

**Piotr Stępień, Roman Kozłowski,
Janusz Magiera**

**Problemy konserwacji obiektów
architektonicznych z dolomitu na
przykładzie barokowych bram w
ogrodzeniu Katedry Wawelskiej**

Ochrona Zabytków 46/4 (183), 338-346

1993

Artykuł został zdigitalizowany i 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.

PROBLEMY KONSERWACJI OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH Z DOLOMITU NA PRZYKŁADZIE BAROKOWYCH BRAM W OGRODZENIU KATEDRY WAWELSKIEJ

Konserwacja obiektów z dolomitu jest tematem rzadko opracowywanym i publikowanym; badania i prace realizacyjne dotyczą zazwyczaj różnych odmian wapieni i piaskowców. Wśród tych nielicznych opracowań należy wymienić prace Wandy Wilczyńskiej-Michalik i Marka Michalika opublikowane w „Mineralogia Polonica”¹ oraz studium Sanjeev Tambe, K. Lai Gauri, Suhan Li i W. Geoffreya Coburn z University of Louisville².

Dolomit i jego charakterystyka

Nazwą dolomit określa się minerał, węglan wapnia i magnezu, o składzie chemicznym $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, a także skałę węglanową zawierającą ponad 50% tego minerału. Nazwa pochodzi od nazwiska francuskiego mineraloga J. D. Dolomieu (1750-1801). Dolomit powstaje najczęściej w wyniku dolomityzacji, czyli wzbogacenia w magnez wcześniej powstałego węglanu wapnia, czyli kalcytu (CaCO_3). Dzieje się to bądź już w środowisku powstawania kalcytu, czyli zwykle w morzu, bądź też znacznie później, w wyniku penetracji skały kalcytowej, czyli wapienia, przez wodę bogatą w magnez, np. morską.

Problem konserwacji obiektów z dolomitu — zarówno w aspekcie poznania mechanizmu zniszczeń, jak też opracowania i zastosowania w praktyce technologii zabezpieczenia — stał się przedmiotem prac autorów artykułu w związku z konserwacją zespołu barokowych bram w ogrodzeniu Katedry Wawelskiej. Dolomit jest bowiem podstawowym materiałem tych cennych obiektów architektonicznych.

Bramy barokowe Katedry i ich historia

Bramy umieszczone są w linii muru otaczającego od zachodu i południa Katedrę Wawelską (ogrodzenie dawnego cmentarza katedralnego): zachodnia — na osi obecnego wejścia głównego katedry, południowo-zachodnia w narożniku muru przy wyjściu z Grobów Królewskich, południowa — na osi wejścia południowego, pomiędzy kaplicą Wazów i Zygmuntowską. Bramy mają formę ozdobnych, zdwojonych portali. Kompozycja strony zewnętrznej i wewnętrznej jest analogiczna. Otwór bramy zamknięty jest u góry łukiem odcinkowym i obwiedziony uszatą ramą. Ramę uzupełnia dekoracja rzeźbiarska. Zwor-

nik łuku zdobi uskrzydłona głowa aniołka. Pomiedzy nią i narożami ramy rozpięte są festony, w tych narożach zawinięte i spięte guzami; końce festonów są zwieszane w dół i zakończone frędzlą. Z guzów wyprowadzone są ku zwornikowi, nad festonem, wstęgi. Pod „uchami” umieszczono duże, pojedyncze „łezki”.

Ten wewnętrzny portal ujęty jest po bokach w dwa filary z półkolumnami na cokołach, o jońskich bazach i korynckich kapitelach. Od góry całość zamknięta jest belkowaniem i przyczółkiem. Belkowanie jest załamane w rzucie na osi i podwójnie po bokach (w liniach odpowiadających krawędziom półkolumn i filarów). We fryzie znajdują się płyciny, obwiedzione prostą ramą; płycina na osi zawiera inskrypcję fundacyjną. Tympanon wypełniają trójkątne płyciny rozdzielone kostką z dużymi „łezkami”. Gzymsy pochyle przyczółka załamane są nad filarami.

Przyczółek zwieńczony jest trzema wazonami na cokołach (postumentach); środkowy postument (na osi bramki) po stronie frontowej i tylnej zdobiony jest herbem Lubicz (biskupa Piotra Tylickiego). Po bokach filary ujęte są w spływy wolutowe, załamane, wsparte na boniowanym murze.

Poszczególne bramy różnią się nieznacznie: elementami wynikającymi z konfiguracji terenu (schody, cokoły pod filarami, spływy wolutowe), szczegółami profili i dekoracji rzeźbiarskiej (główni aniołków, wstęgi i festony mają cechy indywidualne). Wymiary maksymalne bramy zachodniej wynoszą: wysokość ok. 9,2 m, szerokość (łącznie z wolutami) ok. 6,5 m, głębokość ok. 1,9 m. Powierzchnia bramy wynosi ok. 100 m².

Podstawowym materiałem bram jest dolomit wykazujący podobieństwo do dolomitów wieku triasowego, występujących na znacznym obszarze w rejonie Chrzanowa, Bytomia oraz między Olkuszem a Sievierzem i znanych w budownictwie jako dolomity libiąskie (od miejscowości Libiąż k. Chrzanowa) bądź diploporowe. Jest to skała najczęściej barwy żółtawej, o strukturze zwykle bezładnej, rzadziej laminowanej bądź brekcjowej (zawierającej kilkucentymetrowe, ostrokrawędziste okruchy). Środowiskiem ich sedymentacji było rozległe i płytkie morze, o dość obfitej faunie i florze, okresowo bardzo burzliwe, co widoczne jest w strukturze skały³. Od powszechnie występującej w niej skamieniałości, zielenicy *Diplopora*, dolomity te wzięły drugą z wymienionych nazw.

1. W. Wilczyńska-Michalik, M. Michalik, *Mineral composition and structure of crusts on dolomitic buildings materials in urban atmosphere in Kraków*, „Mineralogia Polonica”, vol. 22, No 2, 1991.
2. S. Tambe, K. Lai Gauri, Suhan Li, W. Geoffrey Coburn, *Kinetic Study of SO₂ Reaction with Dolomite*, „Environmental Science and

Technology”, vol. 25, No 12, 1991.

3. J. Myszkowska, *Litofacje i sedymentacja dolomitów diploporowych (środkowy wapień muszlowy) wschodniej części obszaru śląsko-krakowskiego*, „Annales Societas Geologiae Poloniae”, 62 R., 1992, s. 19-62.

W elementach autentycznych przeważają odmiany zbite, natomiast elementy wymienione przez S. Odrzywolskiego w znacznej części wykonano z odmian porowatych. Część elementów wykonano jest z wapienia jurajskiego, z charakterystycznymi wtrąceniami krzemieni. Najwięcej takich elementów występuje w bramie zachodniej, pojedyncze w bramie narożnej (il.1); nie ma ich w bramie południowej. Rozmieszczenie tych elementów sugeruje, że zostały świadomie użyte, prawdopodobnie już przy budowie bram, w miejscach najbardziej narażonych na zastoiny wody (środkowe części gzymsów poziomych, kapitele). Występują również elementy z materiału pozbawionego krzemieni, lecz bardzo zbliżonego do wapienia jurajskiego; jednoznaczna klasyfikacja nie była w tym przypadku możliwa. Dolomitu i wapienia jurajskiego użyto w postaci dużych bloków (o największym wymiarze dochodzącym do 3 m — trzony kolumn), starannie dopasowanych i spojonych zaprawą wapienną. W wielu miejscach użyto również klamer (kotew) i trzpieni żelaznych.

Badania mikroskopowe (J. Magiera) pozwoliły na wyróżnienie 4 odmian dolomitu zastosowanego do budowy bramek.

Najczęściej występuje dolomit ziarnisty, w którym „ziarna” (ooidy, glony, krynoidy) spojone są spoimem typu matrix (mułem i bardzo drobnodziarnistym piaskiem dolomitowym), rzadziej cementem węglanowym (krystalicznym dolomitom lub kalcytem). Niewielką domieszkę stanowi kwarc. Wielkości ziaren wynoszą od 0,05 do 1,4 mm, najczęściej 0,1-0,35 mm. Dość liczne pory mają średnicę najczęściej 0,1-0,2 mm, maksymalnie do 0,33 mm.

Dolomit ziarnisty laminowany — laminy (o grubości najczęściej 0,5-0,8 mm) są, na przemian, zbudowane z mikrytu (bardzo drobnokrystalicznego węglanu) oraz z ziarn („plamek”) o bardzo rozmytych konturach. Laminy ziarniste są bardziej porowate niż mikrytowe. Ogólnie jednak ta odmiana jest bardzo mało porowata.

Dolomit ziarnisty z cementem węglanowym — ziarna o wielkości 0,06-2 mm, najczęściej 0,3-0,5 mm, spojone są krystalicznym węglanem. Ziarna mają niekiedy silnie zatarte kontury. Tworzy się wtedy tzw. dolomit plamkowy. Liczne pory mają średnicę najczęściej 0,03-0,3 mm.

Dolomikryt — zbudowany z bardzo jednorodnego mikrytu, o wielkości kryształków poniżej 0,01 mm.

Innym gatunkiem kamienia użytym do budowy bram jest wapień porowaty, organogeniczny, typu „pińczowskiego”, barwy kremowej i kremowoszarej, drobno i średnioziarnisty. Wykonane zostały z niego uzupełnienia i naprawy, głównie w trakcie restauracji w 1903 r. Występuje zarówno w formie dużych bloków (wazony we wszystkich bramach oraz ich cokoły w bramie zachodniej i południowo-zachodniej) oraz małych wstawek (taszli, fleków).

Charakterystycznym materiałem są wapień zbite, tzw. marmury, użyte w formie cienkich (ok. 2 - 2,5 cm) płyt, osadzonych w blokach innego kamienia. Występują w 2 odmianach: barwy różowej (od białoróżowej do ciemnej, czerwonej) i barwy ciemnoszarej do czarnej, z białymi żyłami kalcytu („Dębik”).

Faktura autentycznych elementów z dolomitu i wapienia jurajskiego jest częściowo zatarta przez korozję, lecz można przypuszczać, że była to faktura gładka i drobnogroszkowana. W elementach wymienionych wyraźna jest faktura prążkowana. Płyty „marmurowe” były polerowane.

Bramy wraz z murem wzniesione zostały (jak głośnie wspomniane inskrypcje we fryzie) z legatu testamentowego biskupa Piotra Tylickiego; realizacja legatu musiała nastąpić w latach 1617-1619, tj. pomiędzy datą testamentu (1616) a datą podaną w inskrypcjach (1619)⁴. A. Bochnak⁵ przypisał je na podstawie analizy stylistycznej Janowi Chrzycielowi Trevano z Lugano, architektowi włoskiemu w służbie królewskiej. Monumentalna kompozycja, głębokie profilowanie, wysoki poziom artystyczny detalu rzeźbiarskiego, wielobarwność uzyskana dzięki zestawieniu różnych materiałów cechują także inne dzieła tego architekta.

W aktach kapituły katedralnej znajdują się wzmianki o kilku renowacjach bram:

1649 r. — zapłacono „kamiennikowi Sebastianowi od roboty około port kamiennych trzech przy kościele” sumę 500 złotych polskich⁶. S. Wiliński⁷ identyfikuje tego Sebastiana z Sebastianem Salą. Niektórzy badacze⁸ uważają go za autora bramek. Prawdopodobnie w 1649 r. wykonano jednak tylko naprawy (może uzupełnienie o wazony itp.) obiektów wzniesionych wcześniej, tj. w latach 1617 - 1619.

1665 r. — gruntowny remont cmentarza przykatedralnego⁹; zapewne wykonano również jakieś naprawy muru i bram.

1692 r. — restauracja bram pod nadzorem kanonika Jerzego Januszewicza¹⁰.

Ostatnia gruntowna restauracja muru i bram nastąpiła w 1903 r. pod kierunkiem architekta Sławomira Odrzywolskiego, w nawiązaniu do prowadzonej przez niego od 1895 r. restauracji katedry. Mur w znacznej części wymieniono, natomiast w bramach wykonano liczne naprawy przez taszlowanie, spoinowanie, obróbki blacharskie itd. W bramce południowej i południowo-zachodniej wstawiono ozdobne kraty wg projektu Odrzywolskiego.¹¹

Stan zachowania

Po 90 latach od tej konserwacji stan bram był alarmujący. Najbardziej widocznym objawem zniszczeń były czarne kory zwietrzelinowe, złuszczenia

4. M. Rozek, *Katedra Wawelska w XVII w.*, „Biblioteka Krakowska”, t. 121, 1980, s.45 i n.

5. A. Bochnak, *Kościół św. Piotra i Pawła w Krakowie...*, „Prace Komisji Historii Sztuki”, t. IX, z. 14, 1948

6. Archiwum Kapituły Krakowskiej [AKK] - Liber Fabricae Ecclesiae cathedralis Cracoviensis, t. II, k.173V.

7. S. Wiliński, *Rzeźby Sebastiana Sali dla Krzysztofa Opalińskiego*,

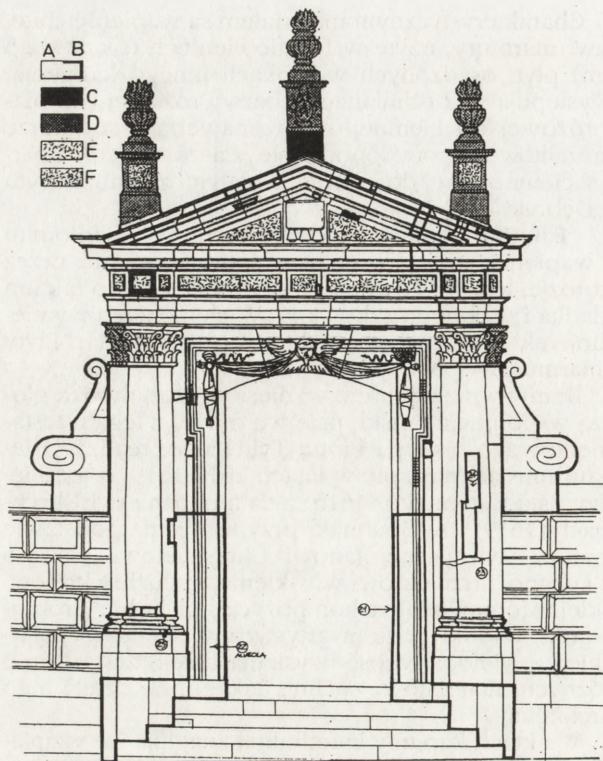
„Biuletyn Historii Sztuki”, 1956.

8. Np. A. Miłobędzki, *Architektura polska XVII wieku*, Warszawa 1980

9. AKK, Lib. Fabr., t. II, k.196r.

10. AKK, Act. Act. Cap., t. XVII, k.165r.

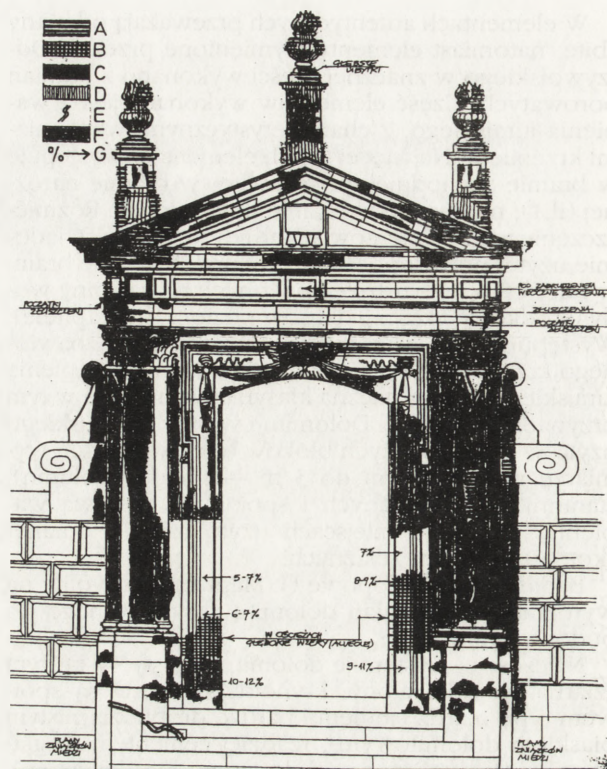
11. *Katalog Zabytków Sztuki w Polsce*, t. IV, cz. I-V, Wawel, red. J. Szablowski, Warszawa 1965.



1. Brama pd.-zach., inwentaryzacja materiału: a - dolomit libiąski, elementy autentyczne, b - j. w., lecz elementy wymienione, c - wapień jurajski, d - wapień pińczowski, e - „marmur” różowy (Paczółtowiec), f - „marmur” czarny (Dębnik). Oprac. J. Magiera
 1. South-western gate, inventory of material: a - dolomite from Libiąż authentic elements, b - as above but with replaced elements, c - limestone from the Jura, d - limestone from Pińczów, e - pink „marble” (Paczółtowiec), f - black „marble” (Dębnik). Prep. by J. Magiera

i wżery. Niektóre krawędzie i elementy detalu zostały całkowicie zatarte. Już w trakcie prac stwierdzono znaczne ubytki w kapitelach (liście akantu) i pęknięcia, grożące w niedługim czasie odpadnięciem dużych fragmentów kamieniarki. Całkowite skorodowanie żelaznych elementów mocujących groziło również zerwaniem przez wiatr blachy miedzianej z dachu. Zaprawa cementowa w spoinach była w znacznej części spękana. W niektórych miejscach ciosy były przesunięte w stosunku do pierwotnego położenia. Te ostatnie uszkodzenia prawdopodobnie spowodowało w 1945 r. wysadzenie przez cofające się wojska hitlerowskie mostu Dębnickiego.

Zniszczenia rozmieszczone były niejednolicie. Kory zwietrzelinowe występowały na powierzchniach słabo spłukiwanych, natomiast w miejscach intensywnego spływu wody powierzchnia była zerodowana. Głębokie wżery (alweole) występowały w dolnych częściach węgarów wewnętrznego portalu. Druga strefa intensywnych zniszczeń obejmowała kapitele kolumn, belkowanie przyczółka i skrajne części gzymsów pochyłych — przeważały tu pęknięcia, złuszczenia i płytsze, lecz rozległe ubytki. Znacznie uszkodzone były elementy wieńczące (il. 2). Niejednolite rozmieszczenie zniszczeń skłoniło do przeprowadzenia badań mechanizmu korozyjnego (R. Kozłowski), których wyniki przedstawiono poniżej.



2. Brama pd.-zach., inwentaryzacja zniszczeń: a - korozja powierzchniowa (rozkład spoiwa i złuszczenie), b - alweole (wżery), c - uszkodzenia mechaniczne i ubytki powstałe w wyniku spekań, d - wypłukiwanie (erozja, korozja), e - spekania (ważniejsze), f - czarne kory zwietrzelinowe (powierzchnie całkowicie pokryte korami), g - wilgotność kamienia (wg pomiaru dielektrycznym miernikiem wilgotności MTA-10). Oprac. P. Stępień
 2. South-western gate, inventory of damage: a - surface corrosion (disintegration of binding material and flaking), b - alveoli, c - mechanical damage and losses due to cracks, d - dissolution (erosion, corrosion), e - cracks (more important), f - black weathering crusts (surface totally covered), g - dampness of stone (according to measurements made with MTA-10, a dielectric standard). Prep. by P. Stępień

2. South-western gate, inventory of damage: a - surface corrosion (disintegration of binding material and flaking), b - alveoli, c - mechanical damage and losses due to cracks, d - dissolution (erosion, corrosion), e - cracks (more important), f - black weathering crusts (surface totally covered), g - dampness of stone (according to measurements made with MTA-10, a dielectric standard). Prep. by P. Stępień

Mechanizm korozji

Głównym procesem niszczącym dolomit, tak jak każdą inną skałę węglanową, jest jego reakcja z dwutlenkiem siarki zawartym w zanieczyszczonym powietrzu miejskim. Mechanizm korozji siarkowej, tak dobrze poznany dla wapieni, w przypadku dolomitu ma bardziej złożony przebieg, ze względu na obecność podwójnego węglanu wapniowo-magnezowego. Reakcja korozji prowadzi do powstania mieszaniny siarczanów wapnia i magnezu, minerałów gipsu $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ i epsomit $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Należy zauważyć, że dwa siarczany pojawiające się w dolomicie w wyniku korozji różnią się radykalnie rozpuszczalnością w wodzie. Rozpuszczalność gipsu (2,4 g/l) jest około 300 razy mniejsza niż epsomit (710 g/l). Prowadzi to do zróżnicowanej migracji obu soli w kamieniu i pojawienia się silnych zniszczeń lokalnych, kontrastujących z fragmentami dobrze zachowanymi.

Ilustracja 7 pokazuje głębokie wżery, alweole, pojawiające się na węgarach bramek, na wysokości

około 1 m nad podłożem. Analiza próbek pobranych z alweoli wykazała obecność dużych ilości siarczanu magnezu. Wynik ten oraz pomiary zawartości wody w węgarze w funkcji odległości od podłoża jednoznacznie wskazały, że alweole powstają w strefie odparowywania wody podciąganej kapilarnie od podstaw węgarów. Dobrze rozpuszczalny w wodzie siarczan magnezu krystalizuje w tej strefie dopiero w trakcie wysychania ostatnich porcji stężonego roztworu tej soli, co prowadzi do wytrącania jej dużych ilości tuż przy powierzchni kamienia. Krystalizacja ta powoduje rozsadzenie materiału i szybkie pogłębianie obszaru zniszczeń na skutek przemieszczenia się strefy odparowywania w głąb.

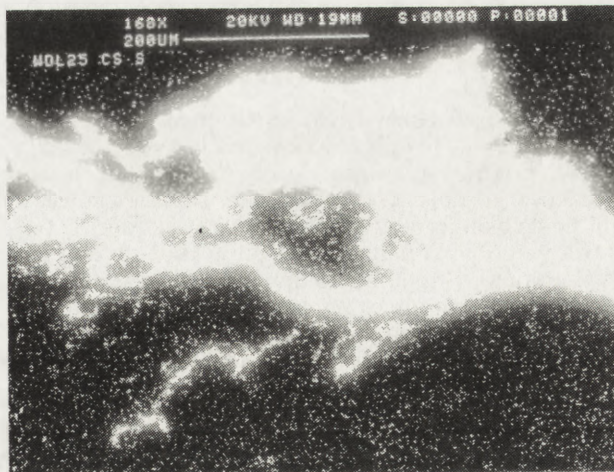
Zdjęcia mikroskopowe próbek dolomitu pobranych ze zniszczonych partii węgarów ujawniły znaczną porowatość materiału. Pierwotna porowatość materiału została dodatkowo zwiększona przez korozję i wypłukanie mniej odpornych, drobnoziarnistych komponentów. Ułatwiła ona migrację roztworów solnych przez kamień i pośrednio umożliwiła zniszczenia. Wzérów alweolarnych nie obserwowano na dolomitowych fragmentach sąsiadujących z węgarami, wykonanych ze zbitej odmiany dolomitu (mała porowatość, brak komponentów drobnoziarnistych), mniej przenikliwej dla roztworów soli.

Podobne lokalne zniszczenia, wynikające z krystalizacji na ograniczonym obszarze dużych ilości epsomitu, były widoczne w różnych miejscach bramek, szczególnie tych narażonych na stałe zamakanie. Ilustracja D pokazuje silnie zniszczony fragment przyczółka, w którym stwierdzono kumulację siarczanu magnezowego na skutek zaciekania wody deszczowej z narożnika i częstego zawilgocenia materiału.

Niszczące działanie epsomitu jest potęgowane przez higroskopijność tej soli. Wilgotność względna powietrza, przy której epsomit absorbuje parę wodną z powietrza i przechodzi do roztworu, wynosi 88 %. Tak więc w wilgotnym klimacie Krakowa fragmenty kamienia przesycone epsomitami będą narażone na powtarzające się cykle rozpuszczania i krystalizacji, wynikające z fluktuacji wilgotności powietrza, niezależnie od szkodliwych efektów ekspozycji na wodę opadową.

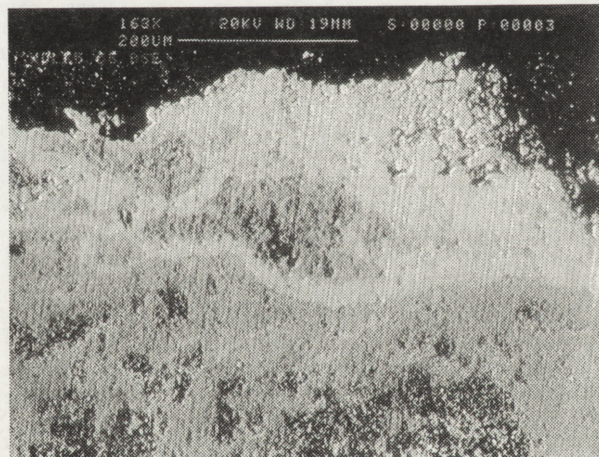
Inaczej przebiega migracja i krystalizacja drugiego produktu korozji, gipsu. Tak jak w wapieniach porowatych, gips tworzy na miejscach nie opłukiwanych wodą deszczową ciemne nawarstwienia powierzchniowe, „kory”. Analiza mikroskopowa przekroju przez typową próbkę dolomitu pokrytą korą gipsową jest pokazana na il. 3 i 4. Grubość warstwy gipsowej wynosi około 0,2 - 0,5 mm. Gips wytrąca się również pod powierzchnią elementu w szczelinach i porach pierwotnej struktury dolomitu. Jego krystalizacja prowadzi do odszczepiania się okruchów dolomitowych i wytworzenia złuszczonej się gipsowo dolomitowej kory.

Jak wykazały badania stref szczególnie zniszczonych, grube, sztywne nawarstwienia gipsu często uniemożliwiają krystalizację siarczanu magnezu na powierzchni elementów (eflorescencję). W osłabionej, złuszczonej się strefie pod korą gipsową, dolomit zawierał nawet 10% wagowych siarczanu magnezu, bez widocznej krystalizacji tej soli na powierzch-



3. Zdjęcie mikroskopowe, analiza na zawartość siarki w przekroju przez próbkę 25, widoczne powierzchniowe nawarstwienie gipsu (kora) zawierające okruchy dolomitowe. Fot. w Hochschule für Angewandte Kunst w Wiedniu

3. Microscopic photograph, an analysis of the sulphur content in a cross section of sample 25, with visible surface layers of gypsum (crusts), containing dolomite particles. Phot. in Hochschule für Angewandte Kunst in Viena



4. Zdjęcie mikroskopowe fragmentu z il. 3, pokazujące jego strukturę. Fot. w Hochschule für Angewandte Kunst w Wiedniu

4. Microscopic photograph of fragment from ill.3, showing its structure. Phot. in Hochschule für Angewandte Kunst in Viena

ni. Krystalizacja w objętości dolomitu przyczynia się do szybkiego pogłębiania się strefy wietrzenia.

Jak zatem wynika z powyższych obserwacji, na mechanizm korozji dolomitu istotny wpływ ma różnicowanie materiału kamiennego. Opisane wyżej odmiany dolomitu cechują się zdecydowanie różną odpornością. Decyduje o niej zarówno porowatość (odmiany porowate są oczywiście bardziej podatne na zniszczenie), jak i struktura kamienia. Najbardziej podatne na korozję są drobnoziarniste komponenty dolomitu, a więc np. spoiwo typu matrix. Jest ono usuwane, powodując dezintegrację ziarnistą. W takich miejscach tworzą się zagłębienia i alweole. Fragmenty kamienia spójone spoiwem typu cementu węglanowego są dużo bardziej odporne i często przechowują relikty pierwotnej powierzchni elemen-

tu architektonicznego. W ten sposób, poprzez wietrzenie selektywne, uwidaczniają się niejednorodności struktury skały, powstałe w trakcie sedimentacji lub dolomityzacji.

Czynnikiem oczywistym jest stopień narażenia na zawilgocenie — spływ wody opadowej i podciąganie kapilarne z gruntu. Strefy intensywnych zniszczeń w górnej części bram pokrywały się z miejscami podciekania wody na gzymsy na skutek nieprawidłowego wykonania blacharki w 1903 r. (zbyt mały kapinos). Strefa głębokich alweoli w węgarach pokrywa się natomiast z zasięgiem podciągania kapilarnego w tych elementach.

Strona wewnętrzna wszystkich bram (kierunek wschodni i północny) była silniej zabrudzona i pokryta naskorupieniami (słabsze spłukiwanie), natomiast zniszczenia były na ogół większe po stronie zewnętrznej (kierunek zachodni i południowy — większe różnice temperatur, więcej cykli zamrażania/rozmarzania i nawilżania/osuszania, akumulacja soli).

Przyczyną większości pęknięć były korodujące łączniki żelazne. W trzonach kolumn występowały również pęknięcia związane z wadami materiału (żyły kalcytowe).

Metody przeciwdziałania

Opisany mechanizm korozji dolomitu pozwala na jednoznaczne sformułowanie dwóch zasadniczych elementów programu konserwatorskiego. Pierwszym z nich jest usunięcie nawarstwień gipsowych, jak i ekstrakcja siarczanu magnezu z miejsc jego kumulacji. Drugim jest trwałe zabezpieczenie oczyszczonych elementów przed penetracją wody, zarówno podciąganej z podłoża, jak i pochodzącej z opadów.

Zniszczony, pozbawiony spoiwości gąbczasty dolomit ze strefy wzmoczonej krystalizacji epsomitu należało wzmocnić przez impregnację środkiem konsolidującym o właściwościach sklejających; ziarna (nodule) dolomitowe podlegające konsolidacji są stosunkowo duże, w zakresie średnic od 0,5 - 2 mm. Wielkość tych ziaren i brak krzemionki sprawia, że preparaty oparte na krzemianach etylu (typu „Wacker Steinfestiger”) nie spełniają należycie tego zadania. Żywice akrylowe mogą skleić należycie „nodule”, lecz ich trwałość w warunkach klimatu polskiego uznano za zbyt małą. Pozostają zatem kompozycje żywicy akrylowych i silikonowych (metoda opracowana przez włoskiego konserwatora Ottorino Nonfarmale¹²) oraz same żywice silikonowe. Dla przedmiotowego zabytku wykonano na fragmentach materiału próby z użyciem preparatu silikonowego produkcji Instytutu Chemii Przemysłowej w Warszawie „Ahydrosil Z”¹³. Próby wykazały bardzo dobrą konsolidację zdestruowanego materiału. Rozsypany się w palcach materiał po zabiegu z trudem dało się przecinać piłą. Jednocześnie uzyskano silną hydrofo-

bizację. Próbką nie impregnowana absorbowała natychmiast wodę, natomiast po zaimpregnowaniu nasiąkliwość po zanurzeniu na 24-godziny wyniosła zaledwie 14% dostępnej przestrzeni porowatej. Literatura przedmiotu podaje 30% wypełnienia jako górny wskaźnik efektywnej hydrofobizacji, a wartość 10% uznaje za wynik bardzo dobry.

Realizacja programu konserwatorskiego

Rozpoczęto ją w lipcu 1992 r. Z uwagi na opisane wyżej uszkodzenia przed oczyszczaniem wstępnie wzmocniono „Ahydrosilem Z” i zabezpieczono opakami z kitu miejsca najbardziej uszkodzone, zwłaszcza w partiach rzeźbiarskich. Przed oczyszczaniem wykonano również część zabiegów odsalających (swobodna migracja soli do rozszerzonego środowiska) w miejscach o najwyższej koncentracji soli, dla uniknięcia jej przemieszczenia przy myciu.

Usunięcie kor zwiertelinowych wykonano kilkoma metodami. Podstawową metodą, jak się okazało najskuteczniejszą, był długotrwały (kilkugodzinny) natrysk rozpylonej wody (nebulizacja) z doczyszczaniem miękkimi szczotkami. Uzupełniającymi metodami były okłady z roztworu kwaśnego węgla amonu (rozpuszczające częściowo gips w korach — najefektywniejsze na płycinach „marmurowych”), oczyszczanie wodą z piaskiem (głównie w partiach cokółowych, nie stosowane natomiast w partiach rzeźbiarskich) oraz mechaniczne doczyszczanie zagłębień i szczególnie grubych kor. Usunięto również większość zaprawy cementowej ze spoin i powierzchni kamienia. Po oczyszczaniu wykonywano dalsze kompresy odsalające, kontrolując efektywność zabiegów poprzez badania laboratoryjne.

Usunięcie siarczanu magnezu z dolomitu okazało się procesem żmudnym, lecz wykonalnym. Strefy kumulacji tej soli wymagały nawet 5 do 6 cykli odsalających, aby osiągnąć redukcję zasolenia poniżej 1%. Trudniejsze okazało się usunięcie gipsu ze szczelin i porów dolomitu. Po 5 cyklach odsalających zawartość tej soli utrzymywała się w wielu próbkach na poziomie 4 - 5 % wagowych.

Istnieje w konserwacji kamienia niepisana reguła, przyjmująca 1% wagowy zawartości wszystkich soli w materiale jako maksymalne dopuszczalne zasolenie. Doświadczenie zdobyte przy konserwacji dolomitu wnosi modyfikację do tej użytecznej reguły: ważne jest również, jakie sole występują w konserwowanym materiale. Siarczan wapnia stanowi niewielkie zagrożenie dla dolomitu. Usunięcie jego nawarstwień jest konieczne ze względów estetycznych i aby otworzyć układ porów kamienia. Prawdziwą solą niszczącą dolomit okazał się siarczan magnezu, jego więc usunięciu poświęcono najwięcej uwagi i pracy.

Po przeschnięciu obiektu, spoinowaniu i wykonaniu części uzupełnień kitem na bazie wapna dołowa-

12. Zob. m.in. L. Lazzarini, M. Laurenzi Tabasso, *Il restauro della pietra*, Padova 1986, s. 219.

13. Jest to 10% roztwór żywicy metylosilikonowej w benzynie lakowej, z utwardzaczem; zob. m.in. P. Rościszewski, M. Zielecka, J.

Borkowski, *Ahydrosil Z silikonowy środek hydrofobizujący uzmacniający do konserwacji zabytków*, „Rocznik PP Pracownie Konserwacji Zabytków 1986”, Warszawa 1990 (materiały z IV Ogólnopolskiego Zjazdu Chemików Konserwatorów, Jachranka 1986).



A



B



C

A. Brama barokowa przed wejściem głównym do Katedry Wawelskiej, stan przed konserwacją. Widoczne czarne kory zuietrzelinowe (wszystkie fot. P. Stępień)

A. Baroque gate in front of the main entrance to the Wawel cathedral, state prior to conservation. Visible black weathering crusts (Photos: P. Stępień)

B. Brama barokowa przed wejściem głównym do Katedry Wawelskiej, stan po konserwacji

B. Baroque gate in front of the main entrance to the Wawel cathedral, state after conservation

C. Brama pd.-zach., wżery (alweole) w lewym węgarku wewnętrznej portali, na granicy strefy podciągania kapilarnego, stan przed konserwacją

C. South-western gate; alveoli in the left wing of the inner portal, on the borderline of the capillary zone, state prior to conservation



D. Brama południowa, zniszczenia gzymsów (złuszczenia) w miejscach podciekania wody opadowej, stan przed konserwacją
D. Southern gate; decay of cornices (flaking) in the places affected by rain water, state prior to conservation



E. Brama południowa, postument środkowego wazonu wieńczącego, w trakcie prac konserwatorskich — usuwanie kor zwietrzelinowych; widoczna erozja materiału
E. Southern gate; pedestal of the central crowning vase, in the course of conservation — the removal of weathering crusts; visible erosion of material



F. Brama południowa, kapitel pd-wsch., stan przed konserwacją — kory zwietrzelinowe i wielkie ubytki
F. Southern gate; south-eastern capital, state prior to conservation — weathering crusts and great losses



G. Brama południowa, kapitel z il.F po konserwacji
G. Southern gate, capital from ill.F, state after conservation

nego, przeprowadzano podstawową impregnację wzmacniająco hydrofobizującą preparatem „Ahydrosil Z”; ze względów praktycznych impregnacja każdej z bram musiała być rozłożona na kilka dni. Impregnowano całość materiału kamiennego (dolomit, wapień jurajski i wapień pińczowski) z wyjątkiem płyt „marmurowych”. Zróżnicowanie materiału powodowało oczywiście duże zróżnicowanie zużycia preparatu w poszczególnych elementach; nasączenie prowadzono aż do objawów pełnego nasycenia. Pełne zużycie wyniosło przeciętnie 60 l na każdą z bram. Po impregnacji wykonywano kity z mączką kamienną na bazie „Adhesilu K1”¹⁴; tę technologię uzupełnień stosowano zasadniczo tylko do partii rzeźbiarskich. Większe ubytki uzupełniano przez taszowanie — w gzymsach i filarach taszlami z dolomitu, w kapitelach z wapienia pińczowskiego. Użycie tych ostatnich uzasadniały poprzednie naprawy wykonane z tego samego materiału. Taszle osadzano na żywicy epoksydowej i bolcach mosiężnych; oczywiście taszle również impregnowano. W pęknięcia wykonano zastrzyki żywicy epoksydowej i klejów silikonowych¹⁵. Płyciny „marmurowe” zabezpieczono pastą na bazie wosku mikrokrystalicznego; na płytach z „Dębniaka” dodatkowo zastosowano podkład z oleju parafinowego.

Istotnym zabiegiem było kolorystyczne opracowanie całego obiektu. Badania wykonane przez mgr. Pawła Karaszkiewicza wykazały, że kamień był w przeszłości zabezpieczony przez nasączenie olejami lub pokostami, co spowodowało żółtawe przebarwienia o różnej intensywności. Jednoznacznie zidentyfikowano ślady czerwonej warstwy malarskiej (czerwień żelazowa), podkreślającej górną krawędź gzymsów pochyłych. Natomiast ślady o zabarwieniu brunatnym (na trzonach kolumn) i zielonkawym (w partii belkowania i przyczółka) nie zostały jednoznacznie zinterpretowane. Z tego powodu przyjęto zasadę pozostawienia tych śladów w formie reliktowej. Uzupełnienia (nowe boczne wazony w bramie południowo-zachodniej, taszle, kity i spoinowanie) scalono kolorystycznie (podbarwiono na spoiwie silikonowym) podkreślając barokową wielobarwność obiektu, uzyskaną przez zastosowanie różnych materiałów w poszczególnych elementach architektonicznych, lecz z jednoczesnym ujednoliceniem barwy w obrębie tych elementów. To ostatnie wymagało podbarwienia na kolor zbliżony do dolomitu także wspomnianych bloków wapienia jurajskiego. Takie opracowanie kolorystyczne wydaje się najbardziej zbliżone do pierwotnego zamysłu twórcy i stylu epoki.

Dla wyeliminowania podciągania kapilarnego w dolnych elementach węgarów wewnętrznych portalu, niefortunnie wymienionych w 1903 r. z użyciem porowatego dolomitu, program konserwatorski prze-

widywał wstawienie bloków z nienasiąkliwego wapienia jurajskiego. W trakcie prac Komisja Konserwatorska stwierdziła jednak, że wymagałoby to zbyt dużej ingerencji, związanej z poważnymi problemami konstrukcyjnymi. Zamiast wymiany zastosowano injekcję mikroemulsji silikonowej¹⁶ („Funcosil Hydroimpregnerung” prod. Remmers-Chemie RFN) w otwory nawiercone u dołu węgarów, dla wytworzenia przepony przeciwwilgotnościowej. Ubytki uzupełniono kitem.

Ważnym elementem prac było wykonanie nowej blacharki na przyczółku. Wykonano ją ponownie z blachy miedzianej, lecz stosując głęboki i wyraźnie odstawiony od kamieniarki kapinos oraz dodatkowe elementy wymuszające oderwanie wody od krawędzi dachu w narożach. Wyeliminowano oczywiście łączniki żelazne, a styk blachy z kamieniem uszczelniono elastyczną masą kauczukową.

Uzupełnieniem prac przy bramie była konserwacja ozdobnych krat w bramie południowo-zachodniej i południowej. Całość prac wykonana została pod kierunkiem mgr. inż. arch. Piotra Stępnia przez Pracownię Konserwacji Zabytków SA w Krakowie (Zespół Konserwacji Architektury Wawelu¹⁷, Pracownię Konserwacji Metalu i towarzyszące zespoły budowlane). Oprócz autorów badań, prace były konsultowane przez dr. Ireneusza Płuskę z Wydziału Konserwacji Dzieł Sztuki ASP w Krakowie. Prace przy ostatniej (południowej) bramie zakończono w lipcu 1993 r.

Istotnym elementem całości programu konserwatorskiego, z uwagi na jego nowatorski charakter, jest obserwacja obiektów po konserwacji. Dotychczasowe obserwacje potwierdzają słuszność przyjętej technologii. W kilku niewielkich fragmentach wystąpiły drobne wysolenia, wymagające dodatkowych zabiegów odsalających. Ze względu na mobilność siarczynu magnezu, z takimi dodatkowymi zabiegami należy się liczyć przy każdym większym obiekcie z dolomitu. Zdecydowanie poprawił się spływ wody opadowej z daszku. Nie ma objawów ponownej destrukcji w węgarach, co wskazuje na skuteczność przepony wykonanej metodą injekcji.

Wnioski końcowe

Specyficzne problemy konserwacji dolomitu związane są z obecnością związków magnezu. Na pierwotny proces kwaśnej korozji nakłada się wtórny, ale bardzo istotny — w gruncie rzeczy bardziej niszczący — proces migracji i krystalizacji produktów korozji (głównie soli magnezowych). Proces konserwacji obiektów z dolomitu musi zatem uwzględniać ekstrakcję tych soli. Badania wykonane przy konserwacji barokowych bram katedry na Wawelu wykazują, że metoda swobodnej migracji soli do rozszerzonego

14. „Adhesil K1” jest roztworem żywicy metylosilikonowej analogicznej do „Ahydrosilu Z”, lecz o większym stężeniu. Dotychczas rozprowadzany preparat zawierał 30% żywicy w roztworze. W trakcie prac przy bramkach testowano udośćpnioną przez prof. P. Rościszewskiego nową odmianę tego preparatu (K12/6) zawierającą 40% żywicy i nowy utwardzacz „BA 25”. Odmiana ta, obecnie wprowadzana do sprzedaży, charakteryzuje się lepszą plastycznością kitu i mniejszym skurczem. Utwardzacz zawiera dodatki odkażające.

15. „Adhesil K2” i „Adhesil K12/7” dostarczone przez IChP Warszawa
16. zob. m.in. J. Ciabach, *Mikroemulsje silikonowe - najnowsze środki do hydrofobizacji materiałów budowlanych*, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki”, 1992, nr 2(9), s. 17, 24.
17. Oprócz kierownika zespołu P. Stępnia w pracach uczestniczyli m.in. A. Limanówka, V. Hajduk, A. Wojtasik, R. Indyka.

środowiska jest skuteczna, jakkolwiek dopiero przy wielokrotnym powtórzeniu. Przy mniejszych obiektach wydajną metodą może być dializa membranowa. Zabezpieczenie obiektu winno obejmować bardzo staranne rozwiązanie spływu wody, odcięcie dopływu wody gruntowej i pełną hydrofobizację obiektu. Struktura fizykochemiczna dolomitu sprawia, że najlepszą konsolidację i hydrofobizację materiału uży-

kuje się z użyciem żywic silikonowych. Alternatywną metodą może być użycie mieszanki żywic silikonowych i akrylowych. Przy uzupełnieniach i wymianie elementów z dolomitu należy przeprowadzić staranną selekcję materiału, używając odmian odpornych na zniszczenie, tj. o małej porowatości i małej zawartości komponentów drobnokrystalicznych.

Problems of the conservation of dolomitic architectural objects, as illustrated by the case of the Baroque gates of the Wawel Cathedral

Dolomite has been rarely studied by conservation scientists. The authors' research has been carried out during the conservation (1992-1993) of three Baroque gates in the wall enclosing the Royal Cathedral at the Wawel Castle, Cracow, Poland. The gates were built between 1617 and 1619, probably according to the design of an Italian architect Giovanni Battista Trevano from Lugano. Dolomite is the principal material used in these gates.

The research has identified in the object several types of dolomite, showing varying resistance to weathering. The mechanism of decay involves acidic corrosion due by sulphur dioxide contained in the polluted air. In contrast to the corrosion of limestone, the corrosion of dolomite yields two reaction products: calcium sulphate (gypsum) and magnesium sulphate (epsomite). Magnesium sulphate is extremely soluble in water. It dissolves and migrates easily in the object and crystallises when the stone dries. Repeated dissolution-crystallisation cycles of this salt are the main cause of the decay of dolomite. Symptoms of this decay are deep alveoli, pulverisation and flaking. Furthermore thick black crusts containing gypsum are formed in the non-washed areas. The described process of destruction proceeds differently in different types of dolomite. The porous types and/or those containing many of fine-grained components are much affected. An important damaging

factor is exposure to rain water and rising dampness - the corrosion zones in the object are clearly linked to a high moisture content.

Conservation of dolomitic architectural objects must involve extraction of soluble salts, specially of magnesium sulphate. Poulting (cellulose + water) proved an efficient method, but the poultices had to be applied 5-6 times to obtain the reduction of the salt content to levels below 1 weight %. Another important point of the conservation is protection from water. In the case of the gates, new proper roofing of copper leaf and injections at the base of the gate (to obtain insulation against rising damp) were made. The whole surface of the stone was impregnated to obtain water-repellency. A solution of silicone resin (Polish product Ahydrosil Z) was used, both for water-repellency and consolidation. Another possibility is a mixture of acrylic and silicone resins (the method of O. Nonfarmale). Acrylic resins were found insufficiently resistant in Polish climate and silica esters ineffective in the consolidation of relatively large „nodules” of dolomite. It is important also to choose properly the material for repairs, avoiding the „bad” types of dolomite mentioned above. Lime mortars (with some hydraulic additions) and stone powders with a silicone preparation (Adhesil K1) were used as filling mortars.