



intarsje marmurowe

Konserwacja intarsji marmurowych w Łazienkach Marmurowych pałacu Karlsaue w Kassel przy użyciu modyfikowanych estrów kwasu krzemowego

*Conserving the marble inlay work
in the Marble Baths at Kassel's
Karlsaue Palace by using
modified silicic acid esters*

PIOTR ŚLUPCZYŃSKI

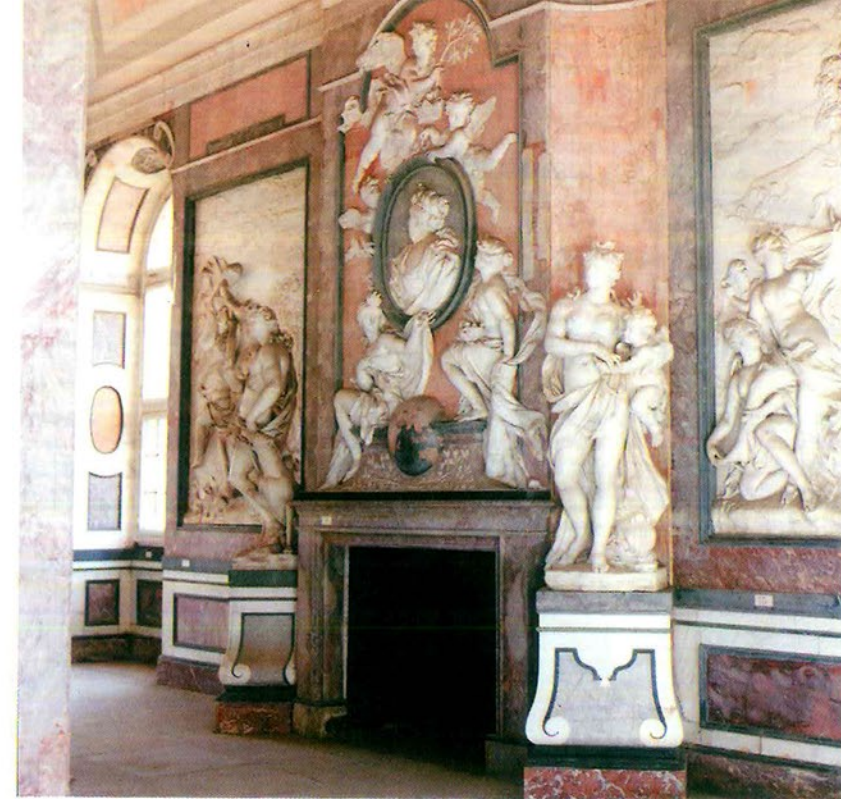
Łazienki Marmurowe w Kassel zbudowane w latach 1722-37 na zlecenie księcia heskiego Karola dzięki swojej bogatej dekoracji stanowią prawdziwą perłę architektury i rzeźby barokowej. Zwiedzający jest zaskoczony kontrastem pomiędzy skromnym i uporządkowanym podziałem architektonicznym fasady budynku, a bogatym wystrojem wnętrza, różnorodnością zastosowanych materiałów i pomysłowością architekta, który ukrył kopułę na planie oktagonu w prostej, kubicznej bryle budynku. Łazienki Marmurowe jedynie z nazwy miały służyć kąpielom, w istocie swojej stworzone zostały jako galeria rzeźb Jean-Pierra Monnota.



Łazienki Marmurowe w Kassel, kominek z portretem fundatora – księcia Karola.
Stan przed konserwacją.
Kassel Marble Baths, fireplace with a portrait of the founder, Prince Charles. Pre-conservation state.

Cykl klasycznych rzeźb oraz płaskorzeźb został zamówiony przez księcia heskiego Karola w pracowni Jean-Pierra Monnota, Francuza działającego w Rzymie. Książę Karol zwiedzając warsztat rzeźbiarski zachwycił się mistrzostwem Monnota, zamówił rzeźby i zlecił wykreowanie odpowiedniego obiektu dla podkreślenia własnego prestiżu. Łazienki Marmurowe wchodzące w skład założenia pałacowego Karlsauwe zbudowano na podmokłych łąkach nad rzeką Fuldą. Zawilgocenie budynku położonego na terenach zalewowych przekroczyło punkt krytyczny w wyniku szkód wojennych. W trakcie nalotu w 1943 roku uległ zniszczeniu dach budynku, odbudowany dopiero dwa lata później. Znaczne zawilgocenie przyspieszyło destrukcję obiektu. Procesy destrukcyjne szczególnie zaatakowały intarsje marmurowe

Łazienki Marmurowe w Kassel, kominek z portretem małżonki księcia – Marii Luizy.
Stan przed konserwacją.
Kassel Marble Baths, fireplace with a portrait of the Prince's wife, Maria Luisa. Pre-conservation state.



pokrywające ściany. Odpajające się płytami i odpadające elementy spowodowały zamknięcie obiektu w 1981 r. oraz prawie piętnastoletni okres badań i prób. Określono budowę technologiczną obiektu, skład i charakter użytych materiałów, przeprowadzono badania klimatyczne i wilgotnościowe, wykonano szereg prób i stworzono wiele programów prac. W 1995 został wykonany odcinek wzorcowy (ok. 2 m²) jako podstawa dla przyszłych zabiegów konserwatorskich. Pierwotnie przyjęty program prac musiał zostać zweryfikowany z powodu niezadowalającej trwałości zakładanych rozwiązań.

Materiał i technika

Konstrukcja budynku została wykonana z bloków piaskowca o grubości ok. 100 cm. Od wewnątrz ściany pokryto płytami materiału łatwego do obróbki – tufu wulkanicznego grubości ok. 8-10 cm, odpowiednio obrobionego dla naklejenia płyt marmurowych o zróżnicowanej grubości. Tuf lapilliczny pochodził z lokalnych kamieniołomów z Habichtswald¹. Płyty tufu mocowano zaprawą wapienną oraz łączono kotwami żelaznymi do wiatku z piaskowca. Okładzina marmurowa (czy też w sensie krystalograficznym twarde wapnienie nadające się do polerowania) była mocowana do podłoża na dwa sposoby:

■ białe „prawdziwy” marmur Carrara bianco, grubość płyt ok. 2 cm kładziono przy użyciu cienkiej (ok. 2-3 mm) zaprawy gipsowej. Zawartość siarczanów 58,25%, węglanów 21,9%. Dla wzmocnienia płyty wykonane z Carrary mocowano kotwami żelaznymi. Z marmuru carraryjskiego wykonano także rzeźby i płaskorzeźby.

■ marmury kolorowe, użyte w cienkiej okładzinie² ok. 4-5 mm kładziono na termoplastyczną zaprawę żywiczną zawierającą kalafonię i wypełniacz z mączki marmurowej³. Analitycznie⁴ stwierdzono zawartość 40% węglanu wapnia 45% kwarcu oraz 15% substancji organicznej określonej metodami mikrochemicznymi jako kalafonia⁵. Śladowa ilość składników zmydlonych świadczy o użyciu węglanu wapnia jako mączki marmurowej, czy też kredy jako wypełniacza. Wykluczono użycie wodorotlenku wapniowego jako spoiwa. Technika ta znana od dawna we Włoszech pozwalała na szybką pracę bez potrzeby kotwienia lub stemplowania, co było szczególnie istotne przy pracy na sklepieniach, jednakże ciemne zabarwienie masy wykluczało jej zastosowanie dla białych marmurów Carrara.

Użyto następujące marmury kolorowe⁶:

a. marmur czerwony pochodzący ze złóż Villmar (Niemcy),

b. marmur żółty – Giallo di Siena pochodzący

z kamieniołomów w Colle Val d'Elsa koło Sienny (Włochy),

c. ciemnoszary lub czarny marmur z Schupbach k. Limburga (Niemcy), oraz

d. Trawertyn z okolic Bad Langensalze (Niemcy), e. zielony Serpentyt Verde Alpi z Piemontu (Włochy). Ogólnie zwraca uwagę wysoka jakość i precyzja wykonania. Intarsje pasują ściśle bez najmniejszego luzu i przypominają precyzją wykonania intarsje meblowe przy znacznie twardszym materiale.

Stan zachowania i przyczyny zniszczeń

Ogólny stan zachowania jest bardzo zły. Widoczne są ślady wielu renowacji, co świadczy o istniejącym od dawna zagrożeniu budynku. Szkody są szczególnie widoczne w partiach cokółu, gdzie duża część płyt jest wymienionych na nowe, co świadczy o znacznym zawilgoceniu tych partii budynku.

Szkody należy podzielić na powierzchniowe, w znacznym stopniu obniżające wartości wizualno-estetyczne dzieła sztuki oraz na zniszczenia strukturalne, powodujące zagrożenie egzystencji obiektu. Szkody powierzchniowe występują w postaci korozji powierzchniowej kamienia, zmatowienia powierzchni oraz rdzawych plam występujących na białych marmurach.

Pierwotnie polerowana powierzchnia kamienia utraciła swoją głąbię i połysk, jest matowa i tępa. Na powierzchni obok związanego pyłu stwierdzono powszechne występowanie nawarstwień gipso-

wych⁷. Przy pomocy dyfraktometrii rentgenowskiej wykryto także obecność kalcytu i glazenu K₂Na(SO₄)².⁸ Kamienie kolorowe wykazują szczególnie w dolnych partiach znaczne osłabienie struktury i dezintegrację zależną od ich składu i struktury geologicznej. Wzdłuż żyłek występują krystaliczne nawarstwienia gipsowe, prowadzące w pierwszym rzędzie do utraty pierwotnego blasku powierzchni i zmatowienia, a następnie do korozji strukturalnej, która w ostatnim stadium powoduje rozpad płytek na poszczególne kawałki. Proces ten spowodował postępującą konieczność wymiany wielu płytek wykonanych z kamieni kolorowych. Nowe płytki wykazują także wymienione uszkodzenia. Wraz z dezintegracją postępuje także proces odpajania się płytek oraz intarsji od podłoża. Powstają szczeliny i pęcherze, a w końcowym stadium odpadnięcie pod wpływem grawitacji. Badanie metodą perkusyjną wykazały, że ponad 90% powierzchni intarsji marmurowych nie posiada związku z podłożem i utrzymuje się wyłącznie w wyniku wysokiej precyzji wykonania i działaniu sił rozpięających.

Rdzawe zaplamienia występują na prawie wszystkich oryginalnych płytach białego marmuru i stanowią znaczne optyczne zakłócenie wartości estetycznych. Rdza pochodzi z przemieszczania się produktów korozji żelaznych klamer, użytych do statycznego zabezpieczenia płyt marmurowych. Krystaliczna struktura marmuru wykazuje znaczną skłonność do transportowania rozpuszczalnych soli żelazowych z podłoża, przy czym ich najmniejsza zawartość powoduje powstawanie zaplamień na białym marmurze. Oprócz problemów estetycznych korozja klamer i zwiększanie objętości produktów korozji w postaci

Płaskorzeźba z portretem księcia Karola przed konserwacją.
Bas-relief with a portrait of Prince Charles before conservation.



Rzeźba „Narcyz”, stan przed konserwacją. „Narcissus” statue, before conservation.



Rzeźba „Narcyz”, stan po konserwacji. Powierzchniom marmuru przywrócono pierwotny połysk. „Narcissus” statue after conservation. The original lustre was returned to the marble surface.

Widok po odjęciu cienkiej płytki marmurowej, elementu intarsji. Ciemne marmury klejono na zaprawę termoplastyczną zawierającą kałafonię i wypełniacz. Widoczne rysy i spękania powstałe w wyniku skurczu masy. View after the removal of the thin marble plate, an element of the inlay. The dark marble was attached with a thermoplastic mortar containing rosin and filler. The visible scratches and cracks are a result of the shrinkage of the mass.

wodorotlenku żelazowego powoduje odpajanie płyt, czy też ich fragmentów. Daleko posuniętej destrukcji uległo również bezpośrednie podłoże w postaci płyt tufu. Struktura tego nietrwałego materiału⁹ jest zniszczona, co spowodowało jego rozpad na poszczególne bryłki i ziarna. W strefie cokołu dezintegracja sięga ok. 5 cm głębokości, występują także wielkopłaskoczynowe odspojenia i złuszczenia na całą grubość użytej płyty.

Przyczynami tak złego stanu zachowania są zarówno warunki otoczenia i klimatycznie uwarunkowane zawilgocenia, jak i błędne użycie materiałów oraz szkody spowodowane niewłaściwymi zabiegami renowacyjnymi. Zawilgocenie budynku, które jest odpowiedzialne za większość szkód, spowodowane jest przez wiele czynników¹⁰.

Ogromne szkody wyrządziła woda opadowa. W 1943 r. w wyniku nalołu spłonął dach budynku

naprawiony prowizorycznie dopiero po dwóch latach. Opady atmosferyczne spowodowały zawilgocenie górnych partii budynku. Częściowo wadliwe odprowadzenie wody z gzymsów powodowało przenikanie wody do wnętrza poprzez szczeliny i pęknięcia. Brak ogrzewania i duża wilgotność powodowały powstawanie wody kondensacyjnej na elementach kamiennych. Skraplanie się wody i ściekanie po zimnych elementach kamiennych miało miejsce szczególnie w okresie wiosennym. Istotnym czynnikiem jest obecność wilgoci pochodzącej z podłoża i wstępującej na zasadzie podciągania kapilarnego. Budynek jest posadowiony na nisko położonych ławkach, będących terenami zalewowymi rzeki Fuldy. Badania rozkładu zawilgocenia piaskowca stwierdzają różnicę zawartości wody w zależności od wysokości pobranej próbki¹¹. W najniższym punkcie budynku (dno basenu) piaskowiec wykazuje zawartość 4,0 do 4,2% wag. wody, co odpowiada nasyceniu 37% do 39%, na poziomie podło-

gi odpowiednio 2,6% do 3,2%. Na wysokości 75 cm stwierdzono zawartość 0,7% wag. wody. Przy badaniach rozkładu wilgotności tufu stwierdzono brak zależności wysokości i głębokości pobrania próbki od jej wilgotności¹². Wilgotność wynosi 16,4% do 17,8% co odpowiada nasyceniu 70% do 85%, czyli 70%-85% porów dostępnych dla wody zostało wypełnionych. Zaskakujące jest, że nawet w miejscach, gdzie płyty marmurowe są już od lat usunięte, występuje tylko nieznaczna redukcja wilgotności. Wynika to ze struktury porów w tufie. Oprócz dużych porów o przekroju w granicach 1 mm występuje znaczna ilość mikroporów poniżej 1 µm. Mikropory odpowiadają w tym wypadku za wysoką higroskopijność i możliwości sorbcyjne tufu w korelacji z wilgotnością względną powietrza. Woda, która dostała się do mikroporów w wyniku kondensacji kapilarnej, może zostać częściowo usunięta jedynie poprzez desorbcję przy dużym nakładzie energetycznym (temperatura). W naturalnych warunkach Łazienek badania wykazały znikome możliwości obniżenia wilgotności

próbek tufu. Możliwości te są jeszcze dodatkowo ograniczone przez okładzinę marmurową. Zawilgocenia, czy to w postaci wilgoci wstępującej czy też opadowej mogą, odparowywać tylko poprzez bardzo wąskie szczeliny intarsji marmurowych, co w praktyce oznacza stałe zawilgocenie podłoża. Zaprawa przytwierdzająca płyty marmurowe i intarsje w wyniku stałego kontaktu z higroskopijnym wilgotnym tufem utraciła z czasem kohezję i przestała spełniać swoją funkcję. Szczególnie zaprawa gipsowa, na którą kładziono białe płyty marmurowe uległa zmiękczeniu, zanieczyszczając podłoże dużą zawartością jonów siarczanowych, które ulegając migracji poprzez szczeliny tworzyły wykwyty na powierzchni. Jony te pochodzą także z nieumiejętnych napraw, kiedy to odspojone płytki przymocowywano ponownie przy pomocy gipsu. W trakcie napraw używano także zapraw cementowych, które przy znacznej kontaminacji siarczanami powodowały dalszą destrukcję obiektu w wyniku reakcji cementu portlandzkiego z gipsem z wytworzeniem etryngitu według reakcji¹³





Pod powierzchnią intarsji, w miejscach zawilgoconych następowała krystalizacja soli, głównie gipsu, powodując utratę adhezji i odsadzanie płytek.
In moist places under the inlay surface, salt crystallization (mainly of gypsum) took place, causing loss of adhesion and detachment of plates.

$\text{Ca}_3(\text{Al}_2\text{O}_6) + 3(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 26\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$
Etryngit posiada większą objętość od substratów reakcji i powoduje zniszczenie struktury materiału¹⁴.

siarczany	0,09%
azotany	0,02%
chlorki	0,002%
sole wapnia	0,028%
sole magnez.	0,006%
sole sodowe	0,025%
sole potasowe	0,016%

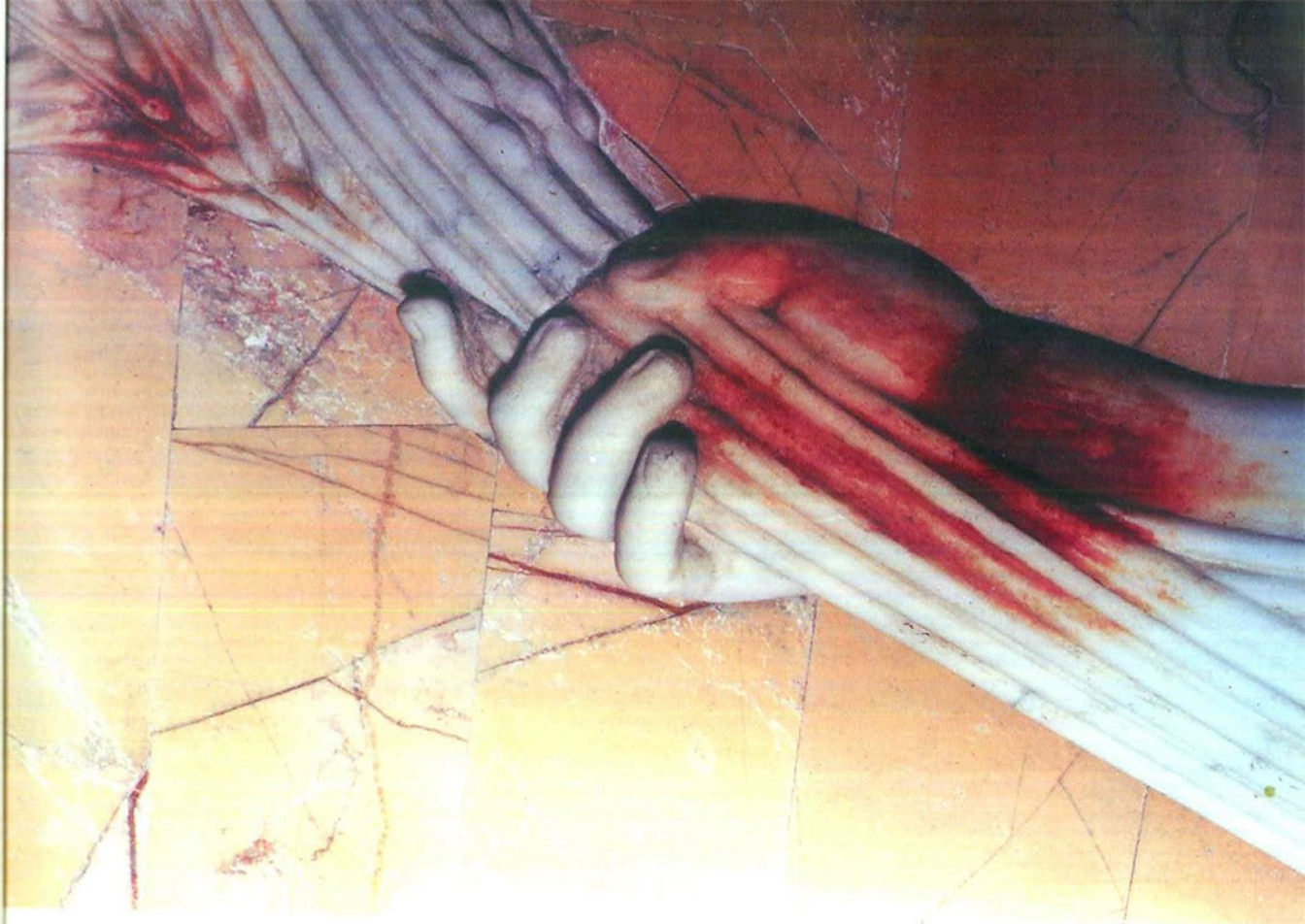
Obecność soli rozpuszczalnych wyekstrahowanych z podłoża tufowego ilustruje tabela (% wag.)¹⁵.
The presence of soluble salts extracted from the tuff substrate is illustrated by the table (% weight)¹⁵.

Tabela 1.

Znaczne zasolenie, migracja soli, duże wahania wilgotności, w efekcie krystalizacja i wykwity, są przyczyną destrukcji substancji zabytkowej.
Nie bez znaczenia jest także różnica w rozszerzalności termicznej i higrostatycznej piaskowca, tufu i marmurów oraz powstające w ich wyniku siły ściskające¹⁶.

Zagadnienia konserwacji intarsji marmurowych

Badania nad opracowaniem optymalnej metody konserwacji intarsji prowadzono od połowy lat osiemdziesiątych, jednakże proponowane materiały oparte na dyspersjach żywicy sztucznych, cementach, wapnie hydraulicznym, czy nawet żywicy epoksydowej nie przyniosły zadowalających wyników¹⁷. Po przeprowadzeniu w latach 1990-92 badań nad stanem zachowania i przyczynami zniszczeń określono ramowy plan postępowania konserwatorskiego. Ustalono, że jedyną możliwością z konserwatorskiego punktu widzenia jest



Rdzawe plamy są szczególnie widoczne na elementach wykonanych z marmuru carraryjskiego.
The rust spots are particularly visible on the Carrara marble elements.

umacnianie intarsji przy pomocy zasrzyków z odpowiednio dobranej masy, która zachowując odpowiednie właściwości mechaniczne nie powinna uszczelniać podłoża.

W latach 199-1993 dr Schuh przeprowadził badania w celu optymalizacji masy iniekcyjnej na bazie estrów kwasu krzemowego. Ostatecznie ustalono recepturę: Steinfestiger Wacker OH na bazie

czterotoksylanu, wypełniacz mączka marmurowa oraz dodatek fosforanowego protektora adhezji. Próby przeprowadzono na stosunkowo dobrze zachowanym fragmencie oktagonu wewnętrznego, gdzie osiągnięto zadowalające wyniki.

Przed przystąpieniem do prac w grudniu 1996 r. autor zgłosił konieczność dalszych prac nad

optymalizacją masy, gdyż nie zapewniała ona w dostatecznym stopniu umacniania partii mocno zniszczonych z mocno zdeintegrowanym podłożem tufowym, przy trudnej aplikacji w partiach lepiej zachowanych. Należało wzmocnić osłabiony tuf, a więc określić kompleksowe, systemowe rozwiązanie wzmocnienia tufu¹⁸, zaprawy oraz zapewnienia adhezji i kohezji masy iniekcyjnej za pomocą środków o zróżnicowanej lepkości.

Określono parametry masy iniekcyjnej zaakceptowane przez komisję konserwatorską:¹⁹

- odpowiednia struktura kapilarna, brak właściwości uszczelniających,
- odpowiednia kohezja,
- elastyczność i zdolność przenoszenia naprężeń termicznych,
- niska lepkość pozwalająca na wstrzykiwanie oraz rozprzestrzenianie się w systemie rys i kapilar wzmocnianego materiału,
- niski skurcz masy.

Oryginalna zaprawa posiada drobne rysy i spękania (0,025-0,3 mm) o wyglądzie spękaną ziemi. Wcześniejsze badania²⁰ wykazały, że masy iniekcyjne z wypełniaczem są w stanie wypełniać szczeliny o przekroju większym niż 0,5 mm, ponieważ cząsteczki wypełniacza posiadają wielkość przynajmniej 50 µm. Mniejsze szczeliny ulegają natychmiastowemu zatknięciu. Z drugiej strony produkty o niskiej lepkości, jak impregnaty na bazie estrów kwasu krzemowego, czy dyspersje wodne kwasu krzemowego, np. „Syton”, są w stanie

Oprócz wykwitów soli duże szkody wyrządziła korozja klamer żelaznych powodujących odpajanie elementów.

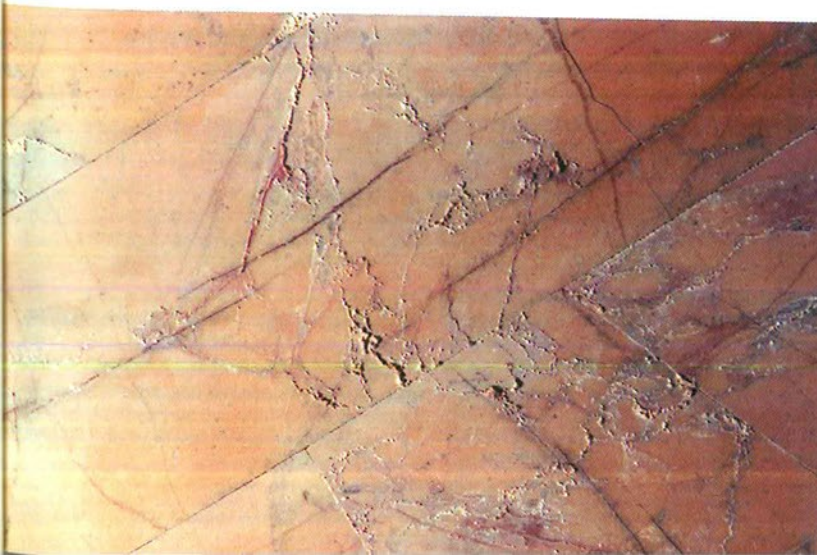
Besides the salt efflorescence, much damage was done by the iron buckle corrosion, also causing the elements to detach.

Wykwity soli odzwierciedlają układ szczelin w zaprawie. Widoczna skorodowana klamra żelazna mocująca płytę tufu do podłoża.

The salt efflorescences de-mirror the system of fissures in the mortar. The corroded iron clasp that fastens the tuff plates to the substrate is visible.



Powierzchnia intarsji przed konserwacją. Wzdłuż żyłek widoczne krystaliczne nawarstwienia składające się głównie z gipsu.
The inlay surface before conservation. Along the cracks one can see the crystalline layering mainly of gypsum. The surface has lost its original shine.



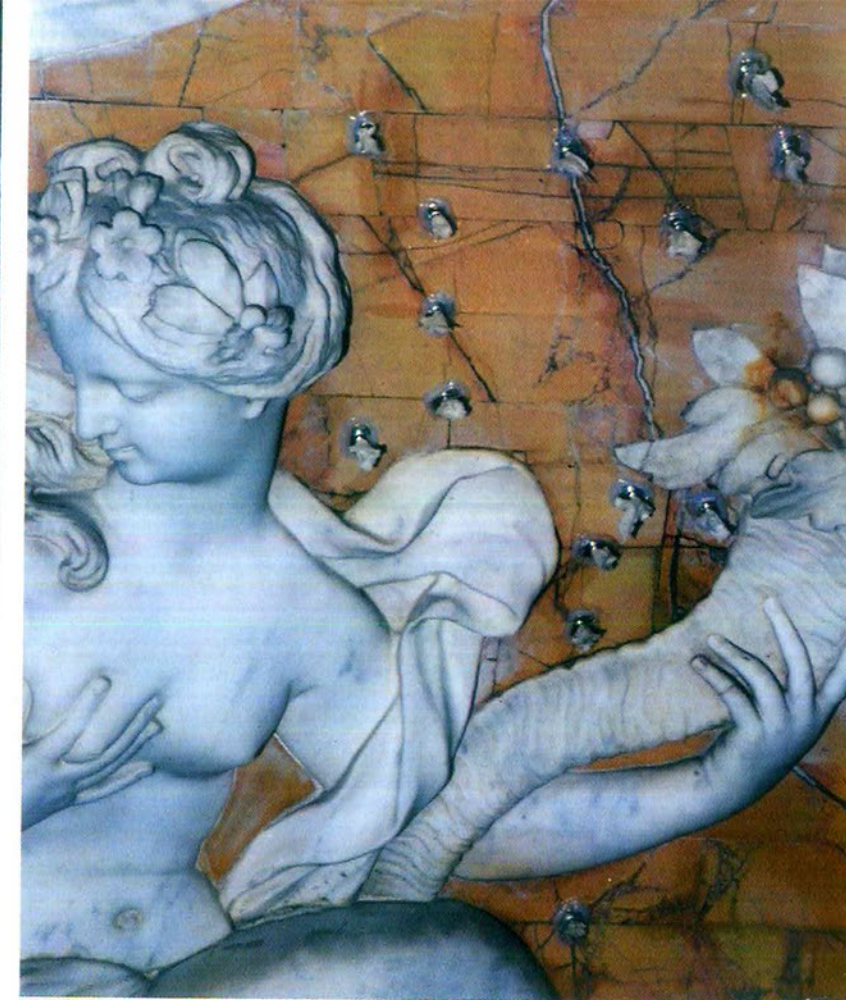


Zdjęcie w trakcie konserwacji. Dysze do wprowadzania masy iniekcyjnej przyklejono klejem termoplastycznym. Umieszczane w otworach wałki ligniny zabezpieczają przed wyciekaniem masy.

Photo taken during conservation. The induction nozzles for the injection mass were attached using thermoplastic glue. A roll of lignin was placed in the openings to keep the mass from leaking.

Plaskorzeźba nad kominkiem w trakcie konserwacji. Na powierzchni intarsji marmurowych widoczne liczne dysze wprowadzające.

Bas-relief over the fireplace during conservation. Various induction nozzles can be seen on the marble inlay surface.



Penetracja środków wzmacniających uwidacznia się wzdłuż szczelin i rys intarsji. The penetration of the reinforcing substance can be seen along the fissures and cracks of the inlay work.

wzmocniać struktury o porach do ok. 50-80 μm . W kapilarach o większym przekroju następuje przemieszczanie się roztworu pod wpływem grawitacji, a ponadto ze względu na kruchy charakter powstających struktur krzemionkowych nie następuje pożądane wzmocnienie materiału²¹.

Ponieważ badana przez nas zaprawa posiada system szczelin, których średni przekrój wynosi pomiędzy 50-300 μm , należało zastosować modyfikację estrów kwasu krzemowego i jego kilkustopniową aplikację przy zróżnicowanych wypełniaczach.

Modyfikacja estrów kwasu krzemowego może polegać na:

– kondensacji wstępnej – powstają oligomery składające się z 2 do 12 cząsteczek monomeru, o dłuższym czasie utwardzania i niższej wartości ciśnienia pary i lepszej penetracji

– katalizacji i przyspieszonym wytrącaniu żelu krzemionkowego. Zastosowanie np. dla wzmocnienia strefy osłabionej przy chłonnym podłożu. Następuje utwardzanie osłabionej warstwy powierzchniowej i wytrącanie żelu w pożądanym miejscu. Nie następuje penetracja w głąb porowatego podłoża.

– elastyfikacji – poprzez wbudowanie elastycznego segmentu np. oligomerycznego dwumetylosiloksanu w powstającą strukturę krzemionkową następuje wzmocnienie struktury kamienia bez jednoczesnego wzrostu modułu elastyczności.

– zastosowaniu protektora adhezji np. w postaci grupy fosfatowej i uzyskanie właściwości klejących.

Jednocześnie już w fazie wstępnej stwierdzono potrzebę wzmocnienia struktury silnie zwierzęcego tufu, a charakterystyczny system porów tufu z kamieniolomów w Habichtswald wymaga, aby substancja wzmacniająca wnikała do drobnych porów i mikroporów.

Opracowanie metody konserwacji

Ze względu na wymienione zróżnicowanie przekroju porów i szczelin w konserwowanych materiałach został opracowany przez dr Eberharda Wendlera (Fachlabor für Konservierungsfragen in der Denkmalpflege, Monachium) trójstopniowy sposób aplikacji środków wzmacniających²³. W pierwszym rzędzie należało zastosować impregnat tufu o bardzo niskiej lepkości i wysokiej penetracji. Penetracja mikroporów wymaga długiej obecności fazy ciekłej, jednakże dostępne w handlu produkty są tak katalizowane, że proces utwardzania zachodzi w kapilarach o przekroju 10-100 μm , a mikropory nie zostają wypełnione. Aby zapewnić równomierne wzmocnienie warstw powierzchniowych, należało jednocześnie zapobiec odciąganiu impregnatu w głąb kamienia. Poprzez aplikację alkoholu etylowego spowodowano znaczne zmniejszenie wsiąkania impregnatu i transportu w odległe warstwy kamienia. W wyniku badań laboratoryjnych wybrano monomeryczny czteroetoksylsilan, który katalizowano niewielką ilością katalizatora cynoorganicznego. W celu strukturalnego wzmocnienia oryginalnej zaprawy – porów i szczelin w przedziale 10-500 μm aplikowano masę iniekcyjną na bazie kondensowanego wstępnie kwasu krzemowego z dodatkiem krzemionki koloidalnej i estru butylowego kwasu fosforowego jako protektora adhezji. Kwaśny protektor adhezji reaguje z wapiennym podłożem z wytworzeniem dwutlenku węgla, co prowadzi do lepszego rozdzielenia masy w wyniku lekkiego spienienia. W ostatnim etapie zastosowano masę z wypełniaczem, którą stosowano punktowo przy

rysach i szczelinach o przekroju powyżej 500 μm . Jako wypełniacza użyto mieszanki kredy bolońskiej i Plasteritu 0000 (Naintsch, Austria)²⁴.

Przebieg prac

Pracom konserwatorskim poddano te obszary intarsji, które na podstawie badań metodą perkusyjną określono jako odspojone i naniesiono na plan stanu zachowania.

W płytkach marmurowych wiercono otwory o średnicy 1,5 mm, na które przy pomocy kleju termoplastycznego naklejano dysze wprowadzające²⁵. Klejem termoplastycznym uszczelniano również rysy i szczeliny. Przy pomocy strzykawek medycznych wstrzykiwano środki wzmacniające w wymienionej kolejności, zachowując odstęp czasowy ok. 1 h pomiędzy poszczególnymi fazami. W miarę potrzeby odspajające się intarsje stemplowano stemplami śrubowymi pozwalającymi na płynne regulowanie docisku. Stemple zdejmowano po ok. 4 tygodniach. Osiągnięto pełną likwidację pęcherzy i odspojień²⁶.

Podsumowanie

Opracowanie systemu środków o zróżnicowanych parametrach opartych na modyfikowanych estrach kwasu krzemowego pozwoliło na przeprowadzenie konserwacji silnie zagrożonego obiektu o skomplikowanej budowie technologicznej. System ten może zostać także zastosowany do konserwacji innych materiałów porowatych.

Przypisy

1. Właściwości: gęstość – 2,12 g/cm³, porowatość 23,68% obj., nasiąkliwość pod ciśnieniem atm. – 8,91% wag., nasiąkliwość w próżni 11,21%, wg. W.-D. Grimm, Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland, München 1990, Tabl. Nr 49.
2. Witruwiusz (26; VII, Kap. 1,4) wymienia jako „Opus sectile”

okładzinę z cienkich płytek marmurowych. E. Knoepfli, O. Emmenegger, M. Koller, A. Meyer, Reclams Handbuch der künstlerischen Techniken, Stuttgart 1990, T 2 s. 442.

3. Użycie spoiw termoplastycznych wymienia m.in. Rękopis lukkański (IX w.), E. Berger, Quellen und Technik der Fresco-Öl- und Temperamalerei des Mittelalters, München 1912, s. 17.

4. Badania przeprowadził prof. Knöfel/inż. Jungermann, Kirchhuden.

5. Badania laboratorium dr. Jägers, Bornheim.

6. W sensie krystalograficznym są to twarde wapienie poddające się polerowaniu. E. Müller, Buntmarmor aus deutschen Ländern, [w:] Naturstein 3/94, s. 96-99.

7. Mechanizm powstawania nawarstwień gipsowych: W. Domaśłowski, Patyna – mechanizm jej powstawania i właściwości, [w:] Profilaktyczna konserwacja kamiennych obiektów zabytkowych, Toruń 1993, s. 71-73.

8. Badania przeprowadził prof. Knöfel/inż. Jungermann, Kirchhuden.

9. E. Möllekamp, Möglichkeiten der Tuffsteinkonservierung, München 1996, s. 26.

10. M. Roznerska, P. Mikolajczyk, Malarstwo ścienne. Przyczyny powstawania zniszczeń, Toruń 1995, s. 24-41.

11. H. Etl, H. Schuch, Untersuchungsbericht Marmorbad, Feuchtigkeitsverteilung im Mauerwerk, München 1992, praca niepublikowana.

12. H. Etl, H. Schuch, Marmorbad, Sicherung der Kalkstein- und Marmorintarsien, Bestandsaufnahme, Schadensursachen, München 1994, praca niepublikowana.

13. A. Arnold, K. Zehender, Monitoring Wall Paintings Affected by Soluble Salts, The Conservation of Wall Paintings, Proceedings of a symposium organised by the Courtauld Institute of Art and the Getty Conserv. Institute, London 13-16 July 1987, 1991 s. 104.

14. H. Roscher, G. Bauer, H.-J. Oel, Analysis of deterioration of ancient masonry, made of brick, (w) 5th Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 25-27. Sept. 1985, s. 289-298.

15. H. Etl, H. Schuch, Marmorbad, Sicherung der Kalkstein- und Marmorintarsien, Bestandsaufnahme, Schadensursachen, München 1994, praca niepublikowana, s. 25.

16. R. Rückert-Thiümling, E. Wendler, Gefügezerstörende Verformungsverhalten bei Salzbehafteten Sandsteinen unter hygrischer Wechselbelastung, [w:] Salzschäden an Wandmalereien, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege, Band 78, Monachium 1996, s. 183-191.

17. U. Schneider, Gutachten über die Sicherstellung der Marmorintarsien, Kassel 1986, praca niepublikowana.

18. J. Łukaszewicz, The Application of Silicone Products in the Conservation of Volcanic Tuffs [w:] Lavas and Volcanic Tuffs: Proceedings of the International Meeting, Easter Island, Chile, 23-31.10.1990; J. Łukaszewicz, Conservation of the Göreme Rock, Preliminary Investigations, [w:] 6-th International Congress on Detonation and Conservation of Stone, Toruń 14.09.1988, s. 269-288.

19. Dr Ludwig, K.-H. Schmid, Verwaltung der Staatlichen Schlösser und Gärten Hessen, Bad Homburg.

20. W. Domaśłowski, Badania nad wzmocnieniem osłabionych i zdeintegrowanych partii w kamiennych obiektach zabytkowych Acta Universitatis Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo VII, Toruń 1979 s. 24-40; S. Gloßner, Untersuchungen zur Verklebung von Schuppen und Schalen an Naturstein mit schnellhydrolysiertem Kieselsäureester, [w:] Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 1/95, s. 107-108; J. Łukaszewicz, Zastosowanie czteroetoksylsilanu w konserwacji kamiennych obiektów zabytkowych [w:] Acta Universitatis Nicolai Copernici, Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo XII, Toruń 1987 s. 180-181; J. Łukaszewicz, Związki krzemooorganiczne w konserwacji kamiennych obiektów zabytkowych, [w:] Ochrona Zabytków 1/96, s. 21-25; H. Etl, H. Schuch, Entwicklung und Erprobung einer Kieselsäureethylester-gebundenen Injektionsmasse zur Schließung von Rissen und Hinterspritzung von Schalen, [w:] Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung 2/91, s. 243; L. Sattler, Untersuchungen zu Wirkung und Dauerhaftigkeit von Sandsteinfestigung mit Kieselsäureester, Forschungsbericht 9/1992 Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, München 1992; E. Wendler, Materialgerechte Anpassung von Steinfestigern auf KSE-Basis, Referat am Symposium Festigung mit KSE in der Steinkonservierung, Köln 1997.

21. S. Skibiński, Konserwatorskie metody diagnostyki zabytkowych obiektów kamiennych, [w:] Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki 2/98, s. 33; S. Skibiński, Stan obecny i perspektywy technologicznej konserwacji kamiennych i ceglanych obiektów zabytkowych [w:] Materiały IV Konferencja Naukowo-Techniczna, Inżynierskie problemy odnowy starożytności zespołów zabytkowych, Kraków 1998, s. 161-179.

22. L. Sattler, E. Wendler, Modifizierung von silicium-organischen Steinschutzmitteln, [w:] Denkmalpflege und Naturwissenschaft im Gespräch, Workshop in Fulda 1990, Fulda 1991, s. 135-137; E. Wendler, Modifizierung von Steinschutzmitteln, [w:] Die Geowissenschaften-Forschung und Praxis, 9-10/92, s. 290; L. Sattler, H. Schuch, Zur zeitlichen Entwicklung von Steinfestigungen auf Kieselsäureesterbasis, [w:] Bautenschutz Bausanierung 1/95, s. 77-81; M. Boos, J. Grobe, G. Hilbert, J. Müller-Rocholz, Modified Elastic Silic-Acid Ester Applied on Natural Stone and Tests of their Efficiency, [w:] 8-th International Congress on Detonation and Conservation of Stone, Berlin 1996, s. 1179-1183; M. Boos, J. Grobe, G. Hilbert, E. Wendler, Möglichkeiten und Grenzen im KSE-System, [w:] Bautenschutz Bausanierung 8/97.

23. E. Wendler, Kassel Marmorbad. Wiederanbringung von Marmor- und Kalksteinfliesen, München 1997, praca niepublikowana.

24. Plasterit 0000, wielkość cząsteczek 0,2-30 μm .

25. System Kaiser, H. Etl, H. Schuch, 1991 op.cit., s. 24.

26. Prace konserwatorskie intarsji marmurowych o powierzchni 116,2 m² przeprowadził zespół: Piotr Słupczyński – kierownik zespołu oraz Louis Colmenero i Jürgen Lasota. Czas trwania prac luty 1997 – listopad 1998.