

Niszczenie okładziny piaskowcowej w zabytkowym budynku Traktu Królewsko-Cesarskiego w Poznaniu

Małgorzata Szczepaniak¹, Paulina Rój²



M. Szczepaniak P. Rój

Deterioration process of sandstone panels in a historic building of the Royal-Imperial Route in Poznań, Poland – a case study. *Prz. Geol.*, 67: 717–727; doi: 10.7306/2019.42

A b s t r a c t. Sandstones are a commonly used stone in the architecture of Poznań. They are constantly affected by deterioration processes. This is mainly linked to pollution, which is a consequence of the city development. This is manifested, among others, by the emission of harmful substances from traffic routes, as well as the combustion of solid fuels in the city centre. The research is focused on the sandstone elevation of one of the monuments of the Royal-Imperial Route in Poznań – the current building of the University of Economics and Business in Poznań dated to the beginning of the 20th century. The research was carried out both – on a macro- and microscale. Taking into account the ICOMOS glossary (International Council on Monuments and Sites), the types of damage on the façade on a macroscale were classified. The most common problem was the black crust on the surface of stone panels. Thanks to the use of optical, scanning and cathodoluminescence microscopy, it was also possible to analyse various types of contaminants on a microscale that appear in the building elevation. As a result of the research, dust particles, metals such as lead, tin, zinc, iron, and sulphur and nitrogen compounds that were part of dust particles were found. Deterioration of the façade caused by soiling derived from traffic-related particulate matter, deposition of nitrates from exhaust and other emission sources may seriously impact natural building stones.

Keywords: sandstone panels, cultural heritage, deterioration, SEM-EDS, Poznań

W architekturze Poznania można dostrzec wszechobecny oraz wszechstronnie wykorzystywany kamień naturalny. Spektrum jego zastosowania jest bardzo szerokie, począwszy od elementów małej architektury, aż po okładziny czy też bloki skalne użyte podczas budowy wielu obiektów. Piaskowce należą tutaj do najczęściej wykorzystywanych surowców skalnych. Wykończone są nimi m.in. obiekty z przełomu XIX i XX w., będące częścią Traktu Królewsko-Cesarskiego, takie jak: Zamek Cesarski, Poczta Główna, budynki dwóch uniwersytetów, Teatr Wielki oraz gmach Banku Poznańskiego Ziemstwa Kredytowego (Karolczak, 2005), obecnie należący do Uniwersytetu Ekonomicznego. Ostatni z budynków jest tematem niniejszej pracy.

Piaskowce stosowane w architekturze Poznania z przełomu XIX i XX w. pochodzą przede wszystkim z terenu Dolnego Śląska (głównie z rejonu Bolesławca). Spowodowane jest to faktem, iż jest to najbliższa baza surowcowa, a także tym, że zarówno Wielkopolska, jak i Dolny Śląsk przed I wojną światową należały do Niemiec, dlatego logiczny był transport *własnego* surowca. Ponadto materiał ten z powodzeniem był także stosowany w architekturze wschodnich Niemiec zarówno Saksonii, jak i Brandenburskiej (Michalski i in., 2002; Götze, Siedel, 2007).

W przypadku wielu budowli do dzisiaj zachowała się ponad stuletnia dokumentacja prac budowlanych. Wśród niej znajdują się między innymi dowody zakupu materiału budowlanego, w tym także kamienia, np. dokumentacja budowy budynku obecnego Archiwum Państwowego w Poznaniu. Pojawia się tam m.in. miejscowość Rakwitz, jako miejsce zakupu kamienia. Obecnie jest to wieś Rakowice pod Lwówkiem Śląskim, która zarówno obecnie, jak

i w przeszłości była miejscem znacznego wydobycia piaskowca na cele budowlane.

Rozwój cywilizacyjny i technologiczny XIX i XX w. niekorzystnie wpłynął i nadal wpływa na surowiec skalny, który znalazł swoje miejsce w architekturze miast. Zauważalne jest to w powszechnie występujących czarnych naszkorzeniach na elewacjach budynków, widocznych także w Poznaniu. Związane są one najczęściej z tzw. niską emisją i produkcją pyłów PM₁₀, związków azotu NO_x, jak również siarki SO₂, które są w dużej mierze powiązane z ruchem miejskim oraz spalaniem paliw stałych (Nord i in., 1994; Auras i in., 2013; Ivaskova i in., 2015; Russa i in., 2017). Dodatkowy problem stanowią biokolonizacja związana głównie ze słabo zabezpieczonymi rynkami i rurami spustowymi, oraz liczne uszkodzenia elewacji spowodowane m.in. częstą wymianą tablic informacyjnych czy też montowaniem krat. W klimacie umiarkowanym, w jakim znajduje się Poznań, w okresie zimowym pojawia się kolejny problem – *zwyczaj* posypywania dróg czy chodników solą, a w konsekwencji pojawienie się wtórnej mineralizacji na powierzchni elewacji. Kłopot ten jest znany także w innych państwach europejskich, gdzie sól i jej krystalizacja w kamiennej elewacji jest związana nie tylko z jej wykorzystaniem w okresie zimowym, ale i z morskim klimatem (Cardell i in., 2003).

Należy zauważyć, że w ostatnich latach Poznań był jednym z bardziej zanieczyszczonych miast Polski, a w okresie zimowym – Europy i świata. Fakt ten ma ogromne znaczenie dla procesu niszczenia elewacji właściwie każdego budynku. Problem ten powszechny jest również we wszystkich zurbanizowanych i uprzemysłowionych obszarach świata (Nord i in., 1994; Michniewicz, 1996; Watt i in.,

¹ Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; malgorzata.szczepaniak@amu.edu.pl

² Paulina Rój, ul. Strzelecka 25, 66-542 Zwierzyn; paulina_roj@wp.pl

2009; Auras i in., 2013), gdzie tempo niszczenia elewacji kamiennej zachodzi bardzo szybko.

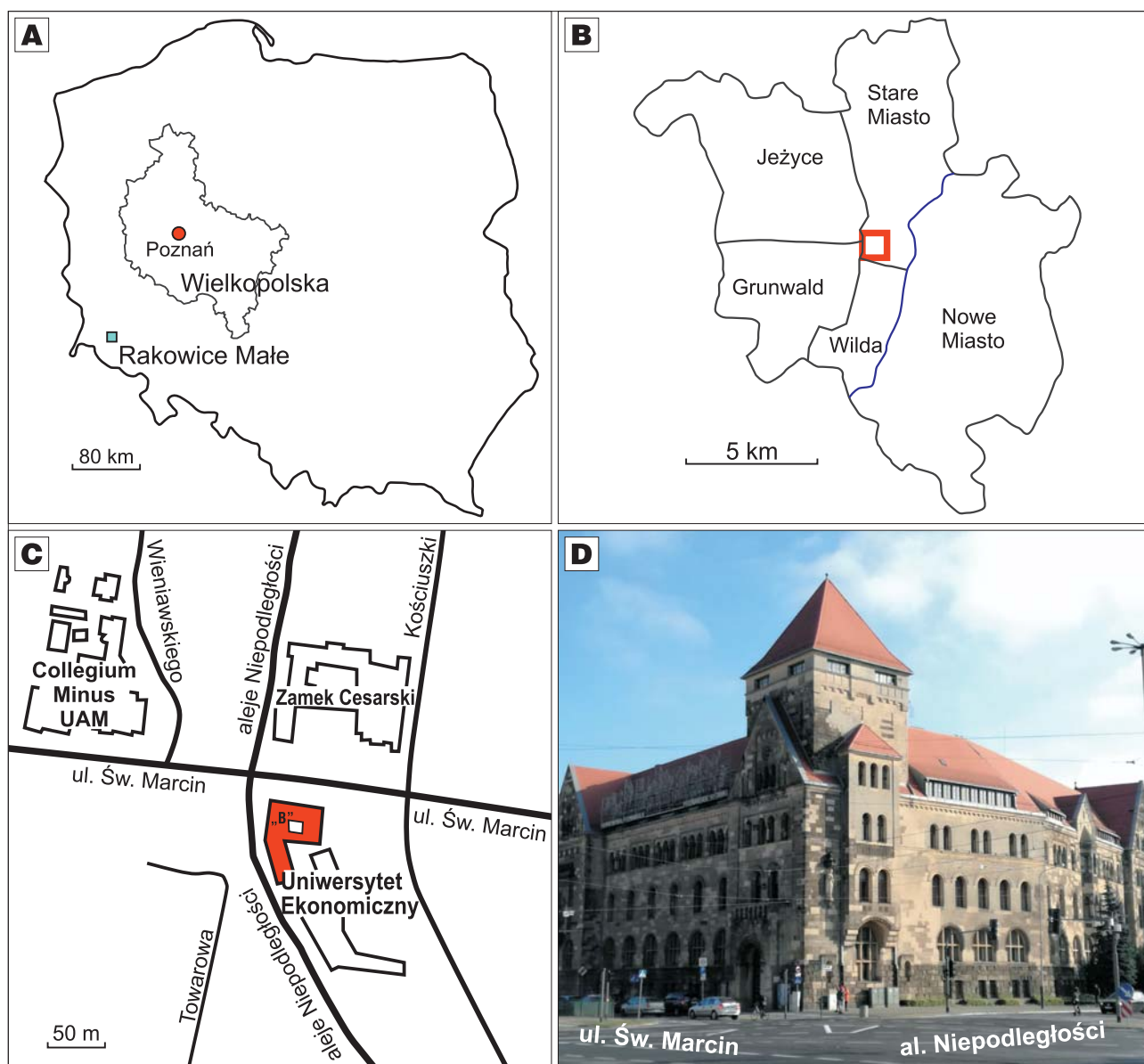
Formy niszczenia obserwowane na elewacjach poznańskich budynków z okładziną piaskowcową są bardzo zróżnicowane. Dominuje niszczenie fizyczne. Widoczne są także skutki działalności życiowej organizmów takich jak: porosty, mchy, bluszcz. Zauważalne jest to w szczególności w pobliżu uszkodzonych rur spustowych i rynien. W wybranych obiektach pojawiają się także liczne wykwyty wtórnych minerałów o zróżnicowanej genezie. Budynek „B” Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu jest przykładem obecności tych zróżnicowanych form.

POCHODZENIE PIASKOWCÓW

Piaskowiec zastosowany jako okładzina i materiał do wykonania detali architektonicznych w budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego pochodzi z obszaru synklinorium północnosudeckiego – z Rakowic Małych i Warty

Bolesławieckiej (okolice Bolesławca i Lwówka Śląskiego; ryc. 1). Jest to piaskowiec popularnie stosowany w budownictwie już od średniowiecza na obszarze Dolnego Śląska, a w latach późniejszych także na terenie wschodnich Niemiec oraz Wielkopolski (Kühn, Zimmermann, 1918; Michniewicz, 1996; Michalski i in., 2002; Götze, Siedel, 2004, 2007; Götze i in., 2007; Labus, 2008; Szczepaniak i in., 2008; Rembiś, 2010; Labus, Bochen, 2012; Szczepaniak, 2014, 2015). W przypadku Rakowic Małych są to piaskowce późnej kredy – koniaku, zaliczane do arenitów kwarcowych (Milewicz, 1961, 1973, 1979; Pettijohn i in., 1972).

W Warcie Bolesławieckiej wschodnie piaskowców są bardziej zróżnicowane wiekowo, choć nadal późnokredowe (Baraniecki i in., 1955). Z racji, iż w dokumentacji nie zostało sprecyzowane miejsce pozyskania kamienia w Warcie Bolesławieckiej, trudno jest określić jego dokładny wiek. Uwzględniając jednakże charakter skały (wysortowanie, uziarnienie, zwięzłość, cement), można przypuszczać, że są to skały koniaku, które są od dawna uznane za jeden z naj-



Ryc. 1. Lokalizacja Budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego: A – położenie Rakowic Małych; B, C – położenie obiektu badań w Poznaniu; D – budynek „B” od strony NW

Fig. 1. Location of the building “B” of the Poznań University of Economic and Business: A – Rakowice Małe location; B, C – location of the building “B” in the city centre of Poznań; D – building “B” from the NW site

lepszych i wielokrotnie badanych dolnośląskich piaskowcowych materiałów budowlanych (Kozłowski, 1986; Labus, 2008; Rembiś, 2010; Kryza, 2011). Skały starsze, np. cenomańskie czy turonu, różnią się bowiem znacznie wskazanymi cechami, głównie zwięzłością i uziarnieniem.

CEL I OBIEKT BADAŃ

W ostatnich kilkunastu latach większość obiektów zabytkowych Traktu Królewsko-Cesarskiego w Poznaniu poddano pracom renowacyjnym, choć z różnym skutkiem. Budynek Ziemstwa Kredytowego (obecny budynek „B” Uniwersytetu Ekonomicznego) jest jednym z ostatnich, który nadal czeka na renowację (ryc. 1).

W przypadku podjęcia prac renowacyjnych (uzupełnianie ubytków) istotne jest to, aby dobrać materiał jak najbardziej zbliżony do pierwotnego, najlepiej z tego samego źródła. Jeśli nie ma takich możliwości, dobrze by cechował się on jak najbardziej zbliżonymi parametrami fizykomechanicznymi. Jednakże w przypadku małych próbek skał z zabytków nie jesteśmy w stanie porównać ich właściwości fizykomechanicznych z próbkami z kamieniołomów, dlatego cechy diagenetyczne mogą być bardzo istotne podczas doboru materiału do renowacji. Wykształcenie i rodzaj spoiwa czy obecność matriks może mieć ogromny wpływ na dalsze wietrzenie – już w budowlu – materiału skalnego.

Niniejsza praca ma na celu:

- ocenę stopnia deterioracji zarówno fizycznej, jak i biologicznej obserwowanej na elewacji,
- odniesienie stopnia zniszczenia piaskowców do ich diagenetyzacji obserwowanej w skali mikroskopowej,
- określenie zależności między nimi.

Obiektem badań jest budynek „B” Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, w którym w przeszłości mieścił się Bank Poznańskiego Ziemstwa Kredytowego. Budowla

ta była jednym z wielu budynków dawnego większego planu rozbudowy Poznania z 1903 r., wg planu Josefa Stübbera (Pałat, Pazder, 2011) – ryc. 1. Budynek „B” został wzniesiony zgodnie z projektem Franza Schwechтена, który zaprojektował również Zamek Cesarski, gmach Poczty Głównej, Collegium Maius i Minus, w stylu neoromańskim. Gmach ten wykończono gładką okładziną piaskowcową (Pazder, 2008; Pałat, Pazder, 2011). Projekt tego neoromańskiego budynku powstał w 1906 r., a jego budowa została ukończona w roku 1910. Stanowi on obecnie jeden z zabytków tzw. dawnej Dzielnicy Cesarskiej zwanej także Dzielnicą Zamkową (Karolczak, 2005). Budynek został wykonany z cegieł, jego elewację obłożono piaskowcem, który jest głównym materiałem badawczym. W dolnej części elewacji znajdują się większe ciosy piaskowcowe, a w najniższej części budynku cokół został zbudowany ze skał krystalicznych (ryc. 2). Z piaskowca wykonano także detale architektoniczne na elewacji.

MATERIAŁ BADAWCZY

Materiałem badawczym jest główny budulec zabytku – piaskowiec. Próbki do analiz pobrano z zachodniej i północnej fasady budynku (od ul. Św. Marcin i alei Niepodległości; ryc. 1, 2). Łącznie pozyskano 20 próbek piaskowca z elewacji zachodniej i 14 próbek z elewacji północnej. Wszystkie pochodziły z wysokości do 230 cm n.p.t. 29 próbek pobrano z ościeży okiennych na stałych wysokościach 60, 115 i 205 cm n.p.t. Druga partia (próbki nr UE101, UE102, UE103, UE104 i UE105) została uzyskana w okolicach rynien, na zróżnicowanych wysokościach: 105, 145, 190, 220 i 230 cm. Uwarunkowane było to stopniem degradacji materiału piaskowcowego – wybierano ciosy o największym stopniu zniszczenia.



Ryc. 2. Miejsca poboru próbek do analiz z przykładową dokumentacją fotograficzną (na planie elewacji na czerwono zaznaczono miejsca poboru próbek do analiz w ościeżach okiennych oraz w sąsiedztwie rur spustowych); **A** – fasada północna, **B** – fasada zachodnia, **C** i **D** – przykładowe miejsca poboru próbek

Fig. 2. Location of the selected samples with photographic documentation (on the façade plan sampling points in the windows and the vicinity of rainwater pipe are marked in red); **A** – northern façade, **B** – western façade, **C** and **D** – examples of sampling points

Wszystkie pobrane próbki cechowały się widocznym makroskopowo, najczęściej znacznym stopniem zanieczyszczenia lub uszkodzenia powierzchni skały. Były to m.in. uszkodzenia mechaniczne, eksfoliacja, widoczna biodeterioracja w sąsiedztwie rynien, wtórne warstwy malarskie.

Wielkość próbek mieściła się w przedziale od 1×2 cm do 5×8 cm. Ze wszystkich pobranych próbek wykonano preparaty mikroskopowe (płytki cienkie odkryte i zakryte).

METODY BADAWCZE

W trakcie analiz wykorzystano zarówno opis makroskopowy efektów niszczenia skał, jak i metody mikroskopowe. Makroskopowo, zgodnie z wymogami słownika ICOMOS (2008), scharakteryzowano wszystkie zaobserwowane procesy deterioracji (przykłady zaprezentowano na ryc. 3A–F). W trakcie opisu obrazu mikroskopowego (ryc. 4A–I) uszczegółowiono ich charakterystykę.

Wśród metod mikroskopowych wykorzystano mikroskopię optyczną (OM), elektronową mikroskopię skaningową (SEM) z przystawką EDS oraz katodoluminescencję (CL). Podstawowe obserwacje petrograficzne przeprowadzono przy użyciu mikroskopu optycznego Olympus AX70. Analizy SEM i SEM-EDS wykonano w Wydziałowej Pracowni Naukowo-Dydaktycznej w Poznaniu (Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych), przy zastosowaniu Mikroskopu Hitachi S-3700N z przystawką EDS Noran SIX w niskiej próżni. Próbkę nie były napyłane. Wszystkie analizy chemiczne były analizami półilościowymi, bezwzorcowymi. Łącznie wykonano 111 analiz punktowych oraz analiz obrazu. Analizy CL przeprowadzono w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym w Warszawie, wykorzystując sprzęt CCL 8200 mk3 Cambridge Image Technology Ltd. z aparatem cyfrowym. Mikrofotografie były wykonywane przy napięciu 15 kV i natężeniu wiązki od 150 do 250 mA.

Analizy mikroskopowe przeprowadzono na podstawie płytek cienkich wykonanych ze wszystkich pobranych pró-

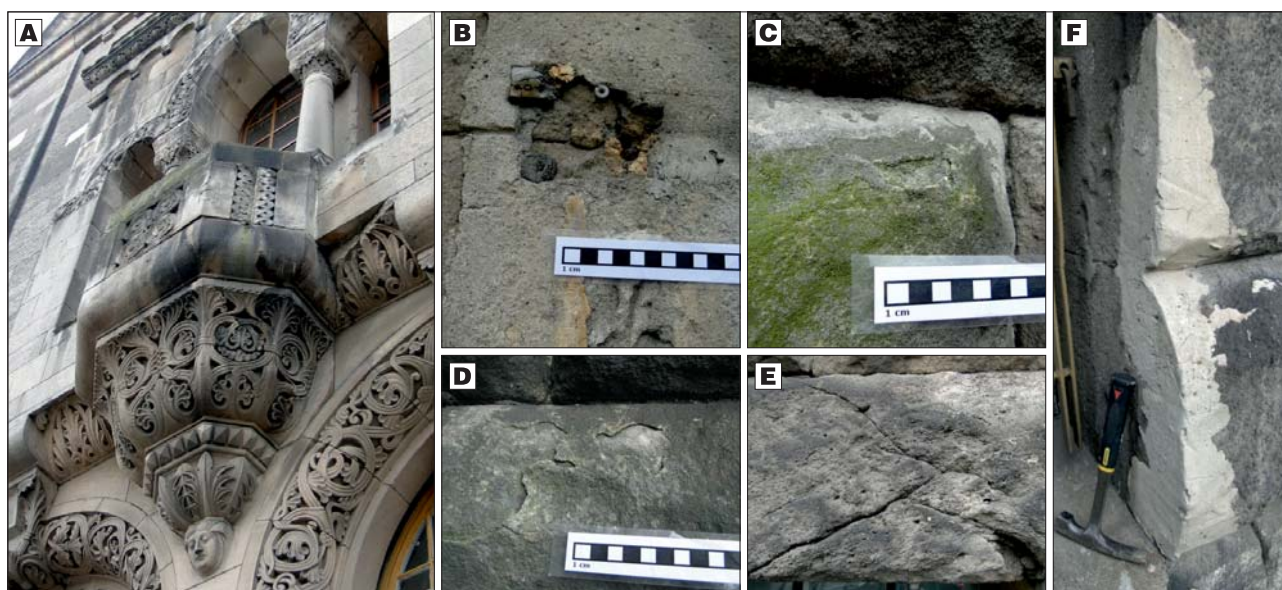
bek piaskowców. W trakcie badań określono podstawowe cechy piaskowców, takie jak: skał mineralny szkieletu ziarnowego, jego obtoczenie, charakter spoiwa, porowatość.

Podczas badań mikroskopowych SEM z przystawką EDS przeanalizowano 25 wcześniej wytypowanych obszarów w próbach piaskowca. Analizom poddano czarne naskorupienia, widoczne ślady biodeterioracji, a także powierzchnię *świeżego* przełamu, gdzie brak było makroskopowo widocznych zanieczyszczeń. W tym ostatnim przypadku skupiono się na identyfikacji m.in. spoiwa próbek skalnych oraz wtórnych przemian, które zaszły w piaskowcu w trakcie jego wietrzenia, ale i procesów diagenetycznych zaistniałych w skale wcześniej, a mogących wpływać zarówno na ograniczenie niszczenia płyt okładzinowych, jak i w zależności od ich przebiegu, także na przyspieszenie deterioracji. Analizy te miały również na celu identyfikację tego, jak głęboko wnikały zanieczyszczenia.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

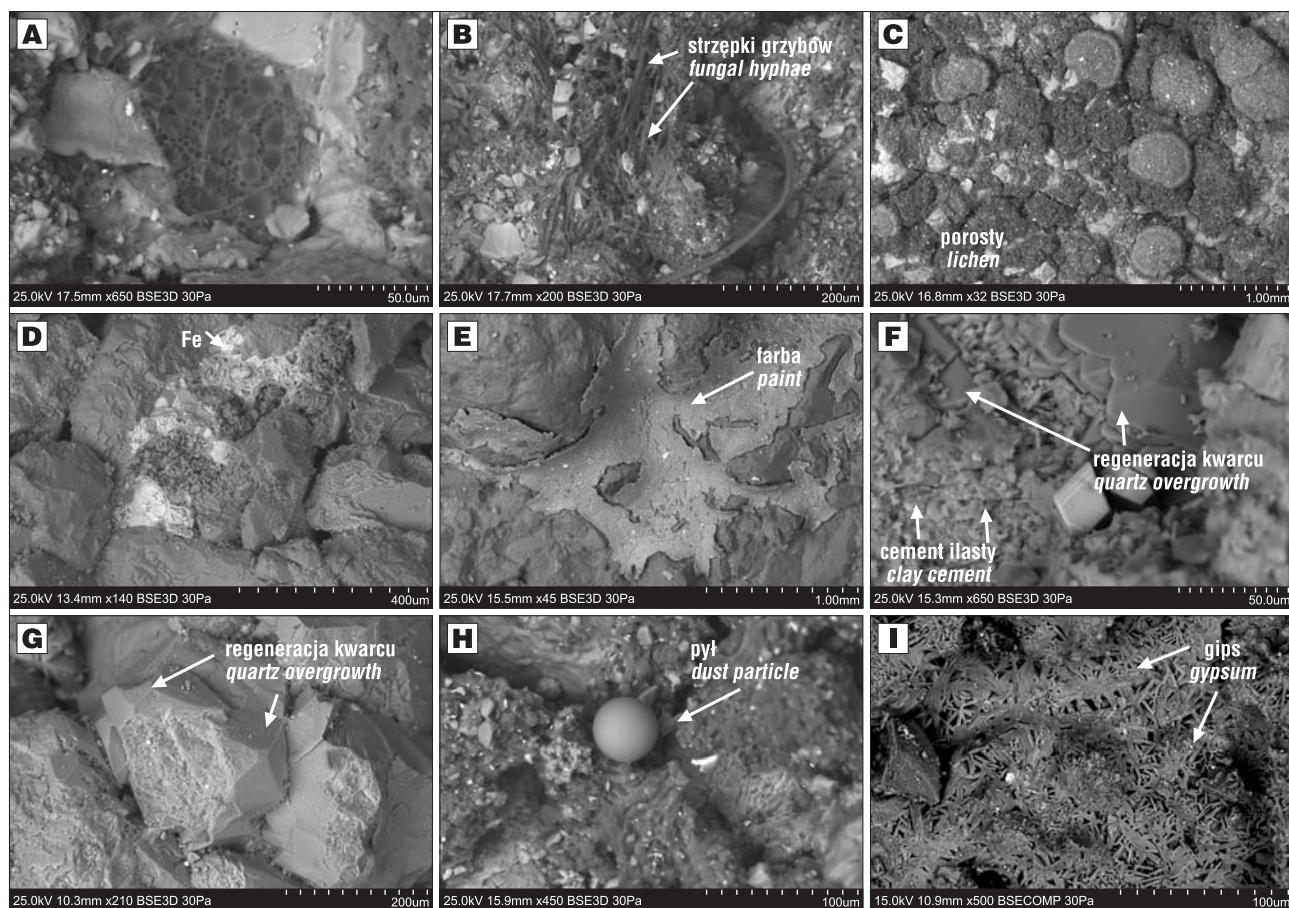
Obserwacje makroskopowe zarówno północnej, jak i zachodniej elewacji zostały przeprowadzone równocześnie z poborem próbek (ryc. 2). Precyzyjną analizą typów deterioracji została objęta okładzina piaskowcowa znajdująca się pomiędzy 60 a 230 cm od powierzchni terenu (tab. 1). Poniżej 60 cm n.p.t. znajduje się cokół wykonany ze skał krystalicznych. Elewacja powyżej 230 cm n.p.t. także została makroskopowo scharakteryzowana, jednak już bez poboru próbek. Pozyskanie próbek na stałych podanych wysokościach n.p.t. miało na celu wychwycenie różnic, jeśli takie istnieją, w deterioracji kamienia w zależności od jego umiejscowienia na elewacji. Na podstawie wytycznych ICOMOS (2008) zidentyfikowano poszczególne rodzaje deterioracji, które zaprezentowano od najczęściej występujących do najrzadszych:

– odbarwienia i osady – reprezentowane przez: czarne naskorupienia, zabarwienia, obszary zawilgocone, wokół których pojawia się wtórnie biokolonizacja (jako kolejny



Ryc. 3. Przykłady makroskopowych uszkodzeń elewacji oraz czarnych naskorupień na budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego: A – czarne naskorupienia na elementach dekoracyjnych (patrz okładka), B – uzupełnienia uszkodzeń betonem oraz ślady po drewnianych elementach kotwiczących tablice informacyjne, C – biodeterioracja, D – łuszczenie, E – spękania, F – uzupełnienia uszkodzeń

Fig. 3. Examples of macroscopic damages on the façade and black crust on the building “B” of the University of Economic and Business: A – black crust on decorative elements (see cover), B – replenishment of damages by concrete and traces of wooden anchoring elements, C – biodeterioration, D – scaling, E – cracks, F – concrete in sandstone



Ryc. 4. Przykłady deterioracji obserwowane w mikroskopie skaningowym: **A** – grzyby; **B** i **C** – strzępki grzybów i porosity; **D** – wtórna krystalizacja związków metali, głównie Fe; **E** – warstwy malarskie bogate w Ba, Pb i Fe; **F** i **G** – widoczna regeneracja krzemionki na kwarcu wpływająca na brak możliwości przenikania zanieczyszczeń i biokolonizacji w głąb piaskowca; **H** – pyły; **I** – gips

Fig. 4. Examples of deterioration process in the SEM image: **A** – fungi; **B** and **C** – fungal hyphae and lichen; **D** – secondary metal crystallisation (mainly Fe); **E** – painting layers enriched in Ba, Pb and Fe; **F** and **G** – quartz regeneration which can unable migration of pollutants and biocolonization deep into the sandstone; **H** – dust particles; **I** – gypsum

Tab. 1. Miejsca pobrania próbek*, ich cechy, rodzaj deterioracji
Table 1. Sampling sites*, their features, type of sample deterioration

Próbka Sample	Wysokość pobrania próbki n.p.t. [cm] Sampling height [cm]	Nr okna Window number	Uziarnienie Grain size	Wysortowanie Sorting	Nazwa wg klasyfikacji Name acc. to classification	Rodzaj deterioracji Type of deterioration
UE1-01	60	6	gruboziarnisty coarse-grained	średnie moderate	subarenit subarenite	czarne naskorupienia, różowa farba black crust, pink paint
UE1-02	115	6	średnioziarnisty medium-grained	średnie moderate	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia, różowa farba black crust, pink paint
UE1-03	205	6	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia, różowa farba black crust, pink paint
UE2-01	60	5	gruboziarnisty coarse-grained	średnie moderate	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia, różowa farba black crust, pink paint
UE2-02	115	5	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	subarenit subarenite	czarne naskorupienia, różowa farba black crust, pink paint
UE2-03	205	5	gruboziarnisty coarse-grained	średnie moderate	subarenit subarenite	czarne naskorupienia, różowa farba black crust, pink paint
UE3-01	95	3	gruboziarnisty coarse-grained	średnie moderate	subarenit subarenite	czarne naskorupienia black crust
UE3-02	205	3	gruboziarnisty coarse-grained	średnie moderate	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE4-01	60	2	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE4-02	115	2	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	subarenit subarenite	czarne naskorupienia black crust

Tab. 1. Miejsce pobrania próbek*, ich cechy, rodzaj deterioracji cd.
Table 1. Sampling sites*, their features, type of sample deterioration cont.

Próbka Sample	Wysokość pobrania próbki n.p.t. [cm] Sampling height [cm]	Nr okna Window number	Uziarnienie Grain size	Wysortowanie Sorting	Nazwa wg klasyfikacji Name acc. to classification	Rodzaj deterioracji Type of deterioration
UE4-03	205	2	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE101	190	rura spustowa downpipe	drobnoziarnisty fine-grained	dobrze well	subarenit subarenite	czarne naskorupienia, biodeterioracja black crust, biodeterioration
UE102	190	rura spustowa downpipe	drobnoziarnisty fine-grained	dobrze well	subarenit subarenite	czarne naskorupienia, biodeterioracja black crust, biodeterioration
UE103	145	rura spustowa downpipe	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia, biodeterioracja black crust, biodeterioration
UE5-01	60	2	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE5-02	115	2	średnioziarnisty medium-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE5-03	205	2	gruboziarnisty coarse-grained	dobrze well	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE6-01	60	6	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia, bluszcz black crust, ivy
UE6-02	115	6	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia, bluszcz black crust, ivy
UE6-03	205	6	średnioziarnisty medium-grained	dobrze well	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia, bluszcz black crust, ivy
UE7-01	70	10	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	subarenit subarenite	czarne naskorupienia black crust
UE7-02	120	10	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE7-03	210	10	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE8-01	80	14	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE8-02	120	14	gruboziarnisty coarse-grained	średnio moderately	subarenit subarenite	czarne naskorupienia black crust
UE8-03	210	14	gruboziarnisty coarse-grained	średnio moderately	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE9-01	90	18	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE9-02	130	18	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	osady, naloty efflorescence
UE9-03	230	18	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE10-01	90	22	gruboziarnisty coarse-grained	średnio moderately	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE10-02	130	22	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE10-03	230	22	gruboziarnisty coarse-grained	złe poor	arenit kwarcowy quartz arenite	czarne naskorupienia black crust
UE104	220	–	gruboziarnisty coarse-grained	średnio moderately	subarenit subarenite	czarne naskorupienia, biodeterioracja black crust, biodeterioration
UE105	130	–	drobnoziarnisty fine-grained	dobrze well	subarenit subarenite	czarne naskorupienia, biodeterioracja black crust, biodeterioration

*Próbki od UE1-01 do UE103 z elewacji północnej, próbki UE5-01 do UE105 z elewacji zachodniej.

*Samples UE1-01 to UE103 from the northern façade, samples UE5-01 to UE105 from the western façade.

rodzaj deterioracji), plamy, zabrudzenia, osady/naloty związane np. z warstwami malarskimi (ryc. 3A, C),

- pęknięcia i deformacje – reprezentowane przez pęknięcia i obłamania ciosów (ryc. 3E),
- oderwania/odseparowania – łuszczenie (ryc. 3D),

- struktury wywołane utratą materiału – brakujące fragmenty (uzupełniane często w przeszłości zaprawą, klejami lub betonem; ryc. 3B, F),
- kolonizacja biologiczna – porosty, mchy oraz bakterie, a także widoczne bluszcze, które pozostawiają liczne

makroskopowo widoczne szczątki organiczne (ryc. 2B, 3C, 4).

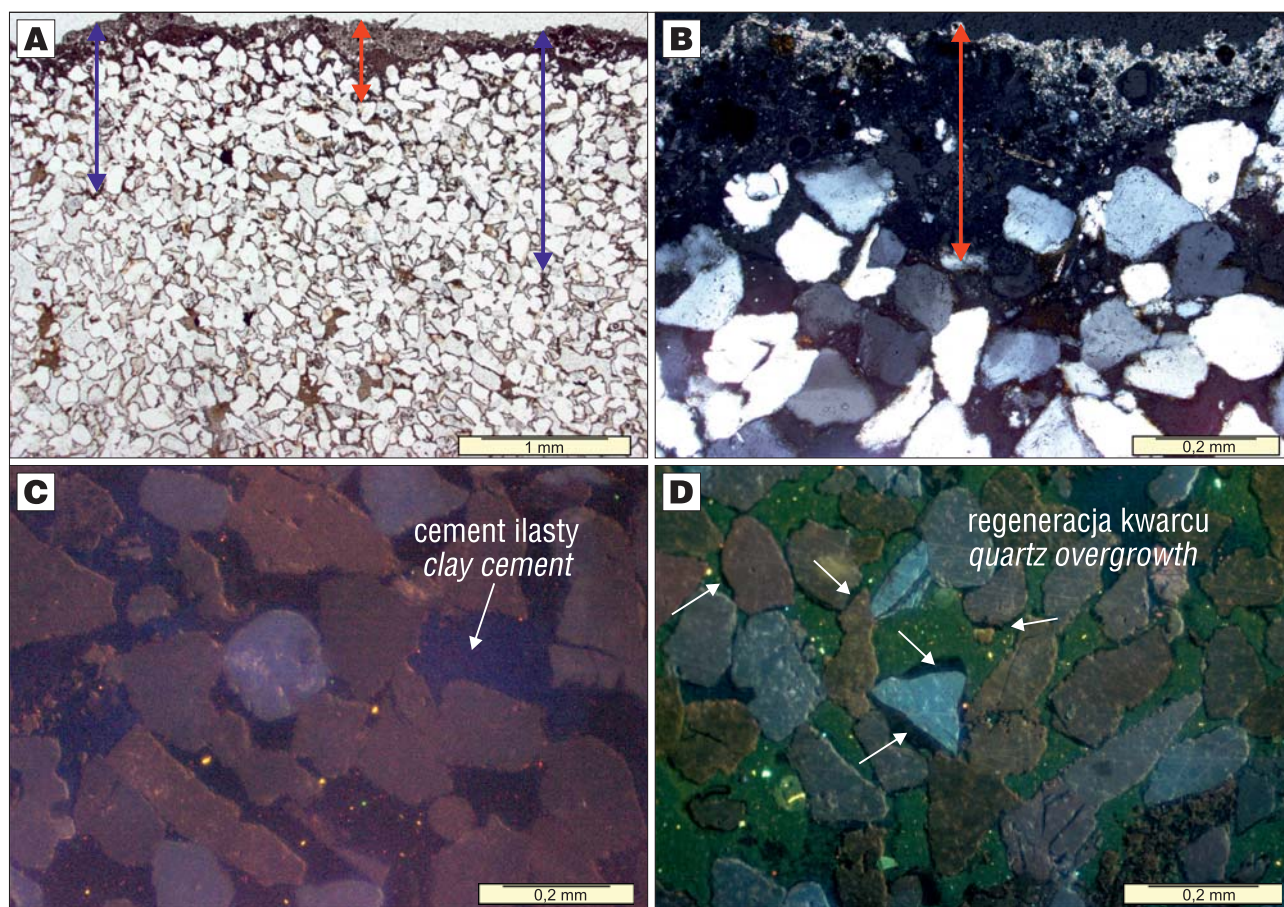
Spośród wyżej wymienionych rodzajów/typów deterioracji do najczęściej występujących należą: pęknięcia, obłamania, ubytki, czarne naskorupienia wszechobecne na całej elewacji. Ponadto obserwuje się stare uzupełnienia zaprawą cementową z dużą zawartością węgla wapnia (ryc. 3B) w górnej części elewacji, znacznie młodsze uzupełnienia specjalnymi klejami w dolnej części (ryc. 3F) (nieujęte w słowniku ICOMOS), a także pozostałości po dawnych tablicach informacyjnych w postaci śrub czy drewnianych kołków (ryc. 3B), które w szczególności w przypadku zamrozu działają bardzo destrukcyjnie na kamień.

Wśród najczęściej obserwowanych przejawów deterioracji wymieniono pęknięcia elewacji piaskowcowej. Spękania te mają nieregularny charakter, jednak ich pojawianie się wykazuje w budynku „B” pewne prawidłowości. Największe z nich występują zawsze w miejscach mocowania krat do elewacji kamiennej (ryc. 3E). Spękania te są najprawdopodobniej spowodowane rozszerzalnością cieplną zastosoanego materiału, na skutek zmiennych warunków temperaturowych, a także migracją wilgoci wewnątrz wykonanych otworów, gdzie na skutek zamrozu woda, zwiększając swą objętość, powoduje przyspieszenie mechanicznej dezintegracji kamienia. Mniejsze uszkodzenia można obserwować także w okolicach ww. drewnianych kołków, na których kiedyś mocowano tablice informacyjne na elewacji. Niewielka

część spękań przechodzi w wyraźne rysy. W odróżnieniu od wielu innych form deterioracji pęknięcia te nie muszą mieć bezpośredniego związku ze składem mineralnym skał, a bardziej z doborem danego materiału i jego montażem w obrębie kamiennej elewacji.

Na podstawie badań mikroskopowych większość analizowanych próbek piaskowców zaklasyfikowano do arenitów kwarcowych. Mniejszą grupę stanowiły natomiast subarenity, gdzie udział procentowy kwarcu w szkielecie ziarnowym przekraczał 90% (tab. 1; Pettijohn i in., 1972). Spoiwem tych skał było przede wszystkim spoiwo krzemionkowe wykształcone w postaci obwódek regeneracyjnych obserwowanych zarówno w obrazie CL, jak i SEM (ryc. 4G, 5), które to w znacznym stopniu wpływa na polepszenie właściwości skały. Można było zauważyć kontakty wkłęsło wypukłe i suturowe na styku ziaren kwarcu. Znacznie rzadziej widoczne były domieszki spoiwa wypełniającego ilastego, głównie kaolinitowego w postaci pakietów *księżeczkowych*.

Podatność skał na procesy niszczenia w dużej mierze zależy od ich porowatości. Określono ją w pobranych próbkach przy zastosowaniu programu ImageJ (preparaty zostały zabarwione w celu dokładniejszej identyfikacji tej cechy). Właściwość ta widoczna była także dobrze w obrazie CL (ryc. 5). Porowatość piaskowców z elewacji budynku „B” wynosiła 18–31%, średnia wartość to 23%. Szkielet ziarnowy piaskowców był zwarty i mimo miejscami



Ryc. 5. Obraz mikroskopowy wybranych próbek (A i B – OM, C i D – CL): A i B – grubość czarnych naskorupień, czerwona strzałka to grubość naskorupienia, niebieska, to maksymalna głębokość wnikania zanieczyszczeń; C – barwa pomarańczowa to drobne ziarna węglanów; D – regeneracja kwarcu (wskazana strzałkami krzemionka autigeniczna nie wykazuje luminescencji)

Fig. 5. Microphotographs of selected samples (A and B – OM, C and D – CL): A and B – red arrows showing the thickness of the black crust, blue arrows showing the maximum depth of pollutant migration into the sandstone; C – orange colour showing very small carbonate grains; D – quartz regeneration (arrows showing authigenic silica without luminescence)

znacznej porowatości można było zaobserwować brak kontaktów między porami, na co wpływ miał charakter chemicznie spoiwa krzemionkowego.

Porowatość piaskowców z terenu synklinorium w badaniach mikroskopowych określono na przedział od ok. 18 do nawet 25%. Wartość porowatości otwartej tych skał była znacznie niższa. Średnie wartości dla różnych złóż z terenu Dolnego Śląska wynosiły 11–13,5% (Szczepaniak, 2015). Cecha ta jest o tyle istotna, że jej wartość umożliwia lub też nie migrację zanieczyszczeń w głąb skały (Sousa i in., 2005) i ułatwia lub też utrudnia krystalizację wtórnych faz mineralnych. Odniesienie do tej wartości jest spowodowane faktem, iż w preparatach mikroskopowych piaskowców z budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego zaobserwowano minimalną krystalizację wtórnych faz mineralnych związanych z niszczeniem piaskowca wewnątrz szkieletu. Czarne naskorupienia, migracja składników warstw malarskich i wtórne minerały są obserwowane łącznie jedynie w przypowierzchniowej warstwie preparatów, nie głębiej jak 1,5–2,0 mm. Może to świadczyć o niewielkiej porowatości otwartej także tych próbek. Dodatkowo obraz mikroskopowy (OM, SEM, CL) wskazuje na znaczną dojrzałość diagenetyczną wykorzystanego materiału skalnego, co może pozytywnie wpływać na jego stan zachowania w obiekcie (elewacji). Nasiąkliwość piaskowców z rejonu synklinorium północnosudeckiego jest także niewielka, bo wynosi maksymalnie 5,0–6,7% (Szczepaniak, 2015), co zapewne także przyczynia się do ograniczonej migracji wód meteorycznych w głąb elewacji piaskowcowej, a także migracji zanieczyszczeń. Istotnym jest fakt, iż nie zaobserwowano zależności stopnia migracji zanieczyszczeń w głąb skały w zależności od lokalizacji próbek.

W trakcie wcześniejszych badań porównawczych materiału skalnego z naturalnych wychodni (Szczepaniak, 2015) zaobserwowano, że piaskowce koniaku z rejonu synklinorium północnosudeckiego cechują się nieco większym udziałem spoiwa ilastego, niż te z analizowanego budynku. Być może jest to spowodowane faktem, że w przeszłości eksploatowano ławicę piaskowców o nieznacznie mniejszym udziale spoiwa ilastego, niż w obecnie eksploatowanych. Być może jest to jednak efekt długotrwałego działania wietrzenia na piaskowiec w warunkach zanieczyszczonego środowiska atmosferycznego. W warunkach zanieczyszczenia atmosfery i zmiany pH możliwe jest bowiem rozpuszczanie kaolinitu (Huertas i in., 1999), który dominuje wśród innych minerałów ilastych obecnych w piaskowcach synklinorium północnosudeckiego. Niestety ze względu na wielkość pobranych próbek nie ma możliwości przesłedzenia zawartości spoiwa ilastego w skałe w głąb okładziny piaskowcowej.

W związku z cechami petrograficznymi piaskowców i wynikającymi z nich cechami fizykomechanicznymi, zanieczyszczenia obecne na powierzchni próbek stworzyły rodzaj *filmu* utrudniającego dalsze przemieszczanie się zanieczyszczeń w głąb okładziny i ciosów piaskowcowych. O ile z punktu widzenia uszczelnienia powierzchni skały i stworzenia *ochrony hydrofobowej* mogłaby być to korzyść, o tyle ze względów estetycznych efekt ten jest mało pożądanym. Powierzchnia ta posiada mikropełknięcia widoczne w obrazie mikroskopowym (SEM), które pozwalają na bardzo ograniczoną migrację wód meteorycznych poniżej tej powierzchni (w głąb skały). Samo zanieczyszczenie reaguje z powierzchnią skały w bardzo ograniczonym stopniu, głównie ze względu na znaczną dojrzałość diagenetyczną piaskowców, na których się wytworzyły. W przy-

padku piaskowców o zwiększonym udziale spoiwa ilastego w skałe obserwować można jednak miejscowe łuszczenie się jej powierzchni i odpadanie części czarnych naskorupień (ryc. 3D).

Czarne naskorupienia na pobranych do badań próbkach mają różną intensywność barwy (od ciemnoszarej do czarnej). Ich grubość jest zróżnicowana. Najgrubsze warstwy naskorupień dochodzą do 1 mm (ryc. 5). Obserwowana migracja zanieczyszczeń w głąb próbek sięgała do 1,5 mm od powierzchni (widoczne w obrazie mikroskopowym). Nie zauważono jednak wyraźnej korelacji grubości naskorupień w pobranych próbkach z kierunkami świata i ich wysokością n.p.t. w kamiennej elewacji budynku. Jedyną wyraźną obserwowaną zależność to intensywniejsze w barwie czarne naskorupienia w ułożonych poziomo lub wyraźnie wystających kamiennych elementach elewacji. Skład tych nawarstwień jest zróżnicowany. Występują w nich śladowe ilości węglanów i siarczanów w postaci gipsu, który to jest popularnym składnikiem naskorupień obserwowanych także makroskopowo (Michniewicz, 1996). W przypadku próbek z elewacji budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego minerał ten był obserwowany jednak rzadko (ryc. 4I). Tworzył on jedynie miejscami lokalne mikroskopowej wielkości gipsowe *pokrywy* w czarnych naskorupieniach. Identyfikowano go w próbkach pobranych w najniższych częściach fasady budynku, głównie na wysokości 60–70 cm n.p.t. Jego obecność nie wpływała jednak na zmianę intensywności czarnej barwy naskorupień. Obecność samego gipsu odnotowano także w sąsiedztwie rynien, gdzie mikroskopijnej wielkości kryształki obserwowano w obrębie piaskowców z wyraźnymi śladami biodeterioracji. Makroskopowo nie zauważono białych wykwitów wspomnianych faz mineralnych.

Wśród stwierdzonych pierwiastków na czarnej powierzchni próbek piaskowców jest zauważalny znaczny udział związków metali, m.in. cynku, cyny, ołowiu, żelaza, występujących w różnych postaciach (naskorupień, pyłów i agregatów; związki żelaza tworzą miejscami niewyraźne fromboidalne nagromadzenia). Sporadycznie w czarnych nawarstwieniach stwierdzono także śladowe ilości platyny w postaci mikroskopijnych okruców, której obecność można wiązać np. z wykorzystaniem katalizatorów. Dominujący jest jednak węgiel, wszechobecny w sadzy (tab. 2). Jego udział jest także znaczny w każdej analizowanej próbce, gdzie na powierzchni pobranych próbek zidentyfikowano materię organiczną w postaci glonów czy porostów. W obrazie mikroskopowym SEM wyraźnie zauważalne są także pyły z zanieczyszczonej atmosfery (ryc. 4H). Ich skład chemiczny jest zróżnicowany, dominują jednak glinokrzemiany i związki żelaza. Ponadto w nielicznych próbach obserwowano także pozostałości mocno zniszczonych warstw malarskich, w których dawne barwy były już niedostrzegalne (obecność tych warstw była efektem pojawiającego się miejscowo *graffiti*). Składały się one z dominujących pierwiastków: baru, ołowiu i żelaza (tab. 3, pkt 1, 2 i 3).

W obrazie mikroskopowym szczególnie dobrze widoczne są ślady biologicznej kolonizacji powierzchni skały. Makroskopowo próbki miejscami przybierają na powierzchni wyraźną zieloną barwę (ryc. 3C). Dzieje się tak głównie w sąsiedztwie często nieszczelnych rur spustowych. Część z nich można zidentyfikować już makroskopowo. Są to mchy oraz elementy czepne roślin (bluszczu). Mikroskopowo oznaczono ponadto pyłki roślin przyczepione do czarnych naskorupień, porosty oraz niezidentyfikowane

Tab. 2. Przykładowa analiza geochemiczna próbki UE101 pokrytej czarnym naskorupieniem o intensywnie czarnej barwie i znacznym udziale mikroorganizmów na powierzchni piaskowca (głównie pkt 6 i 7)**Table 2.** Geochemical analysis of the UE101 sample covered with an intensive black crust and microorganisms on the sandstone surface (especially in points 6 and 7)

Skład chemiczny [%] Chemical composition [%]	Punktowe analizy chemiczne na powierzchni próbki UE101 Selected chemical analysis on the surface of sample UE101						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
CO ₂	47,71	23,74	21,61	43,02	24,03	88,90	84,16
N ₂ O ₅	–	–	3,85	–	10,39	–	–
Na ₂ O	0,47	0,36	–	0,47	0,32	0,25	0,17
MgO	0,48	0,29	28,38	1,47	14,35	0,34	0,35
Al ₂ O ₃	4,24	0,90	1,28	4,66	3,05	0,92	1,53
SiO ₂	32,00	73,79	28,40	9,13	7,93	2,97	5,43
P ₂ O ₅	0,53	–	–	0,61	–	1,54	1,22
SO ₃	–	–	–	0,48	0,50	1,06	0,94
Cl	0,78	0,32	0,29	0,94	0,35	2,17	3,74
K ₂ O	2,77	–	–	0,28	0,41	0,64	0,80
CaO	6,35	–	0,29	5,97	36,33	0,37	0,45
TiO ₂	–	–	–	30,36	0,43	–	–
MnO	–	–	0,32	–	–	–	–
Fe ₂ O ₃	2,35	0,59	15,58	2,15	1,93	0,49	0,93
ZnO	–	–	–	0,45	–	0,34	0,28
MoO ₃	0,67	–	–	–	–	–	–
BaO	1,66	–	–	–	–	–	–

Tab. 3. Przykładowa analiza geochemiczna próbki UE2-03 pokrytej warstwą malarską i czarnym naskorupieniem (punkty pomiarowe 1, 2, 3 zostały zlokalizowane na powierzchni warstw malarskich, punkty analiz 4 i 5 – na powierzchni czarnego naskorupienia)**Table 3.** Geochemical analysis of the UE2-03 sample covered by paint layer and black crust (points 1, 2, 3 localised on the paint layer, points 4 and 5 – on the black crust)

Skład chemiczny [%] Chemical composition [%]	Punktowe analizy chemiczne na powierzchni próbki UE2-03 Selected chemical analysis on the surface of sample UE2-03				
	P1	P2	P3	P4	P5
CO ₂	0,90	3,42	1,80	7,10	6,20
Na ₂ O	0,97	0,78	0,44	–	–
MgO	0,45	0,89	–	1,35	0,42
Al ₂ O ₃	16,56	20,78	7,56	10,15	13,21
SiO ₂	8,82	14,31	6,29	54,56	50,48
P ₂ O ₅	2,20	2,84	1,50	1,66	2,01
SO ₃	12,61	–	–	2,14	0,95
K ₂ O	–	0,39	–	1,73	13,81
CaO	0,39	0,42	0,29	1,85	–
TiO ₂	–	–	–	1,47	0,46
Cr ₂ O ₃	–	–	3,22	–	–
Fe ₂ O ₃	24,38	24,22	28,42	11,84	7,83
ZnO	0,30	0,47	0,48	1,39	0,72
BaO	16,60	14,87	23,55	–	1,15
PbO	15,78	16,39	26,45	4,73	2,74

bakterie (ryc. 4). W przypadku porostów (w ujęciu ekologicznym, gdyż jako samodzielna jednostka taksonomiczna już one nie istnieją) bardzo dobrze widoczne są na powierzchni próbek strzępki grzybów, dostarczające ży-

wienie właściwemu organizmowi (ryc. 4A, B). Zaobserwowano, że strzępki te, podobnie jak i wtórna mineralizacja, nie wnikają głęboko we wnętrze powierzchni piaskowca. Ich obecność odnotowano jedynie na przypowierzchniowej warstwie próbek do głębokości ok. 1 mm (maks. 2 mm). Tego typu biokolonizacja tworzyła tzw. biofilm na powierzchni piaskowca. Na *czystej* próbce (poniżej czarnych naskorupień, po czystej stronie pobranych próbek) nie były one już obserwowane. Należy zauważyć, że porosty są najczęściej pierwszymi mieszkańcami na suchej i nieorganicznej lub mineralnej powierzchni kamiennych elewacji czy pomników. Niestety w szybkim tempie wytwarzają strzępków, które reagują z powierzchnią kamienia, wpływając na jego estetykę. Dzieje się tak już przy niewielkim dopływie wilgoci (Gorbushina, Krumbin, 2000). W tym przypadku nie tylko dopływ wilgoci, ale i zanieczyszczenia obecne na powierzchni piaskowców mogą wpływać na tempo rozwoju organizmów żywych. Istotną ich cechą jest fakt, że w niesprzyjających warunkach mogą one przejść w stan *hibernacji*, a następnie znów wrócić do dalszego rozwoju.

W ramach dyskusji otrzymanych wyników należy odnieść się do zanieczyszczenia atmosfery, z jakim boryka się od lat Poznań. Jego wpływ jest ogromny na to, co można obserwować zarówno w skali makro, jak i mikro na elewacjach budynków. Według Pollution Index by Cities in 2017, 2019 (<https://www.numbeo.com/pollution/rankings.jsp>), Poznań znajdował się na 210 miejscu w rankingu najbardziej zanieczyszczonych miast świata, a w 2018 r. już na 179. W Europie Poznań w 2017 r. zajął 46 miejsce, a 2018 r. – już 41. Według WHO i European Environment Agency zimą 2016 r. polskie miasta były jednymi z naj-

bardziej zanieczyszczonych miast w Unii Europejskiej (De Brito Beirao Guerreiro i in., 2016 – EEA Report No 28/2016). Według tego raportu Polska odnotowała znaczny wzrost emisji w latach 2000–2014. Pozycja Poznania wśród najbardziej zanieczyszczonych miast Europy jest oczywiście zmienna i zależy nie tylko od stopnia emisji, ale i warunków klimatycznych czy też okresowych warunków pogodowych. Wszystkie te dane bezpośrednio wpływają nie tylko na jakość powietrza, ale i na tempo niszczenia elewacji zabytków. Problem ten dotyczy oczywiście nie tylko obszaru Polski (Kuzmichev, Loboyko, 2016). O ile obecność biodeterioracji nie musi być warunkowana przez zanieczyszczenie powietrza, o tyle obecność na naskorupieniach pierwiastków takich jak: bar, cyna, ołów, a nawet platyna, można już wiązać z zanieczyszczeniem atmosfery, z jakim ma problem wiele obszarów zurbanizowanych.

Oczywiście tempo deterioracji będzie różne w przypadku różnego rodzaju elewacji: tynku, okładziny ze skał węglanowych czy też piaskowców. W przypadku skały, która dominuje w elewacji budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego charakter jej spoiwa uniemożliwia migrację zanieczyszczeń w głąb skały.

WNIOSKI

Przebieg wietrzenia powierzchni skały zależy zarówno od jej cech petrograficznych, jak i od środowiska, w jakim się ona znajduje. W przypadku Poznania są to warunki szczególnie dotknięte zanieczyszczeniem atmosferycznym. W warunkach naturalnych powierzchnia piaskowca pokrywa się naturalną patyną, która zapewnia mu długotrwałą ochronę przed wietrzeniem. Skorupa wietrzeniowa powstała w wyniku zanieczyszczenia w obszarach zurbanizowanych (nazywana czarnym naskorupieniem – *black crust*) zawiera znaczne ilości wtórnych minerałów takich jak sole i siarczany, a także znaczne ilości pyłów. Zmniejszają one odporność powierzchni piaskowca, a także wewnętrznych warstw skalnych na warunki atmosferyczne. Efektem tego jest pogorszenie walorów estetycznych kamienia. Takie czarne naskorupienia utrudniają też wymianę wilgoci w jej wnętrzu przy zmianie warunków pogodowych, co w efekcie końcowym może doprowadzić do uszkodzenia struktury skały i jej powierzchniowego rozpadu. Wpływ na to może mieć także zarówno wystawa elewacji względem kierunków świata, jak i położenie okładziny kamiennej względem poziomu terenu. W przypadku analizowanych piaskowców zaobserwowano zwiększoną ilość siarczanów (gipsu) w dolnych partiach elewacji budynku, przypowierzchniowy rozpad okładziny kamiennej jest jednak tu rzadko obserwowany. Kolejną odnotowaną, znacznie wyraźniejszą zależnością była bardzo nasilona biodeterioracja piaskowca w sąsiedztwie rur spustowych, gdzie, poza już makroskopowo identyfikowanym mchem, we wnętrzu skały w obrazie mikroskopowym były dobrze widoczne strzępki grzybów. Najczęściej pojawiającymi się uszkodzeniami analizowanego materiału okładzinowego były pęknięcia okładziny piaskowcowej, pojawiające głównie w sąsiedztwie kotwiczenia krat zarówno w zachodniej, jak i północnej części elewacji.

Wyniki niniejszych badań próbek piaskowców z elewacji budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego wskazują na znaczny udział w naskorupieniach związków chemicznych metali, m.in. Ba, Pb, Fe, oraz pyłów związanych z zanieczyszczeniem atmosfery. Migracja zanieczyszczeń jest jednak ograniczona i sięga zaledwie

1,5–2,0 mm. Analizowane piaskowce z elewacji budynku „B”, podobnie jak próbki badane w latach wcześniejszych z wychodni w Rakowicach Małych (Szczepaniak, 2015), cechują się znaczną dojrzałością diagenetyczną. Dobrze wykształcone spoiwo krzemionkowe wpływające także na niewielką porowatość otwartą tych skał powoduje, że zanieczyszczenia migrują w badanym surowcu jedynie nieznacznie w głąb skały. W znacznej mierze stopień diagenetyzacji może zatem w przyszłości warunkować to, jak zachowa się piaskowiec w wyniku jego dalszego wietrzenia.

Nie znając źródła pochodzenia skały wykorzystanej do budowy danego obiektu, dobór materiału do prac renowacyjnych może być więc bardzo precyzyjny. W tym celu należy badania oprzeć nie tylko na analizach petrograficznych, ale także precyzyjnie zidentyfikować produkty i efekty diagenetyzacji danego materiału.

Wnioski wyciągnięte na podstawie uzyskanych wyników można z pewnością przenieść także na zbliżone zanieczyszczone obiekty wykonane z podobnego materiału skalnego.

Autorzy pragną podziękować profesor PIG-PIB dr hab. Magdalenie Sikorskiej-Jaworowskiej i dr Danucie Michalskiej za pomoc w realizacji analiz SEM-EDS oraz CL. Badania były finansowane z działalności statutowej Instytutu Geologii UAM oraz Projektu Wewnętrznego Instytutu Geologii UAM pt. *Zróżnicowanie procesów diagenetycznych zachodzących w piaskowcach synklinorium północnosudeckiego w warunkach naturalnych oraz będących następstwem procesów niszczenia w obiektach architektonicznych*.

LITERATURA

- AURAS M., BEER S., BUNDSCHUH P., EICHHORN J., MACH M., SCHEUVENS D., SCHORLING M., VON SCHUMANN J., SNETHLAGE R., WEINBRUCH S. 2013 – Traffic-related immissions and their impact on historic buildings: implications from a pilot study at two German cities. *Environ. Earth Sci.*, 69: 1135–1147.
- BARANIECKI L., GROCHOLSKI A., MYDLARSKI T. 1955 – Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, ark. Iwiny. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- CARDELL C., DELALIEUX F., ROUMPOPOULOS K., MOROPOULOU A., AUGER F., VAN GRIEKEN R. 2006 – Salt-induced decay in calcareous stone monuments and buildings in a marine environment in SW France. *Constr. Build. Mater.*, 17: 165–179.
- DE BRITO BAIRAO GUERREIRO C., ORTIZ A.G., DE LEEUW F., VIANA M., HORALEK J. 2016 – Air quality in Europe – 2016 report. *European Environment Agency, Report No 28/2016*.
- GORBUSHINA A.A., KRUMBELIN W.E. 2000 – Rock dwelling fungal communities: diversity of life styles and colony structure. [W:] Seckbach, J. (red.), *Journey to Diverse Microbial Worlds. Adaptation to Exotic*. *Environ. Kluwer, Dordrecht*: 317–334.
- GÖTZE J., SIEDEL H. 2004 – Microscopic scale characterization of ancient building sandstones from Saxony (Germany). *Mater. Character.*, 53: 209–222.
- GÖTZE J., SIEDEL H. 2007 – A complex investigation of building sandstones from Saxony (Germany). *Mater. Character.*, 58: 1082–1094.
- GÖTZE J., SIEDEL H., MAGNUS M. 2007 – Provenance determination of building sandstones: a methodology applied to Cretaceous sandstones from Saxony (Germany). *Zeit. Deutsch. Ges. Geowissen.*, 158 (4): 807–819. <https://www.numbeo.com/pollution/rankings.jsp> – dostęp 05.02.2019.
- HUERTAS F. J., CHOU L., WOLLAST R. 1999 – Mechanism of kaolinite dissolution at room temperature and pressure Part II: kinetic study. *Geoch. Cosmochim. Acta*, 63 (19–20): 3261–3275.
- ICOMOS-ISCS Słownik, 2008 – Illustrated glossary on stone deterioration patterns. *Monuments and Sites XV, Paris*.
- IVASKOVA M., KOTES P., BRODNAN M. 2015 – Air pollution as an important factor in construction materials deterioration in Slovak Republic. *Proc. Eng.*, 108: 131–138.
- KAROLCZAK W. 2005 – Ulice i zaułki dawnego Poznania – ulica Św. Marcina. *Muzeum Narodowe w Poznaniu, Poznań*.
- KOZŁOWSKI S. 1986 – Surowce skalne Polski. *Wyd. Geol.*, Warszawa.

- KRYZAR. 2011 – Kamień w architekturze i sztuce: od Asuanu do Żagania. [W:] Żelaźniewicz A., Wojewoda J., Ciężkowski W. (red.), *Mezozoik i kenozoik Dolnego Śląska*. Wyd. WIND i PTG, Wrocław.
- KÜHN B., ZIMMERMANN E. 1918 – Erläuterungen zur Gologischen Karte von Preussen und benachbarten Bundesstaaten, Blatt Gröditzberg.
- KUZMICHEV A.A., LOBOYKO V.F. 2016 – Impact of the Polluted Air on the Appearance of Buildings and Architectural Monuments in the Area of Town Planning. *Proc. Eng.*, 150: 2095–2101.
- LABUS M. 2008 – Evaluation of weathering-resistance classes in clastic rocks on the example of Polish sandstones. *Environ. Geol.*, 54: 283–289.
- LABUS M., BOCHEN J. 2012 – Sandstone degradation: An experimental study of accelerated weathering. *Environ. Earth Sci.*, 67 (7): 2027–2042.
- MICHALSKI ST., GÖTZE J., SIEDEL H., MAGNUS M., HEIMANN R. B. 2002 – Investigations into provenance and properties of ancient building sandstones of the Zittau/Görlitz region (Upper Lusatia, Eastern Saxony, Germany). [W:] Siegesmund S., Vollbrecht A., Weiss T. (red.), *Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies*. *Geol. Soc., London Spec. Publ.*, 205: 281–295.
- MICHNIEWICZ J. 1996 – Niszczenie górnokredowych piaskowców ciosowych w zabytkach Wrocławia pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych. *Prz. Geol.*, 44 (3): 271–274.
- MILEWICZ J. 1961 – Uwagi o piaskowcach budowlanych rejonu Bolesławca-Lwówka Śląskiego. *Prz. Geol.*, 9 (4): 186–190.
- MILEWICZ J. 1973 – Przekrój geologiczny przez depresję północnosudecką. *Kwart. Geol.*, 17 (1): 45–56.
- MILEWICZ J. 1979 – Piaskowce dolnotriasowe i górnokredowe depresji północnosudeckiej. [W:] Dziedzic K., Kozłowski S., Majerowicz A., Sawicki L. (red.), *Surowce mineralne Dolnego Śląska*. Wyd. Zakładu Nar. im. Ossolińskich, Wrocław.
- NORD A.G., SVÄRDH A., TRONNER K. 1994 – Air pollution levels reflected in deposits on building stone. *Atmos. Environ.*, 28 (16): 2615–2622.
- PAŁAT Z., PAZDER J. 2011 – Poznań dzielnica zamkowa. Wyd. Miejskie Poznań, Poznań.
- PAZDER J. 2008 – Atlas architektury Poznania. Wyd. Miejskie, Poznań.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R. 1972 – *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- REMBIŚ M. 2010 – Wpływ impregnacji związkami krzemooorganicznymi piaskowców stosowanych w pionowych okładzinach kamiennych na ich odporność wobec siły wrywającej boleć kotwy. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439 (2): 441–446.
- RUSSA M.F., FERMO P., COMITE V., BELFIORE C.M., BARCA D., CERIONI A., DE SANTIS M., BARBAGALLO L.F., ROCCA M., RUFFOLO S.A. 2017 – The Oceanus statue of the Fontana di Trevi (Rome): The analysis of black crust as a tool to investigate the urban air pollution and its impact on the stone degradation. *Sci. Total Environ.*, 593–594: 297–309.
- SOUSA L.M.O., SUAREZ DEL RIO L.M., CALLEJA L., RUIZ DE ARGANDONA V.G., RODRIGUEZ REY A. 2005 – Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Eng. Geol.*, 77: 153–168.
- SZCZEPANIAK M. 2014 – Sandstone in the sacral buildings of Greater Poland – provenance of the raw material. [W:] Michalska D., Szczepaniak M. (red.), *Geoscience in Archaeometry. Methods and case study*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 35–58.
- SZCZEPANIAK M. 2015 – Procesy diagenetyczne w wybranych piaskowcach Dolnego Śląska i ich znaczenie dla romańskiej architektury Wielkopolski. *Bogucki Wyd. Nauk., Poznań*.
- SZCZEPANIAK M., NAWROCKA D., MROZEK-WYSOCKA M. 2008 – Applied geology in analytical characterization of stone materials from historical building. *Appl. Physics A: Mater. Sci. Proc.*, 90 (1): 89–95.
- WATT J., TIDBLAD J., KUCERA V., HAMILTON R. 2009 – *The effect of air pollution on cultural heritage*. Springer Science Business Media, New York.

PRZEGLĄD

GEOLOGICZNY



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA



Cena 12,60 zł (w tym 5% VAT)

TOM 67 Nr 9 (WRZESIEŃ) 2019

Indeks 370908 ISSN-0033-2151

XXIV Konferencja Naukowa
Kamień w złożu, krajobrazie i architekturze

Zdjęcie na okładce: Czarne naskorupienia na dekoracyjnych elementach budynku „B” Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, wykonanych z piaskowca pochodzącego z synklinorium północnosudeckiego – z Rakowic Małych i Warty Bolesławieckiej. Piaskowiec ten już od średniowiecza był stosowany w budownictwie na Dolnym Śląsku. Fot. M. Szczepaniak (zobacz artykuł M. Szczepaniak i P. Rój na str. 717)

Cover photo: Black crust on the decorative elements of the building “B” facade of the Poznań University of Economics and Business, made of sandstone coming from the North Sudetic Synclinorium – from Rakowice Małe and Warta Bolesławiecka. This sandstone has been applied in the architecture of the Lower Silesia since the Middle Ages. Photo by M. Szczepaniak (see article by M. Szczepaniak and P. Rój on page 717)