

STAN ZACHOWANIA WAPIENIA PIŃCZOWSKIEGO ZASTOSOWANEGO W DEKORACYJNYCH ELEMENTACH ARCHITEKTONICZNYCH KOŚCIOŁA MARIACKIEGO W KRAKOWIE*

Kraków, któremu z uwagi na wyjątkowe walory architektoniczne przyznano tytuł Europejskiego Miasta Kultury Roku 2000, posiada wiele cennych, zabytkowych budowli, głównie sakralnych, wykonanych z różnego rodzaju materiałów budowlanych. Początkowo był to lokalny surowiec skalny, który w gotyku został częściowo wyparty przez cegłę, pozostając jednak doskonałym materiałem dla różnego rodzaju wykończeń, detali architektonicznych i rzeźb.

Od wielu lat obserwuje się w zanieczyszczonej atmosferze Krakowa przyspieszone tempo procesów niszczenia, głównie wapiennych budowli zabytkowych. Niejednokrotnie występują w nich dekoracyjne elementy architektoniczne, przeważnie o unikalnym charakterze, które poddane bezpośredniemu oddziaływaniu czynników zewnętrznych, ulegają w różnym stopniu niszczeniu.

Spośród licznych detali architektonicznych, występujących w zewnętrznej elewacji kościoła Mariackiego, do badań wybrano aktualnie konserwowane kwiatony, wykonane z wapienia pińczowskiego. Stanowią one wsporniki nasady gotyckich żeber, w formie pęków stylizowanych kwiatów lub liści. Usytuowane są tuż pod dachem na elewacji północnej nawy bocznej. Pierwotnie były częściowo osłonięte dachem ołowianym, a od remontu w latach 1739–1741 dachem miedzianym¹.

Czynniki wpływające na procesy niszczenia wapiennych elementów dekoracyjnych

Rozpoznanie czynników przyspieszających procesy niszczenia skalnych surowców budowlanych ma istotne znaczenie nie tylko poznawcze, ale przede wszyst-

kim jest ono celowe i konieczne dla właściwej konserwacji kamienia.

Jedną z głównych przyczyn niszczenia kamienia są czynniki antropogeniczne i klimatyczne. Te ostatnie to temperatura i wilgotność powietrza, zamglenie, zachmurzenie i opady atmosferyczne. Wiążą się one bezpośrednio z insolacją, zmianami temperatury oraz wilgotności względnej powietrza i działaniem zamrozu. Najgroźniejszymi z nich są gazowe i pyłowe zanieczyszczenia atmosfery, które w połączeniu z dużą wilgotnością powietrza oddziałują destruktywnie na zwarłą zabudowę zabytkowego Krakowa².

Do najbardziej agresywnych czynników antropogenicznych należy zanieczyszczenie atmosfery miejskiej związkami fluoru i dwutlenkiem siarki. Już przy 60% wilgotności względnej powietrza, SO₂ reaguje z wodą tworząc kwas siarkawy, który częściowo utlenia się do kwasu siarkowego, powodującego bardzo silną korozję kamienia. Szczególnie niebezpieczne jest jego oddziaływanie na wapień, węglany bowiem przechodzą w formy siarczanowe, głównie gips. Krystalizujące w porach kamienia jego kryształy oddziałują mechanicznie, powodując destrukcję skały. Na proces ten wpływają katalitycznie głównie tlenki azotu (NO_x)³ oraz cząstki sadzy, szklivi glinokrzemianowych i niektóre metale zawarte w popiołach lotnych⁴.

Tlenki azotu pełniące aktywną rolę w krystalizacji siarczanów, w obecności ozonu i wody mogą przechodzić także w kwas azotowy, który tworzy w reakcji ze skałą związki rozpuszczalne, a przez to łatwo z niej wymywalne. Proces ten może również prowadzić do rozpadu skały.

Do czynników antropogenicznych, mających niekiedy znaczny wpływ na niszczenie kamiennych obiektów,

* Autorzy wyrażają serdeczne podziękowanie Panu Kazimierzowi Sulskowi, który aktualnie wykonuje prace konserwatorskie w kościele Mariackim. Dzięki Jego uprzejmości było możliwe pobranie próbek do badań.

Praca zrealizowana została w ramach prac własnych nr 10.10.140.323 w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Złóż Surowców Skalnych, finansowanych przez Komitet Badań Naukowych.

1. *Katalog zabytków sztuki w Polsce*, t. IV: *Miasto Kraków*, cz. II: *Kościół i klasztor Śródmieście*, pod red. A. Bochnaka i J. Samka, Instytut Sztuki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 1971.

2. A. Manecki, M. Chodkiewicz, S. Konopacki, *Wyniki mineralogicznych badań zakresu i przyczyn niszczenia kamiennych elementów zabytkowych budynków Krakowa*, „Zeszyty Naukowe AGH — Sozologia i Sozotechnika”, 1, Kraków 1982; A. Manecki, Z. Kłapy-

ta, M. Schejbal-Chwastek, A. Skowroński, J. Tarkowski, M. Tokarz, *Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń atmosfery na zmiany środowiska przyrodniczego*, „Prace Mineralogiczne” 1981, nr 71; M. Manecki, M. Marszałek, *Zanieczyszczenie atmosfery w Krakowie*, Cykl: *Problemy ekologiczne Krakowa*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1993; W. Wilczyńska-Michalik, *Z badań mineralogicznych pyłów emitowanych przez Hutę im. Lenina w Krakowie*, „Prace Mineralogiczne” 1981, nr 68.

3. M. Marszałek, *Mineralogiczno-chemiczne badania wpływu antropogenicznych zanieczyszczeń atmosfery na niszczenie kamiennych elementów zabytkowych budowli Krakowa*, Kraków 1992, praca doktorska, Archiwum Zakładu Geochemii i Mineralogii AGH Kraków.

4. W. Wilczyńska-Michalik, M. Michalik, *Deterioracja materiałów skalnych w budowlach Krakowa*, „Przegląd Geologiczny”, vol. 43, 1995, nr 3.

tów zabytkowych, należy także wzajemne oddziaływanie materiałów budowlanych, błędy konstrukcyjne czy wręcz niewłaściwie przeprowadzona konserwacja.

Brak rynien, rur spustowych lub niewłaściwie wykonany system odprowadzania wody powoduje, że zabytkowa ściana może być poddawana działaniu spływających z dachu wód, wzbogaconych w pierwiastki pochodzące z korodowanych blach, np. miedzianych, ołowianych czy stalowych. Powoduje to powstawanie zbitych nawarstwień na powierzchni skały, które przyspieszają jej deteriorację.

Stosowane do łączenia elementów lub uzupełniania ubytków niewłaściwe materiały, sporządzone głównie na bazie silnych zapraw cementowych lub środków chemicznych, takich jak żywice, związki krzemorganiczne, wprowadzają do skały wiele szkodliwych soli działających destrukcyjnie na obiekt zabytkowy.

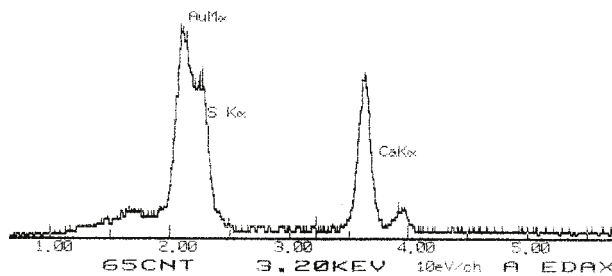
Mniej groźne zniszczenia kamienia wapiennego wywołane są przez korozję biologiczną w wyniku zasiedlenia powierzchni skał i warstw przypowierzchniowych przez mikroorganizmy takie jak bakterie, grzyby, glony i porosty. Niszczenie biologiczne może odbywać się w sposób fizyczny oraz chemiczny na skutek rozpuszczania warstwy przypowierzchniowej przez produkty metabolizmu: kwasy organiczne i nieorganiczne.

Zespół wymienionych czynników niszczących, działających przez dłuższy czas doprowadzić może nie tylko do zniszczenia reliefu, ale też do całkowitego zniszczenia formy, w zależności od wykształcenia strukturalnego wapienia, jego obróbki i usytuowania w obiekcie zabytkowym⁵.

Zmiany mikrostrukturalne elementów wapiennych w strefie oddziaływania zanieczyszczeń atmosfery

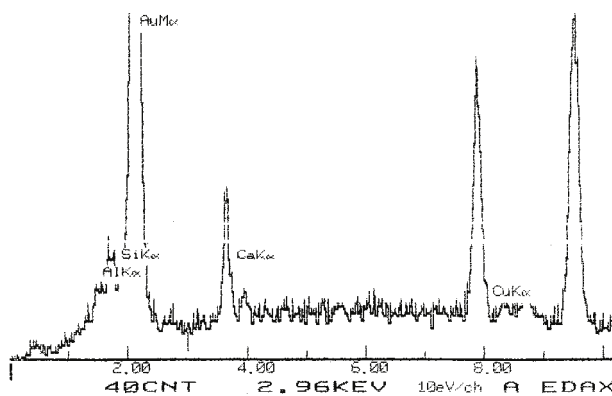
W zależności od stopnia zniszczenia elementów wapiennych, odzwierciedlającego się w zmianach mikrostruktur i składu mineralnego, wydzielono strefę nawarstwień zewnętrznych oraz wewnętrznych.

Strefa nawarstwień zewnętrznych. Wykazuje zmienną grubość, w granicach kilku milimetrów, występując na elementach wapiennych, osłoniętych przed bezpośrednim omywaniem wodami opadowymi, bądź narażonych na oddziaływanie wód spływających z dachu. Powierzchnia tego nawarstwienia barwy szaroczarnej składa się z ziarn naturalnych i antropogenicznych pyłów oraz sadzy, pochodzących ze źródeł przemysłowych, jak również lokalnych palenisk domowych. Wymienione składniki mają zdolność do adsorpcji kwasów i innych agresywnych substancji chemicznych, co doprowadziło do powstania miejscami głębszych wżerów, wchodzących w głąb wapienia. Ciemna barwa tej strefy jest również związana z obecnością mikroorganizmów. W głębszej części tego nawarstwienia obser-



1. Dyfraktogram z mikroanalizy rentgenowskiej naskorupienia gipsowego w strefie zewnętrznej wapienia pińczowskiego, pochodzącego z kwiatonu kościoła Mariackiego

1. Diffractogramme from an X-ray analysis of gypsum crust in the outer sphere of Pińczów limestone, from a fleuron in the church of the Holy Virgin Mary



2. Dyfraktogram z mikroanalizy rentgenowskiej naskorupienia malachitu w strefie zewnętrznej wapienia pińczowskiego, pochodzącego z kwiatonu kościoła Mariackiego

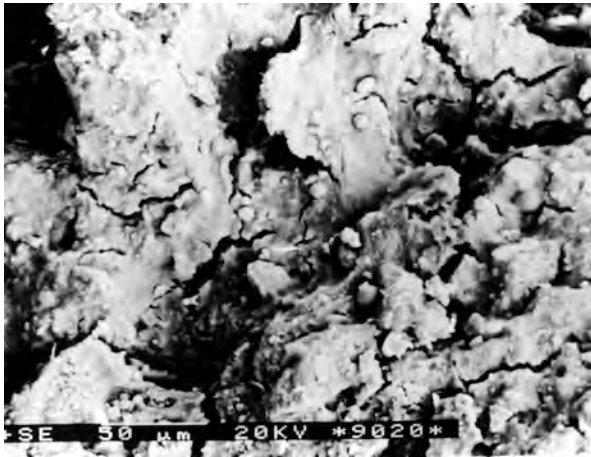
2. Diffractogramme from an X-ray analysis of malachite crust in the outer sphere of Pińczów limestone, from a fleuron in the church of the Holy Virgin Mary

wuje się szarobiałe naskorupienia gipsowe (il. 1) o zróżnicowanej grubości, uzależnionej od porowatości wapienia i usytuowania powierzchni. W odmianie o mniejszej porowatości utworzyła się grubsza warstwa gipsu.

W częściach kwiatonów, poddanych oddziaływaniu spływających z dachu wód deszczowych, stwierdzono dodatkowo obecność ciemnozielonego nawarstwienia. Zbudowane jest ono z uwodnionego węglanu miedzi (malachitu) (il. 2), który tworzy nieregularne, spękanie naskorupienia (il. 3–4), przechodzące ku wnętrzu wapienia w drobne, blaszkowe, miejscami kłaczkowate formy (il. 5). Malachit tworzy również ziarniste agregaty, powstałe w wyniku spajania ziarn mikrytu (il. 6). Obecność naskorupień spowodowała uszczelnienie powierzchni skały stanowiąc pozorne wzmocnienie jej struktury. Często jednak na granicy wapień–naskorupienie, w wyniku działania czynników fizycznych typu

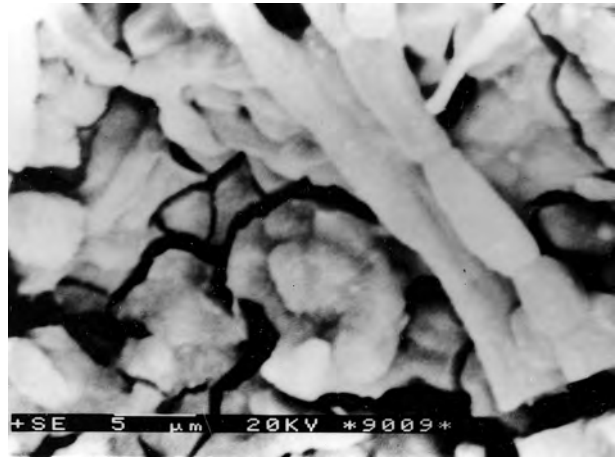
5. J. Magiera, R. Kozłowski, J. Haber, *Niszczenie wapienia pińczowskiego w zabytkach Krakowa* „Rocznik Krakowski” 1990; W. Wilczyńska-Michalik, M. Michalik, *Mineral Composition and Structure*

of Crusts on Dolomitic Building Materials in Urban Atmosphere in Kraków, „Mineralogia Polonica”, vol. 22, 1990, no. 2.



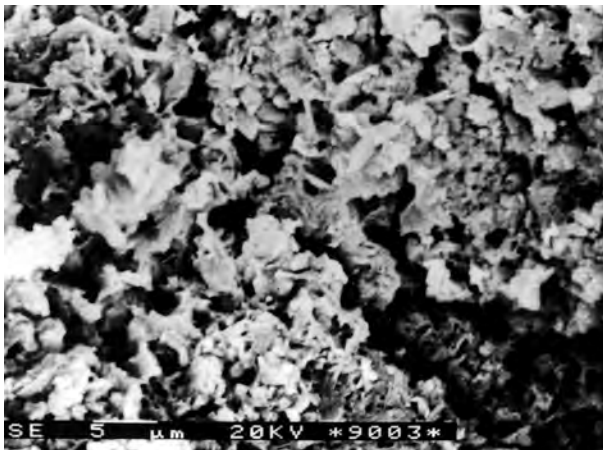
3. Mikrofotografia SEM zniszczonego wapienia pińczowskiego z kwiatonu kościoła Mariackiego. Nieregularne naskorupienia malachitu, tworzącego narost zewnętrzny. Wszystkie fot. A. Smoleńska i M. Rembiś

3. SEM microphotograph of damaged Pińczów limestone from a fleuron in the church of the Holy Virgin Mary. Irregular crusts of malachite, creating an outer accretion. All photos: A. Smoleńska and M. Rembiś



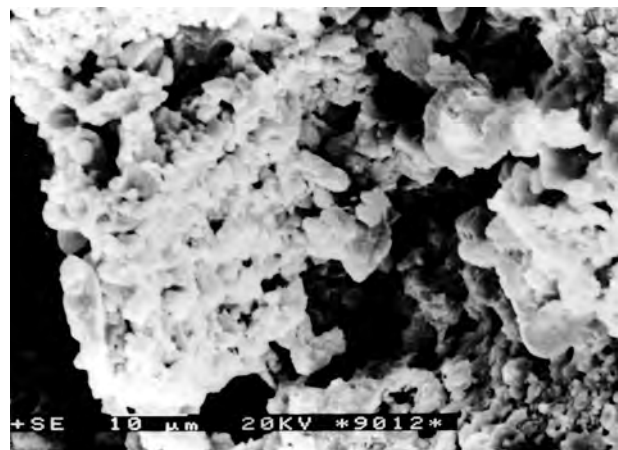
4. Fragment silnie spękanego nawarstwienia malachitowego, z występującą na jego powierzchni nitkowatą formą organiczną

4. Fragment of heavily cracked malchite build up, with a net organic form occurring on its surface



5. Fragment strefy zewnętrznej wykazującej większą porowatość i mniejszą zwięzłość, na skutek wypłukania węgla wapnia i krystalizacji malachitu o formach blaszkowatych, miejscami kłaczkowatych

5. Fragment of the outer sphere indicating greater porosity and lesser cohesion due to the rinsing out of calcium carbonate and the crystallisation of malachite with laminar and, in places, flocculent forms



6. Ziemiste agregaty powstałe w wyniku spajania ziarn mikrytu węglanowego malachitem

6. Grainy aggregates, the outcome of the binding grains of micrinite carbonate with malachite

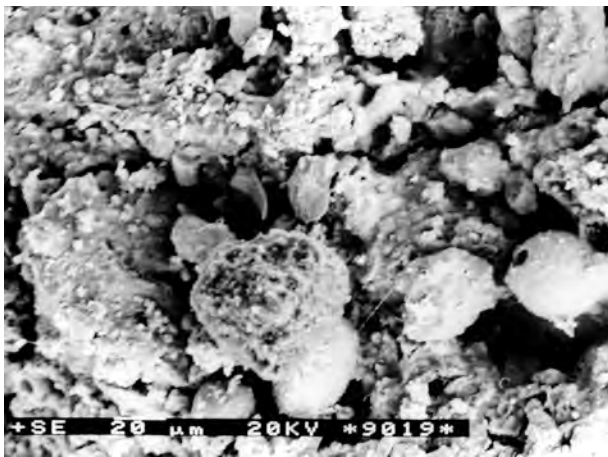
zamrozu i nasłonecznienia, zachodziło odspajanie tej części wapienia.

Strefa nawarstwień wewnętrznych. W częściach kwiatonów poddanych oddziaływaniu wód deszczowych, w przypowierzchniowej warstwie wapienia, doszło do rozpuszczania mikrytu kalcytowego, stanowiącego znaczny udział w spoiwie tego wapienia. Proces ten zachodził pod wpływem kwaśnych wód opadowych i przy współudziale krzemionki, pochodzącej z rozpuszczanych ziarn kwarcu. W efekcie tych zjawisk doszło w przestrzeni porowej do krystalizacji gipsu, tworzącego nawarstwienia wewnętrzne. W przy-

padku dużej ilości gipsu, wzrost jego objętości doprowadzał do rozsadzania wapienia.

W kwiatonach narażonych na częste i intensywne przemrywanie rozpuszczany węgiel wapnia nie był w pełni zastępowany gipsem, względnie wykrystalizowany gips był wypłukiwany, co w konsekwencji w pewnych miejscach doprowadziło do rozpadu granulowanego wapienia (il. 7).

Na powierzchni wapienia, budującego kwiatony, jak również w jego warstwach podpowierzchniowych gromadziły się mikroorganizmy, głównie bakterie, glony i grzyby o formach analogicznych przedstawionych



7. Proces rozpadu granularnego wapienia w wyniku wypłukiwania gipsu, którego jedynie fragmenty pozostały w przestrzeni porowej

7. The disintegration of granular limestone due to the rinsing out of gypsum, whose fragments remained in the porous space

przez S. Leźnicką i J. Łukaszewicza⁶. Wnikały one chętnie w głębsze strefy, gdzie wzrastały i zarodnikowały w przestrzeni porowej wapienia (il. 8). W połączeniu ze zwiększoną higroskopijnością i nasiąkliwością tej części skały, doszło jedynie do jej częściowej biodegradacji.

Czynniki mikrobiologiczne nie miały zatem w tym przypadku dużego wpływu, pomimo iż skały te wykazują większą podatność na ten rodzaj niszczenia⁷.

Nowe masy do uzupełniania ubytków w wapieniu pińczowskim

Specyfika obszaru krakowskiego wymaga odpowiedniego programu badań oraz działań konserwatorskich, gdyż wskutek wielokrotnego przekroczenia norm zanieczyszczenia środowiska atmosferycznego, obiekty zabytkowe wykazują niekiedy tragiczny stan zachowania. Właściwe zapobieganie niszczeniu zabytkowych obiektów kamiennych jest bardzo ważne dla zachowania naszego dziedzictwa kulturowego.

Opisywane kwiatony, stanowiące elementy dekoracyjne kościoła Mariackiego, wykazują zniszczenia jedynie przypowierzchniowe do głębokości około 4 mm. Strefa zmian odznacza się osłabieniem struktury głównie w wyniku rozpuszczania i wypłukiwania węgla wapnia, a następnie krystalizacji gipsu i jego późniejszego usuwania. Mniejszy wpływ na deteriorację wa-



8. Wzrost nitkowatych form grzybów w strefie przypowierzchniowej wapienia

8. Increase of fungi net forms in the surface sphere of the limestone

pieni ma działalność mikroorganizmów oraz krystalizacja malachitu w jego strefie zewnętrznej.

W badanych kwiatonach niezbędne jest usunięcie nawarstwienia zewnętrznego oraz resztek siarczanów z przestrzeni porowej poprzez oczyszczenie mechaniczne. Kolejnym zabiegiem winno być przeprowadzenie strukturalnego wzmocnienia tej części skały impregnatami o dużych właściwościach penetracyjnych i nie tworzących warstw uszczelniających powierzchnię⁸.

Brakujące fragmenty kwiatonów najlepiej jest uzupełniać kitami o właściwościach zbliżonych do tego typu wapienia pińczowskiego i nie wprowadzających do skały szkodliwych soli. Proponuje się zastosowanie masy mineralnej opracowanej specjalnie dla rekonstrukcji różnych odmian wapienia pińczowskiego⁹, co wpłynie na wysoką skuteczność prac rewaloryzatorskich. W zakresie właściwości fizycznych masa bardzo dobrze odwzorowuje cechy wapienia i stwarza jednocześnie duże możliwości ich regulacji w zależności od oczekiwań odbiorcy. Z tego względu może być także stosowana do produkcji detali architektonicznych oraz prefabrykacji betonów dekoracyjnych.

Zaproponowana masa mineralna przeznaczona do uzupełniania ubytków w wapieniu pińczowskim stanowi jeden z elementów zestawu mas, do których należą już zaprawy opracowane dla różnych odmian piaskowców karpaccich¹⁰ oraz wapieni jurajskich¹¹.

6. S. Leźnicka, J. Łukaszewicz, *Badania wzrostu grzybów i glonów na wapieniach i piaskowcach impregnowanych żywicami krzemorganicznymi*, (w:) *Naukowe podstawy ochrony i konserwacji dzieł sztuki oraz zabytków kultury materialowej*, Toruń 1993.

7. S. Leźnicka, *Rola drobnoustrojów w niszczeniu zabytków z kamienia*, „Postępy Mikrobiologii”, 30, 1991.

8. I. Pluska, *Konserwacja kamienia*, „Renowacje” 1998, nr 2.

9. Projekt celowy nr 3 3008 94C/2185 „Opracowanie technologii produkcji mas mineralnych służących do uzupełniania ubytków

w obiektach zabytkowych”, finansowany przez KBN. Kierownik projektu: dr inż. Anna Smoleńska, Kraków 1995–1999.

10. A. Smoleńska, W. Brylicki, M. Rembiś, *Rekonstrukcja piaskowcowych kamieni zabytkowych Krakowa nowymi masami mineralnymi Reno SUPERBET*, „Renowacje” 1998, nr 4.

11. A. Smoleńska, M. Rembiś, *Zmiany mikrostrukturalne wapieni jurajskich, użytych w wybranych obiektach zabytkowych, jako efekt antropogenicznych zanieczyszczeń atmosfery*, „Ochrona Zabytków” 1999, nr 1.

The State of the Preservation of Pińczów Limestone Applied in Decorative Architectonic Elements of the Church of the Holy Virgin Mary in Cracow

The polluted atmosphere of Cracow enables us to observe an accelerated rate of devastation incurred to historical limestone buildings, often of unique rank. Those objects, subjected to the direct impact of external factors, suffer from assorted degrees of damage.

The study concerns select fleurons, at present undergoing conservation, made of Pińczów limestone and situated on the external elevation of the church of the Holy Virgin Mary.

The destruction of the examined decorative limestone elements occurred both in the surface sphere, where new minerals crystallised, creating an inner accretion, and in the inner sphere, where assorted types of surface build up came into being.

The outer build up and remnants of sulfates should be removed from the porous area by means of cleansing. Here, it is recommended for the stone to be structurally reinforced by impregnants of considerable penetration properties, which, additionally, do not produce layers sealing the surface.

The missing fragments of the fleurons should be supplemented with mineral masses specially designed for the reconstruction of different variants of Pińczów limestone.

This undertaking will result in highly effective revalorisation, since such masses emulate the features of limestone and, at the same time, offer extensive opportunities for their regulation depending on the expectations of the recipient.