

Domasłowski, Wiesław

Technologia zapraw epoksydowych wiążących w niskich temperaturach i w atmosferze o wysokiej wilgotności

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 15 (189), 33-63

1990

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

TECHNOLOGIA ZAPRAW EPOKSYDOWYCH WIAŻĄCYCH W NISKICH TEMPERATURACH I W ATMOSFERZE O WYSOKIEJ WILGOTNOŚCI

Zarys treści. Celem pracy było ustalenie czynników pozwalających utwar-
dzać zaprawy epoksydowe w niskich (poniżej 10°C) temperaturach i w atmosferze
o wysokiej wilgotności względnej (100%), stosując powszechnie dostępne i stoso-
wane żywice Epidian 1 i 5 oraz utwardzacze: etylenodwuaminę, trójetylenocztero-
aminę oraz ich addukty z wymienionymi żywicami. Określono rozpuszczalność żywic,
szybkość ich żelowania w roztworach, zbadano czynniki mające wpływ na utwar-
dzanie zapraw w niekorzystnych warunkach, a po ich ustaleniu określono właści-
wości fizyczne i mechaniczne zapraw.

Badania pozwoliły ustalić, że aby uzyskać zaprawy utwardzalne w wyżej wy-
mienionych warunkach należy stosować roztwory żywicy Epidian 5 w alkoholach
i utwardzać ją za pomocą adduktu tej żywicy z trójetylenoczteroaminą.

W praktyce konserwatorskiej stosuje się obecnie w Polsce zaprawy
epoksydowe stanowiące mieszaniny ciekłej, 100% żywicy epoksydowej
(Ep5), ewentualnie jej 90% roztwory z odpowiednimi kruszywami¹.
Podstawową wadą wymienionych mieszanin jest konieczność stosowania
ich w temperaturze powyżej 18°C oraz w atmosferze o małej wilgotno-
ści względnej. W przypadku nieprzestrzegania tych warunków zaprawy
wiążą słabo, posiadają bardzo niską wytrzymałość mechaniczną oraz
małą odporność na działanie wody i ultrafioletu. Pod wpływem wody
tracą w znacznym stopniu wytrzymałość, a pod działaniem ultrafioletu
ciemnieją.

Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest dezaktywacja utwar-
dzacza aminowego (stosuje się trójetylenoczteroaminę) pod wpływem

¹ W. Domasłowski, *Badania nad technologią materiałów do kitowania i re-
konstrukcji kamiennych rzeźb i detali architektonicznych*, Zesz. nauk. UMK, Zabyt-
koznawstwo i Konserwatorstwo 2, Toruń 1966, s. 81.

kwasu węglowego. Aby ograniczyć jego działanie stosuje się dodatki benzyny lakowej², co jednak nie zawsze daje odpowiednie rezultaty.

Przeprowadzone w roku 1966 badania pozwoliły stwierdzić, że powyższych wad nie posiadają (bądź w mniejszym zakresie) zaprawy uzyskiwane z mieszaniny roztworów żywic epoksydowych z kruszywami³. W atmosferze rozpuszczalników, stanowiących barierę dla kwasu węglowego żywica ulega normalnemu procesowi sieciowania i uzyskuje swą optymalną wytrzymałość.

Mimo pozytywnych rezultatów roztwory żywic nie znalazły u nas zastosowania do uzupełniania ubytków w kamieniach, ponieważ ich mieszaniny z kruszywami mają znacznie mniejszą plastyczność od uzyskiwanych z ciekłych żywic 100%.

Zastosowali je natomiast Czesi, którzy celem poprawienia plastyczności dodają do roztworów (oprócz kruszywa) koloidalną krzemionkę. Opracowaną metodę opatentowali⁴ w 1971 r.

Autorzy podali jedynie w patencie wykres wpływu stężenia roztworów na wytrzymałość mechaniczną sztucznych kamieni, nie podając żadnych innych ważnych dla technologii czynników (granulacja i rodzaj kruszywa, wpływ warunków utwardzania na właściwości kamieni, rodzaj utwardzacza itp.). Nie zbadali także światłotrwałości zapraw, czy ich odporności na starzenie.

Niektórym z wymienionych czynników była poświęcona praca magisterska zrealizowana w UMK w Toruniu⁵. Stosując roztwory żywicy epoksydowej o różnym stężeniu autorka potwierdziła, że istnieje możliwość regulacji właściwości zapraw w szerokich granicach, przy czym ich plastyczność wzrasta dzięki stosowaniu niewielkich dodatków koloidalnej krzemionki.

Wymieniona praca nie wyjaśnia wszystkich problemów związanych z technologią zapraw epoksydowych, jak i właściwościami kamieni. Pozwala natomiast na stwierdzenie wpływu krzemionki na skurcz zapraw, jak też na niektóre właściwości mechaniczne i fizyczne kamieni (nasiąkliwość, zdolność kapilarnego podciągania cieczy).

Należy podkreślić, że w ramach dotychczas prowadzonych badań określono wpływ różnych parametrów na światłotrwałość żywic epoksydowych, jak też wpływ utwardzaczy, temperatury i rozpuszczalników

² W. Domasłowski, J. Lehmann, *Les recherches sur la technologie des mastics epoxydes pour comblement des degats dans les pierres subies d'alteration*, referat, Madryt 1972, ICOM, ICOMOS, Rome Centre.

³ W. Domasłowski, W. Szmidel-Domasłowska, *Konserwacja korony murów*, Ochrona Zabytków, 1967, nr 1, s. 33.

⁴ J. Rathousky, O. Kruchna, V. Tursky, *Zposob pripravy umeleho kamene*, Patent CSR, nr 139 733 z dn. 15 I 1971 r.

⁵ B. Susczyk, Ocena zapraw epoksydowych wykonanych według patentu CSR, praca magisterska wykonana pod kierunkiem W. Domasłowskiego, UMK w Toruniu, 1982 r.

na szybkość utwardzania żywic⁶. Ich rezultaty są wykorzystane w obecnej pracy.

Podjęmowane badania dotyczą wpływu rozpuszczalników, stężenia roztworów żywic, rodzaju żywicy i utwardzacza, na możliwość utwardzania zapraw w niskich temperaturach (do 5°C) i w atmosferze o wysokiej wilgotności (do 100%). Zostały także zbadane właściwości fizyczne i mechaniczne zapraw otrzymanych z roztworów żywic epoksydowych w mieszaninie z kruszywami oraz ich przyczepności do kamieni naturalnych⁷.

Wymienione badania zostały poprzedzone doświadczeniami mającymi na celu określenie rozpuszczalności żywic epoksydowych w mieszaninie toluenu z metanolem bądź butanolem oraz określenie szybkości zelowania żywic w wymienionych mieszaninach rozpuszczalników i w alkoholach.

Badania, które zostały opisane w niniejszym artykule, były prowadzone w ramach IX grupy tematycznej pt. „Problemy konserwatorskie wystroju architektonicznego i rzeźbiarskiego obiektów zabytkowych” koordynowanej przez Politechnikę Krakowską (koordynator I stopnia) oraz ASP w Krakowie (koordynator II stopnia). Realizowano je w roku 1984 i 1985.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA*

BADANIE ROZPUSZCZALNOŚCI ŻYVIC EPOKSYDOWYCH W MIESZANINACH TOLUENU Z METANOLEM BĄDŹ Z BUTANOLEM

Stale żywice epoksydowe mają ograniczoną rozpuszczalność w węglowodorach aromatycznych oraz w alkoholach. Podobnie ciekłe żywice mieszają się w ograniczonych stosunkach z alkoholami, lecz w przeciwieństwie do żywic stałych rozpuszczalność ich w węglowodorach jest nieograniczona. Można jednak uzyskiwać roztwory omawianych żywic o dowolnych stężeniach, jeżeli do ich rozpuszczania stosuje się mieszaniny węglowodorów i alkoholi o odpowiednich proporcjach. Jak wykazały badania, stosowanie mieszanin wymienionych cieczy jest także korzystne z tych względów, że zmieniając ich proporcje można regulować żywotność żywic w roztworach. Ponieważ w przypadku stosowania roztworów żywic jako spoiw zapraw czas utwardzania powinien być możliwie krótki, należy dążyć do stosowania maksymalnej ilości alkoholi,

* Wszystkie doświadczenia wykonał st. technik Krzysztof Lisek.

⁶ W. Domaśłowski, M. Kęsy-Lewandowska, K. Lisek, Dobór światłotrwałych żywic epoksydowych do strukturalnego wzmacniania kamieni, Sprawozdanie z badań za rok 1981 i 1982.

⁷ W. Domaśłowski, *Badania nad strukturalnym wzmacnianiem kamieni roztworami żywic epoksydowych*, Bibl. Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, t. 15, 1966, s. 126.

które, jak wiadomo, mają zdolność przyspieszania reakcji utwardzania żywic⁸. Węglowodory aromatyczne natomiast je opóźniają⁹.

Rozpuszczalność żywic badano w temperaturze około 20°C stosując Epidian 1 (Ep1) i Epidian 5 (Ep5). Rozpuszczano je w mieszaninach toluenu (T) z metanolem (M) lub butanolem (B). Stosowano roztwory 20, 40, 60 i 80%.

Rozpuszczalność żywic w mieszaninie T + M podano w tab. 1, a w T + B w tab. 2.

Jak wynika z tabel, aby otrzymać klarowne roztwory żywicy Ep1, do toluenu można dodać maksymalnie 2 + 2,5 część metanolu bądź bu-

Tabela 1

Rozpuszczalność żywic epoksydowych w mieszaninie toluenu i metanolu

Żywica	Stężenie roztworu %	Stosunek T : M							
		1 : 2	1 : 2,5	1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 6	1 : 7	1 : 8
Ep1	20	—	— +	—	—	—	—	—	—
	40	+	— +	—	—	—	—	—	—
	60	+	— +	—	—	—	—	—	—
	80	+	— +	—	—	—	—	—	—
Ep5	20	+	+	+	+	+	+	— +	—
	40	+	+	+	+	— +	— +	—	—
	60	+	+	+	+	— +	—	—	—
	80	+	+	+	+	—	—	—	—

Oznaczenia: + roztwór klarowny
 — + roztwór lekko mętny
 — roztwór mętny i rozdzielający się

tanolu. Żywicę Ep5 natomiast można rozpuszczać stosując większe ilości alkoholu — w granicach od 1:3 do 1:5. W przypadku Ep1 bardziej aktywne działanie wykazuje butanol, a w stosunku do Ep5 metanol.

Należy nadmienić, że stosując sam metanol lub butanol otrzymuje się w temperaturze 20°C zmętniałe i rozdzielające się roztwory żywic. Roztwory klarowne powstają po ogrzaniu ich lub po dodaniu odpowiedniej ilości (tab. 1 i 2) toluenu. Przy zwiększaniu stężenia roztworów w alkoholach zmętnienie ich maleje i odwrotnie — rośnie w miarę obniżenia stężenia. Należy dodać, że klarowne roztwory i żele w alkoholu można uzyskać dodając do nich addukty rozpuszczone w mieszaninie toluenu z alkoholem (1 : 1).

⁸ Z. Brojer, Z. Hertz, P. Penczek, *Żywice epoksydowe*, Warszawa 1972, s. 338.

⁹ W. Domasłowski, K. Powidzki, *Badania nad zastosowaniem roztworów żywic epoksydowych do impregnacji (wzmacniania) drewna*. Zesz. nauk. UMK, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 3, Toruń 1968, s. 199.

Tabela 2

Rozpuszczalność żywic epoksydowych w mieszaninie toluenu i butanolu

Żywica	Stężenie roztworu %	Stosunek T : B						
		1 : 1	1 : 2	1 : 2,5	1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 6
Ep1	20	+	+	+	—	—	—	—
	40	+	+	+	—	—	—	—
	60	+	+	+	—	—	—	—
	80	+	+	+	—	—	—	—
Ep5	20	+	+	+	+	+	—+	—
	40	+	+	+	+	—+	—	—
	60	+	+	+	+	—+	—	—
	80	+	+	+	+	—	—	—

Oznaczenia: + roztwór klarowny
 —+ roztwór lekko mętny
 — roztwór mętny i rozdzielający się

BADANIE SZYBKOŚCI ŻELOWANIA ROZTWORÓW ŻYWIC EPOKSYDOWYCH

WPLYW STĘŻENIA ROZTWORÓW ŻYWIC NA SZYBKOŚĆ ICH ŻELOWANIA (UTWARDZANIA)

Wpływ na szybkość utwardzania żywic epoksydowych w roztworach mają nie tylko rozpuszczalniki, lecz także stężenia roztworów. W poprzednich pracach¹⁰ określono ten wpływ dla roztworów 5—30%, a obecnie przeprowadzono badania dla roztworów 20—80%, stosując jako rozpuszczalniki mieszaninę toluenu z metanolem i butanolem. Żywice Ep1 i Ep5 utwardzano za pomocą stechiometrycznej ilości trójetyleno-czteroaminy (TECZA). Roztwory z utwardzaczem w ilości 10 ml wlewano do probówek, zamykano je i obserwowano proces mętnienia i żelowania. Temperatura otoczenia wahała się w granicach 22—23,9°C. Wyniki zestawiono w tab. 3 i 4.

Jak wynika z tabel, wraz ze zwiększeniem stężenia roztworów czas utwardzania żywic ulega skróceniu. Jest on dla wszystkich stężeń dość krótki ze względu na przyspieszające działanie alkoholi, przy czym nieco szybciej utwardza się żywica Ep1 w mieszaninie z butanolem, a żywica Ep5 z metanolem, co jest zgodne z wpływem tych rozpuszczalników na rozpuszczalność badanych żywic.

Mętnienie roztworów świadczyło o zapoczątkowaniu procesu sieciowania żywic, a galarecenie o jego dużym postępie. Czas zakończenia utwardzania nie był rejestrowany, gdyż nie jest on czynnikiem istotnym

¹⁰ W. Domański, *Badania nad strukturalnym...*, s. 126.

Tabela 3

Wpływ stężenia roztworów na szybkość utwardzania żywicy Epidian 1

Stężenie roztworu %	Czas zmetnienia roztworu w godzinach		Uwagi
	T : M = 1 : 2	T : B = 1 : 2,5	
20	12	5	roztwór z M rozdziela się po 12 godz.; roztwór z B rozdziela się po 7 godz.
40	6	5	roztwór z M rozdziela się po 6 godz.; roztwór z B rozdziela się po 7 godz.
60	5	4	roztwór z M i B tworzy po 8 godz. galaretowatą masę

Tabela 4

Wpływ stężenia roztworów na szybkość utwardzania żywicy Epidian 5

Stęż. roztw. %	T : M	Czas zmetnienia roztw. w godz.	T : B	Czas zmetnienia roztw. w godz.	Uwagi
20	1 : 6	5	1 : 4	6	roztwór z M rozdziela się po 6 godz.; roztwór z B po 7 godz. tworzy galaretę
40	1 : 4	4	1 : 3	5	roztwór z M tworzy galaretę po 5 godz.; roztwór z B tworzy po 6 godz. białą galaretowatą masę
60	1 : 4	3	1 : 2	4 (zagęst.)	roztwór z M tworzy po 4 godz. lekko mętną masę, roztwór z B tworzy po 6 godz. klarowną plastyczną masę
80	1 : 4	1h30'	—	—	roztwór z M tworzy po 2 godz. galaretowatą masę

dla praktyki konserwatorskiej. Istotny w tym przypadku jest czas mętnienia będący wskazówką „czasu życia” roztworów, a więc czasu w jakim roztwory muszą być zużyte.

WPŁYW ALKOHOLI NA SZYBKOŚĆ ŻELOWANIA ROZTWORÓW ŻYWIC

Przygotowano 60% roztwór żywicy Ep5 w metanolu (M), etanolu (E) i butanolu (B). Dla porównania stosowano także roztwory żywicy w toluenie (T) oraz żywicę 100%. Żywicę utwardzano stosując roztwór adduktu Ep5/TECZA w ilości stechiometrycznej. Wyniki podano w tab. 5. Wynika z niej, że alkohol metylowy wyraźnie przyspiesza szyb-

Tabela 5

Wpływ rodzaju alkoholu na szybkość żelowania Ep5 + add Ep5/TECZA

Rozpuszczalnik	Czas zmętnienia roztw. lub zagęstn.	Czas żelacji roztw.	Uwagi
Toluen	9h	11h	roztwór klarowny żel klarowny
Metanol	2h	2h,15'	roztwór klarowny żel lekko mętny
Etanol	2h,30'	3h	roztwór klarowny żel lekko mętny
Butanol	2h	3h,30'	roztwór klarowny żel mętny
Żywica bez rozpuszczal.	1h,30'	3h,30'	—

Stężenie roztworu: 60%

50% add Ep5/TECZA w T : B = 1 : 1

Temperatura 19,5—19,8°C, wielkość próbek = 10 ml

kość żelowania Ep5. Nieco krótszy czas występował w etanolu, a w butanolu zbliżony do żywicy 100%. Czas żelowania w toluenie był 3-krotnie dłuższy.

WPLYW STĘŻENIA Ep5 W ETANOLU NA SZYBKOSĆ ŻELOWANIA ROZTWORÓW

Wyniki zestawiono w tab. 6. Na ich podstawie stwierdzamy, że roztwory o stężeniu 20—60 % wykazywały czas żelowania zbliżony do czystej żywicy. Roztwory 80% i 90% żelowały w czasie krótszym o około 30%.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Z przeprowadzonych badań wynika, że roztwory żywic w mieszaninie toluenu z alkoholami (tab. 3 i 4) żelują znacznie szybciej niż w roztworach toluenu (tab. 5), lecz wolniej niż żywica 100%.

Można przyjąć, że maksymalny czas, w którym roztwory 20—60% zaczynają mętnieć, wynosi 6 godzin (wyjątek 20% roztwór Ep1 w T + M = 1:2, tab. 3), a minimalny 3 godziny.

Roztwór 80% Ep5 w T : M = 1:4 (tab. 4) mętniał w czasie zbliżonym do żywicy 100% (tab. 5), zaś 60% roztwory żywic w alkoholach (niezależnie od ich rodzaju) mętniały w czasie około 120—150 minut (tab. 5), a o stężeniu od 20—80% w czasie 90—120 minut (tab. 6). Jedynie roztwór 90% mętniał nieco krócej niż żywica 100% (tab. 6).

Reasumując można stwierdzić, że z punktu widzenia praktycznego

Tabela 6

Wpływ stężenia Ep5 w etanolu na szybkość żelowania roztworów

Stężenie roztw. %	Czas zmętnienia roztw. lub zagęszcz.	Czas żelacji	Uwagi
20	1h,30'	2—3h	roztwór mętny, po 15' początek rozdziału fazowego, po 90' wyraźny rozdział faz, żel mętny
40	2h	3h	roztwór klarowny, po 150 min. początek rozdziału faz
60	2h,30'	3h	roztwór klarowny
80	2h	2h,30'	roztwór klarowny
90	1h	2h,30'	roztwór klarowny
Żywica bez rozpuszczalnika	1h,30'	3h,30'	—

utw. add Ep5/TECZA (50% r. w T : B = 1 : 1)

temp. 19,5—19,8°C, wielkość próbek = 10 ml

korzystne jest stosowanie do zapraw epoksydowych roztworów żywic w alkoholach lub ich mieszaninach z węglowodorami aromatycznymi. Czas utwardzania żywic (żelowanie roztworów) w granicach 2—3,5 godzin jest wystarczający dla przygotowania zapraw i ich użycia dla celów konserwatorskich.

BADANIA NAD UTWARDZANIEM ZAPRAW W NISKICH TEMPERATURACH I W ATMOSFERZE O WYSOKIEJ WILGOTNOŚCI

Zbadano wpływ następujących czynników na proces utwardzania zapraw: rozpuszczalników, stężenia roztworów, rodzaju żywicy, rodzaju utwardzacza, czynników izolacyjnych oraz temperatury.

Badania prowadzono w dwóch etapach. W pierwszym do badań zastosowano mieszaniny 100% żywicy Epidian 5 z piaskiem, w drugim natomiast mieszaniny roztworów żywic.

Zaprawy uzyskiwano przez zmieszanie kruszywa ze spoiwem, stosując na 1 część żywicy bądź roztworu 15 części drobnoziarnistego piasku szklarskiego. Po uformowaniu z zapraw kształtek o grubości około 1 cm utwardzano je przez 7 dni w temperaturze pokojowej, podwyższonej bądź obniżonej. Część próbek utwardzano w atmosferze o wilgotności względnej równej 100%.

Aby określić wpływ poszczególnych czynników na stopień utwardzania żywicy poddawano zaprawy badaniom na pęcznienie. W tym celu nasycano próbki dioksanem, który w przypadku słabego usieciowania żywicy powodował pęcznienie zaprawy. Próbki dobrze utwardzone nie ulegały żadnym zmianom, zachowując swą pierwotną twardość i spoistość. Wyróżniono następujące zachowanie próbek pod wpływem dioksanu:

- próbki nie ulegały zmianom „+”,
- próbki ulegały niewielkiemu rozmiękczeniu „—+”,
- próbki silnie pęczyły „—”.

BADANIE ZAPRAW Z 100% ŻYWICĄ EPOKSYDOWĄ

Stosując żywicę Ep5 prowadzono doświadczenia w warunkach normalnych (temp. około 20°C, w.w. około 50%) oraz w podwyższonej do 100% wilgotności względnej. Część próbek utwardzano w temp. 100°C. Aby zapobiec dezaktywującemu wpływowi kwasu węglowego z powietrza część świeżych zapraw nasycano benzyną lakową i z kolei część z nich odizolowano za pomocą folii polietylenowej. Wyniki zestawiono w tab. 7.

Jak wynika z danych zamieszczonych w tab. 7 najistotniejszy wpływ na utwardzanie zapraw epoksydowych wywiera rodzaj utwardzacza. Próbki z TECZA zarówno w warunkach normalnych (nr 1, 5, 7), jak i w środowisku wilgotnym (nr 3) silnie pęczyły pod wpływem dioksanu. Przeciwnie zachowywały się zaprawy, do utwardzania których użyto adduktu TECZA i Epidianu 5. Niezależnie od warunków utwardzania żadna zaprawa nie uległa rozmiękczeniu lub pęcznieniu.

Pozytywnie wpływa benzyna lakowa na proces utwardzania zapraw z TECZA w warunkach normalnych. Próbki nasycane nią jedynie miękły pod wpływem dioksanu (nr 8). Jeszcze bardziej skuteczna okazała się izolacja z benzyny i folii polietylenowej, która pozwoliła na otrzymanie zapraw nie ulegających rozmiękczeniu czy pęcznieniu (nr 9).

Podobnie skutecznym czynnikiem powodującym głębokie usieciowanie zapraw z TECZA jest podwyższona temperatura (nr 6).

BADANIA ZAPRAW Z ROZTWORAMI ŻYWIC EPOKSYDOWYCH

Do doświadczeń użyto żywicy Epidian 5 i Epidian 1. Podobnie jak w badaniach omówionych wyżej mieszano roztwory z 15 częściami piasku szklarskiego. Zbadano wpływ rozpuszczalników, stężenia roztworów oraz rodzaju utwardzacza na proces utwardzania zapraw.

Badania prowadzono w warunkach laboratoryjnych (normalnych), przy temperaturze średniej około 20,2°C i w.w. około 65—70%, w te

Tabela 7

Wpływ warunków utwardzania zapraw ze 100% żywicą Ep5 na pęcznienie w dioksanie

Nr pr.	Badany czynnik	Utwardzacz	Warunki utwardzenia	Odporność na pęczn.
1	wpływ utwardzaczy	TECZA	normalne	—
2		add. TECZA	normalne	+
3		TECZA	100% w w.	--
4		add. TECZA	100% w w.	+
5	wpływ temp.	TECZA	normalne	—
6		TECZA	24 godz. w warunkach normalnych oraz 24 godz. w 100°C	+
7	wpływ czynników izolujących	TECZA	normalne	—
8			normalne, świeże zaprawy nasycono benzyną lakową	— +
9			normalne, świeże zaprawy nasycono benzyną lakową i przykrywano folią polietylenową	+
10		add. TECZA	normalne	+
11			normalne, nasycono benzyną lakową	+
12			normalne, nasycono benzyną i pokrywano folią	+
13			100% w.w.	+
14			100% w.w. nasycone benzyną lakową	+
15			100% w.w. nasycone benzyną i przykryte folią	+

temperaturze i atmosferze o 100% wilgotności względnej, oraz w temperaturze obniżonej, wynoszącej średnio 4—10°C i przy wilgotności względnej 70—100%.

Jak wynika z danych zamieszczonych w tab. 8, zasadniczy wpływ na utwardzanie zapraw z żywicą Ep5 wywierają rozpuszczalniki. W węglowodorach aromatycznych żywice nie uległy całkowitemu utwardzeniu w warunkach normalnych (nr 1, 2), w atmosferze o wilgotności względnej 100% (nr 10, 11) i w niskiej temperaturze (nr 19, 20). W alkoholach natomiast żywica uległa pełnemu utwardzeniu we wszystkich warunkach (nr 3, 4, 12, 13, 14, 21, 22, 23), czego objawem był brak pęcznienia pod wpływem dioksanu. Pośredni wpływ wywierała mieszanina toluenu z butanolem. W warunkach normalnych zaprawy uległy całkowitemu utwardzeniu (nr 6), a w podwyższonej wilgotności i w niskiej temperaturze częściowemu (nr 15 i 24).

Tabela 8

Wpływ rozpuszczalników na utwardzanie zapraw epoksydowych w zmiennych warunkach temperatury i wilgotności

Nr pr.	Żywica	Rozpuszczalniki	Warunki utwardzania	Odporność na pęczniecie
1	Ep5	toluen	normalne	— +
2		ksylen		— +
3		metanol		+
4		etanol		+
5		butanol		+
6		T : B = 1 : 2,5		+
7	Ep1	toluen		—
8		butanol		—
9		T : B = 1 : 2,5		—
10	Ep5	toluen	100% w.w.	— +
11		ksylen		— +
12		metanol		+
13		etanol		+
14		butanol		+
15		T : B = 1 : 2,5		— +
16	Ep1	toluen		—
17		butanol		—
18		T : B = 1 : 2,5		—
19	Ep5	toluen	4°C—10°C	— +
20		ksylen		— +
21		metanol		+
22		etanol		+
23		butanol		+
24		T : B = 1 : 2,5		— +
25	Ep1	toluen		—
26		butanol		—
27		T : B = 1 : 2,5		—

Stężenie roztworów: 60%,

Utwardzacz: addukt Ep5/TECZA

Niepełnemu natomiast utwardzeniu uległy zaprawy z żywicą Ep1. Wszystkie, niezależnie od rozpuszczalników i warunków utwardzania, uległy pod wpływem dioksanu silnemu spęczeniu i rozpadły się (7, 8, 9, 16, 17, 18, 25, 26, 27).

Stężenie roztworów toluenowych nie wywarło żadnego wpływu na stopień usieciowania żywicy Ep5. Wszystkie zaprawy częściowo rozmiękały niezależnie od warunków utwardzenia.

Na podstawie tab. 10 stwierdzamy, że zaprawy z Ep1 nie uległy

Tabela 9

Wpływ stężenia roztworów żywicy Ep5 w toluenie na utwardzanie zapraw w zmiennych warunkach temperatury i wilgotności

Nr pr.	Stężenie roztworu ‰	Warunki utwardzania	Odporność na pęcznienie
1	40	normalne	— +
2	60		— +
3	80		— +
4	100		+
5	40	100% w.w.	— +
6	60		— +
7	80		— +
8	100		+
9	60	10°C	— +
10	100		+

Utwardzacz: addukt Ep5/TECZA

Próbki nr 4, 8 i 10 miały nieco miękką powierzchnię

w żadnych warunkach pełnemu utwardzeniu. Pęczniały silnie i rozpadały się pod wpływem dioksanu niezależnie od użytych utwardzaczy (nr 17—22).

Zaprawy z Ep5 nie uległy też pełnemu utwardzeniu nawet w warunkach normalnych w obecności EDA i TECZA (nr 1, 4, 7, 10, 13, 15).

Nieco lepsze właściwości utwardzające (sieciujące) wykazał addukt Ep5 z EDA, gdyż zaprawy utwardzane w warunkach normalnych nie uległy spęcznieniu (nr 2). Nie jest to jednak wyłączna zasługa wymienionego utwardzacza, lecz także rozpuszczalnika — etanolu. Zaprawa zawierająca jego mieszaninę z tolueniem nie uległa pełnemu utwardzeniu (nr 3).

Najlepsze rezultaty uzyskano stosując do zapraw roztwory Ep5 w etanolu i utwardzając je adduktem tej żywicy z TECZA. Zaprawy uległy pełnemu utwardzeniu we wszystkich warunkach (nr 5, 11, 16).

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Badania zapraw uzyskanych z żywicy Ep5 w postaci 100% oraz jej roztworów pozwoliły ustalić, że jedynym utwardzaczem, pozwalającym na utwardzenie zapraw w niskich temperaturach jest addukt tej żywicy z trójetylenoczteroaminą. Oprócz utwardzacza bardzo istotną rolę odgrywają rozpuszczalniki. Najlepszy wpływ wywierają alkohole. Wyniki pośrednie uzyskano stosując węglowodory aromatyczne oraz ich mieszaniny z alkoholami. W przypadku stosowania trójetylenocztero-

Tabela 10

Wpływ utwardzaczy na utwardzanie zapraw w zmiennych warunkach temperatury i wilgotności

Nr pr.	Żywica	Utwardzacz	Rozpuszczalniki	Warunki utwardz.	Odporność na pęczn.			
1	Ep5	EDA	Etanol	normalne	—			
2		add.Ep5/EDA			T : B = 1 : 2,5	+		
3			TECZA			etanol	— +	
4		add.Ep5/TECZA			T : B = 1 : 2,5		—	
5			EDA			etanol	+	
6		add.Ep5/EDA			T : B = 1 : 2,5		+	
7			TECZA	etanol		—		
8		add.Ep5/TECZA			T : B = 1 : 2,5	— +		
9			EDA	etanol		— +		
10		add.Ep5/EDA			T : B = 1 : 2,5	—		
11			TECZA	etanol		+		
12		add.Ep5/TECZA			T : B = 1 : 2,5	— +		
13			EDA	etanol		4—8°C	—	
14		add.Ep5/EDA			—			
15							TECZA	—
16								
17	Ep1		toluen	normalne		—		
18		TECZA			100% w.w.	—		
19						add.Ep5/EDA	—	
20				add.Ep5/TECZA				—
21		add.Ep5/EDA			—			
22						add.Ep5/TECZA	—	

Stężenie roztworów: 60%

aminy duże znaczenie dla procesu utwardzania zapraw ze 100% Ep5 mają dodatki benzyny lakiowej oraz izolacje z folii utrudniające oddziaływanie kwasu węglowego.

OPRACOWANIE METODYKI OKREŚLANIA SPOIWOCHŁONNOŚCI KRUSZYW

Określenie optymalnej spoiwochłonności kruszyw ma istotne znaczenie dla praktycznego stosowania zapraw, przy czym za optymalną należy uznać taką ilość spoiwa, w połączeniu z którą zaprawa posiada największą plastyczność. Przy mniejszych ilościach zaprawy są źle ura-

białne i kruche, w wyniku czego istnieją trudności ich nakładania i zagęszczania, także źle się trzymają na pionowych powierzchniach obiektu. Stosując takie zaprawy nie można nadawać odpowiednich kształtów uzupełnianym fragmentom kamiennych obiektów zabytkowych.

Także w przypadku nadmiaru spoiwa zaprawy nie posiadają dogodnych właściwości. Mają małą zwięźłość, rozplywają się i nie można ich zagęścić, aby otrzymać zaprawy o odpowiednich cechach fizyko-mechanicznych. I w tym przypadku trudno je nakładać na powierzchnie pionowe i kształtować plastycznie.

Po wielu doświadczeniach odrzucono tzw. metodę menzurkową¹¹ oraz metodę polegającą na określaniu wytrzymałości mieszaniny kruszywa z cieczą¹², jako zbyt mało precyzyjne i postanowiono określać spoiwochłonność za pomocą metody stosowanej do badania tzw. wężliwości wody przez kruszywa. Ponieważ nie dysponowano określonym przyrządem, pomiary wykonywano w prostej rurce otwartej, na dolnym końcu której umocowano gazę. Rurka miała średnicę 13 mm, wysokość słupa kruszywa w rurce wynosiła 20—22 cm. Po wysypaniu kruszywa do rurki wlewano nadmiar benzyny lakowej i rurkę wstrząsano, aby maksymalnie zagęścić kruszywo (dolny koniec rurki zatykano palcem). Po wycieknięciu benzyny rurkę ważono i obliczano procentową zawartość benzyny uwiecznionej przez kruszywo. Powyższe pomiary okazały się powtarzalne i poprawne w przypadku określenia spoiwochłonności kruszyw o wymiarach ziarn większych od 0,25 mm. Przy badaniu frakcji 0,25/0,125 mm okazało się, że wskutek zjawiska tiksotropii kruszywa wiążą nadmiar benzyny. W takich przypadkach przenoszono mieszaninę z rurki do szalki Petriego, wytrząsano, dekantowano wydzieloną benzynę i pozostałość ważono (tab. 11 i 12).

Tabela 11

Wpływ granulacji piasku na jego spoiwochłonność określoną benzyną lakową

Frakcje piasku mm	0,25/0,125	0,5/0,25	1,0/0,5	2,0/1,0
Spoiwochłonność %	16	11	7	5

Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że wraz ze wzrostem granulacji piasku maleje jego spoiwochłonność mniej więcej o 1/3 w stosunku do frakcji sąsiadującej. Stwierdzona zależność nie znalazła

¹¹ Tenże, *Badania nad technologią...*, s. 139.

¹² W. Domasłowski, A. Młyński, R. Mirowski, D. Sobkowiak, H. Gałkowski, W. Majewski, *Badania nad technologią zapraw cementowych przeznaczonych do uzupełnienia obiektów zabytkowych*, Studia i Materiały PKZ, 1977, s. 5.

Tabela 12

Wpływ rodzaju kruszywa na spoiwochłonność określoną benzyną lakową

Rodzaj kruszywa	Piasek	Nietu- lisko	Zerko- wice	Marmur	Płóczów	Cegła
Spoiwochłonność frakcji 0,25/0,125%	16	18	18	20	21	32
Spoiwochłonność frakcji 0,5/0,25%	11	19	17	13	25	26

jednak potwierdzenia przy badaniu innych rodzajów kruszywa (tab. 12), z wyjątkiem marmurowego. Przyczyn należy się doszukiwać w niedokładnym usunięciu z tych kruszyw frakcji bardzo drobnych (pylastych), które mogą być usunięte jedynie na drodze długotrwałego wytrząsania lub przemywania. Zanieczyszczeniom drobnymi frakcjami należy przypisać fakt, że kruszywo z piaskowca Nietulisko o granulacji 0,5/0,25 wykazało nieco większą spoiwochłonność od frakcji 0,25/0,125.

Jak wynika z tab. 12 każdemu rodzajowi kruszywa i jego frakcji odpowiada określona spoiwochłonność.

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I MECHANICZNE ZAPRAW EPOKSYDOWYCH

Stosując roztwory żywicy epoksydowych zbadano wpływ ich stężenia, ilości roztworu w stosunku do kruszywa, rodzaju i granulacji kruszywa, rozpuszczalników i utwardzaczy na następujące właściwości zapraw: ciężar objętościowy, nasiąkliwość benzyną lakową i wodą, zdolność do kapilarnego podciągania cieczy, wytrzymałość mechaniczną, światłotrwałość i odporność na działanie wody. Poza tym zbadano odporność zapraw na test solny. Badania prowadzono w dwóch etapach: pierwszy, stosując stały stosunek roztworu do kruszyw i drugi, w którym stosowano takie ilości roztworów, jakie wynikały ze spoiwochłonności kruszyw.

WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW EPOKSYDOWYCH O STAŁYM STOSUNKU ROZTWÓR : KRUSZYWO

Do badań przygotowano próbki sztucznych kamieni (zapraw) o wymiarach 4 cm × 4 cm × 4 cm. Kamienie otrzymywano przez zmieszanie roztworu żywicy epoksydowej (Ep) w etanolu (bądź w butanolu), zawierającego stechiometryczny dodatek trójetylenoczteroaminy (lub adduktu TECZA z Ep5) z piaskiem o granulacji 0,25/0,125, 0,5/0,25, 1,0/0,5, 2,0/1,0 mm.

Oprócz piasku stosowano kruszywo otrzymane przez zmielenie pia-

skowca Nietulisko i Żerkowice, wapienia pińczowskiego, marmuru i cegły. Stosunek roztworu do kruszywa był stały i wynosił 1:10, za wyjątkiem kamieni uzyskiwanych z wapienia pińczowskiego i cegły, gdzie był on równy 1:5 (niemożność wymieszania porowatego i o rozwiniętej powierzchni kruszywa z mniejszą ilością spoiwa).

Po umieszczeniu zarobionej masy w formach próbki były utwardzane przez 3 dni pod przykryciem z folii, a następnie po jej usunięciu przez 14 dni w warunkach laboratoryjnych.

*Wpływ stężenia roztworów na nasiąkliwość zapraw
epoksydowych z piaskiem*

Roztwory mieszano z piaskiem o granulacji 0,5/0,25 mm. Wyniki zestawiono w tab. 13. Jak widzimy, wraz ze wzrostem stężenia roztworów maleje nasiąkliwość zapraw. Przyczyną anomalii, jaką wykazały nasycane wodą próbki z 80% roztworem, jest prawdopodobnie niedostateczne ich zagęszczenie.

Tabela 13

Wpływ stężenia roztworów Ep5 w etanolu na nasiąkliwość zapraw benzyną lakową i wodą

Ciecz nasycająca	Czas nasycania w dobach	Stężenie roztworu Ep5 ‰			
		20	40	60	80
		nasiąkliwość w ‰ (wag)			
Benzyna lakowa	1	12,12	9,67	7,78	6,49
	2	11,38	9,68	7,71	6,43
	3	11,35	9,64	7,76	6,49
Woda	1	11,16	5,39	2,35	5,23
	7	14,86	10,21	6,46	8,44
	14	16,07	12,68	7,43	9,49
	21	16,43	13,78	8,28	10,13
	28	17,14	14,56	8,82	10,59
	15 min. pod próżnią	18,49	16,89	14,64	12,51
Ciężar objętościowy próbek		1,62	1,67	1,75	1,79

Z przeliczenia nasiąkliwości wagowej benzyną lakową na nasiąkliwość objętościową wynika, że jest ona nieco mniejsza od nasiąkliwości wodą określonej po 28 dobach. Z tabeli wynika także, że próbki nasycane benzyną uzyskują po 24 godzinach pełną nasiąkliwość, podczas gdy ich nasiąkliwość w wodzie rośnie z czasem. Przyczyną tego są właściwości hydrofobowe żywicy.

Wpływ rodzaju alkoholu, utwardzaczy i żywicy na nasiąkliwość zapraw

Zbadano nasiąkliwość zapraw uzyskanych z 60% roztworów Ep5 i Ep1 w etanolu i butanolu. Żywice utwardzano za pomocą TECZA i jego adduktu z Ep5. Wyniki przedstawiono w tab. 14.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że rodzaj żywicy alkoholu i utwardzacza nie ma wpływu na nasiąkliwość zapraw, co jest prawdopodobnie wynikiem zbliżonej lepkości roztworów.

Wpływ granulacji piasku na nasiąkliwość zapraw

Piasek o zróżnicowanej granulacji mieszano z 60% roztworem Ep5 w stosunku 1:10. Żywicę utwardzano za pomocą TECZA. Wyniki zestawiono w tab. 15.

Z pomiarów wykonanych przy pomocy benzyny wynika, że wraz ze spadkiem granulacji piasku rośnie nasiąkliwość zapraw.

Ich nasiąkliwość wodą była zróżnicowana, co wynika prawdopodobnie z ich niejednorodnych właściwości hydrofobowych.

Wpływ rodzaju kruszywa na nasiąkliwość zapraw

Zastosowano kruszywa uzyskane przez zmielenie piaskowca Nietulisko i Żerkowice, wapienia pińczowskiego, marmuru kararyjskiego oraz cegły. Wyniki podano w tab. 16.

Jak wynika z danych zamieszczonych w tab. 16 nasiąkliwość zapraw ściśle odpowiada ich ciężarowi objętościowemu, który z kolei jest zależny od spoiwochłonności kruszyw. Ostatnia cecha zaś jest uzależniona od morfologii ziarn i ich powierzchni właściwej, które są indywidualnymi cechami poszczególnych kruszyw.

W omawianym przypadku największą spoiwochłonnością odznaczała się cegła oraz wapień pińczowski. Chcąc otrzymać z tymi kruszywami zaprawy o odpowiedniej plastyczności nie można było zmieszać z jedną częścią spoiwa więcej niż 5 części kruszywa. Pomimo tego zaprawy z tymi kruszywami odznaczały się największą nasiąkliwością.

Nasiąkliwość pozostałych zapraw była mniej zróżnicowana i odpowiadała ich ciężarom objętościowym.

Zdolność kapilarnego wznoszenia się wody w zaprawach

Badanie nasiąkliwości zapraw określane na podstawie zanurzenia próbek do wody pozwoliło ustalić, że po pierwszej dobie nasycania obserwujemy stosunkowo niewielki przyrost masy, a po dalszych następuje

Tabela 14

Wpływ rozpuszczalników i utwardzaczy na nasiąkliwość zapraw Ep5 i Ep1 z piaskiem (0,5/0,25 mm)

Ciecz nasycająca	Czas nasycania w dobach	Skład roztworu					
		Ep5 + TECZA w etanolu	Ep5 + TECZA w butanolu	Ep5 + add. w etanolu	Ep1 + TECZA w butanolu	Ep1 + add. w butanolu	nasiąkliwość w %
Benzyna lakowa	1	7,78	6,50	7,54	6,54	3,88	
	2	7,71	6,39	7,43	6,69	3,89	
	3	7,76	6,16	7,42	6,56	3,90	
Woda	1	2,35	1,66	1,30	1,65	3,19	
	7	6,46	6,25	5,35	5,76	5,77	
	14	7,43	8,28	6,72	6,79	7,12	
	21	8,28	8,99	7,49	7,79	7,32	
	28	8,82	9,62	8,00	8,28	8,16	
	15 min. pod próżnią	14,64	13,22	14,49	14,70	13,01	
Ciężar objęt. próbek		1,75	1,77	1,75	1,75	1,82	

Stężenie roztw. 60%; roztw. : piasek = 1 : 10

Tabela 15
Wpływ granulacji piasku na nasiąkliwość zapraw Ep5

Ciecz nasycająca	Czas nasycania w dobach	Granulacja kruszywa (mm)			
		0,25/0,125	0,5/0,25	1,0/0,5	2,0/1,0
		nasiąkliwość w %			
Benzyna lakowa	1	10,45	7,78	6,91	4,25
	2	10,42	7,71	6,75	5,83
	3	10,52	7,76	6,68	5,38
Woda	1	3,75	2,35	5,90	6,43
	7	8,40	6,46	8,71	9,55
	14	9,92	7,43	9,59	9,79
	21	10,86	8,28	9,98	9,27
	28	11,44	8,82	10,37	10,18
	15 min. pod próżnią	17,52	14,64	13,22	12,57
Ciężar objętościowy próbek		1,67	1,75	1,74	1,67

Stęż. roztw. 60% w etanolu; roztw. : piasku = 1 : 10

stały jej wzrost świadczący o zaniku właściwości hydrofobowych. Chcąc się przekonać o możliwości wznoszenia się wody na drodze kapilarnej próbki zanurzono do wody na głębokości 1 cm i po określonym czasie badano przyrosty ich mas. Wyniki obrazuje tab. 17.

O zdolności kapilarnego podciągania wody można wnioskować porównując uzyskane przyrosty masy z przyrostami próbek nasycanych w kąpieli przez 24 godziny. Ponieważ próbki nasycane w kąpieli miały masy pięciokrotnie większe od części zanurzonych przy badaniach kapilarnego wznoszenia się wody, przyrosty ich masy dzielono przez 5. Z takiego porównania wynika, że woda wznosiła się kapilarnie w zaprawach zawierających kruszywo Nietulisko (przyrost masy 3,6 większy), Żerkowice ($\times 2,9$), Pińczów ($\times 2,5$), marmurowe ($\times 2,5$) i cegłę (2,0). W zaprawach z roztworem 20% Ep5 przyrost masy był większy o 1,4, a z uzyskanych roztworów 40% o 1,7. Poza tym niewielkie przyrosty masy wystąpiły w próbkach zawierających addukty żywicy i aminy (1,6 i 1,7 — tab. 14).

(W pozostałych próbkach nie stwierdzono wyraźnych przyrostów masy w stosunku do próbek zanurzonych do wody i można sądzić, że nie posiadały zdolności jej podciągania.

Wytrzymałość zapraw na ściskanie

Badaniom poddano próbki o wymiarach 5 cm $\times$ 5 cm $\times$ 5 cm w prasie hydraulicznej o nacisku 30 ton. Wyniki zestawiono w tab. 18.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzamy, że wytrzymałość na ściskanie jest zależna od stężenia roztworu, gdyż z jego zmianą zmienia się stosunek czystej żywicy do kruszywa, od granulacji kruszywa

(wraz z jej wzrostem maleje), od rodzaju kruszywa (morfologii i powierzchni właściwej ziarn) ¹³.

Wytrzymałość jest oczywiście uzależniona także od zagęszczenia zapraw, czego odzwierciedleniem jest ich ciężar objętościowy. Rośnie on wraz ze stężeniem roztworów i temu czynnikowi należy też przypisać fakt wzrostu wytrzymałości zapraw.

Omówienie wyników

Przeprowadzone badania właściwości zapraw uzyskiwanych przy stałym stosunku roztworu żywicy do kruszywa wynoszącym 1:10 (wyjątek zaprawy z kruszywa z wapienia pińczowskiego i cegły 1:5) pozwoliły na stwierdzenie, że stosując różne stężenia roztworów, granulacje kruszywa i rodzaje kruszywa można uzyskać zaprawy o zróżnicowanych właściwościach.

Nasiąkliwość zapraw benzyną lakową przy stosunku roztwór : kruszywo = 1 : 10 waha się w granicach $5,0 \div 12,0\%$ i jest zależna od stężenia roztworów żywicy oraz od granulacji kruszywa. Przy maksymalnym stężeniu roztworu (80%) i granulacji piasku (2,0/1,0) nasiąkliwość zapraw jest najniższa. Rodzaj rozpuszczalnika, utwardzacza i kruszywa nie ma wpływu na omawiany parametr.

Podobny wpływ wywierają powyższe czynniki na nasiąkliwość wodą, aczkolwiek w tym przypadku wpływ ten nie jest niekiedy tak wyraźny. Przy badaniu nasiąkliwości wodą należy się liczyć z trudnościami jej przenikania do porów zapraw spowodowanymi hydrofobowymi właściwościami żywicy epoksydowych. Sprawia ona, że woda przenika powoli i praktycznie zaprawa osiąga prawie maksymalne nasycenie dopiero po około 7 dobach. Po tym okresie przyrosty masy są małe. Trudności w nasycaniu wodą występują w jeszcze wyraźniejszym stopniu przy jej kapilarnym wznoszeniu się, a więc gdy nie działa ciśnienie hydrostatyczne, tak jak w przypadku kapilek. Nasiąkliwość zapraw jest więc uzależniona od warunków, w jakich się one znajdują oraz od czasu nasycania wodą. W przypadku działania deszczu na powierzchnie pionowe głębokość penetracji wody będzie prawdopodobnie niewielka, większa natomiast, jeżeli deszcz będzie zraszał powierzchnie poziome i woda będzie się gromadziła w zagłębieniach.

Bardzo duży wpływ na nasiąkliwość wodą ma stężenie roztworów żywicy. Wynosi ona po 28 dobach od 10% (roztw. 80%) do 17% (roztw. 20%). Rozpuszczalniki i utwardzacze nie mają wpływu, nie stwierdzono także wpływu granulacji kruszywa. Ponieważ w przypadku benzyny lakowej wpływ granulacji jest bezsporny, można przypuszczać, że w okre-

¹³ W. Paszkowski, *Technologia betonu*, Instytut Badawczy Budownictwa, Warszawa 1946, s. 55.

sie 28 dni woda nie nasyciła wszystkich porów (prawdopodobnie o najmniejszych średnicach). Hipotezę tę potwierdzają badania nasiąkliwości pod zmniejszonym ciśnieniem, z których wyraźnie wynika wpływ granulacji kruszywa. Jedynie zaprawy otrzymane przy użyciu 20% roztworu żywicy wykazały zbliżoną nasiąkliwość niezależnie od tego czy były nasycone pod normalnym, czy zmniejszonym ciśnieniem. Pozostałe zostały pod próżnią „dosycone”.

Jeżeli chodzi o wpływ rodzaju kruszywa na nasiąkliwość zaprawy wodą, to jest on mały przy stosowaniu piaskowców i marmuru. Różnice są raczej wynikiem różnych ciężarów objętościowych zapraw.

Bardzo duży natomiast wpływ, podobnie jak w przypadku stosowania benzyny, mają kruszywa otrzymane z porowatego wapienia i cegły. Ich nasiąkliwości pomimo użycia dwukrotnie większej ilości roztworu żywicy były większe niż przy użyciu innych kruszyw. Szczególnie wysoką nasiąkliwością oznaczała się zaprawa z cegłą badana pod próżnią (41⁰/₀).

Reasumując, stwierdza się, że nasiąkliwość wodą w ramach określonego kruszywa może być regulowana przy pomocy stężenia roztworu żywicy. Inne parametry nie mają znaczącego wpływu.

Drugim czynnikiem mającym wpływ na nasiąkliwość jest morfologia kruszyw.

Wytrzymałość mechaniczna zapraw natomiast jest uzależniona od wszystkich omawianych czynników, a więc od stężenia roztworu oraz od granulacji i rodzaju kruszywa, przy czym jedynie pierwszy z wymienionych parametrów daje możliwość jej regulowania. Bardzo duży wpływ ma także zagęszczenie zapraw, czego wyrazem są ich ciężary objętościowe.

WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW O OKREŚLONYM NA PODSTAWIE SPOIWOCHŁONNOŚCI STOSUNKU ROZTWORU DO KRUSZYWA

Próbki przygotowano zgodnie z podanym już opisem, stosując w stosunku do kruszyw ilości roztworów podane w tab. 11 i 12.

Wpływ stężenia roztworu Ep5 na właściwości zapraw

Wyniki zestawiono w tab. 19 i na tej podstawie wnioskujemy, co następuje. Wraz ze zwiększeniem stężenia roztworów rośnie ciężar objętościowy zapraw, a wraz z nim czas kapilarnego wznoszenia się benzyny laskowej, oraz wytrzymałość na ściskanie i wodoodporność zapraw. Maleje natomiast ich nasiąkliwość. Tak więc powyższe parametry fizyczne i mechaniczne są nie tylko zależne od ilości żywicy spajającej kruszywo lecz także od stopnia zagęszczenia zapraw.

Przy nasycaniu benzyną próbki osiągnęły praktycznie maksymalne nasycenie po okresie czasu odpowiadającym kapilarnemu wzniesieniu się benzyny. Woda natomiast wznosiła się powoli, nasycając próbki po około

Tabela 16
Wpływ rodzaju kruszywa na nasiąkliwość zapraw Ep5

Ciecz nasycająca	Czas nasycania w dobach	Rodzaj kruszywa					
		Plasek	Nietuśisko	Zerkowice	Pińczów	Marmur	Cegła
Nasiąkliwość %							
Benzyna lakowa	1	10,45	12,52	12,45	16,52	16,08	26,19
	2	10,42	12,68	12,45	16,62	16,69	26,12
	3	10,52	12,71	12,57	16,68	16,26	26,22
Woda	1	3,75	4,78	8,53	2,87	2,70	3,96
	7	8,40	8,19	12,78	9,52	7,85	14,15
	14	9,92	10,57	14,19	13,24	11,75	18,48
	21	10,86	11,59	14,96	15,30	13,53	20,91
	28	11,44	12,24	15,65	16,81	15,00	23,20
	15 min. pod próżnią	17,59	19,84	20,21	28,13	25,51	41,02
Ciężar objętościowy próbek		1,67	1,60	1,59	1,37	1,51	1,15

Stęż. roztw. 60% w etanolu; roztw. : kruszywo = 1 : 10
granulacja 0,25/0,125 (Pińczów i cegła = 1 : 5)

Tabela 19
Wpływ stężenia roztworu Ep5 na właściwości zapraw

Stęż. roztw. %	Ep5 : K	Cięż. objęt. zapr. g/cm³	Czas kapilarnego podciągania benzyny w s.			Nasiąkliwość benzyną %		Nasiąg. wodą po 14 dobach %		Rśc w MPa	Odporność na wodę Rśc, MPa		Spadek Rśc w stosunku do próbek such. %
			benzynny w s.			kapilarna	w kap. 24 godz.	kapilarna w kapieli	po 2 dobach po 14 dobach				
			1 cm	2 cm	3 cm								
20	1 : 45	1,66	—	—	12	10,9	11,1	13,4	15,7	1,0	—	—	—
40	1 : 23	1,74	2	8	21	8,2	8,4	7,4	10,6	8,3	4,2	3,4	59,0
60	1 : 15	1,82	8	43	88	5,1	5,2	2,9	6,0	17,3	6,7	8,4	51,4
80	1 : 11	1,88	19	81	166	3,8	3,9	5,9	6,7	28,4	18,4	19,6	30,9

Roztwór Ep5 : plasek = 1 : 9,1 (11%), granulacja płasku — 0,5/0,25 mm

7 dobach w około 90%. Próbki nasycane w kąpeli osiągały prawie maksymalne nasycenie (90—95%) po 1—4 dobach.

Wytrzymałość na ściskanie odpowiada stosunkowi żywica : kruszywo i z praktycznego punktu widzenia roztwory 20% do uzyskiwania zapraw nie nadają się.

Pozostałe, pozwalające na uzyskanie zapraw o Rśc w granicach 8,3—28,4 MPa, posiadają wytrzymałość zbliżoną do piaskowców spotykanych w zabytkach.

Niestety zaprawy okazały się mało odporne na działanie wody, z wyjątkiem uzyskanej z roztworem 80%.

Wpływ ilości roztworu Ep5 na właściwości zapraw

Stosując obliczone na podstawie spoiwochłonności ilości roztworu (p. 4) stwierdzono, że podczas zagęszczania zaprawy następuje wyciskanie spoiwa. W wyniku, po utwardzeniu, na powierzchni zaprawy występowała błyszcząca powłoczka żywicy. Postanowiono więc prześledzić wpływ mniejszych ilości roztworów na właściwości zapraw. Wyniki podano w tab. 20.

Z tabeli wynika, że zmniejszanie ilości spoiwa (poniżej 11%) powoduje spadek ciężaru objętościowego zapraw, a wraz z nim wzrost szybkości kapilarnego podciągania benzyny i wzrost nasiąkliwości. Zmniejszeniu ilości roztworu, a więc i stosunku do kruszywa towarzyszy także znaczny spadek wytrzymałości i odporności na działanie wody.

Wpływ granulacji piasku na właściwości zapraw

Spoiwo stosowano w ilości zgodnej ze spoiwochłonnością poszczególnych frakcji piasku (tab. 11).

Jak wynika z danych przytoczonych w tab. 21, wraz ze wzrostem wielkości frakcji piasku, a więc z jednoczesnym obniżaniem ilości roztworu i żywicy następuje spadek ciężaru objętościowego i szybsze podciąganie benzyny przez zaprawy oraz ich wytrzymałość mechaniczna i wodoodporność. Rośnie oczywiście nasiąkliwość.

Wpływ rodzaju kruszywa na właściwości zapraw

Do badań zastosowano kruszywa o granulacji 0,25/0,125 i 0,5/0,25 mm. Podane w tab. 22 wartości pozwalają na sformułowanie podobnych wniosków, jak w odniesieniu do tab. 19 i 20. Wszystkie cechy fizyczne i mechaniczne zapraw są uzależnione od stosunku żywicy do kruszywa i ciężaru objętościowego. Jeżeli ten stosunek i ciężary objętościowe są

Tabela 20

Wpływ ilości roztworu Ep na właściwości zapraw

Kruszywo	Ilość roztw. %	Ep5 : K	Cob g/cm³	Czas kapilar. podciągania benzyny w sek.			Nasiąkliwość benzyną %		Nasiąkliwość wodą po 14 dobach %		Rść w MPa	Odpor. na wodę, Rść, MPa		Spadek w stos. do próbek suchych %
				1 cm	2 cm	3 cm	na drodze kapil.	w kapieli 24 h	na drodze kapil.	w kapieli		po 2 dob.	po 14 dob.	
Piasek	5	1 : 33	1,70	2	6	15	10,1	10,2	4,6	9,4	5,2	1,2	0,5	90,4
Piasek	7	1 : 24	1,72	2	7	18	9,8	8,9	4,3	8,7	7,8	1,6	3,0	61,5
Piasek	9	1 : 18	1,75	3	13	32	7,5	7,6	3,8	7,8	7,4	5,2	4,8	35,1
Piasek	11	1 : 15	1,82	8	43	88	5,1	5,2	2,9	6,0	17,3	6,7	8,4	51,4

Granulacja kruszywa 0,5/0,25 mm, stężenie 60%

Tabela 21

Wpływ granulacji piasku na właściwości zapraw

Frakcja roztw. piasku	Ilość roztw. %	Ep5 : K	Cob g/cm ³	Czas kapilar. pod- ciągania benz. w s.			Nasiąkliwość benzyną %		Nasiąkliwość wodą po 14 dobach %		Rśc w MPa	Odporność na wodę Rśc, MPa		Spadek Rśc w stosunku do próbek suchych %
				1 cm	2 cm	3 cm	na dr. kapil.	w kap. 24 h	na dr. kap.	w kapieli		po 2 dob.	po 14 dob.	
0,25/0,125	16	1 : 10	1,88	25	195	533	0,7	0,8	2,1	3,4	28,9	25,8	21,2	26,6
0,5/0,25	11	1 : 15	1,82	8	43	88	5,1	5,2	2,9	6,0	17,3	6,7	8,4	51,4
1,0/0,5	7	1 : 24	1,74	2	5	15	8,1	8,1	4,6	9,9	8,5	2,1	1,9	77,6
2,0/1,0	5	1 : 33	1,65	1	7	52	5,1	5,1	5,9	12,7	3,3	0,7	1,2	63,6

Stężenie roztworu Ep5 = 60%

Tabela 22

Wpływ rodzaju kruszywa na właściwości zapraw

Kruszywo	Fracja	Ilość roztw. %	Ep5 : K	Cob, g/cm ³	Czas kapil. podciaga- nia benzyny w sek.			Nasiakliwość benzyną %		Nasiakliwość po 14 dobach		Rśc w MPa	Odporność na wodę			Spadek Rśc w stos. do próbek suchych %
					1 cm	2 cm	3 cm	na dr kapil.	w kap. 24 h	na drodze kapil.	w kapieli		Rśc, MPa	po 2 dob.	po 14 dob.	
Piasek	0,25/0,125	16	1 : 10	1,88	25	195	533	0,7	0,8	2,1	3,4	23,9	25,8	21,2		26,6
	0,5/0,25	11	1 : 15	1,82	8	43	88	5,1	5,2	2,9	6,0	17,3	6,7	8,4		51,4
Niet.	0,25/0,125	18	1 : 9	1,81	26	145	417	0,9	1,0	2,4	4,2	40,6	26,9	24,7		39,2
Żerkow.	0,25/0,125	18	1 : 9	1,83	22	100	433	0,8	1,0	2,4	3,7	39,9	33,5	25,2		36,8
	0,5/0,25	17	1 : 10	1,77	26	206	610	2,0	2,1	2,5	5,4	26,1	19,0	21,7		16,8
Marmur	0,25/0,125	20	1 : 8	1,79	43	390	29 min.	2,4	2,7	3,7	6,1	26,0	19,7	21,8		16,2
	0,5/0,25	13	1 : 13	1,61	2	9	32	10,9	10,9	10,1	15,1	7,5	5,5	7,2		4,0
Pińczów	0,25/0,125	27	1 : 6	1,54	27	85	140	7,3	7,3	2,5	7,0	25,7	23,8	22,5		12,5
	0,5/0,25	25	1 : 6,6	1,42	3	11	29	11,5	11,2	4,9	12,3	19,1	13,6	10,8		43,4
Cegła	0,25/0,125	32	1 : 5	1,41	10	46	91	9,4	9,4	4,6	12,6	23,2	15,6	20,1		13,4
	0,5/0,25	26	1 : 6,4	1,30	2	7	18	15,4	15,4	19,6	23,6	10,4	7,4	8,0		23,1

Stężenie roztworu Ep5 — 60%

zbliżone (np. Nietulisko i Żerkowice), to wszystkie cechy zapraw są także zbliżone.

Na uwagę zasługuje fakt, że spadek wytrzymałości badanych próbek z kruszywami o granulacji 0,25/0,125 mm po 14-dniowej kąpieli w wodzie nie przekroczył 40% i że R_{sc} wszystkich uzyskanych zapraw suchych i mokrych niezależnie od ilości spoiwa przekroczyła 20 MPa. Mniejszą wytrzymałość i wyższą nasiąkliwość posiadają zaprawy z kruszywem o wyższej granulacji.

Wpływ rodzaju żywicy epoksydowej i utwardzacza na właściwości zapraw

Porównano właściwości zapraw uzyskanych z żywicy Epidian 1 i Epidian 5. Utwardzano je przy pomocy trójetylenoczteroaminy (TECZA) i jej adduktu z Ep5.

Na podstawie rezultatów zamieszczonych w tab. 23 możemy stwierdzić, że właściwości zapraw nie są zależne od rodzaju żywicy epoksydowej oraz utwardzacza.

Odporność zapraw na działanie soli

Próbki zapraw oraz kamieni naturalnych o wymiarach 4 cm × 4 cm × 4 cm zanurzano do nasyconego roztworu siarczanu sodowego (20°C) i po ustaleniu się masy suszono je przez 18 godzin w temperaturze 60°C i 6 godzin pod zmniejszonym ciśnieniem. Suche próbki nasycano roztworem soli przez 24 godziny i suszono je ponownie w podanych warunkach. Wykonano 10 cykli nasycania i suszenia. Obserwowano zmiany po każdym cyklu i określano ubytek masy po 10 cyklach.

Stwierdzono, że zniszczenia wystąpiły we wszystkich kamieniach naturalnych (z wyjątkiem marmuru) oraz w zaprawach, w których stosunek Ep5 do kruszywa był większy niż 1 : 15. Procentowe ubytki próbek, które uległy zniszczeniu po 10 cyklach, zamieszczono w tab. 24. Jak wynika z tej tabeli, najpoważniejszym (całkowitym) zniszczeniom uległy kamienie naturalne oraz zaprawy, w których stosunek EP : kruszywo wynosił 1 : 45 i 1 : 33. W pozostałych ubytki nie przekraczały 2%.

Światłotrwałość zapraw

Z próbek zapraw odcięto płytki, zakryto ich połowy folią aluminiową i poddano działaniu promieniowania ultrafioletowego w szafie klimatycznej „Feutron” zaopatrzonej w lampę UV S 375 firmy PGH Elektro-Medizin (NRD). Odległość płytek od lampy wynosiła 30 cm.

Tabela 23
Wpływ rodzaju żywicy i utwardzacza na właściwości zapraw

Żywica	Utwardzacz	Cob g/cm³	Czas kapilarnego podciąg. benzyny w sek.			Nasiakliwość benzyną %		Nasiakl. wodą po 14 dobach %		Rśc w MPa	Odpor. na wodę Rśc, MPa		Spadek Rśc w stosunku do próbek suchych %
			1 cm	2 cm	3 cm	na drodze kap.	w kap. po 24 h	na drodze kap.	w kapieli		po 2 dob.	po 14 dob.	
Ep1	TECZA	1,83	18	100	270	3,9	4,0	1,7	5,2	16,4	7,2	7,3	55,5
Ep5		1,82	8	43	88	5,1	5,2	2,9	6,0	17,3	6,7	8,4	51,4
Ep1	addukt	1,82	15	83	221	4,1	4,2	2,0	5,3	14,9	5,4	6,2	58,3
Ep5		1,80	14	68	143	4,6	4,6	1,9	5,8	13,9	4,9	6,4	53,9

Stężenie roztworu 60%, kruszywo — piasek o granulacji 0,5/0,25
Ilość roztworu w stosunku do piasku — 11%

Tabela 24

Ubytek masy zapraw i kamieni naturalnych po 5 i 10 cyklach testu solnego

Rodzaj kruszywa	frakcja mm	stęż. roztw. %	Charakterystyka zapraw					Ubytek masy %		Uwagi
			ilość roztw. %	Eps : K	Cob g/cm ³	Rśc MPa	odpor. na wod. po 14 dob. MPa	po 5 cykl.	po 10 cykl.	
Piasek	0,5/0,25	20	11	1 : 45	1,66	1,0	—	3,3	12,7	osypywanie się powierzchni
Piasek	0,5/0,25	40	11	1 : 23	1,74	8,3	3,4	—	0,6	małe ubytki narożników i krawędzi
Piasek	1,0/0,5	60	7	1 : 24	1,72	7,8	3,0	—	1,9	zaokrągl. narożników i krawędzi
Piasek	2,0/1,0	60	5	1 : 33	1,65	3,3	1,2	0,6	8,7	zaokrągl. narożników i krawędzi
Piasek	0,5/0,25	60	9	1 : 18	1,75	7,4	4,8	—	0,1	niewielkie osypywanie się krawędzi
Piasek	0,5/0,25	60	7	1 : 24	1,72	7,8	3,0	—	1,6	niewielkie osypywanie się krawędzi
Piasek	0,5/0,25	60	5	1 : 33	1,70	5,2	0,5	1,8	8,5	ubytki krawędzi, osypywanie powierzchni
Piaskowiec Nietulisko			—	—	—	—	—	30,5	—	dezintegracja ogólna
Piaskowiec Żerkowice			—	—	—	—	—	2,6	—	ubytki narożników
Wapień Pińczowski			—	—	—	—	—	58,1	—	osypywanie i złuszczenie powierzchni
Cegła			—	—	—	—	—	8,8	—	mikropęknięcia i ubytki

Po 6 dobach napromieniania nie stwierdzono wyraźnych zmian barwnych próbek i dlatego proces kontynuowano do 12 dni.

Stwierdzono, że niewielkie zmiany barwne (zażółcenia, ściemnienia) wystąpiły jedynie w próbkach, w których stosunek kruszywa do żywicy był mniejszy od 10 : 1. W próbkach zapraw zawierających większe ilości kruszyw, niezależnie od ich granulacji, stężenia, rodzaju żywicy i utwardzaczy zabarwienie nie wystąpiło. Wyjątek stanowiła zaprawa z cegłą, która pomimo stosunku żywica : kruszywo = 1 : 5 nie uległa żadnym zmianom barwnym oraz zaprawa z kruszywem marmurowym, która uległa zmianom pomimo stosunku 1 : 13.

WNIOSKI

1. Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, iż roztwory żywicy epoksydowych w węglowodorach aromatycznych nie nadają się do użycia w praktyce. Przyczyną tego jest słabe sieciowanie żywicy w tych rozpuszczalnikach.

Nie nadają się także do tego celu utwardzacze: trójetylenoczteroamina oraz etylenodwuamina i jej addukt z żywicą epoksydową.

Dobre rezultaty natomiast uzyskano stosując alkoholowe roztwory żywicy Epidian 5 utwardzanej adduktem Ep5 z trójetylenoczteroaminą. Zaprawy, które uzyskiwano z powyższym spoiwem, wiązały prawidłowo w warunkach o wilgotności 100% w temperaturze poniżej 10°C.

2. Stosując stały stosunek roztworów do kruszywa (1 : 10) stwierdzono, że na właściwości zapraw ma wpływ stężenie roztworów oraz granulacja i rodzaj kruszywa. Przy maksymalnym stężeniu uzyskuje się zaprawy o największej wytrzymałości mechanicznej i najniższej nasiąkliwości.

Inne parametry mają mniejszy wpływ, niemniej jednak stwierdzono, że wraz ze zwiększaniem granulacji kruszywa maleje nasiąkliwość oraz wytrzymałość zapraw.

Bardzo duży wpływ na właściwości zapraw ma ich zagęszczenie. Zaprawy o wyższym ciężarze objętościowym mają większą wytrzymałość i niższą nasiąkliwość.

3. Każde kruszywo w zależności od rodzaju i granulacji posiada określoną spoiwochłonność. Przy stosowaniu nadmiaru spoiwa występuje ono na powierzchni zapraw tworząc błyszczące błony.

Przy mniejszej ilości następuje spadek wytrzymałości zapraw. Należy więc stosować około 10—20% mniej spoiwa od spoiwochłonności. Spoiwochłonność można łatwo określić przy pomocy rurki zaopatrzonej z jednego końca w sitko.

4. Stosując roztwory żywicy w ilościach zgodnych ze spoiwochłonnością kruszyw potwierdzono wnioski sformułowane w p. 2., z tym, że

bardziej uwidocznił się wpływ granulacji i powierzchni właściwej kruszyw. Wraz ze zwiększeniem granulacji maleje spoiwochłonność, następuje gwałtowny spadek wytrzymałości i rośnie nasiąkliwość. Maleje także wodoodporność zapraw. Odporność na działanie wody jest zależna od ilości żywicy w kruszywie i przy przekroczeniu 15 części kruszywa na 1 część żywicy spadek odporności mechanicznej wynosi 50—70%. Poniżej tej wartości waha się w granicach 20—40%.

O właściwościach zapraw decyduje także w dużym stopniu ich zagęszczenie. Czym większy ciężar objętościowy, tym oczywiście wyższa wytrzymałość.

5. Zaprawy epoksydowe są znacznie odporniejsze na działanie soli niż kamienie naturalne, co jest związane z ich właściwościami hydrofobowymi. Pomimo to woda wznosi się powoli w zaprawach i po pewnym czasie nasyca prawie całkowicie ich pory otwarte.

6. Wszystkie zaprawy, w których znajdowało się więcej kruszywa niż 10 części na 1 część żywicy były światłoodporne. Warunkiem ich światłoodporności jest niedopuszczenie do utworzenia się powłoki na powierzchni zapraw lub jej usunięcie w przypadku powstania.

TECHNOLOGY OF EPOXY MORTARS AT LOW TEMPERATURE AND HIGH RELATIVE HUMIDITY

Summary

The aim of this work was to determine the agents that allow epoxy mortars to harden at a low temperature (below 10°C) and a high relative humidity (100%).

Widely accessible Polish made epoxy resin Epidian 1:5 and the following hardeners were applied: ethylbiamine, triethylenetetramine and their adducts with the above resin. Resins solubility (Tables 1 and 2) and the rate of solutions gelation (Tables 3 to 6) were evaluated. Next, hardening agents in unfavourable conditions were examined and finally, physical and mechanical properties of mortars were tested.

On the basis of the above experiments the following was stated:

1. Epoxy resin solutions in aromatic hydrocarbons are not suitable for application in the practice because of a poor reticulation capacity (Tables 8, 9). Other hardeners as: triethylenetetramine, ethylenebiamine and its adduct with epoxy resin are not satisfactory, either (Tables 7, 10). Good results were obtained for alcohol solution of Epidian 5 hardened with triethylenetetramine. Mortars of this type setted correctly at the temperature below 10°C, at 100% RH (Tables 8, 10).

2. At a constant solution to aggregate ratio (1:10), it has been found out that the properties of mortars depend on solution concentration as well as on type and granulation of aggregate. At a maximal concentration, mortars of the highest mechanical resistance and minimum absorption capacity are obtained (Tables 13—18). Other parameters are less important. It has been stated, however, that the increase of aggregate granulation causes a decrease of the absorption and resistance features of mortars (Tables 13—16, 18).

3. Each type of aggregate is characterized by a specific value of binder uptake

(Tables 11, 12). The excess of binder accumulates on the surface of mortar forming a glittering film. A lower binder quantity results in a decrease in mortars resistance. It is advisable to use less binder, by 10–20%, than it has been indicated by the binder uptake of aggregate. Binder absorption can be easily determined by means of a tube provided with a sieve at one end.

4. When applying a resin in a quantity according to the binder absorption of aggregate the conclusion from Tables 19–22 have been confirmed. It has been observed that the binder absorption decreases, the resistance drops rapidly while the absorption of liquids increases with the increase of granulation. A decrease of water resistance is also noticed. Water resistance depends on the quantity of resin. If the ratio of aggregate to resin quantity exceeds 15:1, the resistance drops by 50–70%. If below this value, it ranges from 20 to 40% (Tables 19–22). The degree of consolidation is also decisive for mortar properties. The higher the apparent density, the higher the resistance is.

5. Epoxy mortars show a considerably higher resistance to the action of water soluble salts than natural stone, which is connected to their hydrophobic properties (Table 24). In spite of this, the rate of water rise is rather low and, after a certain time, water nearly fills up the open pores of mortar.

6. All the mortars that contain more than 10 parts of aggregate per one part of resin are light-resistant. In order to obtain light-resistant mortars, it is necessary to prevent a deposit of a resin film on the surface, or to remove it if it has already been formed.