

**Domasłowski, Wiesław /
Kęsy-Lewandowska, Maria**

**Strukturalne wzmacnianie piaskowców
żywicami termoplastycznymi**

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 12 (164),
107-128

1987

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.

Zakład Konserwacji Elementów
i Detali Architektonicznych

Wiesław Domasłowski, Maria Kęsy-Lewandowska

STRUKTURALNE WZMACNIANIE PIASKOWCÓW ŻYWICAMI TERMOPLASTYCZNYMI

Zarys treści. Kontynuując badania nad strukturalnym wzmacnianiem kamieni żywicami termoplastycznymi przeprowadzono doświadczenia z piaskowcami z Nietuliska i Żerkowic. Zbadano zdolność migracji żywic i kapilarnego wznoszenia się roztworów w piaskowcach, określono ich wytrzymałość mechaniczną, porowatość, zdolność kapilarnego podciągania wody oraz odporność na działanie soli. Zbadano także możliwość powtórnego nasycania wzmocnionych piaskowców roztworami żywic. Doświadczenia pozwoliły na stwierdzenie, że odpowiednio dobrane parametry procesu nasycania pozwalają na strukturalne wzmocnienie piaskowców za pomocą polimetakrylanu metylu. Paraloid B-72 natomiast, stosowany dotychczas w postaci roztworów w węglowodorach aromatycznych, do wzmacniania piaskowców nie nadaje się.

1. WSTĘP

Prowadzone od szeregu lat badania nad strukturalnym wzmacnianiem wapienia pińczowskiego¹ pozwoliły ustalić parametry, które decydują o zjawisku migracji żywic w tym kamieniu². Obecnie podjęto doświadczenia nad wzmacnianiem piaskowców. Użyto do tego celu piaskowców Nietulisko i Żerkowice, które nasycano roztworami polimetakrylanu metylu (PMM) i Paraloidu B-72 (B-72). W tab. 1 podano niektóre właściwości fizyczne i mechaniczne badanych piaskowców.

Jak wynika z tabeli, piaskowce te różnią się porowatością oraz zdolnością kapilarnego podciągania cieczy. Ostatnia cecha świadczy o zróżnicowa-

¹ Badania prowadzono na zlecenie Zarządu PP Pracowni Konserwacji Zabytków w Warszawie.

² Rezultaty badań opubl. w AUNC, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo VII i VIII, Toruń 1979, oraz IX, Toruń 1980, X, Toruń 1983. W. D o m a s ł o w s k i, J. L e h m a n n, *Recherches sur l'affermissement structural des pierres au moyen de solutions de resines thermoplastiques*, [w:] *The Treatment of Stone*, Bolonia 1972, s. 255; W. D o m a s ł o w s k i, *Strukturalne wzmacnianie wapienia pińczowskiego polimetakrylanem butylu*, *Ochrona Zabytków* 1976, nr 4, s. 285.

Tabela 1
Właściwości piaskowców

Piaskowiec	Ciężar objętościowy (g/cm ³)	Nasiąkliwość wodą (%)	Porowatość otwarta (%)	Wytrzymałość na ściskanie (kG/cm ²)	Szybkość kapilarnego wzniesienia się wody do wysokości:		
					5 cm	10 cm	15 cm
Nietulisko	1,81	11,4	20,6	251	2'	6'	12'
Żerkowice	1,94	8,2	15,9	268	8'	28'	62'

nej średnicy porów, jakie występują w tych piaskowcach. Piaskowiec Nietulisko jest kamieniem o zdecydowanie większych porach niż Żerkowice.

Doświadczenia dotyczyły określenia rozdziału fazowego roztworów w piaskowcach, rozmieszczenia żywic w ich strukturze, zdolności wzniesienia się roztworów, wytrzymałości mechanicznej kamieni oraz ich odporności na działanie soli. Przeprowadzono także próby powtórnego wzmacniania piaskowców.

2. OKREŚLENIE ROZDZIAŁU FAZOWEGO ROZTWORÓW ŻYVIC

Doświadczenie wykonano na płytkach piaskowców o wymiarach 14 cm × 4 cm × 1 cm. Zanurzano je w badanych roztworach na głębokość 1 cm i nasycano nimi płytki do momentu wzniesienia się roztworów na wysokość 10 cm. Współczynnik rozdziału fazowego określano jako stosunek wzniesienia się żywicy do wysokości wzniesienia się rozpuszczalnika licząc od lustra roztworu. Czoło wzniesienia się żywicy oznaczano po wysuszeniu płytek nanosząc na ich powierzchnie kroplę wody o objętości 50 μ l. Woda wsiąkała jedynie w te miejsca, w których żywica nie osadziła się. Omawiane płytki nasycano 10-procentowymi roztworami PMM i B-72 w toluenie (T) oraz z dodatkami benzyny lakowej (Bl). Wyniki zestawiono w tab. 2.

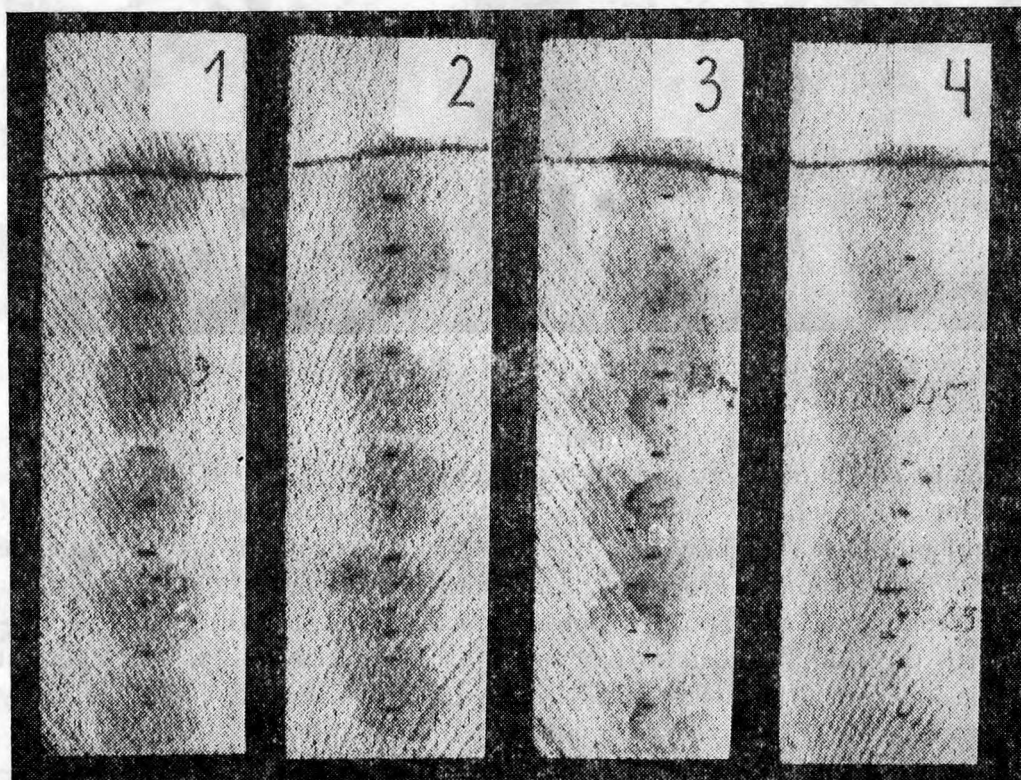
Na podstawie wartości Rf zamieszczonych w tabeli stwierdzamy, że nie nastąpił rozdział faz w piaskowcu Nietulisko, a w Żerkowicach wystąpił w niewielkim stopniu w roztworach zawierających dodatki benzyny lakowej. Wraz ze zwiększaniem jej ilości w stosunku do toluenu (B-72) obserwujemy niewielki spadek wartości Rf.

Brak rozdziału faz w roztworach z toluenem może świadczyć, że w kamieniach zaszły procesy migracji żywic do porów powierzchniowych kamienia. Aby potwierdzić to przypuszczenie, przecięto płytki na połowy wzdłuż płaszczyzny 14 cm × 4 cm i nanosząc krople wody zbadano właściwości hydrofobowe wewnętrznej powierzchni kamienia.

Wyniki obrazują zdjęcia 1—4 przedstawiające wewnętrzną powierzchnię płytek piaskowców z naniesionymi co 2 cm kroplami wody. Sfotografowano

Tabela 2
Rozdział faz roztworów żywic w piaskowcu
Nietulisko i Żerkowice

Żywice	Rozpuszczalniki	Rf	
		Nietulisko	Żerkowice
PMM	T	1,0	1,00
	T : B1 = 9 : 1	1,0	0,93
Paraloid	T	1,0	1,00
	T : B1 = 9 : 1	1,0	0,97
	T : B1 = 4 : 1	1,0	0,96
	T : B1 = 3 : 1	1,0	0,93

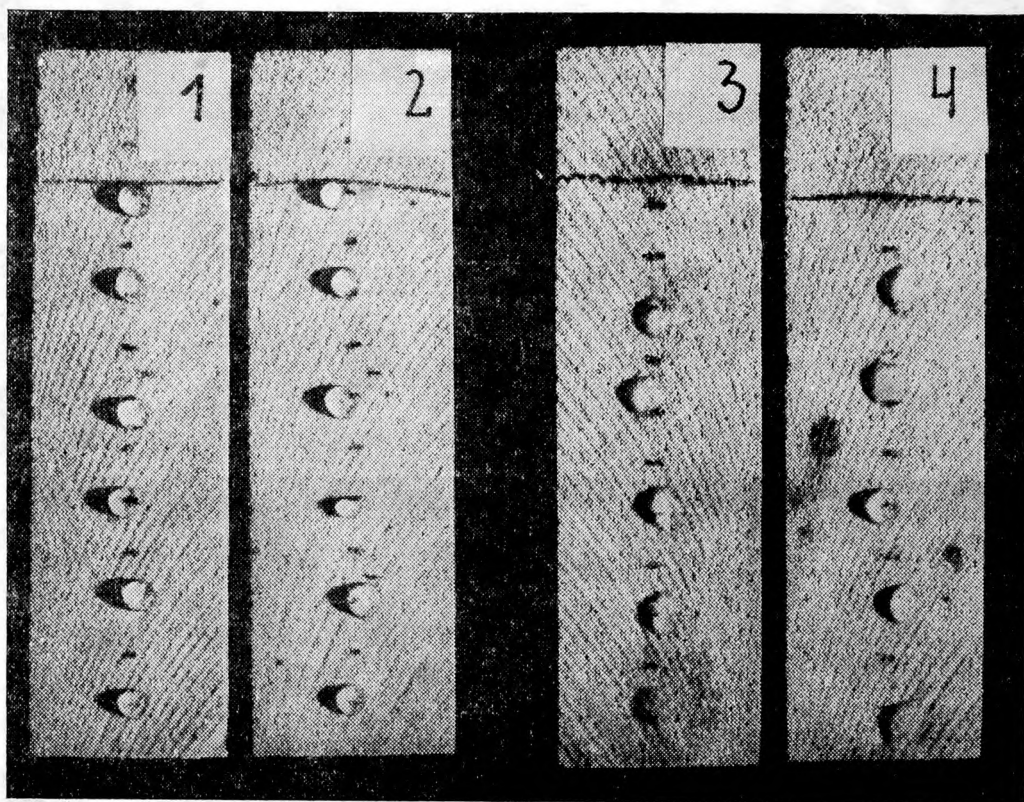


1. Krople wody (50 μ l) naniesione na wewnętrzne powierzchnie przeciętych płytek nasyconych 10-procentowym roztworem PMM. Fot. A. Skowroński

1 — piaskowiec Nietulisko, roztwór w T, 2 — piaskowiec Nietulisko, roztwór w T+B1 (9 : 1),
3 — piaskowiec Żerkowice, roztwór w T, 4 — piaskowiec Żerkowice, roztwór w T+B1 (9 : 1).
Zdjęcia wykonane po 5 minutach

grafowano je po czasie 90 sek. (B-72) oraz po 5 min i 30 min (PMM) od chwili naniesienia wody.

Jak wynika z fotografii 1 i 2, powierzchnie wewnętrzne płytek z piaskowca Nietulisko wzmocnione PMM wykazują dużą hydrofobowość. Po 30 min. krople wody zachowały swój kształt, co świadczy o dużej akumu-



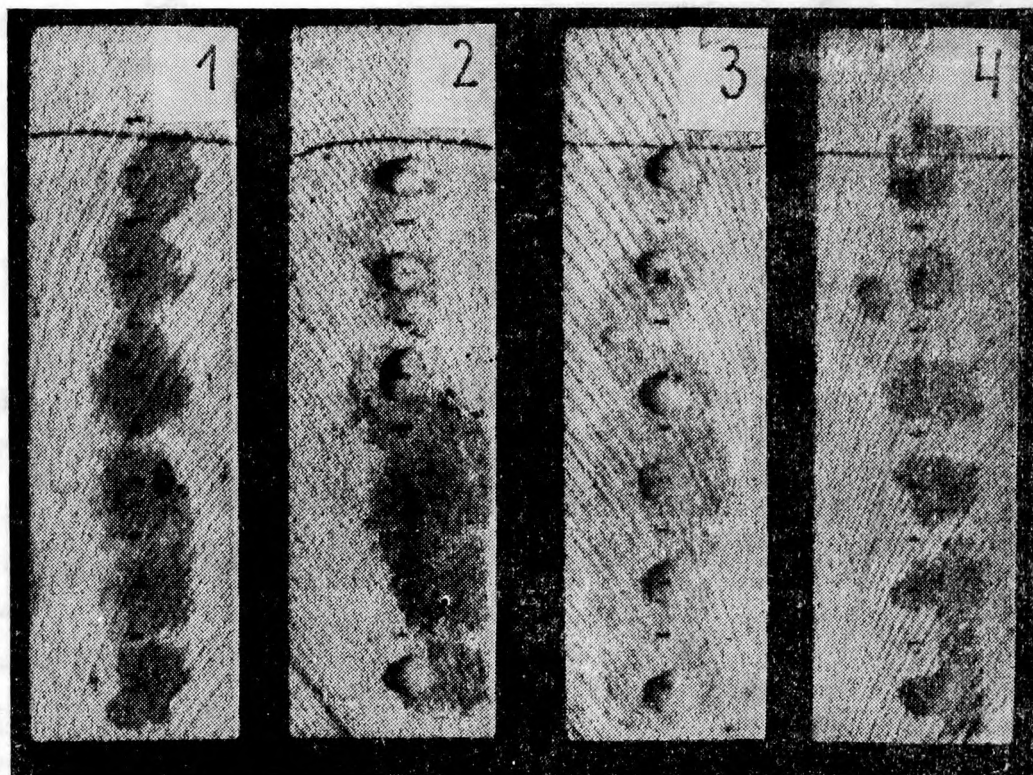
2. Zdjęcia tych samych próbek (fot. 1) po 30 minutach. Fot. A. Skowroński

lacji żywicy w wewnętrznych porach piaskowca. Żywica została rozmieszczona na całym obszarze poddanym nasycaniu.

Gorszymi właściwościami hydrofobowymi odznaczają się natomiast płytki piaskowca Żerkowice (fot. 1, 2). Niską hydrofobowość mają partie dolne próbek (tzn. te, które były zanurzone w roztworze), a absolutny brak hydrofobowości występuje w pobliżu maksymalnego wzniesienia się roztworu (kreska). Pozostała powierzchnia odznacza się w porównaniu z piaskowcem Nietulisko mniejszą hydrofobowością, o czym świadczy rozlewanie się kropeł wody i stopniowe ich wsiąkanie.

Powyższe zjawisko zostało wywołane migracją żywic do porów powierzchniowych oraz rozdziałem fazowym (górna partia próbek).

Odnosnie do piaskowców nasyconych Paraloidem należy stwierdzić, że we wszystkich przypadkach, niezależnie od rodzaju piaskowca i roztworu, nie wystąpiło zjawisko hydrofobowości, lub w minimalnym stopniu (fot. 3, pr. 2 i 3). Wyniki doświadczenia świadczą o bardzo dużej migracji żywic do porów powierzchniowych płytek oraz o znikomym rozdziale faz, jaki zaszedł w roztworze. W płytkę piaskowca Nietulisko nasyconą roztworem B-72 w toluenie woda wsiąknęła natychmiast (fot. 3, pr. 1), podczas gdy pozostałe (pr. 2, 3, 4), nasycone roztworami z dodatkiem benzyny lakowej, wykazywały pewną słabą hydrofobowość. Spośród płytek piaskowca Żer-



3. Krople wody ($50 \mu\text{l}$) naniesione na wewnętrzne powierzchnie przeciętych płytek piaskowca Nietulisko nasyconych 10-procentowym roztworem żywicy Paraloid B-72.

Fot. A. Skowroński

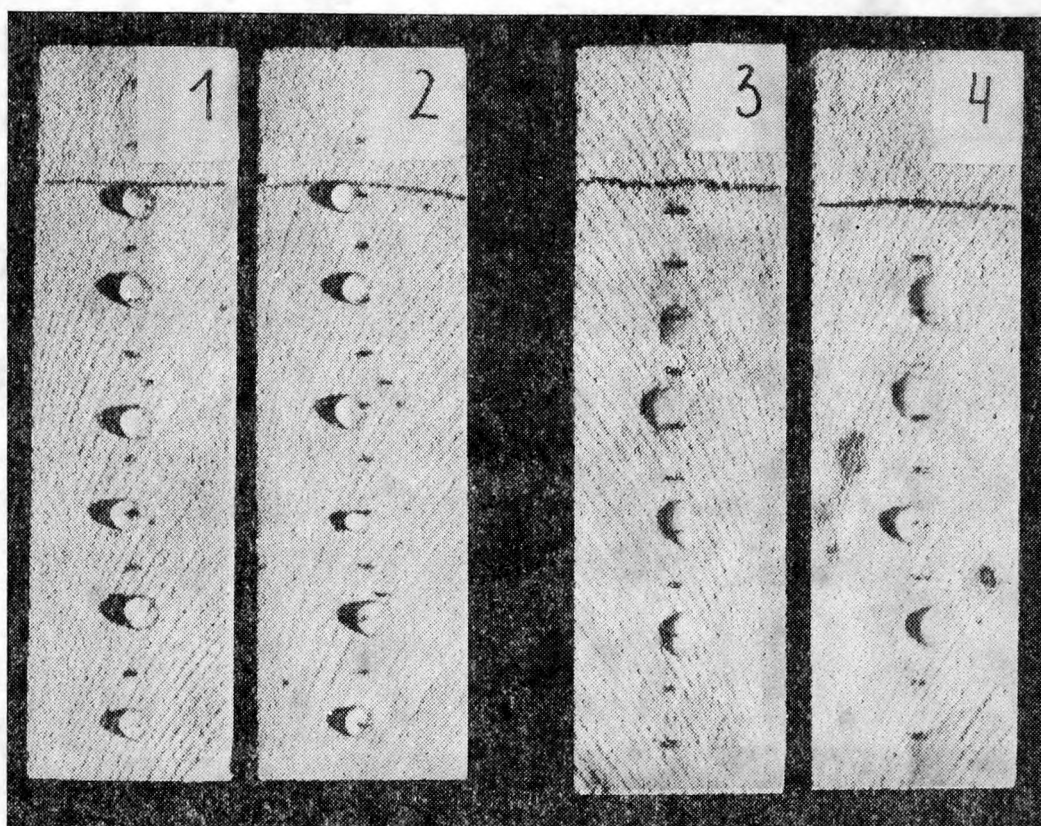
1 — żywica w T, 2 — żywica w T+B1 (9 : 1), 3 — żywica w T+B1 (4 : 1), 4 — żywica w T+B1 (3 : 1).
Zdjęcia wykonane po 90 sekundach

kowice tylko jedna, która była nasycona roztworem z benzyną, wykazała minimalną hydrofobowość (fot. 4, pr. 3). Wynik świadczy o migracji żywic do porów powierzchniowych płytek.

3. ROZMIESZCZENIE ŻYVIC W STRUKTURZE PRÓBEK WZMOCNIONYCH PIASKOWCÓW

Celem potwierdzenia rezultatów badań dotyczących migracji żywic uzyskanych podczas określenia rozdziału fazowego przeprowadzono dodatkowe badania na kostkach piaskowców o wymiarach boków 5 cm.

Kostki nasycono na drodze kapilarnego podciągania 10-procentowymi roztworami PMM i B-72 w octanie n-butylu oraz w toluenie i jego mieszaninie z benzyną lakową. Poza tym nasycono je 5-procentowymi roztworami żywic w mieszaninie toluenu z benzyną. Jak wynika z powyższego wyliczenia, zastosowano rozpuszczalnik, w którym żywice ulegają



4. Krople wody (50 μ l) naniesione na wewnętrzne powierzchnie przeciętych płytek piaskowca Żerkowice nasyconych 10-procentowym roztworem Paraloidu B-72. Fot.

A. Skowroński

1 — żywica w T, 2 — żywica w T+Bl (9 : 1), 3 — żywica w T+Bl (4 : 1), 4 — żywica w T+Bl (3 : 1).
Zdjęcia wykonane po 30 sekundach

łatwo migracji (octan butylu), rozpuszczalnik powodujący bardzo duże ograniczenie tego zjawiska (toluen), oraz dodatki rozcieńczalnika zmniejszającego do minimum migrację³ (benzyna lakowa). Poza tym zastosowano roztwory o różnym stężeniu oraz różne żywice, co, jak wiadomo, może mieć także wpływ na wymienione zjawisko⁴.

Ilość benzyny, jaką można było dodać do roztworu żywicy, ustalano na podstawie pomiaru punktu zmętnienia. Aby uniknąć przedwczesnego rozdziału faz, stosowano mniejsze nieco dodatki benzyny, niż to wynikało z pomiarów. Skład stosowanych roztworów z dodatkiem benzyny lakowej podano w tab. 3.

Aby określić rozmieszczenie żywic w piaskowcach, wysuszone do stałej

³ W. Domasłowski, *Badania nad strukturalnym wzmacnianiem wapienia pińczowskiego termoplastycznymi żywicami sztucznymi, część II*, AUNC, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo VIII, Toruń 1979, s. 18 oraz wspólnie z J. Łukasiewicz, cz. III, AUNC, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo IX, Toruń 1980, s. 7; cz. IV, AUNC, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo X, Toruń 1983, s. 37.

⁴ W. Domasłowski, *Strukturalne wzmacnianie...*, s. 285.

Tabela 3

Skład stosowanych roztworów żywicy PMM i Paraloid B-72 z dodatkiem benzyny lakowej

Roztwór żywicy	Zawartość benz. lak. w 100 ml roztworu	Stosunek toluenu do benz. lakowej
10-procentowy PMM	15	5 : 1
5-procentowy PMM	15	5 : 1
10-procentowy Paraloid B-72	24	2,7 : 1
5-procentowy Paraloid B-72	28,8	2,1 : 1

masy kostki przecinano na połowy wzdłuż płaszczyzn kapilarnego podciągania roztworów i badano hydrofobowe własności powierzchni wewnętrznych. Miarą stopnia zhydrofobizowania powierzchni był czas wnikania kropli wody, które (o objętości 50 μ l) наносzono wzdłuż płaszczyzny podciągania kapilarnego w odległości co 1 cm. Uzyskane wyniki, uwzględniające rodzaj piaskowca, stężenie badanych roztworów, rodzaj żywicy i rozpuszczalnika podano w tab. 4.

Analizując uzyskane wyniki stwierdzamy, że na rozmieszczenie żywicy w strukturze piaskowców wywierają wpływ rozpuszczalniki, rodzaj żywicy oraz stężenie roztworu.

Spośród użytych polimerów dobre wyniki uzyskano z PMM. Stosowany

Tabela 4

Rozmieszczenie żywicy w strukturze piaskowców określone metodą pomiaru wsiąkania kropli wody o objętości 50 μ l

Żywica	Rozpuszczalnik *	Stężenie roztworu (%)	Nietulisko				Żerkowice			
			odległość kropli wody od podstawy próbki w cm							
			1	2	3	4	1	2	3	4
			czas wnikania kropli wody							
PMM	Ob	10	bz	31'	31'	32'	28'	28'	17'	17'
	T	10	bz	bz	bz	bz	44'	bz	bz	bz
	T+Bl	10	bz	bz	54'	50'	bz	bz	bz	bz
	T+Bl	5	bz	bz	39'	39'	bz	bz	bz	bz
B-72	Ob	10	10"	10"	8"	28"	8"	7"	9"	11"
	T	10	1'45"	25"	3'15"	2'	2'25"	2'20"	7'40"	47"
	T+Bl	10	54'	48'	bz	bz	4'	5'	5'	17'
	T+Bl	5	1'	1'	45"	bz	20"	25"	40"	55"

* Ob — octan n-butyli
T — toluen
Bl — benzyna lakowa

w toluenie nie wykazywał tendencji do migracji osadzając się równomier-
nie w wewnętrznych porach piaskowców.

Paraloid jedynie w postaci 10-procentowych roztworów w mieszaninie
toluenu z benzyną lakową został osadzony w wewnętrznej strukturze
piaskowca Nietulisko. W piaskowcu Żerkowice występowała migracja tej
żywicy niezależnie od stosowanych rozpuszczalników.

Decydujący wpływ na proces kumulacji żywicy miały rozpuszczalniki.
W octanie n-butyłowym występowała wyraźna migracja PMM, podczas
gdy w toluenie i jego mieszaninie z benzyną lakową była w dużym stopniu
ograniczona. W przypadku żywicy Paraloid B-72 migracja występowała
zarówno w roztworach octanu butylu, jak toluenie. Dodatek benzyny do
toluenu w dużej mierze ją ograniczył (Nietulisko — roztwór 10⁰/o).

Wpływ stężenia na zdolność migracji uwidocznił się przy użyciu ży-
wicy Paraloid B-72. Czasy wnikania kropli wody do próbek nasyconych
5-procentowym roztworem były znacznie krótsze niż przy użyciu roztwo-
rów 10-procentowych.

4. ZDOLNOŚĆ KAPILARNEGO WZNOSZENIA SIĘ ROZTWORÓW ŻYVIC W PIASKOWCACH

Do badań zastosowano kostki (5 cm × 5 cm × 5 cm) piaskowca Nietulis-
ko i Żerkowice oraz roztwory PMM i Paraloid B-72.

Kostki zanurzano na głębokość 1 cm w roztworach żywicy i mierzono
czas ich kapilarnego wznoszenia się w odstępach 1 cm. Pomiar przeprowa-
dzono w naczyniach zamkniętych, aby ograniczyć odparowywanie roz-
puszczalników.

Do nasycania stosowano 10-procentowe roztwory żywicy w toluenie oraz
10-procentowe i 5-procentowe w mieszaninie toluenu z benzyną lakową
(tab. 3). Wyniki stanowiące średnią z trzech pomiarów podano w tab. 5.

Jak wynika z tabeli, szybkość kapilarnego wznoszenia się roztworów
żywicy jest bardzo duża, szczególnie w piaskowcu Nietulisko. W wymie-
nionym piaskowcu 10-procentowe roztwory w toluenie wzniosły się na
wysokość 4 cm w czasie 15 min (średnia), podczas gdy w Żerkowicach
38 min.

Dodatki benzyny lakowej do toluenu zwalniały szybkość wznoszenia
się (wyjątek — próbki Żerkowic nasycane roztworem Paraloidu, prawdo-
podobnie wskutek niejednorodności próbek), co jest zgodne z rezultatami
uzyskanymi podczas nasycania wapienia pińczowskiego⁵.

Zmniejszenie stężenia roztworów do 5⁰/o powoduje bardzo duży wzrost
szybkości wznoszenia się, co oczywiście jest związane z obniżeniem lep-
kości.

⁵ W. Domaśłowski, J. Łukaszewicz, op. cit., cz. IV, s. 40.

Tabela 5

Wpływ rozpuszczalników i stężenia na zdolność kapilarnego wznoszenia się roztworów żywic w płaskowcach

Żywica	Rozpuszczalnik	Stężenie (%)	Nietulisko				N (%)	Zerkowice				N (%)
			czas kapilarnego wzniesienia się roztworów (min) do wysokości					czas kapilarnego wzniesienia się roztworów (min) do wysokości				
			1 cm	2 cm	3 cm	4 cm		1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	
PMM	T	10	2	6	10	17	10,0	3	11	26	38	5,6
	T+Bi		3	7	15	24	10,4	3	14	29	45	7,2
B-72	T	5	1	—	3	4	9,4	1	3	6	12	6,2
	T+Bi	10	1	3	7	13	9,7	2	14	25	38	5,8
		5	—	5	10	17	9,8	2	6	13	21	7,0
			—	1	3	6	9,8	1	3	5	8	6,8

T — toluen

Bi — benzyna lakowa

5. WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNA WZMOCNIONYCH PIASKOWCÓW

Badaniom poddano kostki piaskowców o wymiarach 5 cm × 5 cm × 5 cm wzmacnionych 10-procentowymi roztworami żywicy w mieszaninie toluenu z benzyną lakową (tab. 3). Wyszuszone próbki ścisano w prasie hydraulicznej o nacisku do 30 ton. W tab. 6 podano wyniki średnie.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że żywice zwiększyły wytrzymałość obydwu piaskowców. Obydwa żywice zwiększyły wytrzymałość piaskowców w zbliżonym stopniu, przy czym większy przyrost wytrzymałości wystąpił w piaskowcu Żerkowice.

Tabela 6
Wytrzymałość mechaniczna wzmacnionych piaskowców

Żywica	Nietulisko		Żerkowice	
	Rśc (kG/cm ²)	wzrost Rśc (%)	Rśc (kG/cm ²)	wzrost Rśc (%)
Kontrola	251	—	268	—
PMM	307	22	352	31
B-72	308	23	366	37

6. ZDOLNOŚĆ KAPILARNEGO WZMOCNIENIA SIĘ WODY WE WZMOCNIONYCH PIASKOWCACH

Wzmocnione jak wyżej (p. 5) próbki piaskowców zanurzone na głębokość 1 cm do wody, po 2 godz. określano przyrost masy i podnoszono poziom do 2 cm. Po następnych 2 godzinach czynność powtarzano. W końcowej fazie zalewano próbki nadmiarem wody (warstwa 2 cm) i określano przyrosty masy po każdej dobie, a następnie w odstępach tygodniowych. Wyniki zestawiono w tab. 7.

Z tabeli wynika, że wzmocnione próbki piaskowców nie mają zdolności kapilarnego podciągania wody. Po 2 godzinach zanurzenia na głębokość 1 cm przyrosty mas wynosiły zaledwie 0,05—0,07%, a po 10 godzinach przy pełnym ich zanurzeniu w wodzie od 0,21 do 0,24%. Po 7 dniach nasycania przyrosty mas wzrosły średnio dla piaskowca Nietulisko o 0,79% a dla Żerkowic o 1,26%. Tak niewielkie przyrosty mas świadczą o dobrych właściwościach hydrofobowych wzmacnionych próbek, a powolne przyrosty ich mas są dowodem kondensacji pary wodnej w kapilarach. Uogólniając stwierdza się, że po 7 dobach próbki wzmocnione wchłonęły o około 90% wody mniej od kontrolnych.

7. POROWATOŚĆ WZMOCNIONYCH PIASKOWCÓW

Celem określenia wpływu wzmocnienia na porowatość otwartą piaskowców przygotowano próbki w sposób opisany w p. 5, a następnie nasycano je benzyną lakową. Nasycanie prowadzono stopniowo zanurzając

Tabela 7

Zdolność kapilarnego wznoszenia się wody we wzmocnionych piaskowcach

Piaskowiec	Zywica	Czas nasycania próbek w wodzie														
		Głębokość zanurzenia próbek w wodzie w odstępach 2-godz.														
		1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	1 doba	2 doby	3 doby	4 doby	5 dób	6 dób	7 dób	2 tyg.	3 tyg.	4 tyg.
Nietulisko	Kontrola PMM B-72	11,4	11,4	11,4	11,5	11,5	11,4	11,6	11,9	12,00	12,1	12,3	12,3	12,9	13,2	13,5
		0,07	0,14	0,12	0,19	0,21	0,27	0,38	0,50	0,52	0,54	0,74	0,76	1,61	2,33	2,97
		0,06	0,09	0,11	0,19	0,20	0,28	0,35	0,50	0,54	0,57	0,81	0,82	1,84	2,55	3,66
Zerkowice	Kontrola PMM B-72	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1	8,2	8,2	8,3	8,5	8,5	8,5	8,6	—	—	—
		0,05	0,13	0,15	0,15	0,21	0,30	0,50	0,51	0,59	0,61	0,85	1,09	—	—	—
		0,06	0,10	0,13	0,14	0,24	0,34	0,60	0,71	0,82	0,98	1,19	1,43	—	—	—
Przyrost masy próbek w %																

kostki co 2 godziny na głębokość 1/4 ich wysokości. Po zalaniu kostek nadmiarem benzyny pozostawiono je aż do ustalenia się masy. Porowatość

otwartą obliczono wg wzoru $\frac{m_2 - m_1}{v \times d} \times 100\%$ gdzie:

m_2 — masa próbki nasyconej benzyną

m_1 — masa suchej próbki

v — objętość próbki

d — gęstość benzyny lakowej.

Wyniki podano w tab. 8.

Tabela 8

Porowatość otwarta wzmocnionych piaskowców

Żywica	Nietulisko		Zerkowice	
	Po %	spadek Po %	Po %	spadek Po %
Kontrola	23,4	—	17,4	—
PMM	17,5	25,2	12,9	25,9
B-72	17,8	23,9	13,7	21,3

Wynika z niej, że porowatość otwarta piaskowców uległa zmniejszeniu od około 21% do 26%, a zatem spadek jest ponad dwukrotnie większy od stężenia roztworów wprowadzonych do piaskowców.

8. MOŻLIWOŚĆ WZMACNIANIA PIASKOWCÓW ZAWIERAJĄCYCH SOLE ROZPUSZCZALNE W WODZIE

Celem sprawdzenia wpływu strukturalnego wzmocnienia na piaskowce zawierające sole rozpuszczalne w wodzie wysuszone kostki piaskowców (5 cm × 5 cm × 5 cm) nasycono pod próżnią przez 30 minut 20-procentowym roztworem siarczanu sodowego (sól Glauberska). Po tym okresie suszono je w temperaturze 110°C przez 48 godzin, a następnie po ochłodzeniu nad żelem krzemionkowym nasycono je 10-procentowymi roztworami polimerów. Część próbek wzmocniono całkowicie, część do około 1/2 ich wysokości, a pozostałe powierzchniowo. Stosowano roztwory żywic w mieszaninie toluenu i benzyny lakowej (tab. 3). Po wysuszeniu w warunkach laboratoryjnych przez 7 dób dosuszano je w temperaturze 60°C pod próżnią. W ten sposób przygotowane próbki umieszczano w pojemnikach metalowych o wymiarach 5,3 cm × 5,3 cm × 7,5 cm (wysokość), wlewano do nich wodę w ilości 35 ml (Nietulisko) i 25 ml (Zerkowice) i proces nasykania (uwadniania) prowadzono przez 24 godziny. W następnej kolejności próbki suszono przez 24 godziny w temperaturze 60°C pod ciśnieniem

normalnym oraz przez 6 godzin pod próżnią. Przeprowadzono 5 cykli nasywania wodą i suszenia próbek, określając po ostatnim cyklu ubytki ich masy. Zestawiono je w tab. 9.

Jak wynika z tabeli, największym zniszczeniom uległy próbki kontrolne. Małe zniszczenia stwierdzono w próbkach piaskowców wzmocnionych całkowicie i powierzchniowo, a większe od nich we wzmocnionych częściowo. Anomalie stwierdzone na próbkach piaskowca Żerkowice wzmocnionych żywicą B-72 należy przypisać wadom próbek, a nie wpływowi żywicy. Przyjmując powyższą uwagę można stwierdzić, że całkowite wzmocnienie kamieni, jak też powierzchniowe, zamykające swobodny dostęp wody do ich wnętrza, nie wywarło widocznego ujemnego skutku. W przypadku częściowego wzmocnienia następuje niszczenie nie wzmocnionych części kamienia, co prowadzi do jego pęknięcia.

Tabela 9

Odporność wzmocnionych próbek piaskowców na działanie zawartych w nich soli

Żywica	Sposób wzmocnienia próbek	Ubytek masy po 5 cyklach %	
		Nietulisko	Zerkowice
PMM	całkowicie	1,70	1,37
	częściowo	5,19	3,79
	powierzchniowo	2,01	1,98
B-72	całkowicie	1,70	4,22
	częściowo	3,95	4,26
	powierzchniowo	2,59	8,64
Kontrola	—	11,45	7,21

9. ODPORNOŚĆ WZMOCNIONYCH PIASKOWCÓW NA DZIAŁANIE SOLI ROZPUSZCZALNYCH W WODZIE

Do badań przygotowano próbki piaskowców w formie sześciątów o boku 5 cm. Nasycono je całkowicie, częściowo (około 1/2) i powierzchniowo za pomocą 10-procentowych roztworów PMM i B-72 w mieszaninie toluenu z benzyną lakową (tab. 3), przy czym część próbek, które były badane według testu nr 2, miała pokryte jedynie pięć powierzchni roztworami żywic.

Wzmocnione próbki zasalano w kąpeli nasyconym roztworem soli glauberskiej o temperaturze około 20°C, przy czym połowa próbek była nasycona przez 30 minut pod zmniejszonym ciśnieniem (test nr 1), a druga przez 48 godzin pod ciśnieniem normalnym (test nr 2). Obydwa testy różniły się także warunkami suszenia (odwadniania soli) próbek. Zgodnie z testem nr 1 próbki suszono przez 18 godzin w temperaturze 110°C,

a nr 2 przez 24 godziny w temperaturze 60°C, a następnie w tej temperaturze przez 6 godzin pod próżnią. Ponowne zasalanie próbek prowadzono w podanych wyżej warunkach, z tym, że w teście drugim nasycano próbki roztworem soli przez 24 godziny (a nie, jak przy wstępnym zasalaniu, przez 48 godzin).

Rezultaty doświadczeń przedstawiono w tab. 10 i 11.

Tabela 10

Odporność próbek wzmocnionych piaskowców na działanie soli — test nr 1

Zywica	Sposób wzmocnienia próbek	Nietulisko		Zerkowice	
		zawartość soli (%)	ubytek masy po 5 cyklach (%)	zawartość soli (%)	ubytek masy po 5 cyklach (%)
PMM	całkowicie	1,89	24,1	1,69	11,7
	częściowo	2,25	40,5	1,79	21,2
	powierzchniowo	1,67	22,7	1,65	16,9
B-72	całkowicie	1,79	26,3	1,66	20,6
	częściowo	2,24	31,2	1,75	12,0
	powierzchniowo	2,32	27,2	1,76	10,0
Kontrola	—	2,09	45,0	1,86	19,1

Z tabeli 10 wynika, że próbki badane według testu pierwszego uległy całkowitemu zniszczeniu, aczkolwiek w zależności od sposobu wzmocnienia występuje wyraźna różnica w wielkości ubytków. Stosowany test, polegający na zasalaniu kamieni pod próżnią, był zbyt drastyczny i odbiegający od warunków naturalnych, w jakich mogą znajdować się wzmocnione obiekty.

Jeżeli chodzi o test nr 2 (tab. 11), polegający na zasalaniu próbek w warunkach normalnych, to jedynie kamienie wzmocnione całkowicie nie uległy widocznym zmianom. Należy to przypisać ich właściwościom hydrofobowym, wskutek czego praktycznie nie uległy zasoleniu.

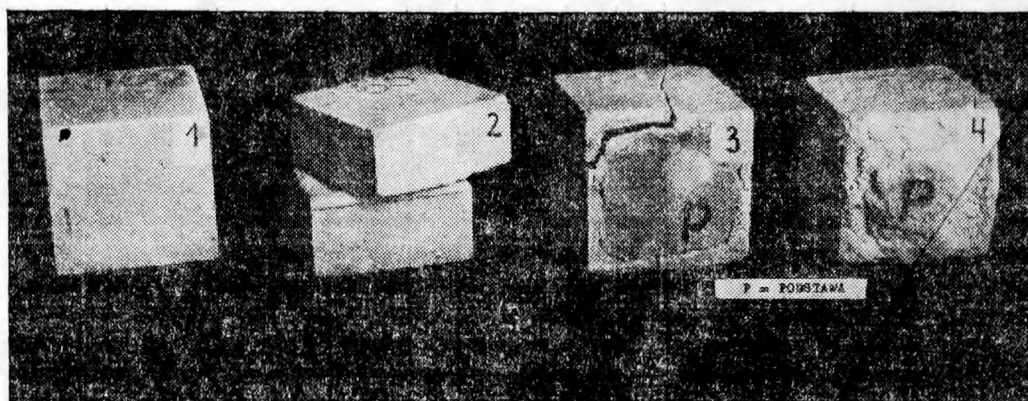
Pozostałe próbki wzmocnione częściowo i powierzchniowo (5 płaszczyzn) uległy całkowitemu zniszczeniu. Pierwsze z nich pękały głównie na dwie części, z których nie wzmocnione uległy dezintegracji. Zniszczenia próbek wzmocnionych powierzchniowo polegały na pękaniu warstewek powierzchniowych wzmocnionego kamienia i odpadaniu ich od wewnętrznej warstewki zdeintegrowanego piaskowca.

Stan zachowania próbek kamieni po 1—5 cyklach testu krystalizacyjnego obrazują fotografie 5—8.

Tabela 11

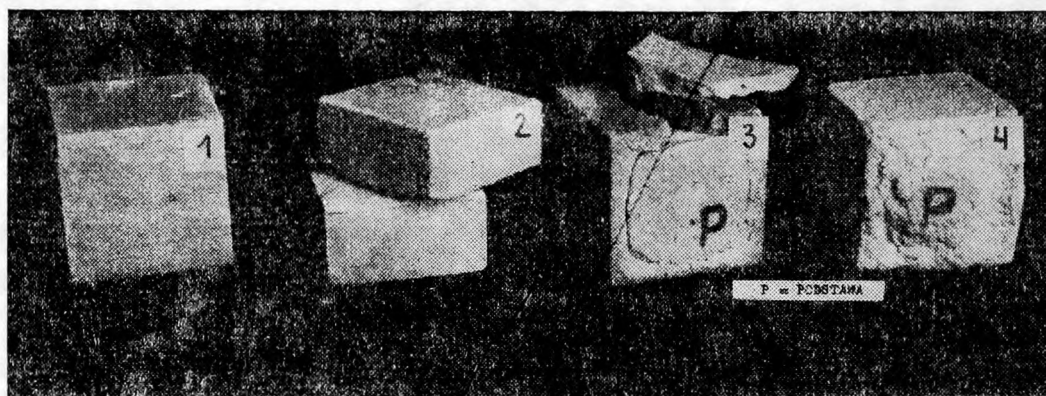
Odporność próbek wzmocnionych piaskowców na działanie soli — test nr 2

Żywice	Sposób wzmocnienia próbek	Nietulisko		Zerkowice	
		zawartość bezwodnej soli (%)	stan zachowania próbek po 3 cyklach	zawartość bezwodnej soli (%)	stan zachowania próbek po 3 cyklach
PMM	całkowicie	0,06	bz	0,03	bz
	częściowo	1,09	rozpad na 2 części	0,63	rozpad na 2 części
	powierzchniowo	0,98	warstewki powierzchniowe pękają, warstwy wewnętrzne uległy dezintegracji	0,32	zniszczenia na granicy warstewki wzmocnionej i nie wzmocnionej
	całkowicie	0,05	bz	0,01	bz
B-72	częściowo	1,51	rozpad na 2 części	0,55	ubytki części nie wzmocnionej (—1,77%)
	powierzchniowo	0,58	warstewki powierzchniowe pękają, warstwy wewnętrzne uległy dezintegracji	0,40	duże ubytki (—3,31%) na granicy warstewki wzmocnionej i nie wzmocnionej
Kontrola	—	2,78	ubytek masy 11%, zniszczone powierzchniennie, krawędzie, narożniki	1,49	ubytek —10,6%



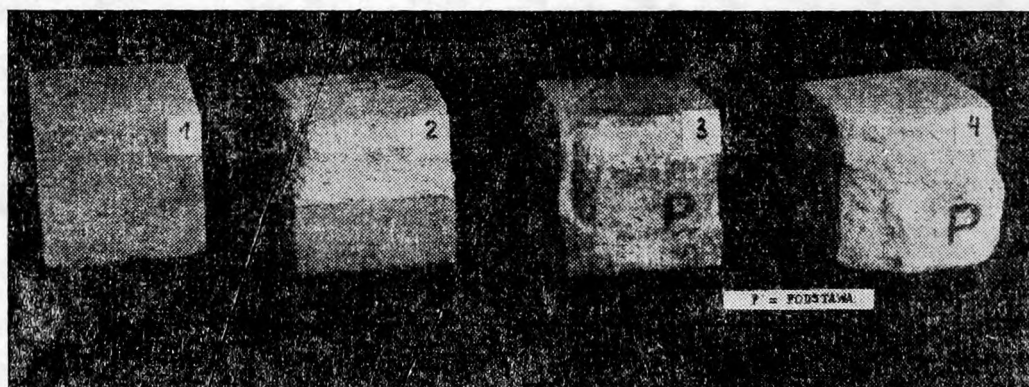
5. Próbkki wzmocnionego PMM piaskowca Nietulisko poddane działaniu testu krystalizacyjnego. Fot. A. Skowroński

1 — próbka wzmocniona strukturalnie (całkowicie) po 3 cyklach, 2 — próbka wzmocniona do połowy, po 1 cyklu, 3 — próbka wzmocniona powierzchniowo, po 1 cyklu, 4 — próbka kontrolna (nie wzmocniona), po 3 cyklach



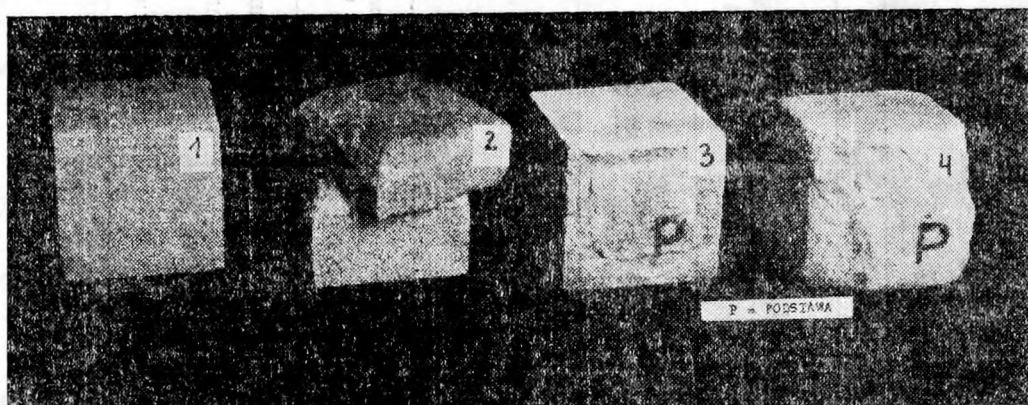
6. Próbkki wzmocnionego żywicą Paraloid B-72 piaskowca Nietulisko poddane działaniu testu krystalizacyjnego. Fot. A. Skowroński

1 — próbka wzmocniona strukturalnie, po 3 cyklach, 2 — próbka wzmocniona do połowy, po 1 cyklu, 3 — próbka wzmocniona powierzchniowo, po 2 cyklach, 4 — próbka kontrolna (nie wzmocniona), po 3 cyklach



7. Próbkki wzmocnionego PMM piaskowca Żerkowice poddane działaniu testu krystalizacyjnego. Fot. A. Skowroński

1 — próbka wzmocniona strukturalnie, po 5 cyklach, 2 — próbka wzmocniona do połowy, po 4 cyklach, 3 — próbka wzmocniona powierzchniowo, po 5 cyklach, 4 — próbka kontrolna, po 5 cyklach



8. Próbki wzmacnionego żywicą Paraloid B-72 piaskowca Żerkowice poddane działaniu testu krystalizacyjnego. Fot. A. Skowroński

1 — próbka wzmacniona całkowicie, po 5 cyklach, 2 — próbka wzmacniona do połowy, po 5 cyklach, 3 — próbka wzmacniona powierzchniowo, po 4 cyklach, 4 — próbka kontrolna po 5 cyklach

10. MOŻLIWOŚĆ POWTÓRNEGO WZMACNIANIA PIASKOWCÓW

Celem określenia możliwości powtórnego wzmacnienia piaskowców próbki wzmacnione 10-procentowymi roztworami PMM i B-72 nasycano na drodze kapilarnego podciągania 10-procentowym roztworem polimetakrylanu butylu w benzynie lakowej. Polimer otrzymano na drodze polimeryzacji blokowej w obecności 0,5% nadtlenu benzoilu.

Określono szybkość wznoszenia się roztworu PMB oraz nasiąkliwość próbek. Wyniki podano w tab. 12.

Wynika z niej, że wzmacnione próbki piaskowca zachowały zbliżoną zdolność podciągania roztworów, jak próbki nie wzmacnione (tab. 5). Jedynym wyjątkiem był piaskowiec Nietulisko wzmacniony PMM, w którym roztwór PMB wznosił się 3-krotnie dłużej. Można to uważać za wyjątek spowodowany niejednorodnością próbek.

Porównując nasiąkliwości piaskowców roztworami PMM i B-72 (tab. 5) z nasiąkliwością PMB stwierdzamy, że nastąpił jej spadek od 15% do 28% i średnio wynosi 21,5%. Spadek nasiąkliwości jest zbliżony do spadku porowatości otwartej spowodowanej wzmacnianiem piaskowców PMM i B-72 (tab. 8).

11. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Przeprowadzone doświadczenia dostarczyły nowych wiadomości dotyczących migracji żywic oraz umożliwiły poznanie fizykomechanicznych właściwości piaskowców wzmacnionych żywicami PMM i Paraloid B-72.

Uzyskane rezultaty doświadczeń dotyczących właściwości fizykomechanicznych piaskowców nie wymagają dyskusji. Konieczna jest ona natomiast w przypadku ustalenia przyczyn migracji żywic w piaskowcach.

Tabela 12

Szybkość kapilarnego wznoszenia się roztworu PMB w piaskowcach wzmocnionych PMM i B-72

Żywiec wzmacniające piaskowiec	Nietulisko				nasiąkliwość (%)	Zerkowice				nasiąkliwość (%)
	czas wznoszenia się roztworów PMB do wysokości (cm)					czas wznoszenia się roztworów PMB do wysokości (cm)				
	1	2	3	4		1	2	3	4	
PMM	4'20"	22'17"	34'	55'	7,25	8'22"	19'10"	33'30"	44'30"	5,50
B-72	2'15"	4'15"	9'20"	14'45"	7,90	1'37"	6'42"	14'45"	24'	5,95

Tabela 13

Powierzchnia właściwa kamieni oraz wielkość porów

Rodzaj kamienia	Powierzchnia właściwa m ² /g	Rozdział kapilar w %						Średnica porów stanowiąca ok. 90%
		r < 10 nm	10 nm < r < 10 ² nm	10 ² nm < r < 10 ³ nm	10 ³ nm < r < 10 ⁴ nm	10 ⁴ nm < r < 10 ⁵ nm	r > 10 ⁵ nm	
Wapień Karsy	15,4	7	32	54	2	5	r ≥ 10 nm	
Wapień Pińczów	2,9	2	6	35	43	14	r ≥ 130 nm	
Piaskowiec Nietulisko	0,3	—	2	1	89	8	r ≥ 8000 nm	

Badając rozdział faz roztworów żywicy nie stwierdzono go na płytkach piaskowca Nietulisko, a w bardzo małym stopniu w piaskowcu Żerkowice. Uzyskany wynik wydaje się prawidłowy, gdyż R_f jest uzależniony od powierzchni wewnętrznej porowatego ośrodka. Łatwiej rozdział zachodził w bardzo drobnoporowatym wapieniu z Kars i Pińczowa⁶ niż w badanych piaskowcach. O średnicach porów wymienionych kamieni możemy wnioskować na podstawie szybkości kapilarnego wznoszenia się cieczy⁷. Na przykład woda wznosi się do wysokości 5 cm w próbkach wapienia z Kars w czasie 248 min, z Pińczowa w czasie 51 min, a w piaskowcu Nietulisko 90 sek. do 2 min i Żerkowice 8—13 min. Tak wielce zróżnicowana szybkość wznoszenia się wody pozwala na porównawczą ocenę wielkości porów w omawianych kamieniach. Precyzyjnych wyników natomiast dostarczyły pomiary⁸ wykonane za pomocą porozymetru produkcji Carlo Erba-200. Wielkość kapilar oraz powierzchnię właściwą poszczególnych kamieni podano w tab. 13.

Wynika z tabeli, że powierzchnia właściwa wapienia z Kars jest 50-krotnie większa od powierzchni piaskowca, a wapienia z Pińczowa około 10-krotnie. Jeżeli chodzi o porowatość, to w wapieniu z Kars występuje 93⁰/₀ kapilar o średnicy 10 nm — 10³ nm. W wapieniu z Pińczowa występuje ich 43⁰/₀, a w piaskowcu Nietulisko zaledwie 3⁰/₀.

Zróżnicowana powierzchnia właściwa jak też średnice kapilar wyjaśniają przyczyny rozdziału fazowego roztworów w wapieniach i jego braku w piaskowcu Nietulisko. Pomimo braku rozdziału faz w wymienionym piaskowcu stwierdzono, że PMM osadził się w całej jego strukturze nadając wszystkim porom właściwości hydrofobowe. Mniej równomierny rozkład PMM nastąpił w piaskowcu Żerkowice, w którym z kolei roztwór omawianej żywicy wykazywał pewną tendencję do rozdziału.

Biorąc to pod uwagę, zjawiska ograniczenia migracji PMM w obu piaskowcach nie można rozpatrywać na podstawie rozdziału faz, co niewątpliwie jest słuszne dla drobnoporowatych wapieni⁹. Gdyby odgrywało ono rolę decydującą, to większe ograniczenie migracji wystąpiłoby w piaskowcu Żerkowice.

Dążąc do wyjaśnienia przyczyn ograniczonej migracji PMM w piaskowcu Nietulisko musimy wziąć pod uwagę wszystkie możliwe parametry, a mianowicie szerokoporowatą strukturę tego kamienia, duży ciężar

⁶ W. Domasłowski, M. Kęsy-Lewandowska, *Badania nad strukturalnym wzmacnianiem wapienia pińczowskiego termoplastycznymi żywicami sztucznymi*, cz. V, AUNC, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo XI, Toruń 1987, tab. 1, s. 169.

⁷ W. Domasłowski, A. Młyński, R. Mirowski, D. Sobkowiak i in., *Badania nad technologią zapraw cementowych przeznaczonych do uzupełniania obiektów zabytkowych*, Studia i Materiały PKZ, Warszawa 1977, s. 36.

⁸ Pomiary przeprowadziła mgr Ewa Derkowska z Laboratorium Naukowo-Badawczego Konserwacji Kamienia PKZ w Toruniu.

⁹ W. Domasłowski, J. Łukasiewicz, op. cit., część IV, s. 32.

cząsteczkowy tego polimeru, wpływ toluenu na migrację żywicy oraz jego lotność.

Rozpatrując teksturę piaskowca Nietulisko możemy stwierdzić, że łatwiej oddaje on rozpuszczalniki niż bardziej drobnoporowaty piaskowiec Żerkowice¹⁰. Należy sądzić, że właściwość ta powinna mieć duży wpływ na proces osadzania się PMM w porach kamienia, gdyż wskutek szybkiego ulatniania się rozpuszczalników może wystąpić cofnięcie się menisków i odparowywanie rozpuszczalników z porów wewnętrznych. Tego rodzaju zjawisko sprzyjałoby zagęszczaniu się roztworu we wnętrzu kamienia, a zatem zwiększeniu lepkości, co z kolei utrudniałoby przemieszczanie się żywicy do porów powierzchniowych. Wzrost lepkości jest zależny od rodzaju polimeru, a ściśle od jego ciężaru cząsteczkowego oraz od jakości rozpuszczalnika. W omawianym przypadku PMM jest polimerem o większym ciężarze cząsteczkowym niż Paraloid, stąd wzrost lepkości jego roztworów następuje gwałtowniej i przy odpowiednim stężeniu ulega żelacji. Poza tym toluen należy do tzw. słabych rozpuszczalników PMM, co także ma wpływ na wzrost lepkości i żelowanie roztworów¹¹. Należy on także do rozpuszczalników lotnych, co również ma wpływ na proces schnięcia.

Jak z powyższego omówienia wynika, w przypadku piaskowca Nietulisko impregnowanego roztworem PMM w toluenie istnieją warunki dla ograniczenia migracji żywicy. Warunków tych nie spełnia natomiast całkowicie piaskowiec Żerkowice. Ma on strukturę bardziej drobnoporowatą, trudniej oddaje rozpuszczalnik, który odparowuje prawdopodobnie z porów powierzchniowych; w związku z tym wolniej wzrasta lepkość roztworu i istnieją bardziej dogodne warunki dla migracji żywicy. Wynikałoby z tego, że większą rolę odgrywa jego tekstura niż stwierdzony w nim niewielki rozdział faz roztworów.

Wpływu ostatniego czynnika oczywiście pominąć nie można, gdyż dodatki benzyny lakowej mającej wpływ na Rf poprawiają nieco rozkład PMM w porach piaskowca Żerkowice (fot. 2, próbki 3, 4, tab. 4).

Opierając się na powyższych założeniach można wyjaśnić przyczynę większej migracji Paraloidu B-72 w piaskowcach. Bezpośrednią przyczyną tego zjawiska jest mały ciężar cząsteczkowy polimeru i jego duża polimolekularność¹², będąca przyczyną, że roztwory B-72 mają znacznie niższą lepkość niż roztwory stosowanego PMM i w przeciwieństwie do niego nie ulegają żelacji. W tej sytuacji pomimo szybkiego ulatniania się rozpuszczalnika z piaskowca Nietulisko istnieją lepsze warunki dla migracji żywicy, a szczególnie jej łatwo rozpuszczalnych frakcji małocząsteczkowych. Ograniczeniu migracji sprzyja dodatek benzyny lakowej (fot. 3, tab. 4).

¹⁰ W. Domasłowski, A. Młyński, R. Mirowski, D. Sobkowiak i in., op. cit., s. 42.

¹¹ W. Domasłowski, J. Łukasiewicz, op. cit., część IV, s. 42.

¹² Ibid., s. 40.

Tak więc w omawianym przypadku obydwie zjawiska, tzn. zagęszczenia roztworów i rozdziału faz, występują jednocześnie.

Jeżeli chodzi o piaskowiec Żerkowice, to pomimo stosowania dodatków benzyny lakowej do roztworów B-72 żywica ulegała migracji (fot. 4, tab. 4). Rozdział faz był mały, jak też zbyt niska była lepkość roztworów, aby zmniejszyć to zjawisko.

Powyższe wywody dotyczące ograniczenia migracji wskutek wzrostu lepkości (żelowanie) roztworów potwierdzają próbki piaskowca Nietulisko wzmocnione roztworem PMM w octanie n-butylu. Octan n-butylu, jako „dobry” rozpuszczalnik PMM, nie zahamował procesu jego migracji.

12. WNIOSKI

Przeprowadzone badania nad wzmacnianiem piaskowców pozwoliły na stwierdzenie, że w zależności od wielkości porów w kamieniach różne mechanizmy mogą mieć wpływ na ograniczenie migracji żywic do porów powierzchniowych.

W przypadku wzmacniania kamieni drobnoporowatych, jak np. wapienia z Pińczowa, głównym czynnikiem hamującym migrację jest rozdział fazowy roztworów. Warunkiem, aby wymienione zjawisko wystąpiło, jest stosowanie rozpuszczalników słabych oraz żywic o małej polimolekularności i względnie dużej masie cząsteczkowej.

W kamieniach szerokoporowatych, jak np. piaskowcu Nietulisko, warunkiem powstrzymania migracji jest podobnie konieczność stosowania rozpuszczalników słabych i żywic o wymienionych właściwościach, niemniej ograniczenie migracji następuje prawdopodobnie wskutek odparowywania lotnego rozpuszczalnika z wewnętrznych porów kamienia, jak też wskutek zwiększenia się lepkości roztworów w czasie schnięcia kamieni i ich żelacji. Żywica zostaje unieruchomiona w porach wewnętrznych kamienia.

Wymienione powyżej dwa mechanizmy ograniczające migrację mogą występować równocześnie w przypadku kamieni o pośrednich wielkościach porów, jak np. w piaskowcu Żerkowice. Na powstrzymanie w nich migracji ma prawdopodobnie wpływ rozdział fazowy oraz żelacja roztworów żywic.

Uznając słuszność powyższych wywodów należy stwierdzić, że do wzmacniania piaskowców należy stosować polimetakrylan metylu o dość dużym ciężarze cząsteczkowym¹³.

W przypadku piaskowca Nietulisko stwierdzono, że można go wzmacniać strukturalnie za pomocą polimetakrylanu metylu w toluenie, a piaskowca Żerkowice — tym samym polimerem w mieszaninie toluenu z benzyną lakową.

Paraloid B-72 w roztworach toluenu, a także w jego mieszaninie z benzyną lakową do wzmacniania piaskowców nie nadaje się.

¹³ W. Domański, *Badania nad strukturalnym wzmacnianiem...*, cz. II, s. 8.

Wiesław Domasłowski, Maria Kęsy-Lewandowska

STRUKTURELLE VERSTÄRKUNG DES SANDSTEINS MITTELS THERMOPLASTISCHER HARZE

(Zusammenfassung)

In der Fortsetzung der Untersuchungen zur Strukturverstärkung der Steine mittels thermoplastischer Harze befaßte man sich mit dem Sandstein aus Nietulisko und Żerkowice. Diese Steine unterscheiden sich durch Imbibition, Porosität und Kapillardurchmesser. Zur Verstärkung wurden Methylpolymethakrylate und das Harz Paraloid B-72 verwendet. Untersucht wurden die Migrationsfähigkeit der Harze und die Kapillaraszension der Lösungen in Sandsteinen; festgelegt wurden die mechanische Beständigkeit der verstärkten Sandsteine, ihre Porosität, die Kapillaraszension und die Beständigkeit gegen wasserlöslichen Salze.

Die durchgeführten Untersuchungen erlaubten festzustellen, daß in abhängigkeit von der Steinporengröße verschiedene Mechanismen auf die Einschränkung der Harzmigration in die Oberflächenporen Einfluß ausüben. Im Fall der Verstärkung der feinporigen Steine, wie z.B. des Kalksteins aus Pinczów (Tab. 13) ist die Phasenverteilung der Lösungen der Hauptfaktor, der die Migration hemmt. Damit die erörterte Erscheinung auftreten könnte, müssen schwache Lösemittel und Harze mit relativ großer Molekularmasse und niedriger Polymolekularität verwendet werden. In grobporigen Steinen, in denen die Lösungen keiner Phasenaufteilung unterliegen, wie z.B. im Sandstein Nietulisko, ist die Migration ebenfalls von der Notwendigkeit bedingt, schwache Lösungsmittel und Harze mit genannten Eigenschaften zu verwenden, doch die Einschränkung der Migration erfolgt durch Abdampfung des flüchtigen Lösungsmittels aus den inneren Steinporen sowie durch starken Anstieg der Klebrigkeit der Lösungen im Stein selbst, die Lösungsgelatinierung in der Endphase. Die oben erörterten zwei Mechanismen, welche die Migration einschränken, können im Fall von Steinen mit zwischengroßen Poren gleichzeitig auftreten, wie z.B. im Sandstein Żerkowice. Auf die Hemmung der Migration in solchen Steinen üben wahrscheinlich die Phasenaufteilung sowie die Lösungsgelatinierung gewissen Einfluß aus.

Aufgrund der erlangten Ergebnisse konnte festgestellt werden, daß im Fall der grobporigen Sandsteine (Nietulisko) zu ihrer Strukturverstärkung Methylpolymethakrylat in Toluol, dagegen im Falle der feinporigen Sandsteine (Żerkowice) dasselbe Polymer, aber in Mischung des Toluols mit Lackbenzin, verwendet werden können. Paraloid B-72 eignet sich in Hinsicht auf seine Migration in die Oberflächenporen zur Verstärkung des Sandsteins nicht.