

## WPŁYW WYKSZTAŁCENIA WAPIENI LOTUS BEIGE NA STAN ICH ZACHOWANIA W WYBRANYCH OBIEKTACH KRAKOWA

### THE EFFECT DEVELOPMENT OF THE LOTUS BEIGE LIMESTONES AS A FACTOR CONTROLLING THEIR PRESERVATION IN SOME HISTORIC SITES OF KRAKÓW

MAREK REMBIŚ<sup>1</sup>, ANNA SMOLEŃSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono charakterystykę litologiczną wapieni tureckich Lotus Beige, które od kilkunastu lat są stosowane w renowacji obiektów historycznych oraz w obecnym budownictwie Krakowa. Ulegają one jednak destrukcji, co pokazano na przykładzie trzech miejsc ich zastosowania. W celu stwierdzenia zmian, jakie powstały na powierzchni i wewnątrz wapieni, wykonano szczegółowe badania makroskopowe, w mikroskopie optycznym i w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) oraz analizę EDS. Wskazano tę odmianę wapienia, która zachowuje się najlepiej w polskim klimacie oraz przedstawiono warunki, jakie muszą być spełnione do jej długotrwałego użytkowania.

**Słowa kluczowe:** wapień Lotus Beige, deterioracja, budowle Krakowa.

**Abstract.** The authors present lithological characteristic of the Turkish limestones Lotus Beige that for fifteen or so years have been used in both renovation of historic buildings and current constructions of Kraków. However, the limestones are prone to destruction and this has been shown at the example of three selected sites. The destruction changes on the surface and inside the limestones have been detected in detailed hand specimen observations, and also applying instrumental methods: optical microscopy, scanning microscopy (SEM) and spot chemical analysis (EDS). The results have allowed identifying the variety of the Lotus Beige limestones the best suited to the Polish climate and the conditions that must be met to secure its long-lasting utilisation.

**Key words:** Lotus Beige limestones, deterioration, buildings of Kraków.

## WPROWADZENIE

Wapień Lotus Beige, znane też pod innymi handlowymi nazwami jako: Crema Marfil Beige, Rosalia Beige oraz Crema Rosalia, od kilkunastu lat dość często są wykorzystywane w budownictwie Krakowa. Znajdują zastosowanie zarówno w nowo wznoszonych obiektach, jak też w renowacji historycznych nawierzchni placów i dziedzińców. O popularności tych skał decyduje ich jasne zabarwienie, nawiązujące w opi-

nii architektów i projektantów do wapieni jurajskich pochodzących ze złóż zlokalizowanych w okolicach Krakowa i od stuleci powszechnie obecnych w jego budowlach. Deklarowane przez producentów wielkości właściwości fizyczno-mechanicznych wskazują, że wapień te powinny być odporne na zmienne warunki atmosferyczne oraz zróżnicowane czynniki antropogeniczne, jakim elementy kamienne mogą być

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geologii Złóżowej i Górnictwej, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: smolensk@geol.agh.edu.pl

poddane w trakcie ich użytkowania. Jednak jak wskazują obserwacje, częstym zjawiskiem jest zaawansowana dezintegracja tego materiału kamiennego. W związku z tym istotna staje się odpowiedź na pytanie, czy należy stosować te wapienie w naszych warunkach klimatycznych, a także czy niszczenie tych skał wynika z litologii, czy ze specyfiki warunków, w jakich odbywa się ich użytkowanie.

Ocenę stanu zachowania wapieni Lotus Beige wykonano na przykładzie materiału kamiennego zastosowanego w Krakowie w Ołtarzu Trzech Tysiącleci na Skałce oraz w nawierzchniach placu Mariackiego i dziedzińca arkadowego Zamku Królewskiego na Wawelu.

Ołtarz Trzech Tysiącleci, wzniesiony na Skałce w 2008 r., zajmuje powierzchnię około 1000 m<sup>2</sup>. Jego tylną ścianę stanowi siedem filarów o wysokości 8 m (fig. 1A). Przy trzech centralnych filarach wykonanych z bloków wapienia o różowym zabarwieniu umieszczono postacie męczenników i duchowych opiekunów trzech kolejnych tysiącleci: św. Wojciecha, św. Stanisława i bł. Jana Pawła II. Cztery kolejne rzeźby, których tłem są filary wyrzeźbione z jasnobieżowego wapienia, przedstawiają świętych w szczególności sposób związanych z Krakowem lub zakonem paulinów. Są to: św. Jadwiga, św. Faustyna, św. Jan Kanty i o. Augustyn Kordecz-



**Fig. 1. Przykłady zastosowania wapieni Lotus Beige w obiektach Krakowa**

**A.** Ołtarz Trzech Tysiącleci na Skałce wykonany z wapieni Lotus Beige – widok ogólny. **B.** Ołtarz Trzech Tysiącleci na Skałce – filary wykonane z bloków wapieni Lotus Beige, którym nadano fakturę cięto-lupaną; płyty cokołu mają polerowane powierzchnie, natomiast na schodach i chodnikach zastosowano fakturę szlifowaną kolistą. **C.** Nawierzchnia placu Mariackiego pokryta płytami wapieni Lotus Beige o różnych rozmiarach, ułożonych w regularne pasy. **D.** Dziedzińiec arkadowy Zamku Królewskiego na Wawelu – obramowanie nawierzchni oraz pasy odprowadzające wodę do studzienek zostały wykonane z płyt kilkakrotnie większych od zastosowanych w pozostałej części dziedzińca

Examples of use of the Lotus Beige limestones in the buildings of Kraków

**A.** The Altar of Three Millennia at Skałka made of the Lotus Beige limestones – a general view. **B.** The Altar of Three Millennia at Skałka – the pillars made of the Lotus Beige limestone blocks reveal the cut-and-split texture; the slabs of the plinth have been polished, whereas the slabs of the stairs and pavements also polished but with a circular pattern. **C.** The cobble pavement of the Mariacki Square – slabs of the Lotus Beige limestone with various sizes have been set in regular rows. **D.** Arcaded courtyard of the Royal Wawel Castle – borders of the pavement and its sections directing water to drains have been cut of the slabs several times bigger than those used in the remaining parts of the courtyard

ki. Posadzka i chodniki są wyłożone płytami o różnych rozmiarach i w kilku odmianach barwnych.

Plac Mariacki stanowi niewielki element urbanistyczny, którego przestrzeń jest zdominowana przez złożoną bryłę kościoła Mariackiego i ograniczona zwartą zabudową kamienic oraz gotyckiego kościoła pw. św. Barbary (fig. 1C). Na przestrzeni stuleci nawierzchnię placu zmieniano wielokrotnie. W 2001 r. ukończono kolejną renowację, pokrywając go płytami wapieni Lotus Beige w kilku odmianach barwnych o wielkościach boków od 15 do 30 cm, z nadaną fakturą szlifowaną, kolistą, o powierzchni jednostajnie wygładzonej, z widocznymi sferycznymi ryso-bruzdami.

W bezpośrednim otoczeniu kościoła Mariackiego pozostawiono dawne „kocie łby” z lokalnego wapienia jurajskiego. Całość placu okala obwódka wykonana z płyt porfirowych.

Dziedziniec arkadowy Zamku Królewskiego na Wawelu jest otoczony krużgankami, dekorującymi trzy skrzydła mieszkalne i południową ścianę kurtynową. W ramach kompleksowych prac konserwatorskich prowadzonych w latach 1991–2000 nawierzchnia dziedzińca została pokryta płytami wapieni o różnych rozmiarach, zestawionymi w prostym geometrycznym układzie, ze spadkiem ku jego środkowi (fig. 1D) i fakturze analogicznej do opisanej wcześniej.

## LITOLOGIA WAPIENI

Jurajskie wapienie Lotus Beige pochodzą z Turcji ze zmetamorfizowanego i silnie zdeformowanego tektonicznie kompleksu Karakaya, należącego do strefy Sakarii. Występują one w formie żył i soczewek, tworząc formację wapieni z Bilecik (Akyürek i in., 1984). W jej obrębie jest eksploatowany szereg złóż, z których są pozyskiwane zarówno omawiane wapienie, jak również inne odmiany tych skał, np.: Golpazari Beige, Taşçılar Crema Nuovo, Taşçılar Rosalia, Söğüt Beige. Wapienie Lotus Beige charakteryzują się zmiennością zabarwienia, co pozwala wyróżnić ich cztery główne odmiany: różową, beżową, beżowo-białą i szaro-białą. Skały te często są określane jako marmury z uwagi na silny stopień lityfikacji i wykształcenie teksturalne, decydujące o zdolności do przyjmowania poleru. Pod względem petrograficznym są to wapienie sparytowe z ooidami, intraklastami wapieni mikrosparytowych oraz skamieniałościami, głównie gąbek, małży i ramienionogów. Ooidy osiągają wielkość od 0,05 do 1,00 mm, przy dominujących rozmiarach 0,21–0,84 mm, natomiast intraklasty od 1,0 do 3,0 mm. Pomiędzy składnikami ziarnistymi występują kryształy sparytu kalcytowego o wielkości od 0,09 do

0,20 mm, rzadziej mikryt (fig. 2). Składniki te, osiągające łącznie 21–32%, są ułożone naprzemianlegle, tworząc laminy. W niektórych odmianach występują domieszki związków żelaza i romboedryczne kryształy dolomitu. W wapieniach powszechne są żyłki szarego kalcytu o prostoliniowym przebiegu i zazwyczaj niewielkich grubościach oraz szwy stylolitowe. Powierzchnie stylolitów i żyłek często mają zabarwienie rdzawe, wynikające z obecności związków żelaza. Według danych pochodzących z katalogów materiałów kamiennych, wytrzymałość na ściskanie wapieni Lotus Beige zawiera się w przedziale 100–120 MPa, a ich nasiąkliwość wagowa wynosi od 0,1 do 0,2% (ICONS, 2000).

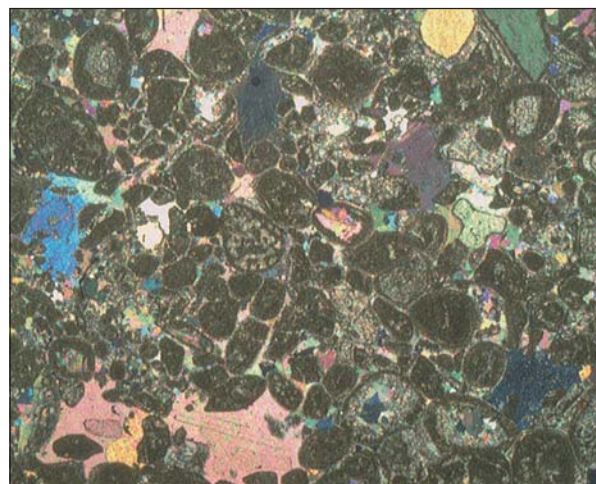


**Fig. 2. Obraz mikroskopowy wapienia Lotus Beige**

Widoczne składniki ziarniste (ooidy, intraklasty) oraz występujące między nimi kryształy sparytu kalcytowego; nikole skrzyżowane

A microscope picture of the Lotus Beige limestones

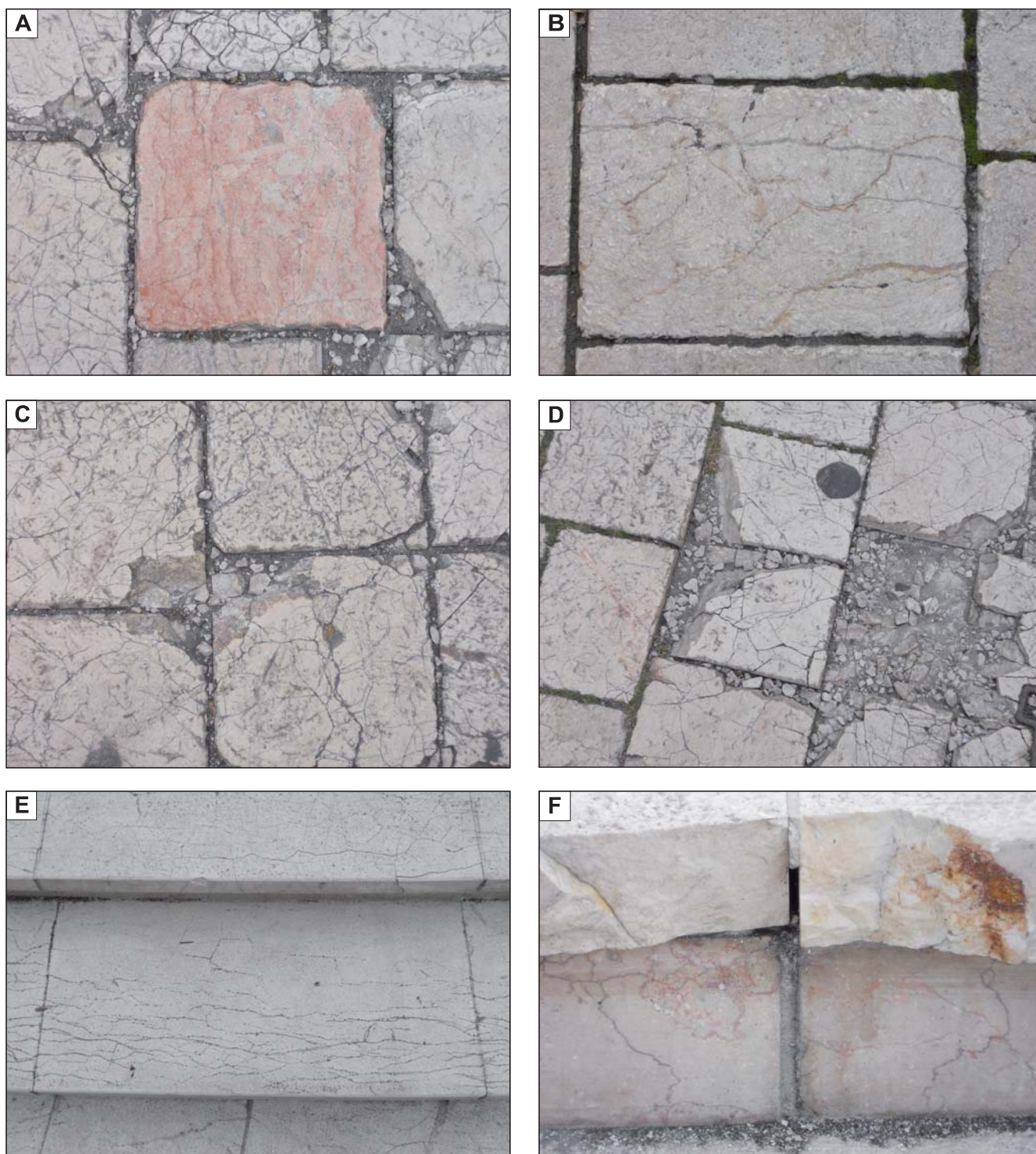
Grain components (ooids, intraclasts) are cemented with crystals of sparry calcite; crossed polarisers



## STAN ZACHOWANIA KAMIENIA

W wyniku wykonanych badań stwierdzono, że najbardziej trwałymi elementami omawianych obiektów są bloki tworzące filary ołtarza na Skalce. Pomimo że są wykonane z wapieni różnych odmian barwnych i teksturalnych, w ich obrębie nie dostrzega się żadnych przejawów niszczenia. Stwierdzono je natomiast w elementach nawierzchni. Wśród różnych odmian największą odporność na niszczenie wyka-

zują sporadycznie występujące wapienie o barwie różowej. W płytach z nich wykonanych nie obserwuje się pęknięć i ubytków, z wyjątkiem naturalnych przejawów ścierania, wywołanych użytkowaniem nawierzchni (fig. 3A). Duża wytrzymałość wapieni tej odmiany wynika z dość jednolitej tekstury sparytowej, niewielkiego udziału żyłek kalcyto-



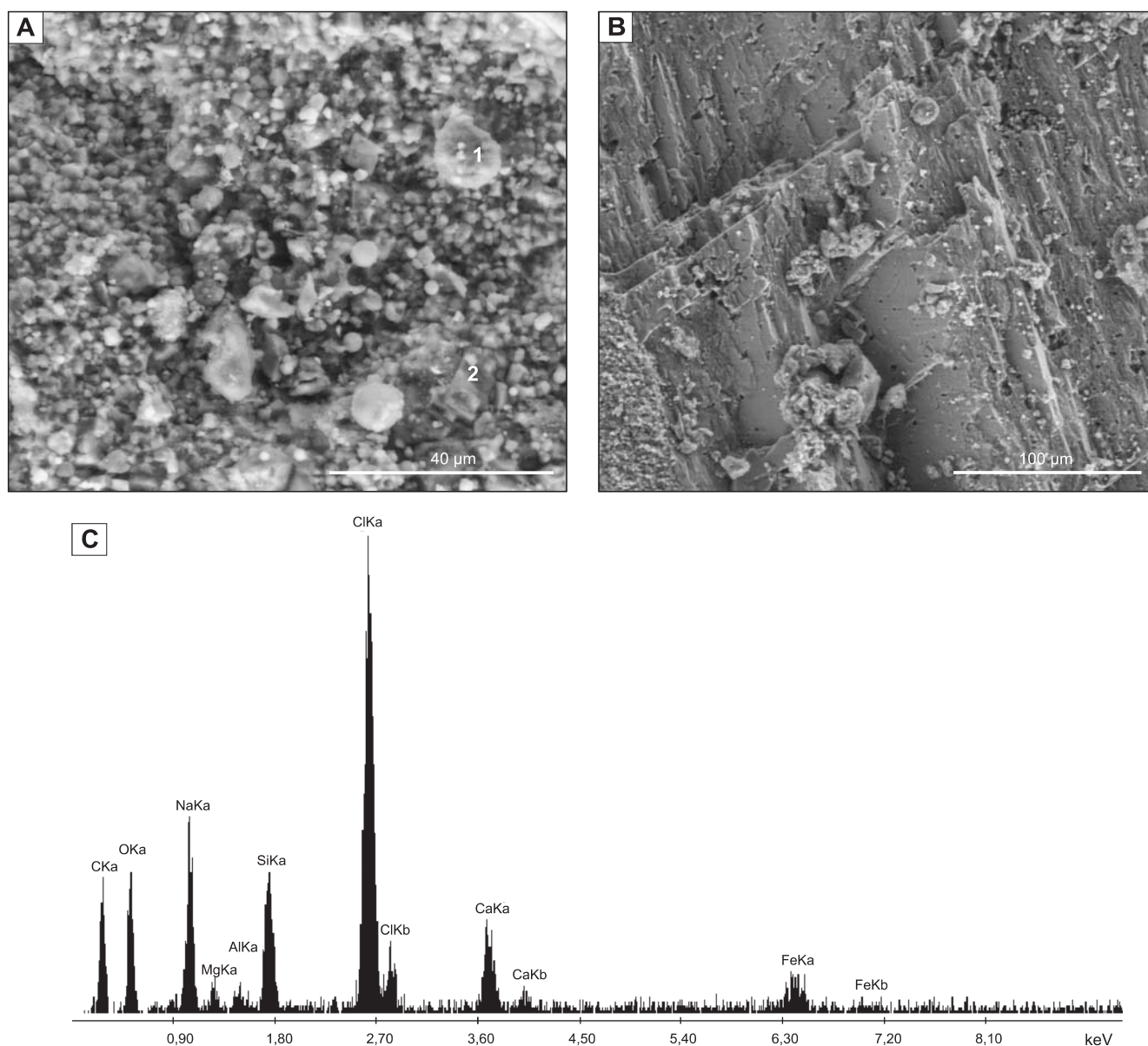
**Fig. 3.** **A.** Fragment nawierzchni placu Mariackiego – płyta wapienia sparytowego o barwie różowej, wyróżniającego się spośród pozostałych odmian wapieni dobrym stanem zachowania. **B.** Fragment nawierzchni dziedzińca arkadowego na Wawelu – wapień sparytowy z intraklastami, barwy beżowej o dość dobrym stanie zachowania. **C.** Fragment nawierzchni placu Mariackiego – płyty wapieni sparytowych ulegające częściowemu rozpadowi. **D.** Fragment nawierzchni placu Mariackiego – płyty silnie użyłonych wapieni sparytowych ulegające całkowitemu rozpadowi. **E.** Płyty wapieni Lotus Beige ze stopni Ołtarza Trzech Tysiącleci – spękania o przebiegu równoległym do krawędzi stopni i kontynuujące się na sąsiednich płytach. **F.** Płyty wapieni Lotus Beige ze stopni Ołtarza Trzech Tysiącleci – na krawędziach płyt odspojenia fragmentów wapienia wzdłuż powstałych spękań

**A.** Fragment of the pavement of the Mariacki Square – a slab of the sparitic limestone cut of the pink rock variety differs in its good preservation from the slabs made of other limestone types. **B.** Fragment of the pavement of the arcaded courtyard at Wawel – sparitic, beige limestone with intracrysts is relatively well preserved. **C.** Fragment of the pavement of the Mariacki Square – slabs made of the sparitic limestone reveal partial destruction. **D.** Fragment of the pavement of the Mariacki Square – slabs made of strongly veined sparitic limestones show total destruction. **E.** Limestone slabs from the stairs of the Altar of Three Millennia – the slabs are fractured parallel to the edge of the stairs and fracturing extends into adjacent slabs. **F.** Limestone slabs from the stairs of the Altar of Three Millennia – limestone fragments disjoin along slab edges due to rock fracturing

wych, intraklastów oraz skamieniałości, a także z obecności domieszki związków żelaza.

Większość płyt zastosowanych w nawierzchniach jest wykonana z wapieni barwy szaro-białej i beżowej, zawierających miejscami duży udział intraklastów, skamieniałości, a także żyłki kalcytu oraz stylolity. W zależności od miejsca, w którym je użyto, wapień wykazuje różny stopień zniszczenia, od nieznacznego po bardzo duży. W części płyt z ołtarza na Skałce oraz niemal we wszystkich pochodzących z dziedzina wawelskiego są widoczne tylko

pojedyncze pęknięcia, jedynie sporadycznie tworzące gęstszą sieć. Szczeliny mają układ nieregularny, wzajemnie się przecinają, bez kontynuacji ich przebiegu w sąsiednich płytach (fig. 3B). Silnemu spękaniu uległa natomiast większość elementów wykonanych z tej odmiany wapieni i zastosowanych w nawierzchni placu Mariackiego, a także część płyt nawierzchni otaczającej ołtarz na Skałce. Pęknięcia tworzą gęstą sieć, wzdłuż której dochodzi do rozpadu płyt na drobne, nieregularne fragmenty. Z czasem ulegają one wykruszeniu, odsłaniając podbudowę nawierzchni (fig. 3D).

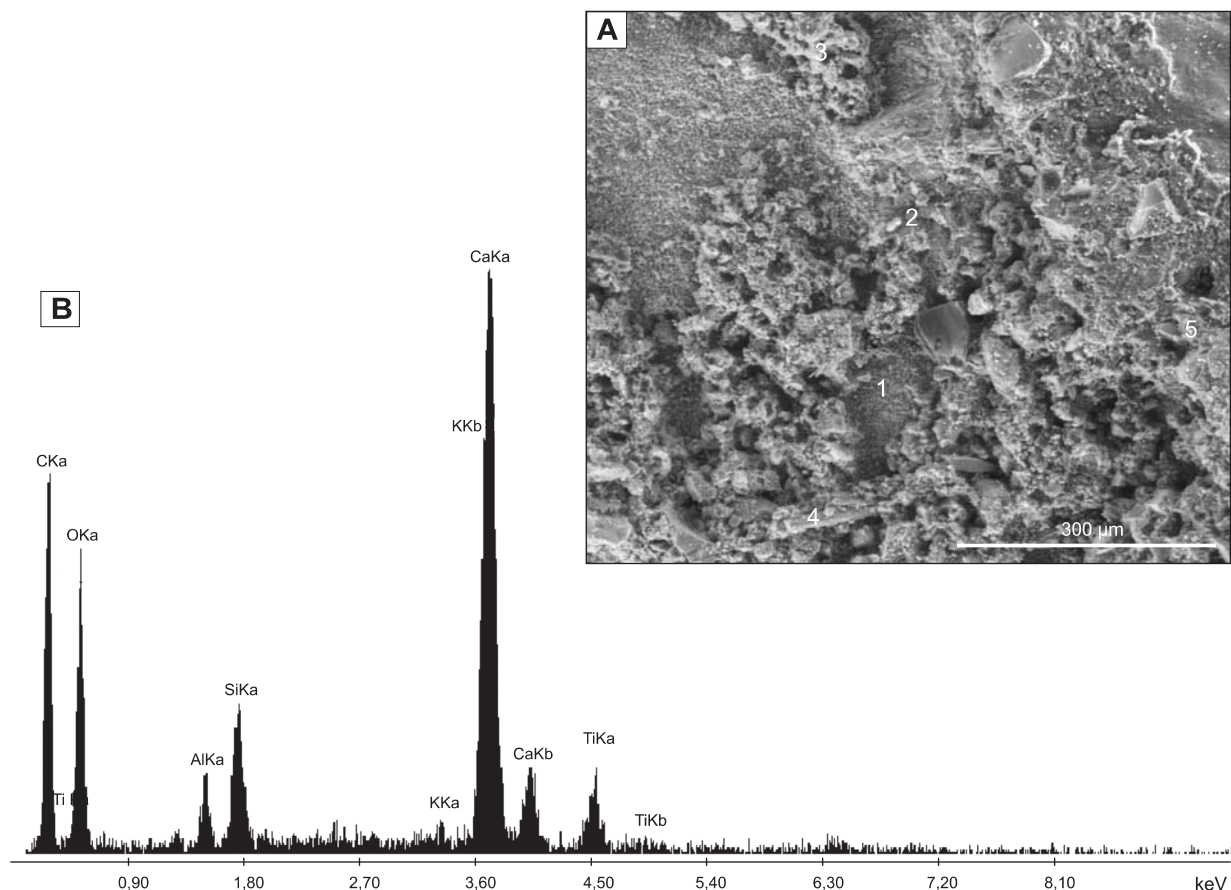


**Fig. 4. Wapień Lotus Beige zastosowany w stopniach Ołtarza Trzech Tysiącleci na Skałce**

**A.** Mikrofotografia SEM, nawarstwienie zbudowane z różnie wykształconych form szkliva glinokrzemianowego (punkt 1) i halitu (punkt 2). **B.** Mikrofotografia SEM, widoczne przejawy rozpuszczania kryształów sparytu kalcytowego. **C.** Skład pierwiastkowy (wykres EDS) halitu (punkt 2)

The Lotus Beige limestone from the stairs of the Altar of Three Millennia (Skałka)

**A.** SEM image, accumulations on its surfaces are composed of aluminosilicate glass revealing various shapes (point 1) and halite (point 2). **B.** SEM image, crystals of sparry calcite show signs of dissolution. **C.** Elemental composition (EDS pattern) of halite (point 2)



**Fig. 5.** Wapień Lotus Beige zastosowany w stopniach Ołtarza Trzech Tysiącleci na Skalce

**A.** Mikrofotografia SEM, nawarstwienie zbudowane z mieszaniny sadzy i cząstek organicznych (punkty 1, 2, 4, 5) oraz fazy CSH (punkt 3). **B.** Skład pierwiastkowy (wykres EDS) skupienia fazy CSH (punkt 3)

Lotus Beige limestone from the stairs of the Altar of Three Millennia (Skalka)

**A.** SEM image, accumulations are composed of soot and organic particles (points 1, 2, 4, 5) and a C-S-H phase (point 3). **B.** Elemental composition (EDS pattern) of the C-S-H accumulation (point 3)

Wszystkie spękania są wypełnione czarną substancją pochodzenia antropogenicznego, silnie kontrastującą z jasną barwą wapienia. Występuje ona w postaci kulistych form szkliwa glinokrzemianowego lub owalnych, porowatych agregatów (fig. 4A). W niektórych przypadkach dochodzi do ich większego nagromadzenia w mieszaninie z sadzą i cząstkami organicznymi. Na powierzchniach spękań niektórych płyt pochodzących z nawierzchni placu Mariackiego i ołtarza na Skalce obserwuje się śladowe ilości częściowo rozpuszczonych kryształów halitu (fig. 4A, C). Podobne formy, krystalizujące z soli użytej do posypywania chodników w okresie zimowym stwierdzono (Smoleńska, Rembiś, 1999) w wapieniach jurajskich występujących w cokole kościoła Mariackiego w Krakowie. W strefach spękań widoczne są także liczne przejawy rozpuszczania kryształów sparytu kalcytowego (fig. 4B).

Odmienny charakter ma niszczenie wapieni o barwie szaro-białej i beżowej występujących na stopniach ołtarza na Skalce. Spękania są dość liczne, mają kierunki przebiegu

w przybliżeniu równoległe do krawędzi stopni i zazwyczaj kontynuują się na sąsiadujących ze sobą płytach (fig. 3E). Wzdłuż ich powierzchni dochodzi do odpadania nieregularnych fragmentów płyt o różnej wielkości (fig. 3F). Sporadycznie, przy większych nagromadzeniach szczelin, następuje całkowity rozpad płyt. Obserwacje w skaningowym mikroskopie elektronowym wykazały, że na takich powierzchniach spękań wapieni powszechnie występują nieregularne skupienia o wielkości od kilku do kilkunastu mikrometrów (fig. 5A, B), wykazujące podobieństwo do uwodnionych krzemianów wapnia (faza CSH), stanowiących podstawowy składnik betonu. Dodatkowo zawierają one jony Al, Na, K, Mg, Ti, S i Cl, powszechnie występujące w domieszkach betonu, przyspieszających jego wiązanie i twardnienie oraz o działaniu uszczelniającym i przeciwmrozowym (Małolepszy i in., 2000). Obecność wymienionych form można wiązać w tym obiekcie z warstwą betonu stanowiącą podłoże płyt wapiennych.

## PRZYCZYNY NISZCZENIA KAMIENIA

Podstawowym czynnikiem, który wpłynął na niszczenie wapieni w nawierzchni placu Mariackiego oraz w znacznych częściach chodników wokół ołtarza na Skałce, jest sól używana w okresie zimowym do roztopiania śniegu i lodu. Jest ona źródłem halitu, który krystalizując w porach, powiększa swoją objętość, wywierając nacisk na ich ściany, co prowadzi do tworzenia się spękań. Ich liczba i charakter zasadniczo nie są związane z odmianą wapienia. Należy jednak podkreślić, że spękania rozwijają się szczególnie łatwo w obrębie stref nieciągłości, tj. stylolitów i żyłek kalcytowych. W miejscach oddalonych od głównych ciągów komunikacyjnych płyty uległy zniszczeniu w nieco mniejszym stopniu, nawet jeżeli są wykonane z odmiany wapieni o większej podatności na czynniki niszczące. Opisyanych zniszczeń nie obserwuje się na dziedzińcu arkadowym, z którego śnieg jest usuwany wyłącznie mechanicznie.

W płytach stopni ołtarza na Skałce genezę spękań należy wiązać głównie z naprężeniami tworzącymi się w trakcie dojrzewania betonu, do którego bez zachowania odpowied-

niej przerwy technologicznej zostały przyklejone płyty. Potwierdzeniem wpływu podłoża betonowego na fizyczne i chemiczne niszczenie wapienia jest śladowa obecność składników betonu (faza CSH) na powierzchniach powstałych spękań.

Wykonane badania pozwalają stwierdzić, że wapienie Lotus Beige charakteryzują się dość dużą odpornością na niszczące działanie klimatu oraz zanieczyszczonej atmosfery. Wyraża się ona obecnością tylko niewielkich zmian zaistniałych w czasie ponaddziesięcioletniego użytkowania. Jednocześnie skały te wykazują całkowity brak odporności na środki chemiczne, takie jak chlorki i alkalia. Z tego względu podejmując decyzję o zastosowaniu tego materiału kamiennego, należy w trakcie użytkowania całkowicie ograniczyć do niego dostęp środków chemicznych. Czynnikiem zwiększającym trwałość budowli mogłoby być także stosowanie wyselekcjonowanego materiału, reprezentującego odmianę wapieni sparytowych o niewielkim udziale niejednorodności teksturalnych i strukturalnych.

## LITERATURA

- AKYÜREK B., BILGINER E., AKBAS B., HEPSEN N., PEHLIVAN S., SUNU O., SOYSAL Y., DAGER Z., CATAL E., SÖZERI B., YILDIRIM H., HAKYEMEZ Y., 1984 — Basic geological features of Ankara–Elmadag–Kalecik region. *Jeoloji Mühendisligi*, **20**: 31–46.
- ICONS, 2000. Interactive catalogue of natural stones. Wyd. Variorama, Lizbona [dokument elektroniczny].
- MAŁOLEPSZY J., DEJAJ., BRYLICKI W., GAWLICKI M., 2000 — Technologia betonu. Metody badań. Uczeln. Wyd. Nauk.-Dydakt., Kraków.
- SMOLEŃSKA A., REMBIŚ M., 1999 — Zmiany mikrostrukturalne wapieni jurajskich, użytych w wybranych obiektach zabytkowych, jako efekt antropogenicznych zanieczyszczeń atmosfery. *Ochrona Zabytków*, **1**: 34–38.

## SUMMARY

Jurassic limestones Lotus Beige are imports from Turkey. Due to strong lithification and textural development they take good polish and thus in trade are called marbles. Petrographically they are sparitic limestones with ooids, intraclasts of microsparitic limestones and fossils, mainly sponges, pelecypods and brachiopods. The coloration is variable and major rock varieties are pink, beige, beige-white and grey-white. Architects see their resemblance to the Jurassic limestones from the Kraków area. Therefore, the Turkish rocks have recently been relatively often used in Kraków in new constructions and in renovation of the historic pavements of Kraków places and courtyards.

The state of preservation of the limestones in question was studied in the material from three sites: the Altar of Three Millennia (Skałka), the Mariacki Square and the arched courtyard of the Wawel Royal Castle.

Deterioration of the limestones lining the pavement of the Mariacki Square and significant parts around the Altar at Skałka results from using salt in winter to melt ice and snow. Halite crystallizing in rock pores expands and forms fractures, whose density and character partly depend on the limestones variety. Particularly prone for fracturing are limestones with stylolites and calcite veins. Such a stone damage was not observed in the Wawel courtyard, where only snow removers are used. Fracturing of the limestone slabs at the Skałka altar results mainly from the stress of curing the underlying concrete as the slabs were fixed to its surface without technological joints. It has been proved by finding traces of concrete components on the fracture surfaces.

The results indicate that a fine appearance of the constructions made of these limestones can be achieved by using mainly a texturally uniform rock variety and limiting completely the access of chemicals.