | 102,4 | 53,7 | -7,0 | -24,0 |
| H | 78,4 | 17,8 | -28,0 | -50,1 |
| Kontrolna | 66,6 | — | -39,6 | -39,6 |



Rys. 1. Porównanie wytrzymałości (R_{sc}) wzmocnianych próbek w stanie powietrzno-suchym i po 14 dniach nasycania wodą

suchych kamieni próbki D i C wykazują mniejszą wytrzymałość na mokro (spadek ich wytrzymałości wynosi ok. 50%). Próbka B straciła tylko 30% swej wytrzymałości „na sucho”. Podobnie zachowuje się próbka E. Najbardziej odporna na wodę jest próbka G. Wykazuje ona najmniejszy spadek wytrzymałości w stosunku do próbek suchych i największy przyrost w stosunku do kontrolnej mokrej. Wyjaśnić to można małą początkową wytrzymałością próbki (na sucho) oraz stosunkowo niewielką zawartością w niej Paraloidu. Na przykładzie próbki H zauważyć można, że przez powierzchniową, zhydrofobizowaną warstwę woda może przedostać się do wnętrza, o czym świadczy duży spadek wytrzymałości próbki. Na rys. 1 przedstawiono różnice wytrzymałości poszczególnych próbek.

3.6. NASIĄKLIWOŚĆ WODĄ WZMOCNIONEGO KAMIENIA

Zbadano nasiąkliwość próbek wodą dwoma metodami:

- przez podciąganie kapilarne,
- przez zanurzenie.

Nasiąkliwość sprawdzono po 1, 8, 24 godzinach oraz po 7 i 14 dobach i obliczono wg wzoru:

$$N_w = \frac{m_m - m_s}{m_m} \times 100\%$$

gdzie N_w — nasiąkliwość wagowa
 m_m — masa próbki nasyconej
 m_s — masa próbki suchej

3.6.1. WZNOSZENIE KAPILARNE WODY WE WZMOCNIONYM KAMIENIU

Wysuszone do stałej masy próbki zanurzone do wody na głębokość 1 cm. Wyniki zestawiono w tab. 6 i na rys. 2.

Obecność żywicy w porach kamienia w znacznym stopniu ogranicza przenikanie wody do kamienia poprzez podciąganie kapilarne. Wyjątek stanowi próbka C, która nasiąka wodą w sposób zbliżony do kontrolnej. Wszystkie próbki zawierające Silak zachowują hydrofobowość, a ich nasiąkliwość po 2 tygodniach wynosi 1,2%—1,8%, czyli 7%—10% nasiąkliwości kontrolnej. Widoczne są niewielkie różnice nasiąkliwości próbek świadczące o wpływie zawartości Silaku na ograniczenie nasiąkliwości. Próbki A i B wykazują stopniowy, powolny wzrost nasiąkliwości, osiągając odpowiednio 77,3 i 68,6% nasiąkliwości kontrolnej. Właściwości hydrofobowe zawartych w nich żywic nie są trwałe.

3.6.2. NASIĄKLIWOŚĆ KAMIENI WODĄ OKREŚLONA PRZEZ ZANURZENIA

Próbki zanurzone do wody i utrzymywano jej lustro 2 cm ponad powierzchnią kostek. Wyniki pomiarów zestawiono w tab. 7 i na rys. 3.

Tabela 6
Nasiąkliwość próbek przez podciąganie kapilarne

| Czas Prób- ka | 1 h | | 8 h | | 24 h | | 7 dni | | 14 dni | |
|---------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|
| | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * |
| A | 0,15 | 0,86 | 0,34 | 1,96 | 1,68 | 9,7 | 9,38 | 54,2 | 13,38 | 77,34 |
| B | 0,19 | 1,09 | 0,33 | 1,90 | 0,56 | 3,23 | 7,5 | 43,35 | 11,0 | 63,6 |
| C | 1,65 | 9,53 | 10,65 | 61,56 | 13,95 | 80,6 | 15,3 | 88,5 | 15,7 | 90,75 |
| D | 0,1 | 0,63 | 0,21 | 1,2 | 0,35 | 2,0 | 0,17 | 6,76 | 1,83 | 10,6 |
| E | 0,11 | 0,69 | 0,20 | 1,2 | 0,33 | 1,9 | 0,9 | 5,2 | 1,33 | 7,68 |
| G | 0,11 | 0,69 | 0,20 | 1,2 | 0,31 | 1,79 | 0,64 | 3,7 | 1,25 | 7,2 |
| H | 0,19 | 1,09 | 0,28 | 1,6 | 0,31 | 1,79 | 1,06 | 6,1 | 1,78 | 10,3 |
| Kon- trolna | 14,5 | 83,8 | 14,6 | 84,4 | 14,8 | 85,6 | 16,8 | 97,1 | 17,3 | 100 |

* N_w — obliczono wg wzoru:

$$N_w = \frac{N_k - N}{N_k} \times 100\% \text{ gdzie: } N_k \text{ — nasiąkliwość kontrolna po 14 dniach,}$$

$$N \text{ — nasiąkliwość danej próbki.}$$

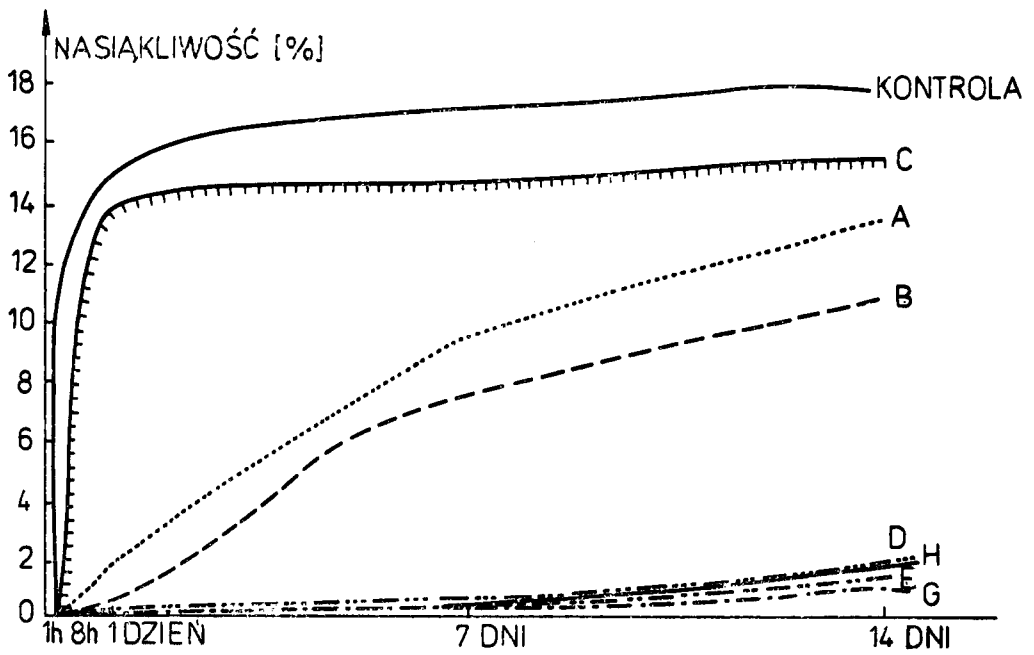
Tabela 7
Nasiąkliwość próbek zanurzonych w wodzie

| Czas NR próbki | 1 godz. | | 8 godz. | | 24 godz. | | 7 dni | | 14 dni | |
|----------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|------------------|
| | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * | N (%) | N _w * |
| A | 0,32 | 97,7 | 0,82 | 94,3 | 1,56 | 89,5 | 7,23 | 56,9 | 12,04 | 30 |
| B | 0,37 | 97,4 | 0,88 | 93,9 | 2,22 | 85,0 | 10,19 | 45,3 | 11,1 | 35,5 |
| C | 2,84 | 80,2 | 11,18 | 23,42 | 12,2 | 17,6 | 13,47 | 19,8 | 13,9 | 19,1 |
| D | 0,13 | 99,0 | 0,28 | 98,0 | 0,89 | 96,6 | 4,1 | 77,5 | 7,3 | 59,8 |
| E | 0,11 | 99,2 | 0,3 | 97,9 | 0,49 | 94,5 | 3,9 | 75,5 | 6,9 | 57,5 |
| G | 0,11 | 99,2 | 0,2 | 98,6 | 0,5 | 97,1 | 3,7 | 76,8 | 6,7 | 61,0 |
| H | 0,19 | 98,7 | 0,34 | 97,7 | 0,77 | 94,7 | 8,13 | 51,6 | 11,52 | 33,0 |
| Wzorc. | 14,4 | | 14,6 | | 14,8 | | 16,8 | | 17,2 | |

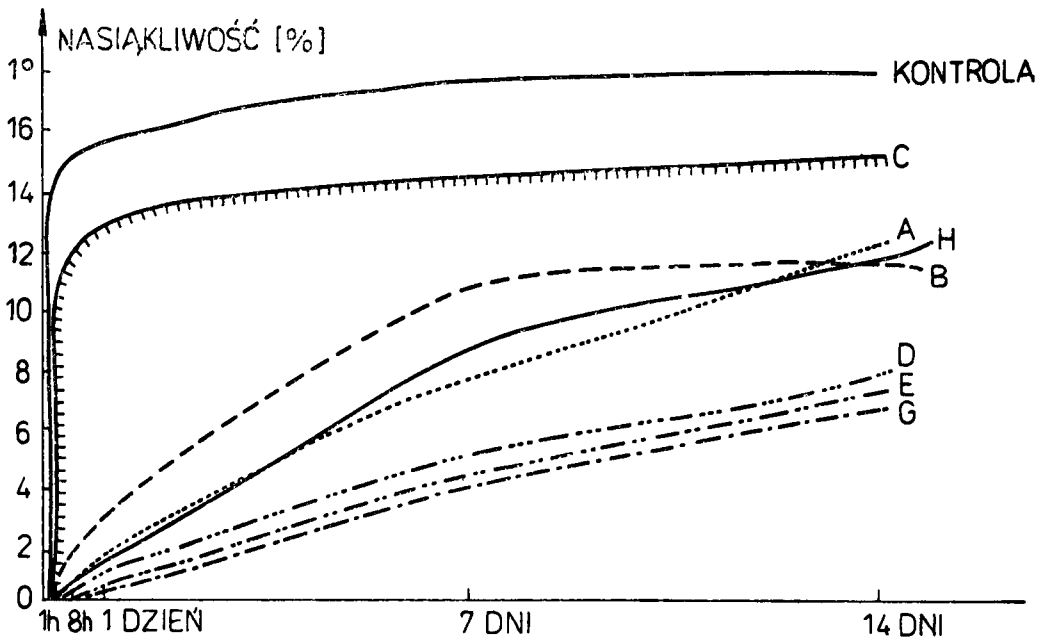
* N_w obliczono według wzoru:

$$N_w = \frac{N_w - N}{N_w} \times 100\%, \text{ gdzie: } N_w \text{ -- nasiąkliwość kontrolna po 14 dniach,}$$

$$N \text{ -- nasiąkliwość danej próbki.}$$



Rys. 2. Wykres nasiażliwości wodą wzmocnionych kamieni nasączonych przez podciąganie kapilarne



Rys. 3. Wykres nasiażliwości wodą wzmocnionych kamieni nasączonych przez zanurzenie

Jak wynika z uzyskanych danych, nasiąkliwość próbek została ograniczona w różnym stopniu. Najmniej skuteczny jest Eurostac. Już po 1 godzinie nasycania próbka ta uzyskała 19,7% nasiąkliwości próbki kontrolnej, a w ciągu 8 godzin aż 76,6%. Następnie wzrost był powolniejszy, w tempie około 0,2% na dobę — równoległe do próbki kontrolnej.

Nasiąkliwość pozostałych próbek pozwala podzielić je na dwie grupy. Do pierwszej należą kompozycje Paraloid:Silak. Kamienie impregnowane tymi mieszaninami wykazują stały, powolny wzrost nasiąkliwości (ok. 0,4% na dobę), osiągając maksymalnie ok. 40% nasiąkliwości próbki kontrolnej. Różnice pomiędzy poszczególnymi próbkami są nieznaczne. Widoczny jest jednak wpływ zawartości Silaku na ograniczenie nasiąkliwości. W drugiej grupie znajdują się próbki wzmocniane Paraloidem (i hydrofobizowane) oraz kompozycją z żywicą Dri Film. Mają one w ciągu pierwszej doby bardzo niską nasiąkliwość (1,5%—2%), która jednak systematycznie rośnie (w ciągu pierwszego tygodnia osiągając 7% do 10% nasiąkliwości kontrolnej, w następnym tygodniu do 70%). Przeprowadzone doświadczenie wykazało, że obecne w kamieniu hydrofobowe błony żywic nie chronią skutecznie kamienia przed wodą pod ciśnieniem hydrostatycznym. Utrata tych właściwości nie następuje nagle (z wyjątkiem próbki C), wzrost zawartości wody wynosi średnio: dla próbek D, E, G — 0,5%; dla próbek A, B, H — 0,85% na dobę.

3.7. HIGROSKOPIJNOŚĆ WZMOCNIONEGO KAMIENIA

Wysuszone do stałej masy próbki wzmocnionego kamienia umieszczono w eksykatorze w atmosferze o wilgotności ok. 100%. Higroskopijność badano po 7 i 14 dobach. Wyniki zestawiono w tab. 8.

Tabela 8
Wpływ rodzaju żywicy na higroskopijność kamienia

| Symbol roztworu | Higroskopijność po 7 dniach (%) | Spadek w stos. do kontrolnej (higr. kontrolna — 100%) | Higroskopijność po 14 dniach (%) | Spadek w stos. do kontrolnej (higr. kontrolna — 100%) |
|-----------------|---------------------------------|---|----------------------------------|---|
| A | 0,13 | —84% | 0,53 | —64,4% |
| B | 0,11 | —86,5% | 0,32 | —78,5% |
| C | 0,31 | —61,7% | 0,9 | —39,6% |
| D | 0,10 | —87,7% | 0,29 | —80,5% |
| E | 0,10 | —87,7% | 0,19 | —87,2% |
| G | 0,09 | —88,9% | 0,15 | —90% |
| H | 0,10 | —87,7% | 0,16 | —89,1% |
| Kontrolna | 0,81 | — | 1,49 | — |

Z uzyskanych danych wynika, że obecność Silaku ma wpływ na obniżenie higroskopijności próbek. Wykazują one od 10,7% do 19,5% higroskopijności próbki kontrolnej. Nieco większą higroskopijność mają próbki A i B, największą próbka C (60% kontrolnej).

3.8. STOPIEŃ ZHYDROFOBIZOWANIA POWIERZCHNI PRÓBEK

W celu porównania stopnia zhydrofobizowania powierzchni próbek naniesiono na oznaczone miejsca krople wody za pomocą mikropipety i pod mikroskopem optycznym przy powiększeniu 10X zmierzono ich średnicę. Wyniki zestawiono w tab. 9.

Tabela 9

Zestawienie średnic kropeł wody utrzymujących się na powierzchni wzmacnianych kamieni

| Miejsce Próbka | x ₁ | x ₂ | x ₃ | x ₄ | x ₅ |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A | 0,38 | 0,39 | 0,40 | 0,40 | 0,39 |
| B | 0,35 | 0,38 | 0,34 | 0,34 | 0,35 |
| C | 0,38 | 0,39 | 0,42 | 0,41 | 0,39 |
| D | 0,36 | 0,35 | 0,35 | 0,36 | 0,35 |
| E | 0,35 | 0,34 | 0,35 | 0,35 | 0,34 |
| G | 0,34 | 0,33 | 0,33 | 0,34 | 0,35 |
| H | 0,36 | 0,35 | 0,37 | 0,34 | 0,33 |

| | |
|-----------------|-----------------|
| oX ₁ | oX ₂ |
| | oX ₃ |
| | oX ₄ |
| | oX ₅ |

Średnica kropeł wody jest zbliżona dla próbek B, D, E, G, H. Najmniej hydrofobowe są próbki A i C. W przypadku tej ostatniej krople wody wsiąkają po kilku minutach. Na pozostałych próbkach nie zaobserwowano wsiąkania wody.

3.9. NASIĄKLIWOŚĆ WZMACNIANEGO KAMIENIA CIECZAMI ORGANICZNYMI. POROWATOŚĆ OTWARTA

W celu określenia zmian porowatości otwartej po impregnacji oraz możliwości ponownego nasycania kamienia roztworami żywic sztucznych w rozpuszczalnikach organicznych zbadano nasiąkliwość wzmocnionych próbek benzyną lakową. Użyto benzyny o $C_w = 0,772 \text{ g/cm}^3$. Określono nasiąkliwość po upływie 24 godzin i trzech dób. Na podstawie nasiąkliwości obliczono porowatość otwartą próbek wg wzoru:

$$P_o = \frac{N_w C_{ob}}{C_w} \quad \text{gdzie: } N_w \text{ — nasiąkliwość wagowa próbki,}$$

$$C_{ob} \text{ — gęstość pozorna wapienia,}$$

$$C_w \text{ — gęstość benzyny lakowej.}$$

Wyniki zestawiono w tab. 10.

Próbki po wzmocnieniu wykazują mniejszą nasiąkliwość i porowatość niż kontrolne. Dla próbek B, D, E, G spadek wynosi od 10% do 17%, dla A, C, H ok. 20%. Zmiany nasiąkliwości nie uniemożliwiają powtórzonego nasycania.

3.10. ODPORNOŚĆ WZMACNIANYCH KAMIENI NA ZAMRAŻANIE

Próbki kamienia nasycone wodą przez 14 dni zamrażano w temp. -20°C w ciągu 18 godzin i rozmrażano w wodzie w temp. pokojowej przez 8 godzin. Wykonano 40 cykli. Obserwacje zamieszczono w tab. 11 podając w niej numer cyklu, w którym pojawiły się zmiany stanu zachowania kostek.

Tabela 10
Nasiąkliwość wzmocnianego kamienia benzyną lakową i porowatość otwarta

| Symbol roztworu | Nasiąkliwość po 24 h (%) | Nasiąkliwość po 3 dobach (%) | Zmiany w stos. do kontroli | Porowatość otwarta (%) | Zmiana w stos. do kontroli (%) |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| A | 10,4 | 10,9 | -25,8 | 24,8 | -26,9 |
| B | 11,9 | 12,1 | -17,7 | 27,6 | -17,6 |
| C | 11,0 | 11,1 | -24,5 | 25,3 | -24,5 |
| D | 12,8 | 13,1 | -11,5 | 29,7 | -11,1 |
| E | 12,9 | 13,2 | -10,2 | 30,1 | -10,1 |
| G | 12,1 | 12,3 | -17,3 | 27,9 | -16,7 |
| H | 10,2 | 10,7 | -27,3 | 24,7 | -26,3 |
| Kontrola | 14,5 | 14,7 | — | 33,5 | — |

Jak wynika z tabeli, wzmocniane kostki bardzo długo nie ulegały zniszczeniu. We wszystkich przypadkach zniszczenie zaczynało się od pojawienia drobnych, włoskowatych pęknięć przy narożnikach kostek, stopniowo rozszerzających się aż do odspojenia fragmentu. Obecność żywicy sztucznej w strukturze kamienia chroni go przed działaniem naprężeń wywołanych zamrażaniem wody i opóźnia zniszczenie. Zmienia się również charakter zniszczeń. Kostka kontrolna uległa również erozji polegającej na wykruszeniu z powierzchni wtężyć.

3.11. ODPORNOŚĆ WZMACNIANEGO KAMIENIA NA DZIAŁANIE SOLI ROZPUSZCZALNYCH W WODZIE

Aby określić odporność wzmocnianych próbek na działanie soli rozpuszczalnych w wodzie, wykonano test z zastosowaniem nasyconego roztworu siarczanu sodowego ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Próbki zanurzone do roztworu na 16 godzin i po wyjęciu suszono w temperaturze 70°C w ciągu 8 godzin. Następnie próbki zanurzone do roztworu i suszono jak wyżej.

Próbki wzmocnionego kamienia wykazały większą od wzorcowych

Tabela 11
Zmiany zachodzące we wzmacnianych kamieniach pod wpływem zamrażania

| Cykl | Próbka | | | | | | |
|----------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 15 | 20 | 23 | 29 | 33 | 35 | 40 |
| A | — | — | drobne pęknięcie | | | | oderwanie fragm. |
| B | — | — | — | — | — | — | — |
| C | — | | | | | drobne pęknięcie | — |
| D | — | — | — | — | drobne pęknięcie | — | |
| E | — | — | — | — | — | — | — |
| G | — | drobne pęknięcie | | | oderwanie fragm. | | |
| H | — | — | drobne pęknięcie | drobne pęknięcie | — | — | |
| Kontrola | drobne pęknięcie | oderwanie fragm. | wypadanie wtrętów | dalsze pęknięcie | | | |

odporność na działanie soli. Najszybciej destrukcji uległa próbka A, która po 7 cyklu zaczęła pękać wzdłuż krawędzi, a następnie złuszczyła się ok. 1,5 mm warstwa z powierzchni. Pozostałe kostki uległy stopniowemu zniszczeniu w ciągu następnych cykli. Na próbkach D, E, G przybrało ono formę rozkruszania i odspajania cienkiej warstwy na górnej powierzchni kostki, powierzchnie boczne pozostały bez zmian. Próbka C uległa zniszczeniu na całej powierzchni.

Obecność żywic w strukturze kamienia opóźnia powstanie zniszczeń pod wpływem krystalizujących soli, lecz nie powstrzymuje ich.

3.12. ODPORNOŚĆ ZASTOSOWANYCH ŻYVIC NA PROMIENIOWANIE UV

Powłoki żywic naniesiono na szkiełka mikroskopowe i naświetlano w ciągu 350 godzin w komorze klimatyzującej Feutron 3001, w następujących warunkach:

- odległość próbki od źródła U.V. — ok. 30 cm,
- natężenie promieniowania — $4,5 \frac{\text{mol}}{\text{cm}^2 \cdot \text{godz.}} \pm 0,5 \cdot 10^{-3}$,
- promieniowanie o długości fali do 435 μm ,
- sposób napromieniowania ciągły.

Nie stwierdzono żółknięcia próbek.

3.13. OCENA WIZUALNA WZMOCNIONYCH KAMIENI

Wszystkie próbki wzmocnionych kamieni po wysuszeniu wykazują niewielkie ściemnienie w stosunku do próbki kontrolnej. Obecność żywicy w kamieniu nie wpływa ujemnie na jego wygląd.

3.14. BADANIA NAD OGRANICZENIEM MIGRACJI MIESZANIN PARALOIDOWO-SILAKOWYCH

Ponieważ prowadzone doświadczenia dowiodły nierównomiernego rozłożenia żywic w strukturze kamienia, przeprowadzono badania nad ograniczeniem migracji. Zastosowano dodatki benzyny lakowej (rozcieńczalnik w stosunku do Paraloidu, rozpuszczalnik Silaku).

3.14.1. OZNACZENIE PUNKTU ZMĘTNIENIA MIESZANIN

Do 10 cm³ roztworu (mieszaniny) dodawano równymi porcjami benzynę lakową aż do uzyskania trwałego zmętnienia. Wykonano też próbę wytrącenia Paraloidu przy użyciu 10% roztworu Silaku M-11 w benzynie lakowej. Wyniki zestawiono w tab. 12.

Tabela 12

Ilość benzyny lakowej potrzebna do uzyskania punktu zmętnienia mieszanin

| Symbol roztworu | Ilość benzyny lak. (w częściach na 10 części roztworu) | Ilość Silaku M-11 (w częściach na 10 części roztworu) |
|-----------------|--|---|
| A | 3,4 | 22,5 |
| D | 5,6 | — |
| E | 6,3 | — |
| G | 7,5 | — |

3.14.2. OKREŚLENIE ROZDZIAŁU FAZOWEGO (R_f) ROZTWORÓW

Próbki wapienia o wymiarach 10×40×150 mm zanurzono w roztworach na głębokość 1 cm. Po całkowitym nasyceniu roztworem wysuszone je do stałej masy i przecięto na dwie cieńsze płytki, które następnie trawiono 5% roztworem HCl. R_f wyrażono jako stosunek wzniesienia się żywicy (oznaczono po wytrawieniu płytki) do wysokości wzniesienia roztworu. W tab. 13 przedstawiono skład roztworów, czas ich kapilarnego wznoszenia w kamieniu oraz wartości R_f . Wyżej wymienionymi roztworami nasycono kostki wapienia, a po ich wysuszeniu wycięto z partii środkowych płytki o grubości ok. 3 mm i po wytrawieniu w HCl (5% roztwór), 30×30 min., nie stwierdzono migracji żywicy. Cała po-

Tabela 13
Rozdział fazowy w badanych roztworach

| Symbol roztworu | Stosunek roztworu do benzyny lakowej (objętościowo) | R_f | Czas wznoszenia kapilarnego | | | |
|-----------------|---|-------|-----------------------------|------|------|------|
| | | | 1 cm | 2 cm | 3 cm | 4 cm |
| D | 1,8—1 | 0,86 | 19 | 38 | 60 | 110 |
| E | 1,6—1 | 0,83 | 12 | 30 | 48 | 92 |
| G | 1,3—1 | 0,81 | 8 | 25 | 45 | 70 |

wierzchnia płytki nie ma miejsc silniej wytrawionych, nie utworzyły się „ramki”. Dodatek rozcieńczalnika skutecznie powstrzymał migrację żywic.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

1. Badane roztwory infiltrują w głąb kamienia z prędkością pozwalającą na zastosowanie ich do impregnacji strukturalnej.

2. Stwierdzono nieznaczną migrację żywic do powierzchni w próbkach wzmacnianych mieszaninami Paraloidu i Eurostacu. Równomierne rozłożenie żywic w strukturze kamienia umożliwia dodatek rozcieńczalnika — benzyny lakowej do roztworu. Jej ilość zależy od składu roztworu i wynosi: 1 cz. benzyny na 1,8 cz. roztworu D (3P:1S), 1 cz. benzyny na 1,6 cz. roztworu E (1P:1S), 1 cz. benzyny na 1,3 cz. roztworu G (1P:3S).

3. Badane żywice w nierównomiernym stopniu nadają kamieniowi trwałe własności hydrofobowe. Najmniej skuteczna jest żywica Eurostac. Woda nasycza wzmocnione nią próbki podobnie jak niewzmocnione, tzn. łatwo i w dużym stopniu (ok. 90%), a naniesione krople wody wsiąkają w kamień po kilkunastu sekundach. Drugą grupę stanowią próbki wzmocnione Paraloidem i jego mieszaniną z Dri Film. Utrzymują one własności hydrofobowe przez dłuższy czas, osiągając po 7 dniach nasiąkliwość ok. 7% do 10%. Do 3 grupy należy zaliczyć mieszaniny Paraloidu B-72 z Silakiem M-11. Nadają one próbkom trwałe własności hydrofobowe. Po 2 tygodniach nasycania wodą próbki te osiągają tylko ok. 8% nasiąkliwości wzorcowej. Nieco gorzej chronią one kamień przed działaniem wody pod ciśnieniem hydrostatycznym — po 2 tyg. uzyskują one ok. 50% nasiąkliwości kontrolnej. Różnice pomiędzy poszczególnymi mieszaninami są niewielkie. Próbka H zachowuje hydrofobowość wobec wody wznoszącej się kapilarnie, w przypadku zanurzenia w wodzie żywica nie ogranicza skutecznie jej dostępu do wnętrza próbki. Świadczy to o nieskuteczności hydrofobizacji powierzchniowej.

4. Ograniczenia nasiąkliwości wodą nie należy przypisywać uszczelnieniu kapilar. Mimo nierównomiernego rozłożenia żywicy w próbkach

nie uszczelnia ona kapilar, o czym świadczy niewielki spadek porowatości otwartej oraz odpowiadający mu niewielki spadek nasiąkliwości cieczami organicznymi.

5. Obecność żywic w kamieniu powoduje wzrost jego wytrzymałości mechanicznej. Nie jest on równomierny dla wszystkich próbek. W przypadku impregnacji mieszaninami z Paraloidem wzrost wytrzymałości wyraźnie zależy od jego zawartości w próbce i wynosi:

- roztw. A (10% Paraloidu w roztworze) — 59%
- roztw. H (10% Paraloidu w roztworze) — 54,7%
- roztw. D (7,5% Paraloidu w roztworze) — 59%
- roztw. E (5% Paraloidu w roztworze) — 41,2%
- roztw. G (2,5% Paraloidu w roztworze) — 22,3%.

Wysoki wzrost wytrzymałości wykazały próbki C (o 60%), a próbki B osiągnęły wytrzymałość zbliżoną do G.

6. Nie wszystkie kamienie po wzmocnieniu są odporne na działanie wody. Pod jej wpływem tracą nabytą w wyniku wzmacniania wytrzymałość. Największy spadek wytrzymałości stwierdzono w próbkach impregnowanych Paraloidem. Obecność Silaku ogranicza spadek wytrzymałości proporcjonalnie do jego zawartości w próbce. Próbka impregnowana żywicą Eurostac traci ok. 50% wytrzymałości.

7. Odporność wzmacnianych kamieni na działanie soli rozpuszczalnych w wodzie nie jest wystarczająca. W większości przypadków pod ich wpływem następowało odspajanie cienkich przypowierzchniowych warstewek kamienia. W porównaniu do konkretnej próbki wzmacniane są znacznie bardziej odporne.

8. Wszystkie żywice obecne w kamieniu zwiększają jego odporność na zamrażanie, która zależy od rodzaju żywicy obecnej w porach kamienia — jej elastyczności i wodoodporności. Najlepiej zachowały się próbki wzmacniane żywicami Paraloid B-72, Dri Film 104 i Eurostac. Próbka G mimo dużej swej wodoodporności uległa szybko zniszczeniu ze względu na zawartość w jej kapilarach Silaku M-11 (7,5% ogółu żywicy) o bardzo niskiej wytrzymałości mechanicznej.

10. Powłoki uzyskane z badanych preparatów nie zółkną pod wpływem promieniowania U.V.

11. Obecność żywic w porach kamienia powoduje jego nieznaczne w stosunku do kontrolnego ściemnienie.

5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania dowiodły możliwości modyfikowania Paraloidu B-72 dodatkami Silaku M-11. Stosowane mieszaniny tych żywic (w stosunku 3:1, 1:1, 1:3) znacznie lepiej nadają się do wzmacniania i ochrony kamieni niż roztwory Paraloidu nawet po dodatkowym prze-

prowadzeniu hydrofobizacji kamienia. Mieszanki te doskonale wnikają do kamienia (nawet po dodaniu rozcieńczalnika), równomiernie rozkładają się w strukturze kamienia. Zapewniają wzrost wytrzymałości mechanicznej i wodoodporności wzmocnionego kamienia (w stopniu zależnym od proporcji obu żywic). Próbki impregnowane badanymi żywicami zachowują hydrofobowość, są odporne na działanie mrozu, w mniejszym stopniu niż pozostałe ulegają działaniu krystalizujących soli. Obecność żywic w ich strukturze powoduje minimalne ściemnienie.

Doświadczenia potwierdziły, że w mieszaninach tych Paraloid B-72 odpowiedzialny jest głównie za parametry mechaniczne wzmocnionego kamienia. W przypadkach, gdzie zniszczenie związane jest z działaniem sił, lepiej zachowują się próbki o większej zawartości tej żywicy. Silak M-11 nadaje próbkom wodoodporność, „osłaniając” Paraloid przed wpływem wody.

Pozostałe dwie kompozycje — Eurostac AC-S 2001 i Paraloid/Dri Film 104 wykazują nieco gorsze właściwości. Szczególnie Eurostac nie hydrofobizuje dostatecznie kamienia. Druga kompozycja ma własności porównywalne z mieszaninami Paraloid/Silak, ale hydrofobowość impregnowanych nią kamieni jest gorsza. Do impregnacji obiektów w ekspozycji wewnętrznej narażonych na działanie wody nadają się szczególnie mieszaniny Paraloidu B-72 z Silakiem M-11, a z nich zwłaszcza te o proporcjach 3:1 i 1:1. Ich stosowanie umożliwiła równoczesne wzmocnienie i hydrofobizację obiektu.

EVALUATION OF APPLICABILITY OF ACRYLIC-SILICONE RESINS TO IN-DEPTH CONSOLIDATION AND PROTECTION OF STONE HISTORICAL OBJECTS

Summary

At the beginning of the work the reasons for investigations are given. Acrylic-silicone mixtures should combine high mechanical properties of acrylic resins with a very good waterrepellency of silicones.

Impregnation of limestone Pińczów was achieved with: a mixture of Paraloid B-72 with Silak M11 in three various ratio, Eurostac consolidant AC-S, a mixture of Paraloid B-72 with Dri Film 104 and Paraloid B-72 combined with surface hydrophobisation with Silak M-11 (Table 1).

Applicability of the above solutions to stone impregnation was evaluated as well as stone physico-mechanical properties and resistance to destructive agents.

The best results have been noticed for mixtures of Paraloid B-72/Silak M-11. The parameters of stone impregnated depend directly on the proportion of the mixture applied. The use of mixtures allows to combine consolidation with hydrophobisation in a single treatment. In order to achieve regular distribution of resin in the stone structure, addition of white spirit to the solutions is necessary.