

## Zróźnicowanie procesów deterioracji piaskowcowej elewacji XIX-wiecznego budynku Archiwum Państwowego w Poznaniu

Małgorzata Szczepaniak<sup>1</sup>



**Diversity of the deterioration processes of the 19<sup>th</sup> century sandstone facade of the National Archive in Poznań.** *Prz. Geol.*, 69: 127–134; doi: 10.7306/2021.8

*Abstract.* Stone has been used in architecture since Antiquity. The processes of its deterioration in different buildings have always been associated with natural processes of its weathering (physical, chemical, biological). However, this situation has changed over centuries. Currently, air pollution (mainly in urbanised areas) has a significant impact on the accelerated weathering of stone monuments. The research presented in this paper concerns the deterioration of stone facade of the 19<sup>th</sup> century building of the National Archive in Poznań, where the latest factor (contemporary air pollution) plays the greatest role. Based on the ICOMOS glossary, selected forms of deterioration were described and classified in macro and micro scales. For this purpose, optical and scanning microscopy and X-ray diffraction were used. As a result of the research, lichen species composition and secondary mineralisation in the black crust were identified. Elements, such as: barium, zinc, lead, and iron, which were detected on the black crust, were directly related to anthropogenic pollution caused mainly by combustion and low emissions.

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

Piaskowiec jest surowcem budowlanym powszechnie wykorzystywanym na świecie. Na terenie Polski był stosowany do XVI–XVII w., co można obserwować przede wszystkim na południu kraju, w rejonach jego eksploatacji. Przykładem może być Dolny Śląsk, gdzie początki wydobycia tej skały sięgają średniowiecza. Od tamtego czasu piaskowiec znacznie zyskał na popularności także poza obszarami jego wydobycia. Od XVII w. był coraz częściej wykorzystywany także na terenach środkowej Polski czy Niemiec (Michalski i in., 2002). W Poznaniu na dużą skalę był stosowany od XIX w. Doskonałymi przykładami są zabytki Traktu Królewsko-Cesarskiego w centrum miasta, np. Zamek Cesarski, siedziba Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza czy Teatr Wielki (Pazder, 2008; Szczepaniak, Rój, 2019).

Piaskowiec zastosowany z architektury Poznania pochodzi przeważnie z obszarów synklinorium północno-i środkowosudeckiego, gdzie znajduje się wiele złóż tej skały, głównie wieku kredowego (Kozłowski, 1986). Najlepszym i najczęściej wykorzystywanym był piaskowiec wieku koniakckiego, głównie ze względu na swoje cechy fizykomechaniczne i dużą bloczność.

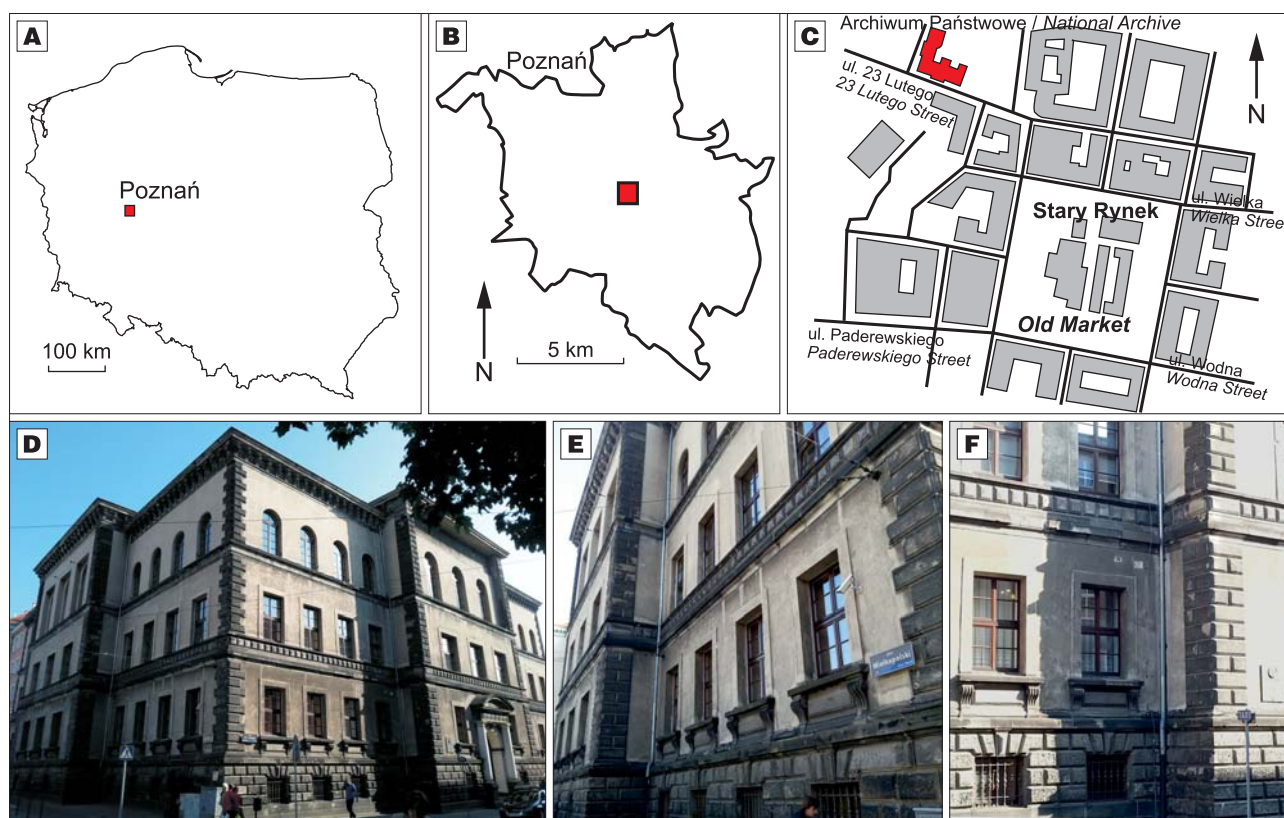
Wraz z rewolucją przemysłową zaczął pojawiać się problem zanieczyszczenia atmosfery, co nie jest bez znaczenia dla wyglądu i zachowania zabytków. Powszechny stał się problem niskiej emisji, w tym pyłów PM<sub>10</sub>, związków azotu NO<sub>x</sub> i siarki SO<sub>2</sub>, pojawiających się w większych i mniejszych miejscowościach oraz strefach przemysłowych. Obecność tych związków w połączeniu z oddziaływaniem zróżnicowanych warunków klimatycznych wpływa na zły stan zachowania kamiennych zabytków Poznania (Nord i in., 1994; Watt i in., 2009; Auras i in., 2013; Ivaskova i in., 2015; Russa i in., 2017).

Deteriorację zabytków determinują czynniki chemiczne, fizyczne, mechaniczne oraz biologiczne (Rembiś, 2019; Ruszkowski, Wiszniewska, 2019). W zależności od rodzaju kamiennego podłoża (litologii skały) na elewacji budowli może się pojawiać np. biokolonizacja, łuszczenie się warstw skalnych, alweolizacja, eksfoliacja czy cukrzenie się powierzchni. W większości przypadków na powierzchniach badanych obiektów architektonicznych (w tym także rzeźb) obserwuje się wiele współistniejących form deterioracji zarówno o genezie biologicznej, chemicznej, jak i fizycznej. Na potrzeby konserwacji i badań formy te zostały sklasyfikowane (ICOMOS-ISCS, 2008).

### OBIEKT BADAŃ

Budynek Archiwum Państwowego (AP) w Poznaniu jest zlokalizowany przy ul. 23 Lutego. Zbudowano go w stylu neorenesansowym w latach 1879–1882, wg projektu Heinricha Kocha oraz Karla Friedricha Endella jako siedzibę ówczesnego Najwyższego Sądu Krajowego (Pazder, 2008). Gmach wzniesiono z cegły, natomiast do wykończenia dolnej części jego elewacji i wykonania licznych detali architektonicznych zastosowano okładzinę piaskowcową (ryc. 1). Pierwotna elewacja obiektu wyglądała odmiennie od współczesnej, co obrazują stare fotografie. W okresie II wojny światowej budynek ten został znacznie zniszczony, głównie na wysokości górnych kondygnacji. W związku z tym nie zachowały się piaskowcowe ościeża okienne oraz gzymsy pierwszego i drugiego piętra. W trakcie odbudowy zachowano oryginalną elewację piaskowcową na parterze budowli, a także portale z końca XIX w. (ryc. 1D–F, 2). Od 1979 r. decyzją Poznańskiego Wojewó-

<sup>1</sup> Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań, [malgorzata.szczepaniak@amu.edu.pl](mailto:malgorzata.szczepaniak@amu.edu.pl)



**Ryc. 1.** Lokalizacja budynku Archiwum Państwowego w Poznaniu: A–C – lokalizacja na tle kraju, miasta i starego miasta Poznań, D – elewacja południowa, E, F – elewacja zachodnia

**Fig. 1.** Location of the Poznań National Archive building: A–C – location in Poland, Poznań city and Poznań Old Town, D – southern facade, E, F – western facade

dzkiego Konserwatora Zabytków obiekt jest wpisany do rejestru zabytków architektury.

Od czasów odbudowy Archiwum Państwowego elewacja budynku była poddana jedynie niewielkim pracom renowacyjnym, które polegały m.in. na naprawie mechanicznych uszkodzeń okładziny przez zastosowanie odpowiednich klejów. Brak prac konserwatorskich sprawił, że stan elewacji jest bardzo zły, jednak są one planowane na najbliższe lata – ich projekt już powstał.

#### CEL BADAŃ

W ostatnich kilkunastu latach znaczną część obiektów znajdujących się w obrębie tzw. Traktu Królewsko-Cesarzskiego w Poznaniu poddano renowacji (Szczepaniak, Rój, 2019). Cały czas jednak na prace te oczekuje kilka zabytków. W trakcie takich działań poza czyszczeniem elewacji niejednokrotnie są wykonywane uzupełnienia uszkodzonych elementów okładziny czy detali architektonicznych. W związku z tym niezbędny jest dobór odpowiedniego kamienia. W przypadku Archiwum Państwowego źródła surowca i jego właściwości są znane, więc wybranie odpowiedniego materiału nie jest problematyczne (sposób wykonania uzupełnień nie został jeszcze określony). Na wszystkich elementach okładziny są widoczne czarne naskorupienia, na wielu także liczne mechaniczne uszkodzenia w sąsiedztwie krat, biodeterioracja oraz łuszczenie się powierzchni piaszkowca (ryc. 1, 2).

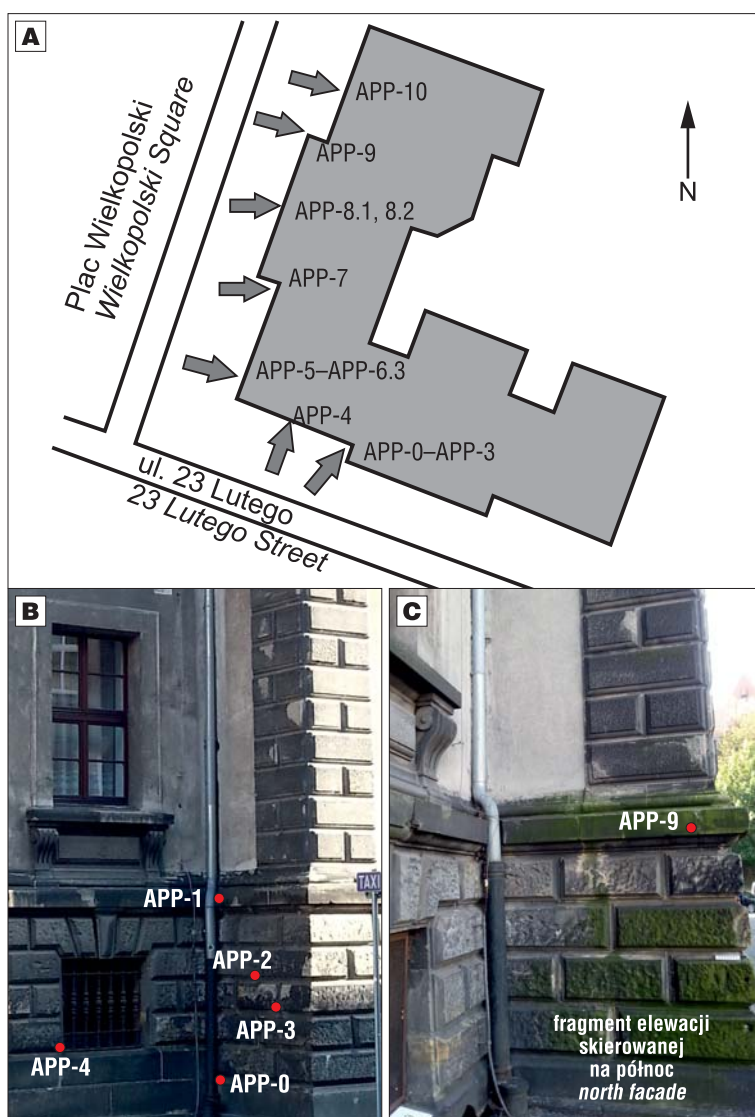
Celem niniejszego artykułu jest identyfikacja i ocena stopnia deterioracji elewacji kamiennej, spowodowanej zarówno przez organizmy żywe, jak i procesy fizyczne, che-

miczne i mechaniczne. Do wykonania tych prac zastosowano różnorodne metody badawcze i odniesiono uzyskane wyniki badań do właściwości skały.

#### MATERIAŁ BADAWCZY I METODY BADAŃ

Obiektem badań jest wspomniane Archiwum Państwowe w Poznaniu, materiałem badawczym natomiast jest piaskowiec zastosowany w okładzinie tego budynku. Według danych archiwalnych i konserwatorskich piaskowiec pochodzi z miejscowości Rackwitz (z j. niem; Jarkiewicz, Gryczewski, 2015), czyli obecnych Rakowic na terenie synklinorium północnosudeckiego (Rozporządzenie, 1946). Skała ta datowana jest na późną kredę – koniak (Milewicz, 1961, 1973, 1979; Kozłowski, 1986). Ze względu na swój skład oraz cechy fizyczne i mechaniczne w architekturze jest wykorzystywana od setek lat i do dzisiaj jest przedmiotem badań (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, 2015; Szczepaniak, Rój, 2019).

Próbki piaskowców pobierano z elewacji pod ciągłym nadzorem przedstawiciela konserwatora zabytków w miejscach przez niego wskazanych, głównie tam, gdzie nie było konieczności uszkodzania kolejnych elementów okładziny. Wyjątek stanowiły próbki pobrane z elewacji ulegającej biodeterioracji (ryc. 2, 4). Pierwotnie planowano pozyskanie przynajmniej 20 próbek w zaproponowanych lokalizacjach w określonych wcześniej częściach elewacji i na różnych wysokościach n.p.t. Uzyskano zgodę na pobór dziesięciu próbek. W trakcie prac terenowych, ze względu

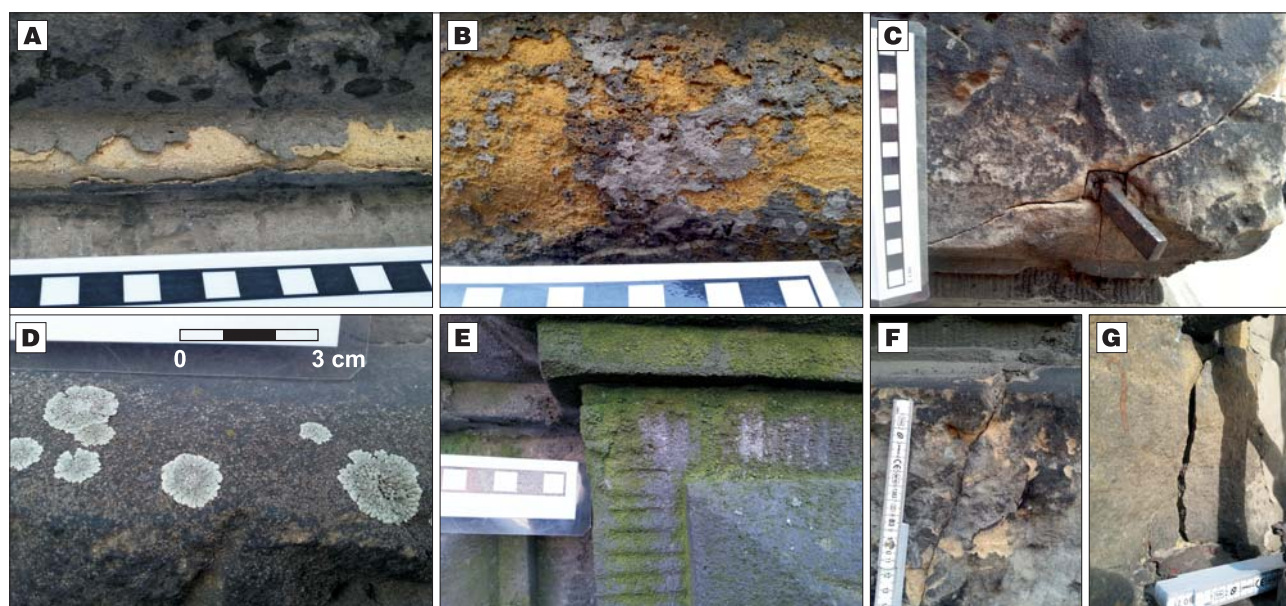


**Ryc. 2.** Miejsce poboru próbek do analiz na schemacie budynku (A) wraz z przykładową ich lokalizacją na elewacji południowej (B) oraz północnej (C)  
**Fig. 2.** Sampling sites location in the building (A) and example of their location on the southern facade (B) and northern facade (C)

na liczne, duże uszkodzenia elewacji (pęknięcia, łuszczenie), konserwator pozwolił pobrać piętnaście próbek o zróżnicowanych rozmiarach i w różnym stanie zachowania, przez co nie ze wszystkich można było wykonać preparaty mikroskopowe (ryc. 2).

W trakcie badań, poza opisem makroskopowym widocznych efektów deterioracji, na podstawie wytycznych słownika ICOMOS (ICOMOS-ISCS, 2008), wykonano także analizy laboratoryjne. Wykorzystano mikroskopię optyczną (OM), mikroskopię skaningową z przystawką do analiz chemicznych (SEM-EDS) oraz dyfrakcję rentgenowską XRD.

Badania składu mineralnego piaskowców oraz głównych cech teksturalnych tej skały prowadzono z wykorzystaniem mikroskopu optycznego Olympus AX70. Kolejnymi analizami były półilościowe analizy chemiczne i analizy morfologii prób przy zastosowaniu mikroskopu skaningowego Hitachi S-3700N z przystawką EDS Noran SIX w niskiej próżni w Wydziałowej Pracowni Naukowo-Dydaktycznej UAM w Poznaniu (Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych). Żadna z próbek nie była napylna, a analizy chemiczne były półilościowe i bezwzorcowe. Badania rentgenowskie przeprowa-



**Ryc. 3.** Przykłady deterioracji okładziny piaskowcowej w makroskali; wszędzie widoczne są czarne naskorupienia: A – eksfoliacja, B – łuszczenie, C – pęknięcia, D – przykłady porostów, E – biodeterioration, F, G – pęknięcia proste  
**Fig. 3.** Examples of panel deterioration in macroscale; black crust is visible in every image: A – exfoliation, B – peeling, C – cracking, D – lichens, E – biodeterioration, F, G – cracking

dzono w Instytucie Geologii UAM przy wykorzystaniu rentgenografu Thermo Electron, model: ARL X'tra (metoda proszkowa), oraz oprogramowania Win XRD.

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wykonane analizy mikroskopowe pozwoliły zaklasyfikować wszystkie próbki, z których wykonano preparaty, do arenitów kwarcowych o spoiwie krzemionkowo-ilastym, gdzie proporcje spoiwa były zmienne w różnych próbach. Piaskowiec z Rakowic jest skałą dobrze do średniowsortowaną, gdzie ziarna kwarcu budujące szkielet ziarnowy stanowią ponad 95%. Ta drobno- do średnioziarnistej skała posiada spoiwo krzemionkowo-ilaste (ryc. 3). W piaskowcu można obserwować słabo wykształcone warstwowanie zaznaczające się głównie pod względem rozmieszczenia spoiwa ilastego (ryc. 3B–C), dokładniej kaolinitowego, które nadaje kremowe, miejscami pomarańczowe zabarwienie skale. Jedynie lokalnie warstwowanie to w makroskali widoczne jest bardzo dobrze. Samo warstwowanie w spoiwie jest zauważalne przede wszystkim w obrazie mikroskopowym (ryc. 3; Szczepaniak, 2015). Skały pochodzące z Rakowic są klasyfikowane jako arenity kwarcowe (Pettijohn i in., 1972). Próbkę pobrane z elewacji (ryc. 2) są zarówno pod względem składu mineralnego, jak i strukturalnie takie same jak skały z Rakowic.

W wyniku prac terenowych zidentyfikowano zróżnicowane formy deterioracji w obrębie elewacji piaskowcowej, które w słowniku ICOMOS podzielono na pięć głównych grup (ICOMOS-ISCS, 2008). Cztery z nich to formy związane z działaniem czynników chemicznych, fizycznych i mechanicznych, a zależne są one m.in od litologii, warunków klimatycznych oraz zanieczyszczenia atmosfery. Zidentyfikowane formy deterioracji obejmują: 1) odbarwienia skał i osady, do których należą m.in. czarne naskorupienia, 2) pęknięcia (głównie związane z mechaniczną ingerencją w obiekt kamienny), 3) oderwania/odseparowania powierzchni, struktury spowodowane utratą materiału. Piątą grupą jest biokolonizacja na obiektach kamiennych i ona zostanie przedstawiona jako pierwsza.

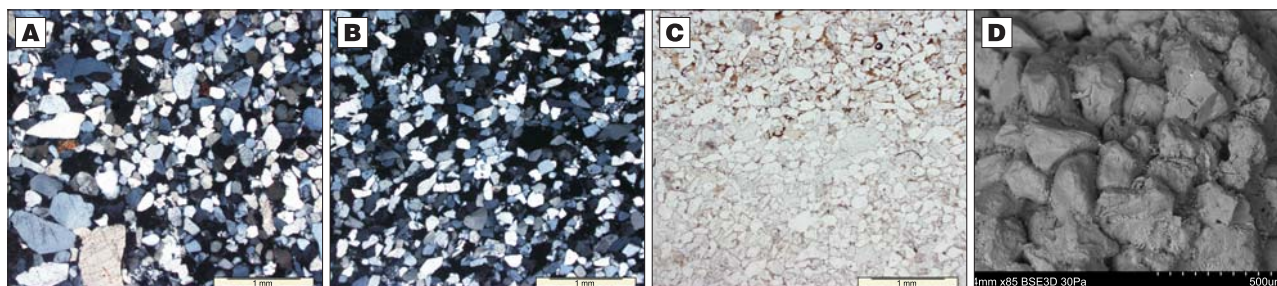
### Biodeterioracja

Przez pojęcie biodeterioracji należy rozumieć niszczące oddziaływanie organizmów, w tym przypadku na powierzchnię kamienia wykorzystanego w budowlu. W omawianym obiekcie AP ujawniły się zróżnicowane jej formy. Są to zarówno mikro-, jak i makroorganizmy, a także pozosta-

łości guano (w górnych elementy elewacji), które mogą stać się pożywieniem dla kolejnych mikroorganizmów. Wśród obserwowanych organizmów można wymienić porosty, mchy i glony głównie w częściach północnej elewacji oraz w sąsiedztwie rynien i rur spustowych. Wszystkie one przyczyniają się do znacznego pogorszenia stanu kamienia – głównie wizualnego. Ich obecność wiąże się także z działaniem na elewację produkowanych przez nie związków chemicznych, przede wszystkim zróżnicowanych kwasów organicznych, takich jak: cytrynowy, mlekowy, szczawioowy i wiele innych (Palmer i in., 1991; Gutarowska, 2010; Rembiś, 2019). W zależności od litologii ich wpływ na skałę może być mniej lub bardziej intensywny. Nie wszystkie jednak są tak samo łatwe do usunięcia, co w przypadku prac konserwatorskich jest niezwykle ważne.

Pierwsze z wymienionych tu organizmów – porosty – są organizmami, które często jako pierwsze kolonizują nawet najbardziej nieprzyjazne podłoże w niesprzyjających dla rozwoju roślin warunkach klimatycznych. Porosty są organizmami, które wykształciły się w wyniku symbiozy między grzybami i glonami. Na elewacji AP stwierdzono obecność przynajmniej trzech gatunków tych organizmów. Wśród nich zidentyfikowano misecznicę murową (łac. *Lecanora murali*), której barwa plechy zmienia się od zielonawej do szarej (ryc. 4). Jest to porost, który jest charakterystyczny dla takiego podłoża jak: skały bogate w krzemiany, piaskowce kwarcowe oraz wapienie. Popularnie występuje on jednak także na podłożu antropogenicznym, np. beton, a co ważniejsze również w miejscach o znacznym zapyleniu atmosfery oraz na podłożu bogatym w azot (Fałtynowicz, 1993, 2014). Źródłem azotu może być chociażby wymieniane już guano. Jego resztki wymywane na przykład z wodą opadową mogą stać się niejako pokarmem, pozwalając na swobodny wzrost tego porostu. Jego rozmiary na elewacji są największe ze wszystkich porostów tu zidentyfikowanych i dochodzą do blisko 3 cm średnicy samej plechy.

Kolejnym gatunkiem jest misecznica skalna (łac. *Lecanora rupicola*), której rozmiary w stosunku do poprzedniego gatunku są niewielkie. Lubi ona zdecydowanie podłoże skał krzemionkowych i na takim gruncie popularnie występuje w całej Polsce. Trzecim gatunkiem przypuszczalnie jest wzorzec geograficzny (łac. *Rhizocarpon geographicum*), co sugeruje kształt i barwa plechy złożonej z zielonożółtych, kanciastych areolek, które są otoczone w tym przypadku słabo zaznaczonym czarnym przedpleszem. Jest to gatunek, który także lubi podłoże skał bogatych w krzemiany, piaskowce kwarcowe. Nie jest spotykany na



Ryc. 4. Przykład piaskowców z kamieniołomu w Rakowicach, tzw. piaskowiec Rakowiczki (Szczepaniak, 2015), z widocznym warstwowaniem w obrębie spoiwa (A–C – mikroskop optyczny, D – obraz z mikroskopu skaningowego)

Fig. 4. Examples of sandstones from the Rakowice quarry (Rakowiczki sandstone; Szczepaniak, 2015), layering visible the in cement (A–C – optical microscopy, D – scanning microscopy)

skałach węglanowych. Powszechnie występuje on głównie w obszarach wyżynnych (Fałtynowicz, 1993, 2014; Salvadori, Mucchia, 2016). Na niżu jego obecność jest rzadsza, choć gatunek ten spotykany jest także na nizinach srodkowopolskich.

Chwytniki porostów obecnych na fasadzie są widoczne także w mikroskopie skaningowym nie tylko na powierzchni próbek, ale i w głębszych warstwach skały. Metabolitami wszystkich porostów są dodatkowo m.in. różnicowane kwasy organiczne, które wywierają dodatkowy wpływ na stan zachowania okładziny piaskowcowej. Należy zauważyć, że są to organizmy, które potrafią przejść w stan hibernacji, a w sprzyjających warunkach ponownie uaktywnić swój metabolizm. W związku z tym usunięcie ich jedynie bezpośrednio z powierzchni skały w takcie prac konserwatorskich może skutkować szybkim odrodzeniem się porostu. W miejscach, gdzie one występowały, poza czarnymi zaskorupieniami, nie obserwowano dodatkowych uszkodzeń piaskowcowej okładziny. Brak było widocznego łuszczenia czy cukrzenia skały. Jej powierzchnia była najczęściej gładka.

Należy zauważyć, że we współczesnych pracach naukowych pojawiały się hipotezy, dziś już potwierdzone badaniami, że bezwzględne usuwanie tych organizmów z głębszych warstw może czasem skałę dodatkowo osłabiać. Niektóre rodzaje porostów i biofilm wcale nie muszą bowiem wywierać tak negatywnego wpływu na zabytki, jak pierwotnie zakładano (Garcia-Valles i in., 2003; Pinna, 2014). W skałach, gdzie skład mineralny jest bardziej zróżnicowany (obecna jest chociażby większa ilość węgla wapnia czy skaleni w piaskowcu) szkody powodowane przez mikroorganizmy mogą być większe. Jednak w skałach bardziej monomineralnych z dużą zawartością kwarcu i krzemionki w spoiwie te szkody dla okładziny są mniejsze (niewielka dostępność składników odżywczych dla tego typu organizmów powoduje, że ich ingerencja w głąb skały jest mniejsza). Ich usuwanie chemiczne może wręcz negatywnie wpłynąć na kamień. Zapewne jednak jest to każdorazowo sprawa indywidualna dla każdego badanego obiektu i zależy od wielu czynników, chociażby klimatu.

Poza porostami na elewacji stwierdzono także niewielkie ilości mchu, jednak jedynie w miejscach silnie zawilgotnionych, tuż przy poziomie chodnika. Zarówno makroskopowo, jak i w mikroskopie skaningowym były widoczne także liczne ślady organiki w postaci glonów obrastających ziarna piaskowca głównie od strony północnej (ryc. 4E, ryc. 5 – patrz str. 68). Są one odpowiedzialne za silne zielone zabarwienie niższych partii elewacji.

### Inne formy deterioracji

Poza biokolonizacją (jedną z pięciu głównych form niszczenia zabytków kamiennych wg słownika ICOMOS) na okładzinie piaskowcowej najlepiej widoczne były odbarwienia kamienia i osady na jego powierzchni. Są to czarne naskorupienia (*black crust*) będące efektem osiadania na powierzchni obiektu zanieczyszczeń znajdujących się w atmosferze (Watt i in., 2009; Ruszkowski, Wiszniewska, 2019). Należy podkreślić, że naskorupienia te nie są tożsame z patyną, która w sposób naturalny pojawia się na powierzchni skały, bez względu na stan zanieczyszczenia powietrza. W obrazie mikroskopowym ta forma dete-

rioracji jest jeszcze lepiej dostrzegalna, gdyż w jej obrębie jest także widoczna wtórna mineralizacja, która jest efektem wspomnianych zanieczyszczeń. Część z nich ma charakter nawarstwień wewnętrznie laminowanych, co sugeruje kolejne etapy ich przyrostu z pewnymi przerwami.

Czarne naskorupienia na pobranych do badań próbkach mają różną intensywność barwy (od ciemno-szarej do czarnej). Ich grubość jest zróżnicowana. Najgrubsze warstwy naskorupień dochodzą do 1 mm (ryc. 5 – patrz str. 68). Obserwowana migracja zanieczyszczeń w głąb próbek sięgała jednak znacznie głębiej. Ze względu na niewielkie rozmiary pozyskanego materiału nie udało się określić maksymalnej głębokości, z pewnością była ona jednak znacznie większa niż 6–7 mm, bo do tej głębokości stwierdzano obecność gipsu. Nie zaobserwowano jednak wyraźnej zależności między grubością naskorupień w pobranych próbkach a ich lokalizacją, w odniesieniu do kierunków świata i ich wysokości n.p.t. w kamiennej elewacji budynku. Stwierdzono natomiast, że poziome fragmenty okładziny były silniej zanieczyszczone w stosunku do pionowych.

Pomimo że w piaskowcach z Rakowic brak jest spoiwa węglanowego, to w większości z 15 analizowanych próbek zaobserwowano wtórną krystalizację gipsu zarówno w obrębie czarnych naskorupień, jak i w głębszych warstwach piaskowca (ryc. 5A–I – patrz str. 68; ryc. 6; tab. 1, 3). Jego obecność odnotowano także po czystej stronie pobieranych próbek wzdłuż powierzchni ich odbicia od okładziny. Może to być dowodem na głębszą migrację wód opadowych, które są nośnikiem związków siarki w głąb skały, wypływając także częściowo zaprawą zawierającą węglan wapnia. Znaczne zanieczyszczenie powietrza w Poznaniu (Szczepaniak, Rój, 2019; Air quality in Europe, 2020), emisję pyłów (głównie PM<sub>10</sub>), a także opad tzw. kwaśnych deszczy, w szczególności w przeszłości, może tłumaczyć taką sytuację. Kryształowy gips w badanych próbkach, przede wszystkim w obrębie czarnych naskorupień, tworzą zwarte pokrywy, co jest dobrze widoczne głównie na rycinie 5C (ryc. 5C, E, F, I – patrz str. 68). Minerale ten doprowadza przez swą krystalizację do miejscowego strukturalnego rozpadu powierzchni skały. Mimo dużej zawartości gipsu wewnątrz analizowanych próbek, na elewacji nie zaobserwowano jednak makroskopowo widocznych jasnych wykwitów. Na ich powierzchni ilość tego minerału jest także wyraźnie mniejsza. Można to wiązać przede wszystkim z poprawą jakości powietrza w Poznaniu. Od lat obserwuje się bowiem spadek udziału związków siarki w powietrzu, które przekładają się na wtórną krystalizację gipsu w kamiennych elewacjach. Lokalnie zwarte pakiety gipsu są tutaj także silnie poprzerastane organiką (ryc. 5G, H – patrz str. 68).

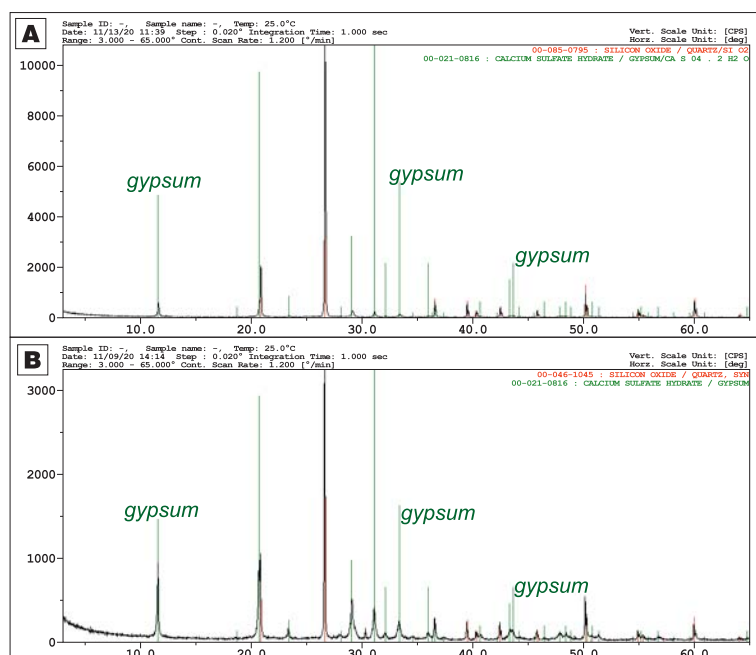
Piaskowiec tego samego pochodzenia był stosowany również w innych budynkach miasta. Co zastanawiające, nie wykazano tam jednak (Szczepaniak, Rój, 2019) tak dużego nagromadzenia siarczanów jak w przypadku elewacji AP. Może to być spowodowane bardzo zwartą zabudową mieszkaniową w ścisłym centrum (w przeszłości opalaną głównie węglem) i mało przewiewnymi wąskimi ulicami, przy których jest zlokalizowany budynek AP. Kumulacja zanieczyszczeń w tym rejonie mogła być bardziej długotrwała niż w miejscach, gdzie znajdują się szerokie arterie komunikacyjne w Poznaniu.

Na uwagę zasługuje także duża ilość pyłów w obrębie czarnych naskorupień, nie tylko na powierzchni próbki, ale także w kolejnych odkładających się warstwach zanieczyszczeń. Ich skład chemiczny jest zróżnicowany (tab. 2). W próbkach dominują okrągłe skupienia związków żelaza

(ryc. 5A, B, E, F – patrz str. 68). Samo żelazo w zanieczyszczonych warstwach przybiera także inne, bliżej nieokreślone formy, być może związane z działalnością organiczną (ryc. 5D – patrz str. 68; tab. 1). Na zabrudzonych powierzchniach są także obecne liczne, mikroskopijnej

wielkości okruchy innych metali, takich jak: bar, cynk, ołów czy tytan (tab. 1–3), które nie tworzą w tych przypadkach związków mineralnych. Ich obecność jest jednak typowa dla zanieczyszczonych powierzchni obszarów zurbanizowanych i spotykana jest w wielu tego typu budynkach (Auras i in., 2013; Graue i in., 2013; Marszałek i in., 2014; Szczepaniak, Rój, 2019). Może być ona także związana z niszczeniem elementów opierzenia analizowanej elewacji.

Trzecią grupą uszkodzeń jest utrata materii skalnej m.in. w skutek erozji i uszkodzeń mechanicznych, która w elewacji Archiwum Państwowego jest także wielokrotnie odnotowywana (ryc. 4C, F, G). W piaskowcowej fasadzie powstała ona głównie wskutek uszkodzeń mechanicznych, przede wszystkim w miejscach montowania krat, rur spustowych oraz na wystających narożnikach większych ciosów piaskowcowych. Pęknięcia te mają różny charakter, są to zarówno proste (i te przeważają, ryc. 4F–G), jak i gwiaździste. Nie zaobserwowano związku między rodzajem pęknięć, a teksturą skały. W warunkach klimatu umiarkowanego, gdzie w okresie zimowym temperatura spada poniżej



**Ryc. 6.** Przykładowe dyfraktogramy analiz XRD dla próbek **A** – APP-6.3 i **B** – APP-8

**Fig. 6.** Examples of XRD diffraction patterns for samples **A** – APP-6.3 and **B** – APP-8

**Tab. 1.** Przykłady analiz geochemicznych (SEM-EDS) powierzchni próbki z ryc. 5D (na rycinie 5D zaznaczono na czerwono analizowane punkty pomiarowe)

**Table 1.** Examples of geochemical analysis (SEM-EDS) of sample presented in Fig. 5D (Figure 5D shows the analysed measurement points marked in red)

	Skład chemiczny [%] / Chemical composition [%]										
	CO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Pkt 1	1,44	1,22		1,59	5,84	9,90	3,72	0,32	5,39		<b>70,58</b>
Pkt 2	1,67	0,90	0,24	2,29	9,20	8,96	3,07	0,41	5,29		<b>68,00</b>
Pkt 3	4,94			2,26	11,20	<b>45,94</b>		0,46	<b>31,62</b>	0,81	2,77

**Tab. 2.** Przykład analiz geochemicznych (SEM-EDS) pyłów z próbki przedstawionej na ryc. 5E (na rycinie 5D zaznaczono na czerwono analizowane punkty pomiarowe)

**Table 2.** Examples of geochemical analysis (SEM-EDS) of dust particles from the sample presented in Fig. 5E (Figure 5E shows the analysed measurement points marked in red)

	Skład chemiczny [%] / Chemical composition [%]									
	CO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	
Pkt 1	0,98	0,98	9,48	3,11		2,89		<b>82,54</b>		
Pkt 2	4,07	3,39	35,24	11,15	2,08	10,56	1,53	31,14	0,84	

**Tab. 3.** Przykład analizy geochemicznej (SEM-EDS) czarnego naskorupienia próbki APP-8

**Table 3.** Examples of geochemical analysis (SEM-EDS) of black crust in sample APP-8

	Skład chemiczny [%] / Chemical composition [%]										
	CO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO
Pkt 1			2,38	5,99	1,19	2,22		2,11	80,57	5,54	
Pkt 2	17,49		2,44	22,33	1,07	14,85		11,26	1,44	24,58	<b>4,54</b>
Pkt 3	66,51	0,11	2,54	12,92	0,66	7,40	0,90	5,52			<b>3,45</b>
Pkt 4	6,10		0,73	88,00		3,49		1,69			

0°C, pęknięcia te w wyniku naturalnego procesu wietrze-  
nia mrozowego stale się powiększają.

Czwarta grupa uszkodzeń wg klasyfikacji ICOMOS jest związana z odpadaniem fragmentów kamienia – delaminacją (np. łuszczenie, powstawanie pęcherzy), jednak w wyniku innych procesów niż w w grupie trzeciej. W elewacji AP w ramach tej grupy uszkodzeń zaobserwowano przede wszystkim eksfoliację powierzchni piaskowca, gdzie odrywały się cienkie warstewki tej skały równoległe do jej powierzchni (ryc. 4A). Wskutek tego procesu poniżej takich uszkodzeń jest zazwyczaj widoczny także zdeponowany osad. W tym przypadku odpowiedzialne za to może być wykształcenie spoiwa i warstwowanie skały zaznaczające się głównie we wspomnianym spoiwie (Szczepaniak, 2015). W dłuższym czasie wskutek wahań temperatur i zmian wilgotności, przy różnej rozszerzalności cieplnej wybranych minerałów, może z czasem dochodzić do przypowierzchniowych pęknięć i odwarstwiania się skały.

Na wybranych fragmentach okładziny w obrębie czwartej wymienianej grupy uszkodzeń obserwowano także nieregularne łuszczenie powierzchni skały (ryc. 4B). Za to zjawisko odpowiedzialny jest nie tyle skład mineralny szkieletu ziarnowego i spoiwa, ale przede wszystkim wtórna krystalizacja siarczanów, które podczas swojego wzrostu uszkadzają powierzchnię skały, doprowadzając do jej łuszczenia się. Piąta grupa uszkodzeń w omawianym przykładzie fasady AP jest widoczna tylko w obrazie mikroskopowym i dotyczy tylko spękań czarnych naskorupień.

## WNIOSKI

Badania form deterioracji okładziny piaskowcowej Archiwum Państwowego w Poznaniu jasno wskazują na ich związek z zanieczyszczeniem powietrza w obszarze zurbanizowanym. Poza obecnością czarnych naskorupień, które są efektem wietrze-  
nia skały w obszarach uprzemysłowionych, wskazuje na to m.in. obecność na powierzchni skały takich pierwiastków jak: cynk, bar, ołów, siarka, żelazo oraz obecność krystalicznych form siarczanów w postaci wtórnej mineralizacji gipsu. Naturalnie w piaskowcach Rakowiczki pochodzących z Rakowic Małych i Wielkich na Dolnym Śląsku nie stwierdzono obecności wymienionych powyżej składników. Same czarne naskorupienia są najbardziej widoczną i najważniejszą formą uszkodzenia elewacji.

Formy deterioracji, jakie można obserwować w okładzynie Archiwum Państwowego, są także związane ze składem mineralnym badanej skały, jej spoiwem, a także warunkami klimatycznymi, wtórną mineralizacją i orientacją fasady względem kierunków świata. Ta ostatnia odnosi się przede wszystkim do obserwowanej biodeterioracji, która pojawia się tylko na niewielkich fragmentach północnej elewacji piaskowcowej oraz w sąsiedztwie rur spustowych i nie była wyraźnie zależna od składu samej skały. We fragmentach okładziny piaskowcowej, gdzie był możliwy pobór próbek, odnotowano, iż wraz ze wzrostem spoiwa ilastego w piaskowcu, intensywność takich procesów jak łuszczenie i eksfoliacja była większa. Także w przypadku czarnych naskorupień odnotowano odpadanie dużych ich fragmentów w okładzinie bogatej w spoiwo ilaste. W piaskowcach, gdzie dominowało spoiwo krzemionkowe, okładzina była bar-

dziej zwarta i cechowała ją mniejsza ilość uszkodzeń. Dodatkowo także wtórna krystalizacja gipsu odgrywa tutaj dużą rolę w strukturalnym rozpadzie powierzchni badanego piaskowca, intensyfikując opisane formy deterioracji.

Mimo znacznego spadku w ostatnich latach zawartości siarki (SO<sub>2</sub>) w powietrzu zarówno w Poznaniu, jak i na terenie większości kraju (co wpływa bezpośrednio na wtórną krystalizację gipsu) nadal obserwuje się znaczny udział niskiej emisji, w tym pyłów PM<sub>10</sub>, których obecność jest nie bez znaczenia dla wyglądu elewacji. Krystalizacja samego gipsu dotyczy głównie głębszych warstw czarnych naskorupień, co można łączyć ze wspomnianym spadkiem emisji SO<sub>2</sub> do atmosfery. Na powierzchni jednak nadal dochodzi do powstawania kolejnych warstw zanieczyszczeń, choć o nieznacznie odmiennym składzie.

Dziękuję panu mgr. Bartoszowi Walkowiakowi za pomoc w realizacji prac terenowych, dr hab. Danucie Michalskiej, dr Małgorzacie Mrozek-Wysockiej oraz Wydziałowej Pracowni Naukowo-Dydaktycznej Mikroskopii Skaningowej w Poznaniu (Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych) za wsparcie podczas wykonania analiz SEM-EDS. Dziękuję także Recenzentom za wszystkie uwagi i sugestie. Badania zostały sfinansowane przez Instytut Geologii UAM.

## 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.
- AIR QUALITY IN EUROPE – 2020 report. European Environment Agency, Report No 09/2020.
- FAŁTYNOWICZ W. 1993 – The lichens, lichenicolous and allied fungi of Poland. An annotated checklist. *Pol. Botanic. Stud.*, 6.
- FAŁTYNOWICZ W. 2014 – Atlas porostów Karkonoszy. 55 lat Karkonoskiego Parku Narodowego. Karkonoski Park Narodowy, Jelenia Góra.
- GARCIA-VALLÈS M., TOPAL T., ANDVENDRELL-SAZ M. 2003 – Lichenic growth as a factor in the physical deterioration or protection of Cappadocian monuments. *Environ. Geol.*, 43 (7): 776–781.
- GÖTZE J., SIEDEL H. 2004 – Microscopic scale characterization of ancient building sandstones from Saxony (Germany). *Materials Characterization*, 53: 209–222.
- GÖTZE J., SIEDEL H. 2007 – A complex investigation of building sandstones from Saxony (Germany). *Materials Characterization*, 58: 1082–1094.
- GÖTZE J., SIEDEL H., MAGNUS M. 2007 – Provenance determination of building sandstones: a methodology applied to Cretaceous sandstones from Saxony (Germany). *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158 (4): 807–819.
- GRAUE B., SIEGESMUND S., OYHANTCABAL P., NAUMANN R., LICHAT T., SIMON K. 2013 – The effect of air pollution on stone decay: the decay of the Drachenfels trachyte in industrial, urban, and rural environments – a case study of the Cologne, Altenberg and Xanten cathedrals. *Environ. Earth Sci.*, 69: 1095–1124.
- GUTAROWSKA B. 2010 – Metabolic activity of moulds as a factor of building materials biodegradation. *Pol. J. Microbiol.*, 59 (2): 119–124.
- ICOMOS-ISCN Słownik, 2008 – Illustrated glossary on stone deterioration patterns. *Monuments and Sites 15*, Paris.
- IVASKOVA M., KOTES P., BRODNAN M. 2015 – Air pollution as an important factor in construction materials deterioration in Slovak Republic. *Procedia Engineering*, 108: 131–138.
- JARKIEWICZ K.A., GRYZEWSKI J. 2015 – Archiwum Państwowe w Poznaniu, badania konserwatorskie, elewacja. Wrocław (nie publikowane).
- KOZŁOWSKI S. 1986 – Surowce skalne Polski. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- 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.
- MARSZAŁEK M., ALEXANDROWICZ Z., RZEPA G. 2014 – Composition of weathering crusts on sandstones from natural outcrops and

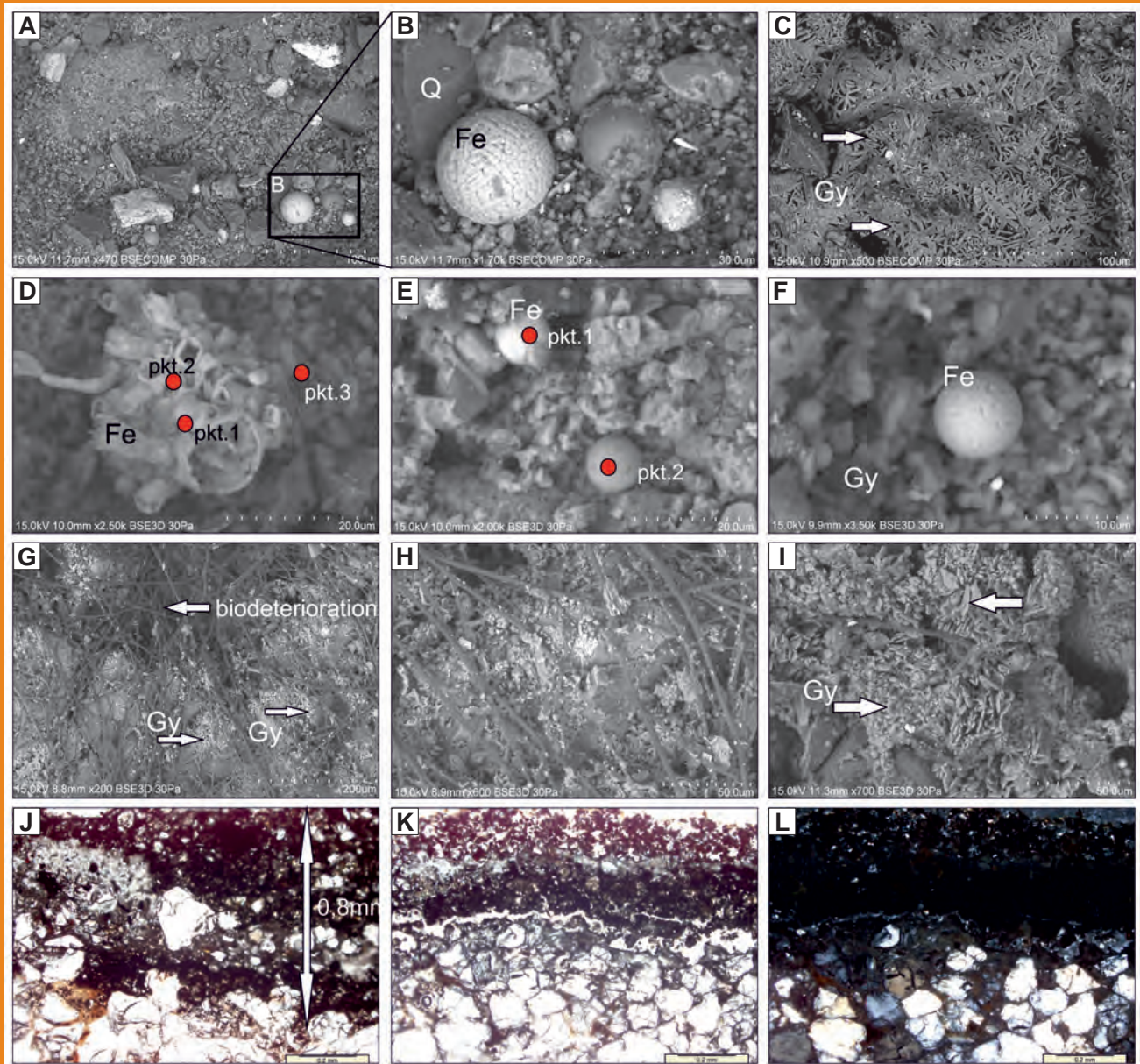
- architectonic elements in an urban environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 21 (6): 14023–14036.
- MICHALSKI ST., GÖTZE J., SIEDEL H., MAGNUS M., HEIMANN R. B. 2002 – Investigations into provenance and properties of ancient building sandstones of the Zittau/Görlitz region (Upper Lusatia, Eastern Saxony, Germany). [W:] Siegesmund S., Vollbrecht A., Weiss T., (red.), *Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies*. Spec. Publ. Geol. Soc., London: 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. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
- NORD A.G., SVÄRDH A., TRONNER K. 1994 – Air pollution levels reflected in deposits on building stone. *Atmospher. Environ.*, 28 (16): 2615–2622.
- PALMER JR. R.J., SIEBERT J., HIRSCH P. 1991 – Biomass and organic acids in sandstone of a weathering building: Production by bacterial and fungal isolates. *Microbial Ecology*, 21: 253–266.
- PAZDER J. 2008 – *Atlas architektury Poznania*, Wydawnictwo Miejskie, Poznań.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R. 1972 – *Sand and sandstone*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- PINNA D. 2014 – Biofilms and lichens on stone monuments: do they damage or protect? *Frontiers in microbiology*, 5 (133): 1–3.
- REMBIŚ M. 2010 – Wpływ impregnacji związkami krzemooorganicznymi piaskowców stosowanych w pionowych okładzinach kamiennych na ich odporność wobec siły wyrwijającej bolec kotwy. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 439 (2): 441–446.
- REMBIŚ M. 2019 – Przejawy korozji biologicznej kamienia budowlanego i problemy związane z jego rewaloryzacją. *Prz. Geol.*, 67 (9): 710–716.
- ROZPORZĄDZENIE Ministrów: Administracji Publicznej i Ziem Odzyskanych z dnia 12 listopada 1946 r. o przywróceniu i ustaleniu urzędowych nazw miejscowości. *M.P.* z 1946 r. nr 142 poz. 262.
- 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.
- RUSZKOWSKI M., WISZNIEWSKA J. 2019 – Deterioracja kamiennych obiektów budowlanych – główne czynniki i procesy. *Prz. Geol.*, 67 (9): 703–709.
- SALVADORI O., MUNICCHIA A.C., 2016 – The role of fungi and lichens in the biodeterioration of stone monuments. *The Open Conference Proceedings Journal*, 7 (suppl 1: M4): 39–54.
- SZCZEPANIAK M. 2015 – *Procesy diagenetyczne w wybranych piaskowcach Dolnego Śląska i ich znaczenie dla romańskiej architektury Wielkopolski*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- SZCZEPANIAK M., RÓJ P. 2019 – Niszczenie okładziny piaskowcowej w zabytkowym budynku Traktu Królewsko-Cesarskiego w Poznaniu, Polska. *Prz. Geol.*, 67 (9): 717–727.
- SZCZEPANIAK M., NAWROCKA D., MROZEK-WYSOCKA M. 2008 – Applied geology in analytical characterization of stone materials from historical building. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 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: 306.

Praca wpłynęła do redakcji 7.12.2020 r.  
Akceptowano do druku 8.01.2021 r.



**Zróżnicowanie procesów deterioracji piaskowcowej  
elewacji XIX-wiecznego budynku Archiwum Państwowego  
w Poznaniu (patrz str. 127)**

**Diversity of the deterioration processes of the 19<sup>th</sup> century sandstone façade  
of the National Archive in Poznań (see p. 127)**



**Ryc. 5.** Przykłady deterioracji widocznej w obrazie mikroskopowym: fotografie A–I obraz z mikroskopu skaningowego, A, B – próbka APP0 z widoczną obecnością gipsu oraz pyłów, w tym także związków żelaza; C – pokrywy gipsu na znacznej części próbki APP 6.3; D – niezidentyfikowane specyficzne postacie żelaza; E, F – przykłady licznych wystąpień pyłów w próbce APP 8; G–I – przykłady biodeterioracji, gdzie organika współwystępuje z wtórnym gipsem; fotografie J–L – obraz z mikroskopu polaryzacyjnego z widoczną miąższością czarnych naskorupień dochodzącą do 0,8 mm (na ryc. J), widoczne nawarstwienia wewnątrz laminowane (J, K – obraz przy jednym nikolu, L – skrzyżowane nikole)

**Fig. 5.** Examples of deterioration visible in the microscopic image: photographs A–I image from a scanning microscope, A, B – APP0 sample with visible gypsum and dust, including iron compounds; C – plaster covers on a significant part of sample APP 6.3; D – unidentified specific forms of iron; E, F – examples of numerous dust occurrences in sample APP 8; G–I – examples of biodeterioration, where organics coexist with secondary gypsum; photos J–L – polarizing microscope image with a visible thickness of black crusts up to 0.8 mm (in Fig. J); internally laminated layers are also visible (J, K – one nicol, L – crossed nicols)