

Domasłowski, Wiesław / Sobkowiak, Dorota / Mirowski, Ryszard

Badania nad przydatnością zapraw Mineros do uzupełniania ubytków w kamieniach

Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo 18 (227),
83-103

1991

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

** Laboratorium Naukowo-Badawcze

Konserwacji Kamienia PP PKZ w Toruniu

Wiesław Domastowski*, Ryszard Mirowski**, Dorota Sobkowiak**

BADANIA NAD PRZYDATNOŚCIĄ ZAPRAW MINEROS DO UZUPEŁNIANIA UBYTKÓW W KAMIENIACH

Zarys treści. Na podstawie badań laboratoryjnych określono właściwości fizyczne i mechaniczne zapraw Mineros produkowanych w RFN przez firmę Max Krusemark Mineros-Werk. Celem ich było zbadanie przydatności zapraw konserwacyjnych, a szczególnie do uzupełniania ubytków w kamiennych obiektach zabytkowych. Rezultaty pozwoliły na stwierdzenie, że produkty Mineros są typowymi zaprawami cementowymi i nie odpowiadają wymaganiom, jakie się stawia zaprawom przeznaczonym do celów konserwatorskich.

1. WPROWADZENIE

Zaprawy Mineros, produkowane przez firmę Max Krusemark Mineros-Werk (RFN), są szeroko propagowane jako materiał doskonale nadający się do uzupełniania ubytków w kamiennych obiektach zabytkowych oraz do ich rekonstrukcji. Sposób ich użycia obszernie referował przedstawiciel firmy arch. Ullrich Keicher na kolokwium w Münster¹, a także w Warszawie². Na podstawie wystąpień przedstawiciela firmy, jak też wydawanych przez nią prospektów i instrukcji³, wnioskujemy, że Mineros jest zaprawą mineralną o nieujawnionym składzie. Stosuje się ją w prosty sposób, po zarobieniu określoną ilością wody. Tak więc oczyszcza się powierzchnię kamienia, nawilża ją wodą, nanosi zaprawę (ewentualnie zakłada się zbrojenie), a następnie utrzymuje się zaprawę w stanie nasycenia wodą (mokra tkanina, folia, nawilżanie). Czas wiązania zaprawy nie jest podany, niemniej zaleca się przygotowanie takiej jej ilości, aby ją zużyć w czasie 15–20 minut.

Omawiana firma wytwarza kilka produktów o określonym przeznaczeniu:

– Mineros przeznaczony do restauracji kamienia. Jest on przygotowany na podstawie przekazywanej firmie próbki kamienia. Dobierany jest kolor i uziarnienie zaprawy. Omawiany Mineros nie może być zakładany w warstwie cieńszej niż 2 cm. Górna granica grubości nie jest

określona, niemniej w przypadku dużych ubytków stosuje się najpierw Mineros podkładowy, oznaczony H + K.

- Mineros H + K. Zaprawa stosowana wyłącznie jako podkład pod Mineros imitujący kamień naturalny,

- Mineros do odlewów (Giess-Mineros),
- Mineros do fugowania (Fugen-Mineros),
- Mineros do schodów (Treppen-Mineros).

Stosując poszczególne typy Minerosów należy przestrzegać instrukcji użytkowania, która zaleca w zasadzie identyczne postępowanie, jak w przypadku stosowania zapraw i betonów cementowych.

W przypadku powstania rys w zaprawach firma stwierdza, że ich przyczyną może być:

- nieodpowiednio przygotowany podkład,
- zbyt mało nawilżony podkład,
- założenie zbyt cienkiej warstwy zaprawy,
- zakładany Mineros miał za dużo wody,
- Mineros był narażony na bezpośrednie działanie słońca lub wiatru,
- Mineros był zbyt intensywnie nawilżany podczas wiązania.

Powyższe czynniki mogą być także przyczyną zbyt małej twardości Minerosu.

Jak wynika z powyższego wyliczenia identyczne czynniki są także przyczyną nieodpowiednich właściwości zapraw cementowych.

Pomimo przypuszczenia, że Mineros jest zaprawą cementową, podjęto badania, ponieważ, jak stwierdza się w prospektach, jest on stosowany w wielu państwach Europy: Anglii, Skandynawii, Francji, państwach Beneluksu, Hiszpanii, Szwajcarii, Rumunii, ZSRR. Także polscy konserwatorzy (PP PKZ) stosowali Mineros do prac prowadzonych w RFN oraz w Gdańsku do uzupełniania ubytków, m.in. w kamieniarce Złotej Bramy⁴.

Celem podjętych badań było określenie właściwości Minerosu oraz jego przydatności do celów konserwatorskich. Zakładano, że brak odpowiednich zapraw uniwersalnych o właściwościach hydrofilnych stanowi istotne utrudnienie w uzupełnianiu ubytków w kamieniach. Lukę tę mógłby wypełnić Mineros.

Do badań zastosowano zaprawy Mineros, które ww. firma przygotowała na podstawie dostarczonych jej próbek⁵: wapieni z Pińczowa i z Kars oraz piaskowców z Nietuliska, Żerkowic i Gotlandii. Poza tym badaniom poddano Mineros H + K (zaprawa barwy ciemnoszarej z kruszywem o dużej granulacji), Fugen-Mineros (białawe zaprawy nr 2,5 z kruszywem grubym i nr 0,7 z kruszywem drobnym), Treppen-Mineros (zaprawy barwy biało-szarej nr 0,4 z drobnym kruszywem oraz 0,9 z grubszym kruszywem).

Dostarczone firmie Max Krusemark kamienie naturalne posiadają zróżnicowane właściwości fizyczne i mechaniczne, spodziewano się więc

uzyskać zaprawy chociaż w pewnym stopniu im odpowiadające zarówno pod względem właściwości fizycznych (nasiąkliwość, zdolność przyjmowania i oddawania wody, zbliżona struktura, zabarwienie, współczynnik rozszerzalności cieplnej), jak i mechanicznych (wytrzymałość na zgniatanie i ściskanie).

Obiektywnie należy stwierdzić, że zapraw o takich cechach firma nie obiecuje. Gwarantuje jedynie podobieństwo optyczne do kamieni naturalnych, stwierdzając także, że są one porowate.

2. BADANIE SKŁADU ZAPRAW MINEROS

Przeprowadzono analizę spektrofotometryczną w podczerwieni i derywatograficzną celem określenia podstawowych i ubocznych składników w zaprawie, określono stosunek spoiwa do kruszywa, rodzaj kruszywa i jego granulację oraz zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie.

2.1. ANALIZA SPEKTROFOTOMETRYCZNA W PODCZERWIENI

Analizę zaprawy imitującej piaskowiec Gotland wykonał W. Domagalski (Instytut Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK) na aparacie Splenderd. Stosowano pastylki z bromkiem potasu, prowadząc badania w zakresie częstotliwości $2200\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. Z tab. 1 wynika, że w Minerosie występuje faza glinokrzemianowa, charakterystyczna dla cementu portlandzkiego, kwarc i niewielkie ilości węgla wapnia.

2.2. ANALIZA DERYWATOGRAFICZNA

Badaniom, które wykonała M. Kęsy-Lewandowska (Instytut Zabytkoznawstwa i Konserwatorstwa UMK) w aparacie MOM prod. węgierskiej poddano Mineros imitujący piaskowiec gotlandzki.

Warunki analizy:

masa próbki	720 mg
TG	200 mg
T 1000°C	10 ² /min.

Wyniki zestawiono w tab. 2. Na podstawie uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że w skład Minerosu wchodzi kwarc, niewielkie ilości

Tabela 1
Wyniki analizy spektrofotometrycznej w IR

Położenie pasma	Rodzaj związku chemicznego
1170, 1080, 798, 780, 695, 512, 460	kwarc
1420, 879, 712	CaCO ₃ w b. małych ilościach
1030, 930, 520	nieokreślona faza glinokrzemianowa często występująca w zaprawach cementowych

T a b e l a 2
Wyniki badań derywatograficznych

T	Charakter efektu	Zmiana masy	Typ
335°C	egzotermiczny	ubytek 2,4 mg	kwarc obecność CaCO ₃
445°C	egzotermiczny		
562°C	endotermiczny	przemiana polimorficzna	
728°C	endotermiczny słaby	minimalna	

węglanu wapnia oraz substancja organiczna (ubytek masy połączony z efektem egzotermicznym w granicach 335–445°C). Bliższe badania analityczne pozwoliły na stwierdzenie, że składnikiem organicznym jest polioctan winylu, występujący w 0,1–0,2% we wszystkich typach Minerosu, z wyjątkiem Mineross Fugen i Treppen.

2.3. ANALIZA GRANULOMETRYCZNA

Zaprawy przesiewano przez cztery sита o maksymalnym wymiarze 0,5 mm i minimalnym 0,06 mm. Wyniki podano w tab. 3. Jak wynika z tabeli, skład granulometryczny kruszywa jest w poszczególnych typach Mineross różny. Najwięcej frakcji o dużych ziarnach występuje w zaprawie H + K i Treppen 0,9. W następnej kolejności w Fugen 2,5 i 0,7. Odwrotnie, najwięcej ilości frakcji drobnoziarnistej znajduje się w zaprawie imitującej wapien z Kars i z Pińczowa. Pośrednie ilości frakcji grubszych i drobnych występują w zaprawach Nietulisko i Żerkowice oraz Mineross Treppen 0,4.

Najdrobniejszą frakcję przechodzącą przez sito 0,06 mm można uważać za spoiwo i dodatki pigmentów. Wielkość tej frakcji jest jednak zanizona ze względu na straty powstające w czasie przesiewania kruszy-

T a b e l a 3
Analiza granulometryczna zapraw Mineross

Rodzaj Mineross	Wielkość frakcji w mm						
	0,5	0,25	0,12	0,6	pozost. przechodz. przez sito 0,06	razem	c:k
Pińczów	–	8,06	9,97	58,41	20,47	96,9	1:3
Karsy	0,23	0,99	0,32	63,00	33,12	97,7	2:2
Żerkowice	0,20	21,94	2,81	51,41	20,98	97,3	1:3
Nietulisko	0,39	23,74	2,71	53,41	16,99	97,2	1:4
H + K	34,72	19,91	0,33	16,20	21,95	93,1	1:2,4
Fugen 2,5	16,56	32,91	1,72	30,00	13,62	94,8	1:4
Fugen 0,7	19,44	16,59	0,40	44,27	13,60	94,3	1:4
Treppen 0,4	0,20	15,15	0,71	54,17	26,50	96,7	1:2,3
Treppen 0,9	7,99	46,76	1,33	18,78	21,60	96,5	1:3

wa, toteż można uznać, że faktyczna jej ilość powinna stanowić różnicę uzyskaną po odjęciu od 100 ilości frakcji większych od 0,06 mm. W ten sposób na podstawie analizy granulometrycznej można w przybliżeniu określić stosunek spoiwa do kruszywa. Podano go w tab. 3.

Wynika z niej, że zaprawy imitujące kamienie naturalne różnią się ilością kruszywa w stosunku do spoiwa. W zaprawie Karsy wynosi on ok. 1:2, Żerkowice i Pińczów 1:3, a Nietulisko 1:4.

Jeżeli chodzi o pozostałe Minerosy, to zbliżone stosunki posiada H + K oraz Treppen 0,4 (1:2,5). Dla Treppen 0,9 wynosi ok. 1:3, a dla Fugen 0,7 i 2,5 około 1:4.

2.4. SKŁAD MINERALOGICZNY ZAPRAW

Po rozfrakcjonowaniu zapraw poddano kruszywa badaniom mikroskopowym, celem określenia ich składu⁶.

Stwierdzono, że we wszystkich badanych rodzajach Minerosu jako kruszywo występuje piasek fluwialny. Dominują w nim ziarna kwarcu, podrzędnie są obecne ziarna skaleni, a śladowo łyszczyki i glaukonit. Oprócz tego w Minerosie mającym imitować wapień pińczowski stwierdzono obecność pojedynczych skupisk mikrytowego węgla wapnia. W imitacji wapienia z Kars natomiast, we frakcjach najdrobniejszych, występował pył wapienny. Oprócz powyższych składników zapraw określonych mianem kruszywa, w zaprawach znajdują się pigmenty: biel, ugier, czern. W zaprawie H + K występuje szary cement portlandzki. W pozostałych zaprawach cement biały.

2.5. SKŁADNIKI ROZPUSZCZALNE W WODZIE

Odważki poszczególnych zapraw mieszano z wodą destylowaną w stosunku 1:50, pozostawiono na 24 godziny, przesączono i przesącz odparowano do sucha. Na podstawie pozostałości obliczono procentową zawartość składników rozpuszczalnych w wodzie. Wyniki ilustruje tab. 4 – zaprawy zawierają dużą ilość składników rozpuszczalnych w wodzie. Są to chlorki sodu i być może wapnia oraz wodorotlenek i siarczan wapnia. Oznaczone składniki nie odbiegają zatem od uzyskiwanych z cementów portlandzkich.

2.6. SKŁADNIKI ROZPUSZCZALNE W KWASIE SOLNYM

Próbki Minerosów zadano nadmiarem 2 n kwasu solnego, wymieszano, po 1 dobie przesączono, osad przemyto, wysuszono i określono zawartość części nierozpuszczalnych. Z tab. 5, w której zestawiono rezultaty, wynika, że stosunek części rozpuszczalnych w kwasie do nierozpuszczalnych (co można uznać za stosunek lepiszcza do kruszywa) jest zbliżony dla Minerosów imitujących wapień pińczowski oraz piaskowce i waha się od 1:3,2 do 1:3,7. W imitacji wapienia z Kars natomiast stosunek ten jest zbliżony do 1:2.

W Minerosach przeznaczonych do spoinowania ilość kruszywa jest zbliżona do ilości w omówionych imitacjach kamieni naturalnych,

T a b e l a 4
Zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie

Rodzaj zaprawy Mineros	Ilość %	Rodzaj jonów	
		aniony	kationy
Gotland	2,14	SO ₄ ⁻² , Cl ⁻ , NO ₃ (śl)	Na ⁺ , Ca ⁺²
Karsy	1,18	- " -	- " -
Pińczów	1,53	- " -	- " -
Żerkowice	2,85	- " -	- " -
Nietulisko	2,02	- " -	- " -
H + K	2,77	- " -	- " -
Fugen 2,5	2,13	- " -	- " -
Fugen 0,7	2,12	- " -	- " -
Treppen 0,4	1,64	- " -	- " -
Treppen 0,9	2,09	- " -	- " -

mniejsza w zaprawach do napraw schodów (średnia 1:2,6), najmniejsza w zaprawie podkładowej H+K (1:2,2).

Ze względu na obecność w zaprawach innych składników oprócz cementu i piasku także i w tym przypadku uzyskane rezultaty należy traktować jako orientacyjne. Porównując je jednak z wynikami uzyskanymi poprzednio (p.2.3.) można przypuszczać, że nie odbiegają one zbyt od faktycznych proporcji. Średnie proporcje obliczone z analizy granulometrycznej oraz na podstawie badań części nierozpuszczalnych podano w tab. 5.

2.7. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że zaprawy Mineros są mieszaniną cementu portlandzkiego i piasku. Różnią się

T a b e l a 5
Zawartość części nierozpuszczalnych w 2n HCl

Rodzaj	Ilość części nierozp. w 2n HCl w %	Stosunek części rozp. do nierozp. (stosunki wagowe)	Średni stosunek c:k (tab. 3 i 5)
Pińczów	78,34	1:3,6	1:3,3
Karsy	65,27	1:1,9	1:2,1
Żerkowice	76,29	1:3,2	1:3,1
Nietulisko	78,84	1:3,7	1:3,9
H + K	68,91	1:2,2	1:2,3
Fugen 2,5	78,00	1:3,5	1:3,8
Fugen 0,7	76,45	1:3,2	1:3,6
Treppen 0,4	70,35	1:2,4	1:2,4
Treppen 0,9	73,97	1:2,8	1:2,9

natomiast dodatkiem barwiącym, ilością i granulacją kruszywa. Zasadniczym ich składnikiem jest biały cement, a jedynie w zaprawie podkładowej (H + K) występuje cement szary. Oprócz powyższych składników w zaprawach imitujących kamienie naturalne oraz w zaprawie H + K stwierdzono obecność 0,1–0,2% polioctanu winylu, składnika, którego znaczenie ze względu na niewielką ilość i występowanie w postaci suchej trudno jest wytłumaczyć⁷.

Zmienną ilość kruszywa oraz jego granulację stosuje producent, aby uzyskać zaprawę o strukturze zbliżonej do kamieni naturalnych. Stosunek kruszywa do spoiwa jest prawdopodobnie dobierany orientacyjnie w zależności od granulacji kruszyw. Zaprawy H + K oraz Treppen i Fugen są niewątpliwie zaprawami standardowymi o znanych przez producenta właściwościach mechanicznych. Stąd zaprawa podkładowa i Treppen posiadają mniejsze ilości kruszywa (większa wytrzymałość) od zapraw przeznaczonych do spoinowania (Fugen). Dążąc do otrzymania zbliżonej wytrzymałości mechanicznej zapraw Treppen i Fugen zmienia się ilość kruszywa w zależności od jego granulacji. W zaprawach z kruszywem gruboziarnistym występuje go więcej w stosunku do spoiwa.

Badane zaprawy można podzielić na grupy na podstawie stosunku kruszywa do spoiwa. Do pierwszej, zawierającej najwięcej kruszywa, należą zaprawy imitujące kamienie naturalne (wyjątek imitujące wapień z Kars) oraz zaprawy do spoinowania. Do drugiej, o średniej ilości kruszywa, zaprawy do reperowania schodów i w końcu do trzeciej, o najmniejszej jego ilości zaprawa H + K służąca jako podkład pod Mineros imitujący kamień (tzw. Antrags-Mineros).

3. BADANIE WODOŻADNOŚCI, CZASU WIĄZANIA I SKURCZU MINEROSU

Wymienione w tytule parametry nie są omówione w prospektach producenta. Wspomniano jedynie, że przy średnim i drobnym uziarnieniu zapraw, na 17 kg Minerosu powinno się stosować 1,5 litra wody (tzn. około 9%). Podano także, o czym już wspomniano powyżej, że należy przygotowywać tyle zaprawy, ile można zużyć w ciągu 15–20 minut.

Wiązanie	Ilość wody zarobowej		
	22,5	25,0	27,5
Początek	natychmiast	15 minut	72 minuty
Koniec	80 minut	130 minut	ponad 315 minut

Badania wstępne pozwoliły ustalić, że zaprawy z wymienioną ilością wody są trudnourabialne i nie nadają się do praktycznego użycia (ewentualnie do wibrowania w formach), stąd podjęto badania wodożądności.

Przy zalecanej ilości wody czas wiązania był krótki. Ponieważ jest on zależny od ilości wody zarobowej⁸, przeprowadzono odpowiednie doświadczenie, starając się jednocześnie określić skurcz zapraw.

T a b e l a 6
Wodożądność zapraw

Rodzaj Minerosu	Właściwa ilość wody zarobowej w %
Pińczów	15,2
Karsy	21,2
Żerkowice	14,2
Nietulisko	13,8
H + K	12,5
Fugen 0,7	16,5
Fugen 2,5	15,3
Treppen 0,4	18,5
Treppen 0,9	15,7

3.1. WODOŻĄDNOŚĆ ZAPRAW

Badania wykonano wg normy PN/B-04300, która dotyczy oznaczania ilości wody w zaczynach. Wyniki zestawiono w tab. 6. Wynika z niej, że ilość wody zarobowej jest głównie wypadkową granulacji kruszywa. Największą wodożądnością charakteryzuje się zaprawa Karsy zawierająca 1,22% frakcji gruboziarnistych, a najmniejszą zaprawa H + K, w której ilość tych frakcji dochodzi do 57%.

Podobnie w pozostałych zaprawach – w zależności od granulacji kruszywa i jego stosunku do cementu kształtuje się wodożądność zapraw i mieści się w stosunkowo wąskich granicach 13,8–18,5%. Należy podkreślić, że badania pozwoliły jedynie na orientacyjne oznaczenie ilości wody zarobowej. Właściwe badania, za które można uważać określenie plastyczności zapraw, nie były wykonane ze względu na niewielkie ilości zapraw, jakimi dysponowano.

3.2. CZAS WIĄZANIA ZAPRAW

Pomiary wykonano stosując wodę zarobową w ilości zgodnej z wodożądnością zapraw (p.3.1). Ze względu na brak odpowiedniej normy oznaczenie wykonano zgodnie z normą PN/B-04300 dotyczącą oznaczania czasu wiązania cementu. Z tab. 7 wynika, że wszystkie zaprawy za wyjątkiem H + K wykazują początek wiązania powyżej 3 godzin. Jedynie H + K, posiadająca najmniejszą wodożądność, wiąże bardzo szybko.

Tabela 7

Oznaczenie czasu wiązania zapraw Mineross

Rodzaj Minerossu	Początek wiązania	Koniec wiązania	Czas wiązania
Pińczów	4 godz. 0,7 min.	-	-
Karsy	4 godz. 23 min.	-	-
Żerkowice	3 godz. 23 min.	-	-
Nietulisko	3 godz. 35 min.	-	-
H + K	48 min.	4 godz. 22 min.	3 godz. 34 min.
Fugen 0,7	3 godz. 48 min.	-	-
Fugen 2,5	3 godz. 31 min.	-	-
Treppen 0,4	3 godz. 23 min.	-	-
Treppen 0,9	3 godz. 18 min.	-	-

3.3. SKURCZ ZAPRAW

Pomiary skurczu przeprowadzone na beleczkach 4 cm x 4 cm x 16 cm w aparacie Graf-Kaufmana. Pomiar wykonano po 28 dniach. Wyniki średnie z 9 oznaczeń podano w tab. 8. Stwierdzamy, że skurcz wahał się od 0,2 do 1,41 mm/mb, co nie znajduje uzasadnienia w składzie zapraw, tzn. w zależności od ilości kruszywa, jego wielkości i ilości wody. Biorąc pod uwagę błędy doświadczenia, można stwierdzić, że średni skurcz zapraw wynosi 0,64 mm/mb i że jest on zbliżony do skurczu zapraw cementowych⁹.

3.4. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że sugerowana przez producenta ilość wody zarobowej nie jest wystarczająca, aby otrzymać zaprawę plastyczną, nadającą się do uzupełniania „z ręki” ubytków w kamieniach. W zależności od rodzaju Minerossu, powinna wynosić od 12,5% do 21,25%. Czas wiązania zapraw z taką ilością wody jest w normalnej temperaturze (około 20°C) długi, gdyż wynosi ponad 3 godziny. Wyjątek stanowi zaprawa H + K wykazująca najmniejszą

Tabela 8

Skurcz zapraw Mineross

Rodzaj Minerossu	Skurcz w mm/m
Pińczów	1,41
Karsy	0,71
Nietulisko	1,00
Żerkowice	0,74
H + K	0,47
Fugen 0,7	0,61
Fugen 2,5	0,95
Treppen 0,4	0,66
Treppen 0,9	0,20

wodożądność. Zaprawy z ilością wody równą ich wodożądności posiadają skurcz zbliżony do zapraw cementowych o zróżnicowanej ilości kruszywa.

4. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH MINEROSU

Próbki o wymiarach 4 cm x 4 cm x 16 cm otrzymane z określoną ilością wody zarobowej (p. 3.1) poddano badaniom na zginanie w aparacie Michaelisa oraz na ściskanie w prasie hydraulicznej (PN/B-4302). Zbadano także odporność zapraw na działanie wody (nasycano przez 24 godziny). Wszystkie próbki były sezonowane przez 28 dni. Z tabeli wynika, że wytrzymałości zapraw są uzależnione od stosunku spoiwa do kruszywa oraz jego granulacji (tab. 3, 5). Największą wytrzymałością charakteryzuje się zaprawa H + K, w następnej kolejności zaprawa Karsy i zaprawy do reperacji schodów, a w końcu zaprawy imitujące wapien pińczowski i piaskowce oraz zaprawy do fugowania.

Badane zaprawy cechuje wysoka wytrzymałość, szczególnie na ściskanie i można przypuszczać, że do ich użycia użyto cementu dobrej marki (np.350). Ponieważ wytrzymałość zaprawy H + K przewyższa wytrzymałość innych zapraw w większym stopniu, niż to wynika ze stosunku spoiwa do kruszywa i jego granulacji, można założyć, że w zaprawie tej występuje cement jeszcze wyższej marki.

Wodoodporność zapraw jest zróżnicowana wskutek niejednorodności próbek, a spadek wytrzymałości mieści się w granicach od 5,3 do 30,2%. Obliczona średnia wynosi 14,5% i nie odbiega od wodoodporności zapraw cementowych.

5. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH MINEROSU

Określono podstawowe cechy zapraw: nasiąkliwość, porowatość otwartą, zdolność kapilarnego podciągania wody i schnięcia oraz współczynnik rozszerzalności cieplnej.

Tabela 9
Właściwości mechaniczne Minerosu

Rodzaj Minerosu	Rzg MPa	Rśc MPa		Spadek Rśc %
	pr. suche	pr. suche	pr. mokre	
Pińczów	5,69	13,61	10,99	19,3
Karsy	7,37	28,15	22,85	11,88
Nietulisko	4,69	14,91	14,12	5,3
Zerkowice	4,43	15,20	13,41	11,8
H + K	10,02	50,19	40,10	20,0
Fugen 0,7	5,23	17,73	17,18	3,1
Fugen 2,5	5,99	18,65	15,19	18,6
Treppen 0,4	6,19	24,28	19,74	18,7
Treppen 0,9	6,36	29,59	20,65	30,2

5.1. NASIĄKLIWOŚĆ I POROWATOŚĆ OTWARTA

Pomiary przeprowadzono zgodnie z normą PN-64/H-04185. Wyniki z niej, że nasiąkliwość i porowatość otwarta w mniejszym stopniu jest uzależniona od stosunku spoiwa do kruszywa, a w większym od granulacji tego ostatniego i ilości wody zarobowej. Jeżeli weźmiemy to pod uwagę (tab. 3), to stwierdzimy, że oznaczone wielkości odpowiadają ściśle składowi granulometrycznemu kruszywu. Najwięcej frakcji drobnoziarnistych zawiera zaprawa Karsy i ona posiada największą nasiąkliwość i porowatość. Najmniej tych frakcji znajduje się w zaprawie H + K i ona właśnie odznacza się najniższą nasiąkliwością. Należy dodać, że pierwsza zaprawa wymaga najwięcej wody zarobowej, a druga najmniej (tab. 6). W sumie są to zaprawy o przeciwstawnej nasiąkliwości. Pozostałe zaprawy charakteryzują się pośrednią nasiąkliwością i porowatością, odpowiadającą ściśle granulacji kruszywu.

5.2. ZDOLNOŚĆ KAPILARNEGO PODCIĄGANIA WODY

Beleczi zapraw zanurzono do wody na głębokość 1 cm i starano się określić czas jej kapilarnego wznoszenia się. Stwierdzono, że do wysokości 2 cm woda wznosiła się we wszystkich próbkach imitujących kamienie od kilkunastu do ponad 24 godz. W zaprawach H + K nie stwierdzono wznoszenia się wody, a w pozostałych zaprawach (Treppen i Fugen) woda bądź nie wznosiła się, bądź też wznosiła się do wysokości 1 cm w czasie około 24 godz.

Należy podkreślić, że z uwagi na słabą widoczność wznoszącej się wody oznaczenia powyższe mają charakter orientacyjny.

5.3. ZDOLNOŚĆ SCHNĘCIA

Badania prowadzono na połówkach beleczek (4 cm x 4 cm x 16 cm) uzyskanych po ich złamaniu. Próbkę nasyczone wodą suszono na podkła-

Tabela 10

Fizyczne właściwości zaprawy Mineros

Rodzaj zaprawy	Cięż. objętościowy g/cm ³	Nasiąkliwość %	Porowatość %
Pińczów	1,63	11,67	19,02
Karsy	1,67	14,94	24,95
Nietulisko	1,65	11,15	18,40
Żerkowice	1,63	11,04	18,00
H + K	2,04	7,89	16,10
Fugen 0,7	1,77	9,32	16,50
Fugen 2,5	1,80	9,79	17,62
Treppen 0,4	1,76	12,52	22,04
Treppen 0,9	1,86	11,05	22,55

Tabela 11

Szybkość schnięcia zapraw Mineros

Rodzaj Minerosu	Czas suszenia w dobach										Pozostała ilość wody w próbkach %
	1	2	3	4	8	9	10	11	12		
	ubytek wody w %										
Pińczów	36,0	48,0	55,9	59,9	65,1	66,4	67,9	69,2	70,5	29,5	
Karsy	26,9	36,9	42,7	45,8	50,5	52,0	52,6	54,4	55,9	44,1	
Nietulisko	32,6	44,5	51,6	55,7	60,5	61,4	63,4	64,7	66,3	33,7	
Zerkowice	32,7	44,2	52,7	56,6	60,5	61,8	63,3	64,4	66,6	33,4	
H + K	22,9	31,8	34,9	37,3	42,0	42,9	44,8	45,4	46,5	53,5	
Fugen 0,7	27,2	34,3	45,9	49,2	53,9	55,3	57,3	58,7	59,9	40,1	
Fugen 2,5	28,3	39,5	47,2	49,7	55,4	56,8	58,6	60,4	61,8	38,2	
Treppen 0,4	28,6	39,5	44,5	47,4	50,0	51,2	52,5	53,7	55,1	44,9	
Treppen 0,9	32,0	43,0	47,5	49,2	53,5	53,3	56,2	57,2	58,3	41,7	

dach ze szklanych bagietek w temperaturze 24°C i przy wilgotności względnej 55%. Próbkę ważono po każdej dobie obliczając ilość odparowanej wody (tab. 11). Stwierdzono, że próbki oddają wodę bardzo powoli. Po 12 dobach pozostało w nich od 30 do 53% wody, przy czym nie widać w tym przypadku wpływu składu na kinetykę schnięcia. Po 12 dobach suszenia w próbkach pozostało średnio 40% wody. Procentowy ubytek wody nie odzwierciedla tej ilości, jaką oddały poszczególne próbki w zależności od nasiąkliwości. Biorąc ten czynnik pod uwagę obliczono, ile w okresie 12 dob odparowało wody ze 100 cm³ poszczególnych zapraw (tab. 12). Zaprawy możemy podzielić na 3 grupy. Do pierwszej należą zaprawy imitujące kamienie naturalne oraz Treppen Mineros, które oddały największą ilość wody (11–13%), do drugiej Fugen Mineros (około 9%) i w końcu do trzeciej zaprawa H + K (7%).

Z tab. 12 wynika, że ilość oddanej wody przez poszczególne zaprawy jest niezależna od nasiąkliwości próbek a tylko od ich właściwości kapilarnych (średnicy kapilary).

5.4. ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA PRÓBEK

Badano wysuszone do stałej masy kształtki o wym. 4 cm x 4 cm x 16 cm w granicach temperatur 18–102°C. Odległość pomiędzy naniesionymi punktami na próbkach określano za pomocą katetometru produkcji radzieckiej KM-8. Jak wynika z tab. 13, pomimo występowania w zaprawach piasku jako kruszywa, nie stwierdzono różnic w rozszerzalności, jakie powinny wynikać z różnych stosunków cement : kruszywo. Obliczona średnia współczynnika rozszerzalności cieplnej wynosi 15,8·10⁻⁶, a po odrzuceniu wyników maksymalnych, wynikających

T a b e l a 12
Ilość odparowanej wody z próbek zapraw o objętości 100 cm³

Rodzaj Minerosu	Ilość wody w próbkach w g.	Czas suszenia w dobach											Sumaryczny ubytek wody w próbkach w g.	Pozostała ilość wody w próbkach
		1	2	3	4	8	9	10	11	12				
		ubytek wody w gramach												
Pinczów	18,6	6,75	2,25	1,45	0,75	0,98	0,24	0,28	0,25	0,25	0,25	0,25	13,20	5,40
Karsy	23,94	6,40	2,40	1,40	0,73	1,10	0,37	0,16	0,41	0,37	0,22	0,30	13,34	10,60
Nietulisko	18,14	5,90	2,20	1,30	0,75	0,85	0,15	0,37	0,22	0,22	0,22	0,30	12,04	6,10
Żerkowice	18,31	6,00	2,10	1,60	0,71	0,68	0,24	0,28	0,20	0,40	0,20	0,40	12,21	6,10
H + K	15,12	3,40	1,35	0,45	0,35	0,70	0,20	0,30	0,07	0,20	0,07	0,20	7,02	8,10
Fugen 0.7	15,85	4,30	1,85	1,05	0,50	0,75	0,20	0,30	0,20	0,20	0,20	0,20	9,35	6,50
Fugen 2,5	14,25	4,00	1,60	0,90	0,55	0,80	0,20	0,25	0,25	0,25	0,25	0,20	8,75	5,50
Treppen 0,4	20,85	6,00	2,25	1,05	0,60	0,55	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	12,40	9,35
Treppen 0.9	19,10	6,10	2,10	0,85	0,30	0,85	0,15	0,35	0,20	0,20	0,20	0,20	11,10	8,00

Tabela 13

Współczynnik rozszerzalności cieplnej zapraw Mineros

Rodzaj zaprawy	Współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Pińczów	14,6
Karsy	17,6
Zerkowice	15,0
Nietulisko	14,1
H + K	13,5
Fugen 0,7	15,9
Fugen 0,25	22,3
Treppen 0,4	13,7
Treppen 0,9	15,8

prawdopodobnie z błędu doświadczenia (22,3 i 17,6) uzyskamy średnią $14,6 \cdot 10^{-6} \text{cm}/^{\circ}\text{C}$.

5.5. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Badania własności fizycznych Minerosów dowodzą, że nie różnią się one od zapraw cementowych. Nasiąkliwość ich mieści się w granicach 6,7–13,3%, podczas gdy zapraw badanych w PKZ¹⁰ 9–16%.

Zdolność kapilarnego podciągania wody okazała się bardzo mała. Szczególnie niekorzystne właściwości posiada zaprawa H + K oraz stosowane do spoinowania (Fugen). Powinny stanowić one sączi dla kamieni naturalnych i cegieł, a oczywiście nie mogą spełniać tego zadania. Zaprawy imitujące kamienie naturalne posiadają także niedostateczną zdolność podciągania wody, znacznie gorszą niż zaprawy uzyskiwane w Laboratorium PKZ (tab. 16).

Szybkość oddawania wody (schnięcia) przez zaprawy jest bardzo mała i charakterystyczna dla materiałów drobnoporowatych, zawierających mieszanek kruszywa o różnej granulacji.

Także współczynnik rozszerzalności cieplnej nie odbiega wyraźnie od charakterystycznego dla zapraw cementowych¹¹.

BADANIE ODPORNOŚCI ZAPRAW

6.1. MROZOODPORNOŚĆ ZAPRAW

Nasycone próbki zamrażano w temperaturze -20°C przez 18 godzin i rozmrażano je następnie przez 6 godzin w temperaturze $+20^{\circ}$. Wykonano 20 cykli, w trakcie których nie zaobserwowano żadnych zmian w próbkach. Poddano je więc badaniom wytrzymałościowym na ściskanie (tabela 14). Z tabeli wynika, że po 20 cyklach zamrażania i rozmrażania nie nastąpił spadek wytrzymałości próbek, a przeciwnie – nastąpił pewien wzrost (wyjątek Fugen Mineros). Można założyć, że zaprawy są mrozoodporne, a przyrosty wytrzymałości wystąpiły dzięki dalszym procesom wiązania cementu spowodowanym nasyceniem zapraw wodą.

6.2. ODPORNOŚĆ NA TEST SOLNY

Kształtki nasycono na drodze kapilarnej (24 godz.) za pomocą nasyconego roztworu siarczanu sodowego, zanurzono je następnie w roztworze na 6 godzin, a następnie suszono przez 18 godzin w temp. 105 C. Nasyconie roztworem i suszenie powtarzano stosując powyższe warunki. Po cyklu pojawiły się zniszczenia na zaprawie imitującej piaskowiec Żerkowice oraz w Treppen 0,9 (osypywanie się krawędzi). Po 6 cyklu zaczęły ulegać zniszczeniu następujące zaprawy: imitujące wapień pińczowski i z Kars oraz piaskowiec Nietulisko, Fugen 0,7 i Treppen 0,4. Stan zachowania powyższych zapraw po 9 cyklach ilustruje fot. 1. Zaprawa Fugen 2,5 była bardziej odporna, gdyż zniszczeniu zaczęła ulegać po 12 cyklach, a H + K po 15 cyklach (fot. 1).

6.3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Odporność zapraw na działanie zmian temperatury jest bardzo duża, stąd nie można było określić wpływu składu zapraw na badane właściwości. Wyraźniej występuje ten wpływ przy badaniu odporności na test solny, który może zastępować badania mrozoodporności¹².

Stwierdzono, że zaprawy posiadają dużą odporność. Najbardziej odporna na test solny była zaprawa H + K, która posiada najmniejszą nasiąkliwość i największą wytrzymałość. Odporność pozostałych zapraw była zbliżona, aczkolwiek niewytłumaczalny wyjątek stanowi zaprawa Fugen 2,5.

7. PORÓWNYWANIE WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW MINEROS I KAMIENI NATURALNYCH

W tab. 15 zestawiono niektóre właściwości fizyczne i mechaniczne kamieni naturalnych i odpowiadające im zaprawy Mineros.

Jak wynika z porównania, zaprawy imitujące wapienie posiadają znacznie mniejszą nasiąkliwość, a imitujące piaskowce zbliżoną do kamieni naturalnych. Cecha ta nie jest jednak tak ważna, jak zdolności

T a b e l a 1 4

Wytrzymałość mechaniczna próbek
po 20 cyklach zamrażania

Rodzaje zaprawy	Rśc MPa
Pińczów	17,93
Karsy	29,31
Żerkowice	16,72
Nietulisko	16,22
H + K	59,30
Fugen 0,7	26,31
Fugen 2,5	16,47
Treppen 0,4	34,91
Treppen 0,9	41,50

kapilarnego podciągania wody i wysychania. Wielkości te są całkowicie przeciwstawne.

Jeżeli chodzi o wytrzymałość mechaniczną, to zaprawy imitujące wapienie przewyższają je, zaprawa odpowiadająca piaskowcowi Żerkowice ma niższe parametry, a Nietulisko ma zbliżone. Współczynnik rozszerzalności cieplnej zaprawy Nietulisko jest identyczny jak kamienia, a pozostałe zaprawy charakteryzują się większym współczynnikiem. Spośród omawianych parametrów, decydujących o trwałości uzupełnień w obiektach zabytkowych najważniejszymi są: zdolność



Fot. Stan zachowania zapraw po 9 cyklach

Tabela 15

Niektóre właściwości kamieni naturalnych i imitujących je zapraw Mineros

Rodzaj zaprawy lub kamienia	Nasiąkliwość %	Czas kapilarnego wznoszenia wody do wys. 5 cm	Czas schnięcia ilość wody w próbkach po 2 dobach w %	Rśc MPa	Rśc po 24 godz. nasycania wodą MPa	Współczynnik rozszerzalności cieplnej $\alpha \cdot 10^6 / ^\circ C$
Wapień P	17,3	14 min.	4,2	8,0 10	5,20	9,3
Zaprawa P	10,6	ponad 24 godz.	52,0	13,61	10,99	14,6
Wapień K	24,1	34 min.	17,4	10,0 19,0		8,1
Zaprawa K	13,3	ponad 24 godz.	63,1	28,15	28,85	17,6
Piaskowiec N	10,9	30 sek.	1,0	14,90	16,10	14,1
Zaprawa N	9,5	ponad 24 godz.	55,5	14,41	14,12	14,1
Piaskowiec Ż	8,7	1 min.	0,2	37,30	33,60	10,2
Zaprawa Ż	9,9	ponad 24 godz.	55,8	15,20	13,41	15,0
H + K	6,7	nie wznosi się		50,19	40,10	13,5
Fugen 0,7	7,65	"	60,7	17,73	17,18	15,9
Fugen 2,5	6,7	"	60,5	18,65	15,19	22,3
Treppen 0,4	11,18	"	60,6	24,28	19,74	13,7
Treppen 0,9	9,91	"	57,0	29,59	20,65	15,8

kapilarnego podciągania wody i wysychania z jednej z strony, a z drugiej współczynnik rozszerzalności cieplnej i wytrzymałość mechaniczna. Powinny być one zbliżone do kamieni naturalnych, a niestety w większości wypadków nie są – są im przeciwstawne.

Mała zdolność transportu wody jest zwykle przyczyną destrukcji kamienia stykającego się z zaprawą. Na ich granicy następuje zamarzanie wody i krystalizacja soli. W rezultacie wywołuje to dezintegrację kamienia i odpadanie zaprawy od podłoża. Zaprawa zgodnie z postulatami konserwatorskimi powinna być „sączkiem” odprowadzającym wodę (roztwory) z kamienia, a nie stanowić bariery utrudniającej jego „oddychanie”.

Zbyt duża wytrzymałość mechaniczna zaprawy jest także niekorzystna, gdyż wobec różnicy współczynników rozszerzalności cieplnej oraz nierównomiernego nagrzewania się zaprawy i kamieni powstaje na linii

ich zetknięcia naprężenie ścinające prowadzące do zniszczenia materiału o niższej wytrzymałości. Parametru tego nie da się ściśle dopasować do wytrzymałości kamienia, która jest zróżnicowana, niemniej powinna obowiązywać zasada, aby wytrzymałość zapraw nie była wyższa, jak 10–15 MPa. W przypadku Minerossów, jedynie imitujący wapień z Kars posiada zbyt dużą wytrzymałość. Wytrzymałość pozostałych jest w normie.

Jeszcze bardziej niebezpieczna dla praktyki konserwatorskiej jest zaprawa podkładowa H + K oraz zaprawy przeznaczone do spoinowania. Podciągają one bardzo trudno wodę i trudno ją oddają. Posiadają one zbyt małą nasiąkliwość oraz za dużą wytrzymałość mechaniczną. Zrozumiała jest intencja producenta. Pragnie, aby warstwy podkładowe miały bardzo dużą wytrzymałość, aby nie ulegały pękaniom, odkształceniom i wytrzymały naprężenia. Nie wzięto jednak pod uwagę kamienia zabytkowego, którego zachowanie jest podstawowym celem konserwacji.

Materiały tego rodzaju nie muszą mieć wytrzymałości 50 MPa. Wszak dobrze zrobione rzeźby narzutowe z zapraw wapiennych o bardzo małej wytrzymałości, lecz dobrze zbrojonych wytrzymują znaczne obciążenia bez uszkodzeń.

Także wytrzymałość zapraw do spoinowania znacznie przekracza potrzeby. Znane są liczne fakty, gdy zbyt mocne i mało porowate zaprawy zniszczyły kamienie, cegły czy też całe mury. Zaprawy do spoinowania powinny być porowate i posiadać niską wytrzymałość mechaniczną.

Należy podkreślić, że badania prowadzone od wielu lat w Laboratorium Naukowo-Badawczym Konserwacji Kamienia PP PKZ w Toruniu pozwoliły ustalić, że dobór odpowiedniego rodzaju, ilości i granulacji kruszywa, pigmentów oraz ilości wody pozwala w bardzo szerokich granicach regulować właściwości mechaniczne oraz, jednak w mniejszym zakresie, nasiąkliwość, zdolność kapilarnego podciągania wody, wysychania i współczynnik rozszerzalności cieplnej. Ogólne zasady otrzymywania takich zapraw podano w cytowanej pracy pt. *Badania nad technologią zapraw cementowych przeznaczonych do uzupełniania obiektów zabytkowych*.

Inne badania, prowadzone w Laboratorium, dotyczyły imitowania kamieni naturalnych¹³. Wyniki zestawiono w tab. 16. Na jej podstawie stwierdzamy, że nasiąkliwości zapraw imitujących piaskowce są wyższe od nasiąkliwości kamieni naturalnych. Nasiąkliwość zaprawy, która ma imitować wapienie, jest zbliżona do wapienia pińczowskiego, lecz niższa od wapienia z Kars. Zdolności kapilarnego wznoszenia się wody oraz wysychania zapraw są znacznie lepsze niż zapraw Mineross, choć nie dorównują kamieniom naturalnym. Wytrzymałość na ściskanie omawianych zapraw można regulować w szerokich granicach w zależności od stanu zachowania kamienia.

Tabela 16
Niekóre właściwości zapraw imitujących kamienie naturalne opracowane
w Laboratorium PKZ w Toruniu

Zaprawa imitująca kamień	Nasiąkliwość %	Czas kapilarnego wznoszenia się wody do wys. 2 cm w minutach	Czas schnięcia (ilość wody w próbkach po 7 dobach) w %	Czas schnięcia zapraw Mineros (ilość wody po 8 dobach) w %	Rśc MPa
Wapień pińczowski i z Kars	17,61	24-70	21,4	42,2	12,2-22,4
Piaskowiec Nietulisko	13,6	1-7	24,7	39,5	6,0-15,0
Piaskowiec Żerkowice	11,7	1-17	29,5	39,5	5,0-18,0

8. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że zaprawy Mineros są typowymi zaprawami cementowymi. Producent na podstawie dostarczonych próbek ustala jedynie kolor zaprawy, zbliżony do kamienia naturalnego, oraz jej strukturę, stosując odpowiednie ilości i granulację kruszyw. Pozostałe własności zapraw imitujących kamień, takie jak wytrzymałość mechaniczna, nasiąkliwość, porowatość, szybkość kapilarnego nasycania i szybkość wysychania, są do siebie zbliżone, a więc niezależne od zróżnicowanych własności kamieni naturalnych. Cechy te nie interesują producenta, co jest zrozumiałe ze względu na trudności w uzyskaniu zapraw o właściwościach zbliżonych do kamieni naturalnych. Stosowanie przez producenta piasku jako kruszywa z góry ogranicza możliwość uzyskania zapraw o zróżnicowanych właściwościach, a więc o możliwości nadawania im cech fizycznych zbliżonych do kamieni naturalnych.

Przyjmując ten punkt widzenia stwierdzamy, że zaprawy Mineros nie odpowiadają wymaganiom konserwatorskim i mogą być przyczyną przyspieszonego niszczenia zabytków. Jeszcze gorsze skutki mogą spowodować zaprawy stosowane jako podkład (H + K) oraz do spoinowania (Fugen-Mineros). Zaprawy Mineros mogą być użyte do prac we wnętrzach budynków, a więc gdy nie będą narażone na bezpośrednie działanie wody i zmiany temperatury.

Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że znacznie większe możliwości stwarza technologia opracowana w Laboratorium Naukowo-Badawczym Konserwacji Kamienia PP PKZ w Toruniu.

PRZYPISY

¹ K. Keicher, *Steinrestaurierung mit Mineros, Kolloquium über Steinkonservierung* 25 27 September 1978, [w:] *Westf. Landsamt für Denkmalpflege*.

² Z. Ulrich Keicher, *Środki do wypełniania ubytków w kamieniu*, [w:] *Zastosowanie silikonów w konserwacji kamienia*, Studia i Materiały PKZ, Warszawa 1980, s. 14.

³ Prospekt firmy Max Krusemark Mineros-Werk, *Steinrestaurierung-Mineros-Verarbeitungsanleitung*, 1977.

⁴ Prace przy wymienionych obiektach podjęły Pracownie Konserwacji Zabytków w Gdańsku.

⁵ Autorzy dziękują firmie Max Krusemark za przygotowanie próbek Minerosu imitujących wapienie i piaskowce oraz za ich bezpłatne, podobnie jak pozostałych rodzajów Minerosu, przekazanie do badań.

⁶ Analizę wykonał Janusz Wiklendt z Laboratorium Naukowo-Badawczego Konserwacji kamienia PKZ w Toruniu.

⁷ Do zapraw cementowych stosuje się dodatki dyspersji wodnej polioctanu winylu wprowadzając je do wody zarobowej. Zwiększają przyczepność i elastyczność zapraw.

⁸ Badania wykonane w Laboratorium Naukowo-Badawczym Konserwacji Kamienia PP PKZ w Toruniu pozwoliły na ustalenie zależności pomiędzy ilością wody a czasem wiązania zaczynu cementowego.

⁹ W. Domasłowski, A. Młyński, R. Mirowski, D. Sobkowiak, H. Gałkowski, W. Madejewski, *Badania nad technologią zapraw cementowych do uzupełniania obiektów zabytkowych*, Studia i Materiały PKZ, Warszawa 1977, s. 26.

¹⁰ *Ibid.*, s. 31-35.

¹¹ *Ibid.*, s. 25.

¹² W. Skalmowski, *Naturalne i sztuczne materiały kamienne w budownictwie*, Budownictwo i Architektura, 1956, s. 90.

¹³ Maszynopis w aktach Laboratorium Naukowo-Badawczego Konserwacji Kamienia i PP PKZ w Toruniu pt. *Badania nad imitacją kamieni naturalnych*, 1981.

STUDIES ON THE USEFULNESS OF MINEROS MORTARS FOR FILLING GAPS IN STONE

Summary

The paper presents a critical evaluation of widely used mortars for filling gaps in stone produced in West Germany. The authors examined dry mortars imitating Pińczów and Karsy limestone and Nietulisko and Żerkowice sandstone, two types of Mineros pointing mortar, two types of Mineros mortar for repairing stairs and priming mortar produced by Max Krusemark Mineros Werk. It was found that Mineros mortars consist of Portland cement, sand and additions of polyvinyl acetate were also discovered (tabl. 1,2). In order to produce mortars that are structurally similar to natural stones, the manufacturer uses various fractions of aggregate (tabl. 3) and various proportions of cement and aggregate (tabl. 5).

In the course of experiments it was also found that the amount of mixing water recommended by the manufacturer is insufficient and its increased addition extends the time of set.

The analysis of shrinkage, mechanical properties and coefficient of thermal expansion of Mineros mortars revealed their similarity to cement mortars (tabl. 8, 9, 13).

The absorbability of Mineros mortars ranges from 7% to 13% (tabl. 10). Their capacity of the capillary attraction of water and of drying is however very poor (tabl. 11, 12).

They show strong resistance to changes of temperature and to salt (tabl. 14; photo 1).

The studies proved that Mineros mortars have different properties that imitated stones. They are typical cement mortars that copy only external properties of natural stone. They do not satisfy conservational requirements.

The authors conclude that artificial stones manufactured from cement in PKZ Laboratory in Toruń have better properties, especially in regard to their capillarity.