

MIKROPRZESZŁOŚĆ

Badania specjalistyczne w archeologii



pod redakcją
Aldony Kurzawskiej i Iwony Sobkowiak-Tabaki



WYDZIAŁ
ARCHEOLOGII

MIKROPRZESZŁOŚĆ

Badania specjalistyczne w archeologii

pod redakcją

Aldony Kurzawskiej i Iwony Sobkowiak-Tabaki

Poznań 2021

Mikroprzeszłość
Badania specjalistyczne w archeologii

Recenzje:
dr hab. Maria Lityńska-Zajac, prof. IAE PAN
dr hab. Marek Nowak, prof. UJ

Redakcja:
Aldona Kurzawska
Iwona Sobkowiak-Tabaka

Opracowanie techniczne i skład komputerowy:
Bartłomiej Gruszka

Korekta językowa:
Agnieszka Gruszka

Projekt okładki i rycin poprzedzających rozdziały:
Przemysław Matejko

ISBN: 978-83-946591-8-9

<https://doi.org/10.14746/WA.2021.1.978-83-946591-8-9>

Monografia jest dostępna online w Repozytorium Uniwersytetu im A. Mickiewicza w Poznaniu
<https://repozytorium.amu.edu.pl/>

Wydział Archeologii
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Publikacja dofinansowana z Projektu Wydziału Archeologii nr DEC/19/WArch/2021

Copyright by Faculty of Archaeology Adam Mickiewicz University in Poznań and authors

Poznań 2021

Nakład:
200 egz.

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
Andrzej Michałowski	
Wprowadzenie	7
Aldona Kurzawska, Iwona Sobkowiak-Tabaka	
Palinologia	13
Piotr Kołaczek, Monika Karpińska-Kołaczek, Sambor Czerwiński, Katarzyna Marcisz, Mariusz Lamentowicz	
Archeobotanika	31
Magdalena Moskal-del Hoyo	
Dendroarcheologia	67
Henryk P. Dąbrowski	
Mikroskamieniałości okrzemkowe	89
Monika Rzodkiewicz	
Wioślarki	115
Izabela Zawiska	
Archeoentomologia	131
Marcin Kadej, Szymon Konwerski, Agata Hałuszko	
Archeomalakologia	155
Aldona Kurzawska	
Izotopy stabilne węgla ($\delta^{13}\text{C}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w archeomalakologii	181
Karina Apolinarska	
Archeozoologia	199
Jarosław Wilczyński	

Antropologia fizyczna	219
Dorota Lorkiewicz-Muszyńska, Julia Sobol, Wojciech Kociemba, Anna Hyrchała, Mariusz Glapiński	
Archeogenetyka	249
Maciej Chyleński	
Mikromorfologia	277
Karolina Leszczyńska, Michał Jankowiak	
Petroarcheologia	297
Piotr Gunia, Ewa Lisowska	
Surowce krzemionkowe – możliwości badań	315
Iwona Sobkowiak-Tabaka	
Traseologia	333
Katarzyna Pyżewicz	
Ceramika – badania petroarcheologiczne	353
Piotr Gunia, Marta Krueger, Ewa Lisowska	
Ceramika – badania osadów organicznych wnętrza naczyń	367
Marta Krueger	
Tekstylnia	387
Maria Cybulska, Anna Drązkowska	
Archeometalurgia	407
Marcin Biborski, Mateusz Biborski	
Mikroskopy stosowane w archeologii	431
Piotr Gunia, Ewa Lisowska, Aldona Kurzawska	
Ręczny spektrometr fluorescencji rentgenowskiej (XRF) w archeologii	443
Michał Krueger	
Wykaz autorów	451



Petroarcheologia

Piotr Gunia, Ewa Lisowska

PETROARCHEOLOGIA – INFORMACJE OGÓLNE

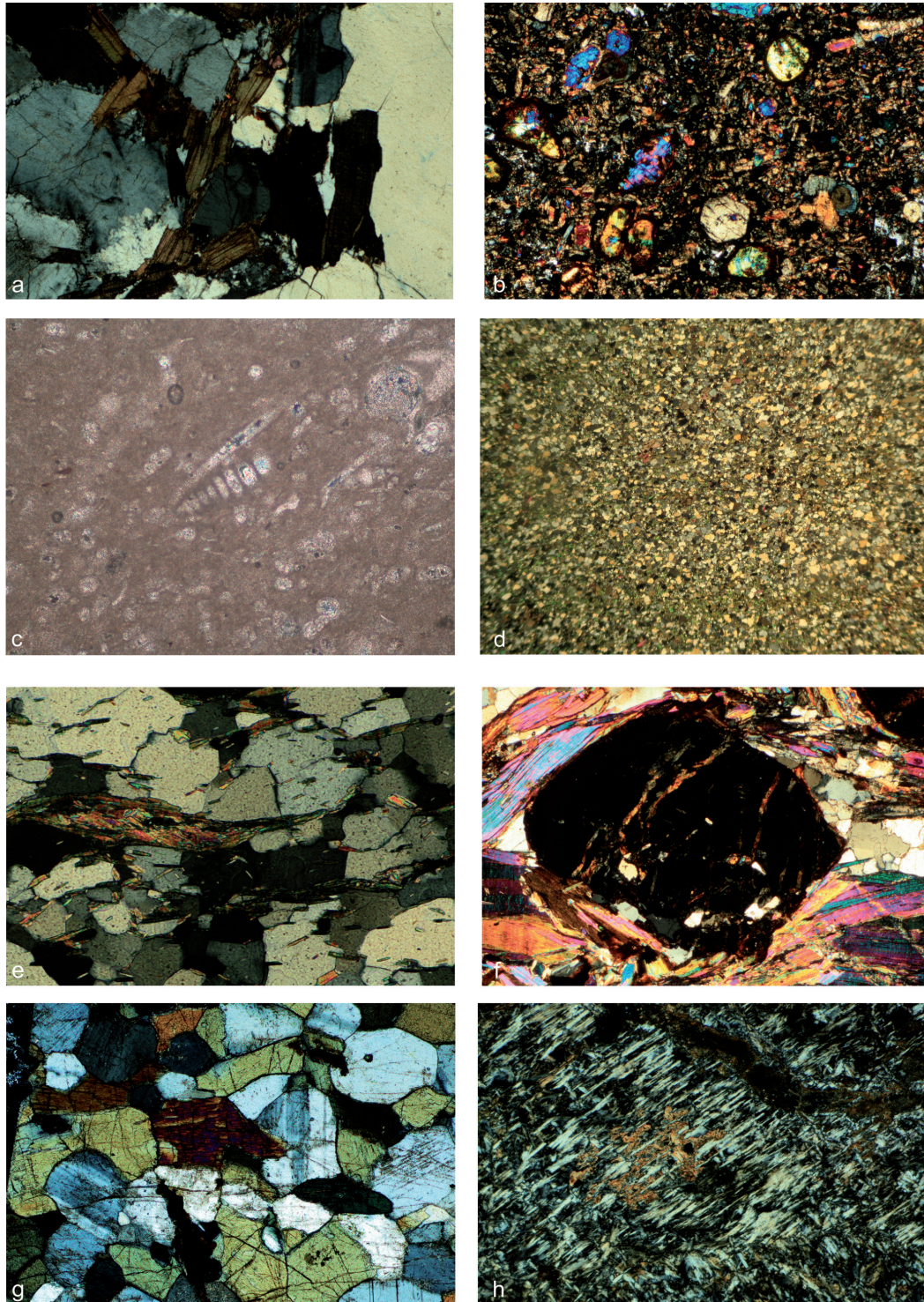
Badania petroarcheologiczne wpisują się w nauki z pogranicza archeologii i geologii, przy szczególnym uwzględnieniu warsztatu właściwego petrografii. Petroarcheologia skupia się na badaniach surowców skalnych i mineralnych oraz ich pochodnych wytworzonych przez człowieka. Celem analiz petrograficznych zabytków jest, w zależności od zadawanych pytań, przede wszystkim określenie, z jakiego materiału został wykonany analizowany przedmiot. W dalszej kolejności podejmowane są próby określenia, w jakim miejscu pozyskano daną skałę (studia proveniencji), jakie są jej reprezentatywne cechy petrograficzne, a w przypadku materiałów przetworzonych, takich jak np. ceramika, często podejmuje się badania innych parametrów geochemicznych i fizycznych uwarunkowanych specyfiką badanego zabytku. W petroarcheologii jednym z podstawowych urządzeń stosowanych w analizach są mikroskopy. W zależności od potrzeb używa się mikroskopów tradycyjnych optycznych oraz mikroskopów wykorzystujących skaningowy obraz elektronowy.

Poza badaniem skał, minerałów i ceramiki (ryc. 1, 2) petroarcheologia w dalszej kolejności pozwala badać także stopy metali i żużle, szkło, zaprawy, ceramikę budowlaną oraz pigmenty (ryc. 3). Analizom podlegają nie tylko przedmioty

zabytkowe, ale także potencjalne wychodnie surowców, w których pozyskiwano materiał służący do ich produkcji, a więc dawne kamieniołomy (łomy), miejsca wydobywania glin (glinianki), obszary pozyskiwania rud i kruszców (płuczki, szyby) oraz hałdy pohutnicze (warpie). W dalszej kolejności procedura badawcza obejmuje interpretację tych wyników, a więc: wzajemne relacje między kulturami, w których zachodzi zjawisko importu surowców, proces obróbki i przygotowania wyrobów do użytku (wypalanie, przetwarzanie, obróbka mechaniczna), znaczenie badanych zabytków w kulturze i symbolice danych społeczeństw.

Specyfiką badań petroarcheologicznych jest nawiązanie ścisłej relacji pomiędzy pracą archeologa i geologa. Wzajemny dialog i zrozumienie potencjału oraz ograniczeń każdej z tych dziedzin pozwala często rozwiązać z pozoru trudne i wymagające zagadnienia. Do największych wyzwań takiej współpracy należy poznanie przez współpracujących ze sobą badaczy zakresu pojęć z obu „stykających się” ze sobą dziedzin nauki, odpowiednio dla archeologa – geologii, a dla geologa – archeologii. Bez takiej możliwości przeprowadzenie właściwie ukie-
runkowanych i uzasadnionych naukowo badań petroarcheologicznych staje się niemal niewykonalne.

Kolejnym specyficznym elementem badań petroarcheologicznych jest to, iż często badane



Ryc. 1. Zastosowanie mikroskopu polaryzacyjnego do badań petrograficznych zabytków z surowców skalnych z południowo-zachodniej Polski: a – granit dwuluszczkowy z okolicy Chwałkowa k/Sobótki. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; b – bazanit z neogeńskiej formacji dolnośląskich bazaltoidów. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; c – wapień organogeniczny z okolic Opola. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; d – mułowiec. Lokalizacja nieznana. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; e – łupek kwarcowo-serycytowy. Jegłowa/k Strzelina. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; f – łupek łuszczkowy z granatami z okolic Kamieńca Ząbkowickiego. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; g – amfibolit apogabrowy z okolic Piławy Górnej (Blok Przedsudecki). Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; h – serpentynit antygorytowy z Przemysłowa k/Sobótki. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane. Fot. P. Gunia, E. Lisowska

obiekty są w trwały sposób uszkodzane w celu pobrania z nich materiału do analiz mikroskopowych. Zarówno w zakresie kompetencji archeologa i geologa leży właściwa ocena stopnia zniszczenia zabytku w odniesieniu do jego wartości ekspozycyjnej i naukowej. Bezrefleksyjne wybranie przedmiotów do analiz mogą skutkować trwałym i nieodwracalnym zniszczeniem naszego dziedzictwa kulturowego.

Badania petroarcheologiczne są również czasochłonne i kosztowne. Wymagają zatem umiejętności pozyskiwania środków finansowych na ich przeprowadzenie, a więc również wiedzy o kosztach poszczególnych analiz, co ważne – wraz z interpretacją ich wyników! Stąd dla archeologa podejmującego się współpracy w zakresie petroarcheologii istotna jest wiedza o aktualnych cenach oznaczeń wykonywanych w poszczególnych laboratoriach, które mogą się różnić, w zależności od danego kraju, nawet o kilkaset procent. Ważne jest również, żeby analizy te wykonywane były przez akredytowane laboratoria, co daje gwarancję obiektywności uzyskanych wyników.

HISTORIA BADAŃ

Badania petrograficzne przedmiotów zabytkowych swoją historię sięgają połowy XIX w., chociaż sam termin petroarcheologia zaczęto stosować dopiero w 1970 r. (Štelcl i Malina 1970; 1975). W XIX i na początku XX w. pionierskie badania petrograficzne prowadzono jedynie dla zabytków kamiennych, a zainteresowanie badaczy skupione było głównie na neolitycznych toporach i siekiarach (Damour 1863; Fischer 1875; Geschwendt 1941). W tym czasie rzadko badano inne artefakty (Łuniewski 1885). Warto również zaznaczyć, że termin petroarcheologia jest rozpowszechniony niemalże jedynie w Europie Środkowej (Polska, Czechy, Słowacja, Węgry), w innych zaś rejonach świata znacznie częściej używa się określenia archeomineralogia (Rapp 2009).

W Polsce przełomem w badaniach petroarcheologicznych były lata 70. i 80. XX w. Wzorem czeskich kolegów podjęto się szeregu analiz petrograficznych, w tym toporów neolitycznych (Majerowicz i in. 1980; Prinke i Skoczylas 1980; Wojciechowski 1988), osełek (Pazda i Sachanbiński 1991; Michniewicz 1999), zabytków z kamieni

szlachetnych (Kaźmierczyk i Sachanbiński 1978) i innych (Wirską-Parachoniak 1980; Skoczylas 1990). W dalszym ciągu jednak badania petrograficzne stosowano niemal wyłącznie do wyrobów kamiennych, poza nielicznymi wyjątkami badań ceramiki (Wirską-Parachoniak 1980). Sytuacja uległa zmianie w pierwszych dwóch dekadach XXI w., od kiedy to obserwujemy znaczący wzrost liczby publikacji petroarcheologicznych podejmujących tematykę związaną z badaniami surowców, takich jak szkło, zaprawy, ceramika, pigmenty, metale (np. Miazga 2017; Pankiewicz i in. 2017).

Petroarcheologia jest dziedziną, która obecnie powszechnie wspiera badania archeologiczne, a opracowania petrograficzne zabytków leżą w standardach większości publikacji naukowych. Badania takie stosuje się również w architekturze, co zyskało z czasem również miano tzw. petroarchitektury (Skoczylas 1990; Kryza 2011). Petroarcheologia pozwala badaczom sięgnąć do wnętrza zabytków i odpowiedzieć na pytania: jak powstały?, skąd czerpano surowiec do ich produkcji?, jakie były preferencje wyboru określonej odmiany surowca?, jakie parametry technologiczne sprzyjały jego wykorzystaniu?, skąd i jakimi szlakami handlowymi importowano wyroby kamienne lub surowce do ich produkcji? Te zagadnienia i wiele innych o charakterze technicznym, kulturowym czy symbolicznym są najczęściej przedmiotem badań petroarcheologicznych.

PROCEDURA BADAWCZA – PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ MIKROSKOPOWYCH, RODZAJE SZLIFÓW

Przygotowanie próbek do szlifów

Istotnym elementem przygotowania opracowania petroarcheologicznego jest zebranie informacji o samym stanowisku w zakresie występujących na nim innych przedmiotów (w tym kluczowe znaczenie mają tzw. importy) i przekazanie tej wiedzy geologowi-petrografowi. Warto również na tym etapie rozpocząć kwerendę w literaturze fachowej, w której zamieszczono podobne opisy danych artefaktów i skał. Konieczne jest też zapoznanie się ze szczegółową mapą geologiczną obszaru stanowiska archeologicznego. Konfrontacja wyników badań geoarcheologicznych stanowi zwykle początkowy etap opracowania petroarcheologicznego, który wykonuje



Ryc. 2. Zastosowanie mikroskopu polaryzacyjnego do petrograficznych badań skalnych surowców importowanych i eratycznych: a – średniowieczny przęślik wykonany z importowanego łupka pirofyllitowego z doliny rzeki Owruć na Ukrainie (stan. Wrocław, Ostrów Tumski); b – tło średniowiecznego przęślika wykonanego z importowanego łupka pirofyllitowego (stan. Wrocław, Ostrów Tumski). Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; c – fragment średniowiecznej oselki kamiennej wykonanej z importowanego łupka kwarcowo-skaleniegowego z zachodniej Norwegii (stan. Przedmoście); d – tło średniowiecznej oselki wykonanej z importowanego łupka kwarcowo-skaleniegowego z Norwegii (stan. Przedmoście). Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane; e – neolityczny toporek kamienny (Kultura Ceramiki Sznurowej) wykonany z eratycznego lamprofiru (kersantytu). Szprotawa, znalezisko luźne; f – tło neolitycznego toporka wykonanego z eratycznego lamprofiru (kersantytu). Szprotawa, znalezisko luźne; g – siekieromłot z wczesnej epoki brązu wykonany z eratycznego granitognejsu. Krzywczyce, znalezisko luźne; h – tło siekieromłota z wczesnej epoki brązu wykonanego z eratycznego granitognejsu. Krzywczyce, znalezisko luźne. Mikrofotografia, pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane. Fot. P. Gunia, E. Lisowska

się wspólnie z udziałem archeologa i geologa-petrograфа.

Każdy artefakt czy materiał masowy pozyskany podczas badań wykopaliskowych lub przypadkowych odkryć nadaje się do przeprowadzenia petroarcheologicznych badań mikroskopowych. Jego zabezpieczenie i przygotowanie do badań petroarcheologicznych nie różni się od standardowych zabiegów konserwacyjnych, takich jak np. czyszczenie i mycie w czystej wodzie. Znacznie więcej pracy wymaga jednak pobranie w terenie próbek do badań porównawczych, które często służą do lepszego rozpoznania tła geologicznego miejsc pozyskiwania surowców (np. skalnych czy ilastych). Próbki pozyskane w kamieniołomach czy gliniankach stanowią często wzorce wykorzystywane do porównań zabytków z surowcem podczas prowadzenia specjalistycznych badań mineralogiczno-petrograficznych, a czasem są przydatne do oznaczeń składu chemicznego. Pobieranie próbek w terenie odbywa się za pomocą młotka geologicznego, którym odbijamy większe fragmenty skał. Z uwagi na zmienność litologii w danym odsłonięciu konieczne jest pobranie kilku reprezentatywnych próbek, a szczególną uwagę należy zwracać na jednorodność ich struktury i tekstury. Próbki skał z dużą ilością zmian wietrzeniowych oraz zawierające dużą ilość wtórnych żyłek i spękań są raczej bezwartościowe. W przypadku skał drobnoziarnistych, luźnych (np. piaski, pyły czy gliny) pobieramy próby z różnych poziomów intersekcyjnych bezpośrednio do worka strunowego za pomocą szufelki z tworzywa sztucznego.

Każdą próbkę pobraną w terenie należy skatalogować i opisać, uwzględniając dokładną lokalizację miejsca jej pozyskania (np. współrzędne, wysokość w metrach n. p. m. i inne). Można to wykonać tradycyjnie poprzez naniesienie punktów na mapę topograficzną lub geologiczną, z wykorzystaniem podręcznego GPS. Do opisów można dołączyć schematyczny rysunek danego odsłonięcia z miejscami pobrania próbek lub wykonać bardzo dokładne pomiary terenu za pomocą geodezyjnych odbiorników GPS.

We wstępnym stadium petroarcheologicznej współpracy archeologa z geologiem powinno dojść do wymiany informacji na temat kontekstu archeologicznego próbek oraz oczekiwanych efektów badań specjalistycznych. Wówczas należy przygotować próbki przeznaczone do badań mineralogiczno-petrograficznych wraz z metryką i opisem

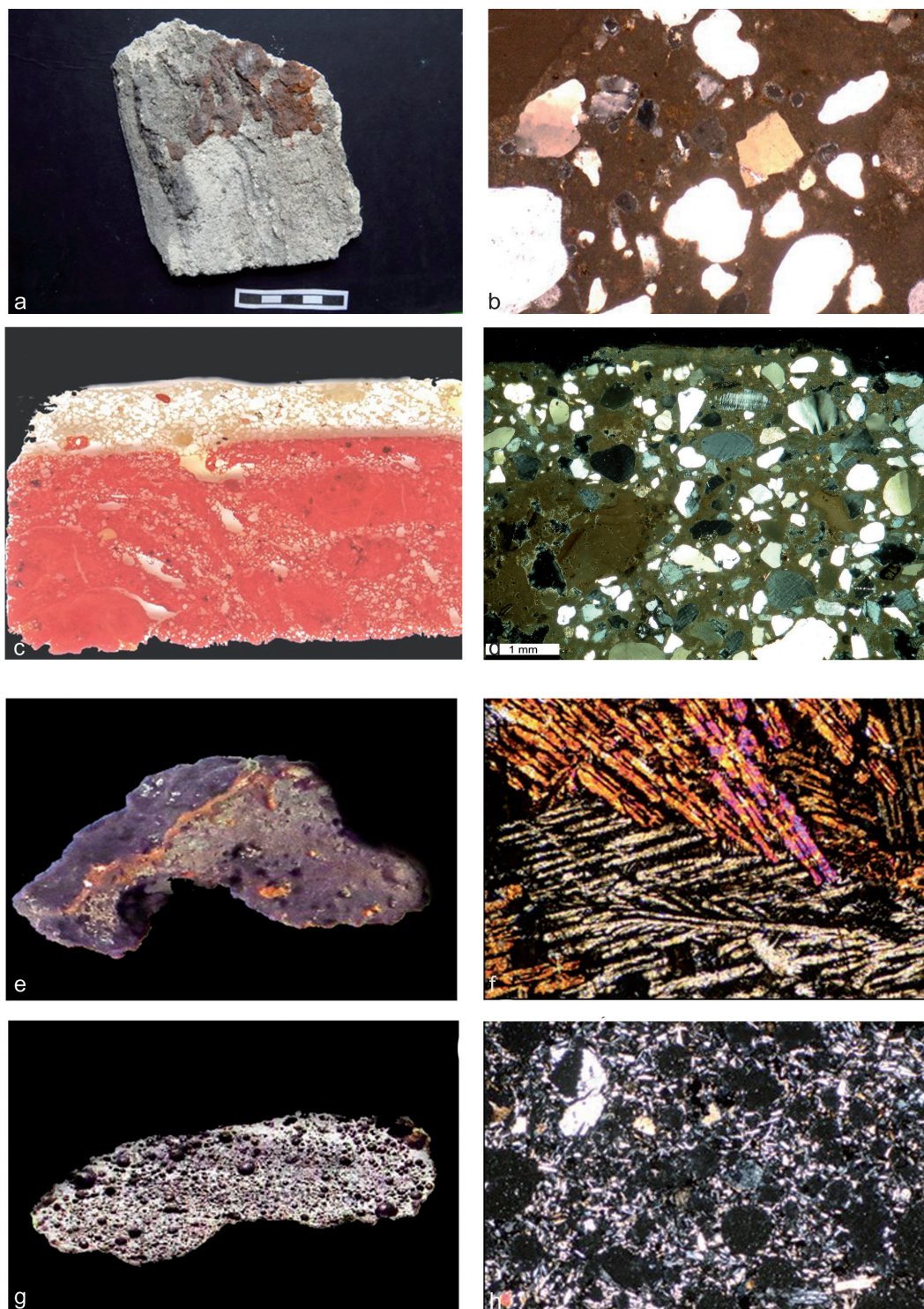
archeologicznego kontekstu ich odkrycia. Próbkę te katalogujemy, nadając każdej z nich indywidualny numer próbki (szlifu, analizy itp.), przypisany do danych metryki polowej zabytku (numer inwentarzowy, stanowisko, numer stanowiska, warstwa, obiekt, chronologia).

Na tym etapie podstawowym zadaniem archeologa jest wykonać możliwie jak najdokładniejszą dokumentację przeznaczonego do szlifu zabytku. W tym celu sporządzamy rysunek, fotografię i jeśli są takie możliwości to skanowanie 3D badanego przedmiotu. Przeprowadzamy również klasyfikację chronologiczno-kulturową materiału, wykorzystując do tego celu istniejące typologie (np.: Callmer 1977; Waldhauser 1981; Resi 1990; Kulczycka-Leciejewiczowa i in. 1996), modyfikując znane w literaturze klasyfikacje (np. Lisowska 2013: 112) lub tworząc własne. Dokumentację tego zabiegu składamy zarówno w instytucji zarządzającej zabytkiem, jak i u geologa (często jest to forma raportu).

RODZAJE SZLIFÓW MIKROSKOPOWYCH W PETROARCHEOLOGII

Wybór próbek przeznaczonych do badań petroarcheologicznych polega na rozpoznaniu cech makroskopowych skał tworzących badany zbiór oraz dokładnym jego skatalogowaniu. Po oznaczeniach cech makroskopowych skał występujących w danej kolekcji zabytków dokonuje się selekcji próbek reprezentatywnych dla wyznaczonych grup petrograficznych. Przykładowo, jeśli w zbiorze mamy pięć rodzajów skał, dla każdego z nich powinno się wybrać co najmniej jeden zabytek o najmniejszym potencjale ekspozycyjnym, przeznaczając go do wykonania preparatu mikroskopowego, co niestety wiąże się z jego uszkodzeniem wynikającym z konieczności odspojenia niewielkiego fragmentu koniecznego do wykonania płytki cienkiej (szlifu – ryc. 4). Miejsce uszkodzenia artefaktu z reguły wybiera archeolog po konsultacji z geologiem, a linię cięcia piłą diamentową zaznacza się na zabytku markerem lub wskazuje osobiście pracownikowi wykonującemu preparaty mikroskopowe (np. w szlifierni).

Oznaczanie cech petrograficznych wymaga wykonania odpowiednich preparatów mikroskopowych. Przygotowanie preparatu przeznaczonego do tradycyjnej, mikroskopowej analizy petrograficznej,



Ryc. 3. Zastosowanie mikroskopu polaryzacyjnego do badań dawnych zapraw budowlanych i żużli hutniczych żelaza. 1. Fragment zaprawy tynkarskiej z dawnego klasztoru Augustianów w Stargardzie. 2. Szkielet ziarnowy zaprawy tynkarskiej z klasztoru Augustianów w Stargardzie. Mikrofotografia. pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane. 3. Skan fragmentu cegły z warstwą zaprawy murarskiej z dawnego klasztoru augustianów w Stargardzie. 4. Szkielet ziarnowy zaprawy murarskiej z dawnego klasztoru z klasztoru Augustianów w Stargardzie. Mikrofotografia. pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane. 5. Fragment (zgład) średniowiecznego żużla z okolic Gilowa/k. Żąbkowic Śląskich. 6. Szkliste tło żużla z okolic Gilowa zawierające zespoły pręcikowych kryształów fajalitu. Mikrofotografia. pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane. 7. Fragment (zgład) średniowiecznego porowatego żużla z okolic wsi Żarek k. Jawora. 8. Porowate tło średniowiecznego żużla z kulistymi skupieniami szklawa (Żarek/k Jawora). Mikrofotografia. pow. ok. 40×, nikole skrzyżowane. Fot. P. Gunia

polega na tym, że z badanego fragmentu skały, za pomocą piły diamentowej, wycina się kostkę o wielkości w przybliżeniu $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 1\text{ cm}$, którą za pomocą gorącego balsamu kanadyjskiego przykleja się do szkiełka podstawkowego, o rozmiarach około $28\text{ mm} \times 48\text{ mm}$ i grubości podścielającego szkła 3 mm . Po przyklejeniu i wysuszeniu, kostkę poddaje się szlifowaniu na stalowej tarczy pokrytej proszkiem szlifierskim, w celu uzyskania z niej płytki o grubości około $30\text{ }\mu\text{m}$. Następnie zeszlifowana powierzchnia skały zostaje powleczone warstwą balsamu kanadyjskiego (na gorąco) i przykryta mikroskopowym szkiełkiem nakrywkowym. Po wyschnięciu balsamu uzyskujemy płytkę ciekłą (ang. *thin section*) przeznaczoną do badań w świetle przechodzącym (Bolewski i Jaskólski 1951). W podobny sposób wykonuje się również preparaty służące do petrograficznych badań mikroskopowych zabytkowej ceramiki czy dawnych żużli hutniczych (Quinn 2013; Piatak i in. 2015).

W zależności od rodzaju planowanych badań mineralogiczno-petrologicznych wykonuje się również inne preparaty. Mogą być to tzw. mikroskopowe preparaty uniwersalne (czyli potocznie zwane szlify odkryte). Zaletą tych preparatów jest możliwość wykonania nie tylko opisu mikroskopowego skały, ale również oznaczeń mikrochemicznych faz mineralnych (np. mikrochemiczna analiza kroplowa), analiz składu chemicznego pojedynczych ziaren lub kryształów (analiza mikrosondowa), analiz minimalnych zawartości pierwiastków i składu izotopowego (ablacja laserowa), badań metodą katodoluminescencji i innych. Pod względem wielkości nieco inne są preparaty służące do badań stratygraficzno-paleontologicznych, które zwykle nie są nakrywane, a wielkość ich szkiełek podstawkowych jest zależna od rozmiarów badanej fauny (Maneck 1979).

Do petrograficznych badań mikroskopowych w świetle odbitym (np. minerałów rudnych i stopów metali) konieczne jest wykonanie trzeciego rodzaju preparatu, czyli zglądów o dokładnie wypolerowanej powierzchni. Ze skał zwięzłych i litych zglądy uzyskuje się poprzez wycięcie kostki materiału z badanego obiektu, którą poleruje się następnie do wysokiego połysku. Ze skał luźnych wykonuje się tzw. preparaty nasypowe, umieszczając wyselekcjonowaną frakcję ziarnową na szkiełku podstawowym, która jest następnie zwilżana balsamem kanadyjskim i przykrywana szkiełkiem nakrywkowym (Maneck 1979). W podobny sposób

przygotowywane są preparaty służące np. do badań palinologicznych (por. Kołaczek i in., w tym tomie).

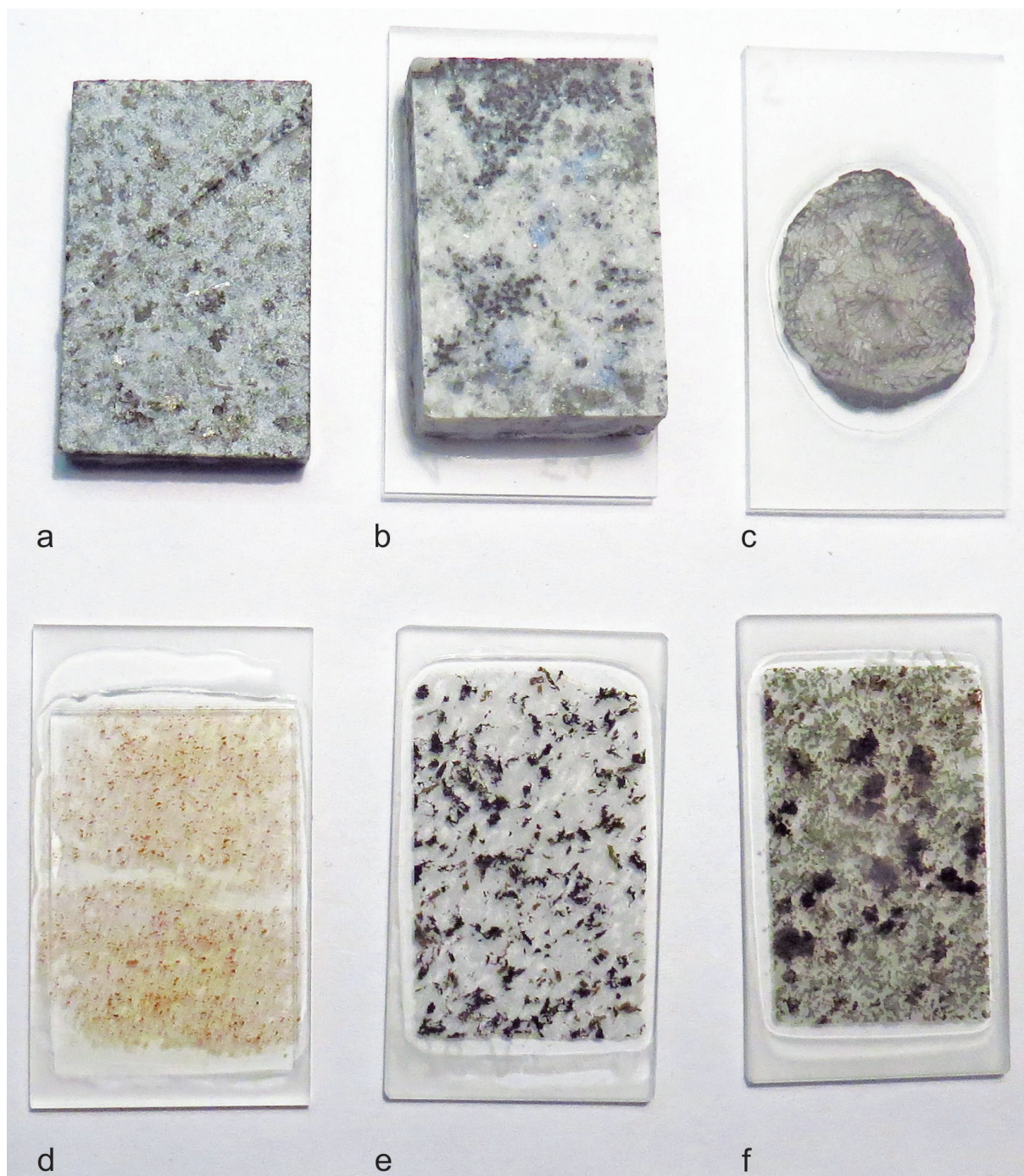
Inny rodzaj preparatów mikroskopowych stanowią próbki gleb (skał luźnych) o nienaruszonej strukturze, które są zwykle pobierane w odpowiedni sposób ze ścian wykopów archeologicznych. Materiał ten służy zwykle do wykonania preparatów nasypowych, stabilizowanych żywicą epoksydową na podkładce z pleksiglasu. Po zastygnięciu żywicy, w celu zabezpieczenia gruntu przed przemieszczeniem, preparat taki zostaje dodatkowo owinięty przezroczystą folią polietylenową zgrzewaną na gorąco (Holliday 2004).

Szlify i próbki do badań petroarcheologicznych zazwyczaj są przechowywane w specjalnie przeznaczonych do tego pudełkach w laboratorium, w którym wykonano analizy. W nielicznych przypadkach badacze decydują się na przechowywanie ich w jednostkach związanych z działalnością archeologiczną. W Polsce nie ma obecnie regulacji prawnych wskazujących, gdzie i kto powinien takie materiały kolekcjonować.

BADANIE MIKROSKOPOWE

Jednym z podstawowych zadań petroarcheologii jest analiza cech petrograficznych zabytków kamiennych. Ma ona na celu oznaczenie typu genetycznego skały, z której wykonano oznaczany artefakt (np. magmowa, osadowa, metamorficzna) oraz nadanie skale nazwy systematycznej (np. granit, wapień, łupek itp.). W pierwszym etapie badań makroskopowych i przy użyciu lupy dokonuje się oznaczeń cech, takich jak: barwa i jej zmienność, struktura i tekstura, minerały główne, poboczne i akcesoryczne oraz charakter zmian wtórnych.

W kolejnym etapie po sklasyfikowaniu megaskopowym całego zespołu wykonuje się opisy szlifów wykonanych z zabytków. Na wartość naukową petrograficznych opisów mikroskopowych składają się charakterystyki takich parametrów, jak: struktura, tekstura i skład mineralny badanego materiału. Czasem wykonuje się również ilościowe oznaczenia składu mineralnego (analizy planimetryczne) oraz analizy wielkości uziarnienia (analizy granulometryczne) surowców, z których wykonano zabytki (ryc. 7). Uzyskane w ten sposób całościowe



Ryc. 4. Preparaty mikroskopowe wykorzystywane w analizach archeometrycznych. Etapy przygotowywania preparatów do badań petroarcheologicznych: a – kostka wycięta ze skały; b – kostka naklejona na szkiełko podstawkowe; c – zeszlifowana płytka o grubości ok. 30 μm ; d – preparat nakrywany gotowy do badań mikroskopowych metodą tradycyjną; e – preparat o grubości płytki ok. 60 μm (nienakrywany, z wypolerowaną powierzchnią) przeznaczony do badań składu chemicznego minerałów na mikroanalizatorze rentgenowskim; f – preparat o grubości płytki ok. 130 μm (nienakrywany, z wypolerowaną powierzchnią) do badań geochronologicznych lub geochemicznych metodą ablacji laserowej. Fot. P. Gunia

dane dają możliwość porównania ich cech petrograficznych z próbkami skał z różnych jednostek geologicznych. Dzięki temu można określić potencjalne miejsce (źródło) pozyskiwania surowca skalnego wykorzystywanego do produkcji zabytkowych wyrobów kamiennych (Prinke i Skoczylas 1985; 1987). W ten sposób rozpoznane wychodnie stają się reperami petroarcheologicznymi.

Przy selekcji zabytków kamiennych do badań petrograficznych pewne utrudnienie stanowią dość powszechnie występujące zmiany wietrzeniowe na powierzchniach artefaktów. Inną przeszkodę mogącą mieć wpływ na wyniki oznaczeń mikroskopowych stanowi oddziaływanie wysokiej temperatury na zewnętrzne części zabytków. Te nietypowe zmiany własności optycznych minerałów skałotwórczych mogą być spowodowane wygrzewaniem narzędzi kamiennych w ognisku lub są efektem oddziaływania pożarów na skały, z których wykonano drobne artefakty. Dokonując standardowej selekcji, należy unikać wyboru tego typu zabytków, poza wyjątkami, kiedy cechy te stanowią przedmiot naszego badania.

PRZYKŁADY BADAŃ MIKROSKOPOWYCH W PETROARCHEOLOGII OKIEM ARCHEOLOGA I PETROGRAFA

Pod względem petroarcheologicznym można zbadać większość substancji zabytkowych, które pozyskujemy w trakcie badań archeologicznych stanowisk datowanych od epoki kamienia po okres nowożytny (Gašper 2018). Poniżej zaprezentowano kilka przykładów zagadek archeologicznych, które zostały wyjaśnione dzięki stosowaniu procedur badawczych powiązanych z użyciem mikroskopów oraz technik uzupełniających w petroarcheologii.

Zagadnienie pojawienia się importów zawsze budziło dyskusje dotyczące zarówno charakteru ich napływu, jak i tego, skąd trafiały na dane stanowisko. We wczesnym średniowieczu wśród surowców kamiennych odkrywanych na obszarze ziem polskich znanych jest kilkanaście tego typu produktów, które dotarły do naszego kraju z różnych miejsc w Europie czy Azji. Zwykle stanowiły one wynik wymiany barterowej narzędzi kamiennych z innymi surowcami (Żak 1967). Do najpopularniejszych

surowców importowanych w średniowieczu należą różowe łupki pirofyllitowe z wychodni zlokalizowanych w rejonie miasta Owruć na Ukrainie, z których wykonywano przęśliki. Wychodnie te znane były polskim badaczom od lat 30. XX w. (Kostrzewski 1939: 133-134), a ich pochodzenie raczej nie budziło dyskusji (Wołoszyn 2007).

Przedmiotem ożywionej polemiki naukowej jest natomiast pochodzenie fyllitów i mułowców, z których wytwarzano osełki odkrywane na stanowiskach wczesnośredniowiecznych. Pomimo pewnych przesłanek natury archeologicznej o skandynawskiej naturze tych przedmiotów (Żak 1967) w badaniach J. Skoczylasa ustalono, że surowiec służący do ich produkcji pozyskiwany był z rejonu Głuchołaz z warstw określanych mianem Andělskiej Hory (Majerowicz i Skoczylas 1983; Skoczylas 1990). Wydaje się, że wówczas (w latach 80. XX w.) nieznane były geologom ustalenia norweskiego zespołu J.G. Mitchella, H. Askvika oraz H.G. Resi (1984) dotyczące różnic z datowaniem wieku geologicznego skał, z których produkowano osełki odkryte na Wolinie, zdecydowanie wykluczające sudecką proveniencję tego materiału. W 2010 r. po konsultacjach w Oslo i Bergen z ww. badaczami kilkunastu szlifów wykonanych z osełek wczesnośredniowiecznych jednoznacznie potwierdzono skandynawskie pochodzenie tego materiału (Lisowska 2013: 216), od wielu lat postulowane przez archeologów (Kara 2006; Łosiński 2008; Szydlowski 2011).

Podczas prowadzenia petrograficznych badań mikroskopowych osadów luźnych petrograf spotyka czasem formy tzw. mikrogeomorfologiczne (Nicosia i Stoops 2017), które nie są efektem procesów geologicznych, lecz produktami działalności człowieka lub zwierząt (np. fitolity, odłamki kości ludzi i zwierząt, węgiel drzewny, zwęglone pędy roślin i inne). Do wiarygodnego oznaczenia charakteru tych form często niezbędna jest konsultacja uzyskanych wyników badań mikroskopowych z archeobotanikami, archeozoologami, gleboznawcami czy archeologami zajmującymi się problematyką odpadów gromadzonych w przeszłości na danym obszarze. Ciekawym przykładem takich badań są badania mikroskopowe przęślików z margli i wapieni, pochodzących z wczesnośredniowiecznego Ostrówka w Opolu. W niektórych z nich odkryto fragmenty otwornic, ramienionogów i skorupki mięczaków, które są charakterystyczne dla triasowych pokładów wapieni tzw. formacji gogolińskiej, której wychodnie znajdują się



Ryc. 5. Zastosowanie mikroskopu gemmologicznego w badaniach archeometrycznych; a – ślady obustronnie wierconego otworu w średniowiecznym paciorku z kryształu górskiego (Wolin, stan. 1). Mikrofotografia, pow. ok. 12×, światło przechodzące; b – powierzchnia średniowiecznego paciorka wykonanego ze szkła (Wrocław, Ostrów Tumski). Mikrofotografia, pow. ok. 40×, światło skośne; c – ślady pierścieni Liesenganga i struktura oczkowa chalcedonu w tle średniowiecznego paciorka z karneolu (Wolin, stan. 1). Mikrofotografia, pow. ok. 40×, światło skośne; d – ślady szlifowania ścianek średniowiecznego fasetowanego paciorka z karneolu (Wolin, stan. 1). Mikrofotografia, pow. ok. 20×, światło zwykłe; e – słupkowy kryształ wanadynitu (czerwony) w spinelu syntetycznym (fioletowy) (kolekcja Muzeum Mineralogicznego Uniwersytetu Wrocławskiego). Mikrofotografia, pow. ok. 40×, światło przechodzące; f – pozostałości inskrypcji na wewnętrznej części fragmentu średniowiecznego pierścienia wykonanego z bursztynu (Wrocław, Ostrów Tumski). Mikrofotografia, pow. ok. 20×, światło skośne. Fot. P. Gunia

również na obszarze Opola (Lisowska i Gunia 2009). Mikroorganizmy te są swoistą ciekawostką z racji odkrycia ich wewnątrz zabytku archeologicznego.

Interesujące pod względem rozwoju możliwości i metodologii badań jest petrografia ceramiki oraz innych materiałów przetworzonych przez człowieka. Pod względem petrograficznych bada się nie tylko naczynia, ale także kafle piecowe, dachówki, cegły, zaprawy czy rury ceramiczne (August i in. 2011; por. Gunia i in., w tym tomie).

Ilościowe wyniki oznaczeń zawartości głównych składników mineralnych szkieletu ziarnowego służą przeważnie do odtworzenia pierwotnego składu zapraw murarskich (lub tynkarskich; Arioglu i Acun 2006). Obecnie badania te prowadzone są razem z oceną stopnia deterioracji spajanych zapraw elementów architektonicznych. Uzyskane wyniki pozwalają na określenie stopnia oddziaływania czynników atmosferycznych na obiekty zabytkowe. Informacje te są bardzo przydatne do określenia sposobu późniejszej renowacji i zabezpieczenia zabytkowych kamiennych elementów okładzinowych budynków o historycznym znaczeniu (Jochemczyk i Skoczyła 1991). Za przykład mogą służyć badania petrograficzne kamieni budowlanych z Lublina (Huber i Mroczek 2012), dzięki którym stwierdzono wyraźną zmienność w czasie (od średniowiecza do czasów nowożytnych), rodzajów i proveniencji surowców kamiennych wykorzystywanych w budownictwie świeckim i sakralnym. Początkowo we wczesnym średniowieczu kamień budowlany sprowadzano z wychodni znajdujących się w najbliższej okolicy miasta, stopniowo poszerzając bazę źródłową o surowce sprowadzane z Gór Świętokrzyskich i Przedgórze Sudeckiego w okresie późnośredniowiecznym i nowożytnym (Huber i Mroczek 2012: 444-448).

Mikroskopia optyczna minerałów rudnych w świetle odbitym wykorzystuje preparaty w postaci jednostronnie polerowanych zgładów o powierzchni około 2-4 cm² i grubości 1-2 cm. Czasem do badań używa się wypolerowanych płytek cienkich (ryc. 6) przygotowanych do badań mikrosondowych o wielkości obszaru badawczego w przybliżeniu 2 cm × 2 cm i o grubości 50-60 µm (Maneck 1979).

Badania mikroskopowe stopów metali (metalurgiczne) przeprowadzane są na mikroskopach metalograficznych. Analizowane są wtedy stopy metali uzyskiwane drogą wytopu z różnych rud. Na podstawie badań tą metodą można również odtworzyć procesy późniejszych procesów technologicznych

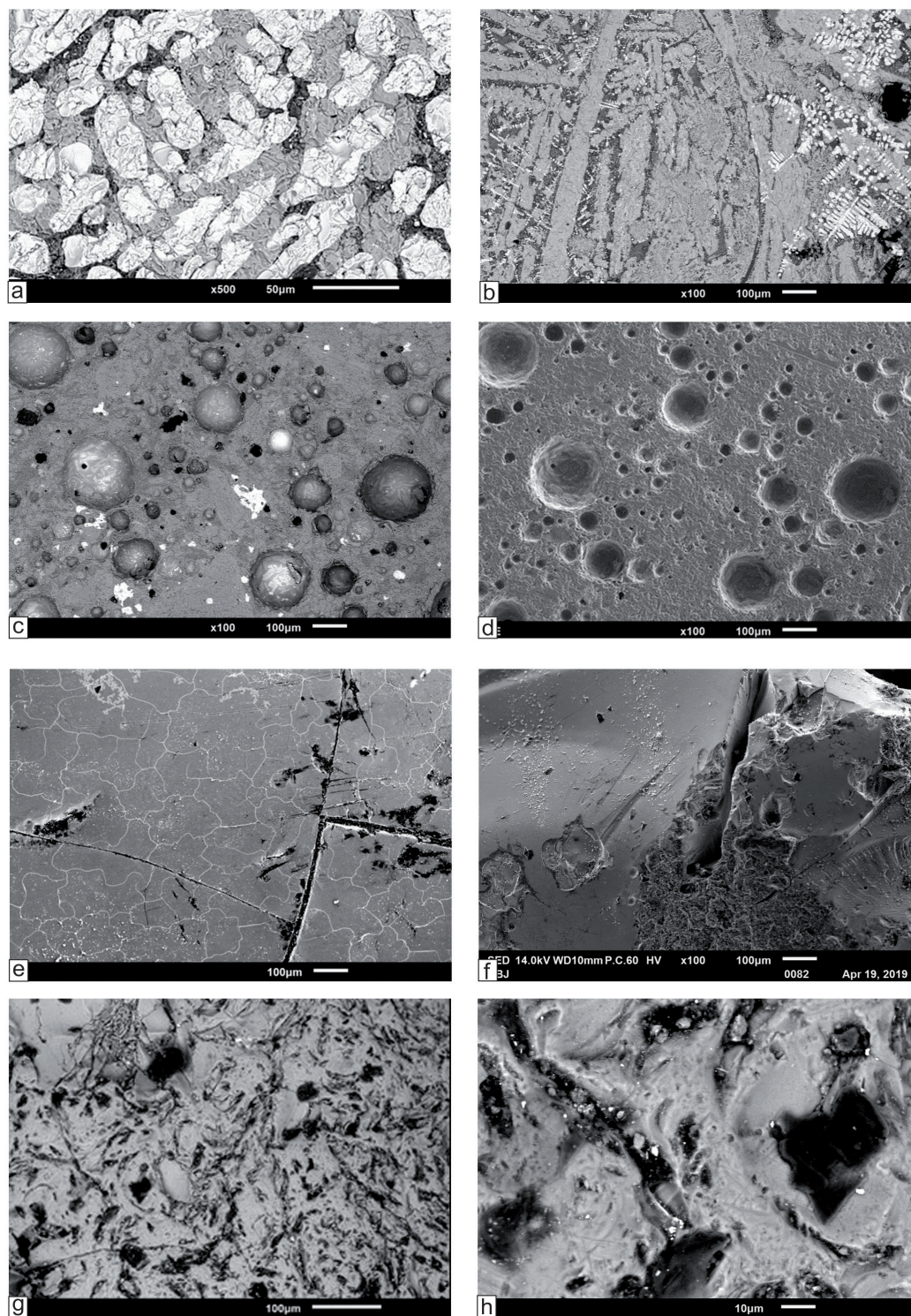
mających na celu poprawę własności mechanicznych produktów hutniczych (np. kucie, hartowanie, odpuszczanie itp.; Pleiner 1987). Czasem można uzyskać również: informacje o niektórych cechach morfologicznych odpadów po przeróbce rud metali i żużli oraz dane o obecnej strukturze różnych metali i ich stopów (Buchwald i Wivel 1998; Piatak i in. 2015) (por. Biborski i Biborski, w tym tomie).

Obserwacje pod mikroskopem można prowadzić na zgładach nietrawionych i wtedy określa się: wielkość, ilość i rozmieszczenie wszelkiego rodzaju wtrąceń niemetalicznych oraz wykrywa drobne pęcherze gazowe, mikropęknięcia i inne (Piaskowski 1987a).

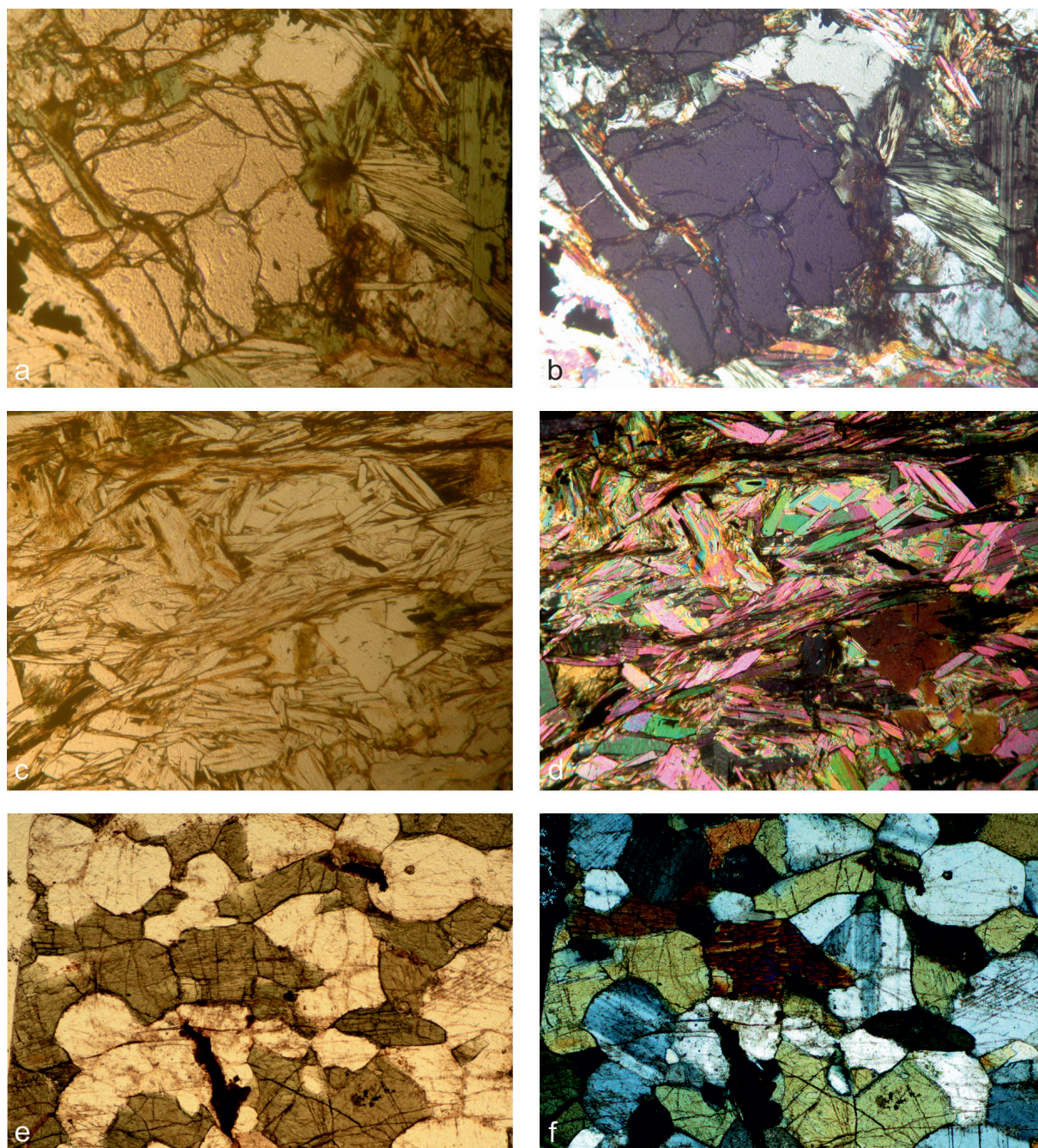
Obserwacje mikroskopowe zgładów trawionych różnymi odczynnikami pozwalają oznaczyć: strukturę badanego materiału, rodzaj i ilość poszczególnych faz, kształt i wielkość ziaren, grubość warstwy zahartowanej, odwęglonej lub ochronnej itd. (Piaskowski 1987b).

Do badań struktury metali w świetle odbitym często stosuje się metodę kontrastu fazowego lub ciemnego pola, wprowadzając w bieg promieni świetlnych odpowiednią płytkę kontrastową. Czasem stosowania jest również mikroskopia fluorescencyjna z oświetleniem tła lampami emitującymi fale o długości 405-435 nm (światło niebieskie) lub 365 nm (światło UV) (Banaś 1979). Badania te mogą być podstawą do wytypowania próbek minerałów do dalszych badań, np. z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego.

Często prowadzone badania dotyczą rodzaju pigmentów mineralnych wykorzystywanych w dawnym malarstwie czy zdobieniu ceramiki (Łaciak i in. 2019), chociaż również przedmiotem zainteresowania są zabytkowe kamienie jubilerskie (ryc. 5), a w tym żywice kopalne (Łydźba-Kopczyńska i in. 2018) czy odmiany kolorowe kwarcu i chalcedonu (Filipowiak i Szydłowski 2019). Interesującym przykładem takich badań były analizy zabytków bursztynowych kultury łużyckiej przeprowadzone przez zespół wrocławskich badaczy dla stanowiska w Domasławiu (Łydźba i in. 2012). Otóż dzięki badaniom ramanowskim okazało się, że surowiec bursztynowy obecny na tym stanowisku nie jest popularnym, występującym nad Bałtykiem surowcem, a walchowitem, którego źródło należałoby szukać na Morawach. Skłoniło to kolejnych badaczy do analogicznych prób podjęcia badań nad alternatywnymi źródłami pozyskiwania bursztynu w pradziejach i średniowieczu (Lisowska i in. 2018).



Ryc. 6. Zastosowanie elektronowego mikroskopu w badaniach archeologicznych żużli, ceramiki szkliwionej oraz szkła; a – owalne nagromadzenia fazy metalicznej (Fe) w szklistym tle średniowiecznego żużla hutniczego z okolic Gilowa. Obraz BSE, pow. ok. 500×; b – listewkowe przerosty szkliwa współwystępujące ze szkieletowymi skupieniami fazy metalicznej (Fe) w tle średniowiecznego żużla z okolic Gilowa. Obraz BSE, pow. ok. 100×; c – kropłowe skupienia szkliwa w tle średniowiecznego żużla z okolic Żarka. Obraz BSE, pow. ok. 100×; d – kropłowe skupienia szkliwa w tle średniowiecznego żużla z okolic Żarka. Obraz SE, pow. ok. 100×; e – powierzchnia szkliwionego kafla piecowego z XVII w. (Stargard). Obraz BSE, pow. ok. 100×; f – powierzchnia późnośredniowiecznej ceramiki szkliwionej ze Smolnicy (zachodnio-pomorskie). Obraz BSE, pow. ok. 100×; g – powierzchnia wczesnośredniowiecznego paciorka szklanego z Jeleniej Góry. Obraz BSE, pow. ok. 100×; h – powierzchnia wczesnośredniowiecznego paciorka szklanego z Jeleniej Góry. Obraz BSE, pow. ok. 1000×. Fot. P. Gunia, W. Bartz



Ryc. 7. Porównanie obserwacji mikroskopowych w świetle przechodzącym (a, c, e) i odbitym (b, d, f); a-d – łupek łyszczykowy, kamień żarnowy (Kamieniec Żąbkowski, pow. żąbkowski); e-f – ortoamfibolit plagioklazowy, ośelka (Zawada, stan. 1, pow. zielonogórski). Fot. P. Gunia

PODSUMOWANIE

Petroarcheologia jako nauka wspierająca archeologię (rzadziej petrografię) przy zaangażowaniu reprezentantów nauk humanistycznych i przyrodniczych stwarza szeroki wachlarz możliwości badawczych dla materiałów zabytkowych. Potencjał tej dziedziny może być wykorzystany przede wszystkim

w ustaleniu proveniencji wyrobów ze skał i minerałów. Pozwala to następnie budować koncepcje o przebiegu dawnych tras handlowych, a także charakterze kontaktów pomiędzy danymi społeczeństwami. Wskazanie potencjalnych źródeł pozyskiwania surowców jest również kluczem do poznania technologii i zaplecza logistycznego dawnego kamieniarstwa i górnictwa. Petroarcheologia pozwala

na badania materiałów przetworzonych, gdzie podstawowym pytaniem stawianym przez archeologów jest: z czego to zostało wykonane? Nauka ta pozwala również na określenie materiału, z którego wykonano zabytki dość silnie wtórnie zniszczone (np. przepalone).

W petroarcheologii głównym narzędziem badawczym jest mikroskop, jednak warto wspomnieć, że ustalenia poczynione dzięki badaniom optycznym najczęściej uzupełniane są za pomocą innych specjalistycznych metod badań mineralogicznych (np. XRD, DTA, SEM) oraz instrumentalnych metod analiz składu chemicznego (np. XRF, INAA, LA-ICP-MS) (por. Sobkowiak-Tabaka, w tym tomie; Krueger, w tym tomie).

Stosowanie mikroskopii w petroarcheologii uwarunkowane jest przede wszystkim postępowaniem badawczym wypracowanym przez petrologię, w której jest to podstawowe narzędzie pracy służące identyfikacji skał. Doświadczenie wypracowane w ciągu niemal 200 lat w naukach geologicznych stawia badanie mikroskopowe na pierwszym miejscu w procesie badawczym materiałów kamienia. Charakterystyczne ułożenie i skład minerałów w próbkach, dzięki tysiącom innych analiz geologicznych prowadzonych na całym świecie, pozwala na dość dokładne wskazanie źródeł skał, chociaż nie zawsze jest to zadanie proste, ze względu na podobieństwo różnych formacji. W tym wypadku pomocne okazują się inne techniki analityczne, pozwalające na zawężenie obszaru wcześniejszych obserwacji optycznych.

LITERATURA

- Arioglu, N., Acun, S. 2006. A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach. *Building and Environment* 41: 1223–1230.
- August, C., Chudziak, J., Gunia, P. 2011. Temperatura wypału ceramiki budowlanej z późnośredniowiecznego Wrocławia w świetle badań fazowych, (w:) A. Jaszewska, A. Michalak (red.), *Ogień – żywioł ujarzmiony i nieujarzmiony. VI Polsko-Niemieckie Spotkania Archeologiczne. Materiały z konferencji w Garbiczu 5–6 września 2008*. Zielona Góra, 393–405.
- Banaś, M. 1979. Badania w świetle odbitym, (w:) A. Bolewski, W. Żabiński (red.), *Badania minerałów i skał*. Warszawa, 118–167.
- Barbacki, A. 2003. *Mikroskopia elektronowa*. Poznań.
- Bolewski, A., Jaskólski, S. 1951. *Oznaczanie minerałów*. Państwowy Instytut Geologiczny, Prace Specjalne 2. Warszawa.
- Borkowska, M., Smulikowski, K. 1973. *Minerały skałotwórcze*. Warszawa.
- Buchwald, V. F., Wivel, H. 1998. Slag Analysis as a Method for the Characterization and Provenancing of Ancient Iron Objects. *Materials Characterization* 40: 73–96.
- Callmer, J. 1977. *Trade beads and bead trade in Scandinavia ca. 800–1000 A. D.* Acta Archaeologica Lundensia, Series in 4°. Nr 11. Lund.
- Chachlikowski, P., Skoczylas, J. 2001. Pochodzenie i użytkowanie surowców kamiennych spoza Niżu Polskiego w neolicie i we wczesnej epoce brązu na Kujawach. *Fontes Archaeologici Posnanienses* 39: 163–190.
- Damour, A. 1863. *Notice et analyse sur le jade vert – Réunion de cette matière minérale à la famille des wernerites*. Comptes Rendus de l'Academie 56, Paris.
- Elsen, J. 2006. Microscopy of historic mortars – a review. *Cement and Concrete Research* 36: 1416–1424.
- Filipowiak, W., Szydłowski, M. 2019. Stone artefacts, (w:) M. Rębkowski (red.), *Wolin – the Old Town. Vol. II: Studies on Finds*. Szczecin, 221–244.
- Fischer, H. 1875. *Nephrit und Jadeit nach ihren mineralogischen Eigenschaften sowie nach ihrer urgeschichtlichen und ethnographischen Bedeutung*, Stuttgart.
- Gašper, O. (red.) 2018. *The past under the microscope. Scientific Analyses in Museums*, Ljubljana.
- Geschwendt, F. 1941. Des schlesische Nephrit und seine Verwendung in geschichtlicher Zeit. *Altschlesien* 10: 26–44.
- Górska-Zabielska, M. 2008. Obszary macierzyste skandynawskich eratyków przewodnich osadów ostatniego zlodowacenia północno-zachodniej Polski i północno-wschodnich Niemiec. *Geologia* 14(2): 55–73.
- Gunia, P. 1996. *Gemmologia praktyczna dla geologów*. Wrocław.
- Gunia, P. 2013. Wyniki badań gemmologicznych wczesnośredniowiecznych kamieni jubilerskich z Ostrowa Tumskiego we Wrocławiu, (w:) E. Lisowska (red.), *Wydobywanie i dystrybucja surowców kamiennych we wczesnym średniowieczu na Dolnym Śląsku*. Wrocław, 295–308.
- Hałas, A., Szymański, H. 1965. *Mikroskopy elektronowe*. Warszawa.
- Heflik, W., Parachoniak, W. 1979. Badania w świetle przechodzącym, (w:) A. Bolewski, W. Żabiński (red.), *Badania minerałów i skał*. Warszawa, 59–117.
- Holliday, V.T. 2004. *Soils in Archaeological Research*. Oxford-Nowy Jork.
- Huber, M., Mroczek, P. 2012. Kamień w architekturze Lublina na przestrzeni wieków. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 448: 441–450.

- Jochemczyk, L., Skoczylas, J. 1991. Petrograficzne badania materiałów wiążących z wczesnośredniowiecznej budowli Ostrowa Lednickiego. *Przegląd Geologiczny* 39(7–8): 349–351.
- Kara, M. 2006. W kwestii pochodzenia wczesnośredniowiecznych oselek z fyllitu odkrytych na ziemiach Polski północno-zachodniej – głos w dyskusji, (w:) M. Dworacznych, A.B. Kowalska, S. Moździoch, M. Rębkowski (red.), *Świat Słowian wczesnego średniowiecza*. Szczecin-Wrocław, 395–404.
- Kaźmierczyk, J., Sachanbiński, M. 1978. Studium do produkcji wyrobów z kamieni szlachetnych na Śląsku w X–XIII w. *Kwartalnik Historii Kultury Materialnej* 4: 465–495.
- Kostrzewski, B. 1939. *Gniezno w zaraniu dziejów (od VIII–XIII w.) w świetle wykopalisk*. Poznań.
- Kryza, R. 2011. Kamień w architekturze i sztuce: od Asuanu do Żagania, (w:) A. Żelaźniewicz, J. Wojewoda, W. Cieżkowski (red.), *Mezozoik i Kenozoik Dolnego Śląska*. Wrocław, 195–209.
- Kulczycka-Leciejewiczowa, A., Majerowicz, A., Prinke, A., Skoczylas, J., Wojciechowski, W. 1996. *Opis zabytków kamiennych – propozycja standaryzacji*. Warszawa.
- Lisowska, E. 2013. *Wydobycie i dystrybucja surowców kamiennych we wczesnym średniowieczu na Dolnym Śląsku*. Wrocław.
- Lisowska, E., Gunia, P. 2009. Stone raw material of early medieval stronghold – examples from the Ostrów Tumski (Wrocław– Lower Silesia, Poland), (w:) *International Meeting Geoarchaeology in Central Europe, Program and Abstracts, April 30th to Maynd, 2009, in Dresden*, 33.
- Lisowska, E., Zamelska-Monczak, K., Kolenda, J., Gunia, P., Łydzba-Kopczyńska, B. 2018. Raman spectroscopy investigations of early medieval amber finds discovered in Santok and Milicz (Western Poland) – implications for its provenance. *Fontes Archaeologici Posnaniensis* 53: 223–240.
- Łaciak, D., Borowski, M.P., Łydzba-Kopczyńska, B., Baron, J., Furmanek, M. 2019. Archaeometric characterisation and origin of black coatings on prehistoric. *Chemie der Erde-Geochemistry* 79(3): 453–466.
- Łosiński, W. 2008. *Pomorze Zachodnie we wczesnym średniowieczu*. *Studia archeologiczne*. Poznań.
- Łuniewski, T. 1885. Starożytne żarna w Polsce. *Pamiętnik Fizjograficzny* 5(IV): 5–10.
- Łydzba-Kopczyńska, B., Gediga, B., Chojcan, J., Sachanbiński, M. 2012. Provenance investigations of amber jewelry excavated in Lower Silesia (Poland) and dated back to Early Iron Age. *Journal of Raman Spectroscopy* 43(10): 1839–1844.
- Łydzba-Kopczyńska, B., Periz-Diaz, M., Sentandreu, E. 2018. Raman spectroscopy coupled to chemometrics to discriminate provenance and geological age of amber. *Journal of Raman Spectroscopy* 49(5): 842–851.
- Majerowicz, A., Skoczylas, J. 1983. Petroarcheologiczne badania surowców skalnych ze stanowiska 1 w Wolinie. *Materialy Zachodniopomorskie* 29: 65–73.
- Majerowicz, A., Prinke, A., Skoczylas, J. 1980. On the import of the stone raw material from Sudety Mountains and from Ślęza, (w:) A. Kulczycka-Leciejewiczowa (red.) *II Międzynarodowe Seminarium Petroarcheologiczne*. Wrocław-Sobótka, 63–67.
- Manecki, A. 1979. Przygotowywanie preparatów mikroskopowych, (w:) A. Bolewski, W. Żabiński (red.), *Badania minerałów i skał*. Warszawa, 53–58.
- Manecki, A., Muszyński, M. 2008. *Przewodnik do petrografii*. Kraków.
- Marshall, D.J. 1988. *Cathodoluminescence of Geological Materials*. Boston.
- Miazga, B. 2017. *Zabytek archeologiczny jako nośnik informacji o przeszłości. Badania specjalistyczne śladów produkcji, użytkowania i depozycji artefaktów*. Wrocław.
- Michniewicz, J. 1999. Analiza petrograficzna przedmiotów kamiennych, (w:) C. Buśko, J. Piekalski (red.), *Ze studiów nad życiem codziennym w średniowiecznym mieście: parcele przy ulicy Więziennej 10–11 we Wrocławiu*. Wrocław, 136–141.
- Mitchell, J.G., Askvik, H., Resi, H.G. 1984. Potassium-argon ages of schist honestones from the Viking Age sites at Kaupang (Norway), Aggersborg (Denmark), Hedeby (West Germany) and Wolin (Poland), and their archaeological implications. *Journal of Archaeological Science* 11: 171–176.
- Muszer, A. 2000. *Zarys mikroskopii kruszców*. Wrocław.
- Nicosia, C., Stoops, G. 2017. *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*. Nowy Jork.
- Pankiewicz, A., Siemianowska, S., Sadowski, K. 2017. Wczesnośredniowieczna biżuteria szklana z głównych ośrodków grodowych Śląska (Wrocław, Opole, Niemcza). In *pago Silensi. Wrocławskie Studia Wczesnośredniowieczne* 3. Wrocław.
- Pazda, S., Sachanbiński, M. 1991. Problem eksploatacji, użytkowania i dystrybucji łupków kwarcytowych (kwarcowo-sercytowych) z rejonu Wzgórz Strzeelińskich jako surowca do sporządzania oselek na Śląsku w starożytności. *Studia Archeologiczne* 20: 47–73.
- Piaskowski, J. 1987a. Proposal for a standardisation of the criteria for determining technological processes in Early Iron and steel metallurgy, (w:) H. Cleer, B.G. Scott (red.), *The crafts of the blacksmith*. Belfast, 157–168.
- Piaskowski, J. 1987b. A standardisation procedure for the presentation of the results of metallographic examinations of early iron implements, (w:) H. Cleer, B.G. Scott (red.), *The crafts of the blacksmith*. Belfast, 169–178.
- Piatak, N.M., Parsons, M.B., Seal, R.R. 2015. Characteristics and environmental aspects of slag: A review. *Applied Geochemistry* 57: 236–266.

- Pleiner, R. 1987. Problems in the Standardisation of Metallographic Investigation of Archeological Iron Objects, (w:) H. Cleer, B.G. Scott (red.), *The crafts of the blacksmith*. Belfast, 179–180.
- Prinke, A., Skoczylas, J. 1980. *Neolityczne surowce kamienne w Polsce środkowo-zachodniej. Studium archeologiczno – petrograficzne*. Biblioteka Fontes Archaeologici Poznanienses 5. Poznań, 1–142.
- Prinke, A., Skoczylas, J. 1985. Badania nad prahisterycznymi surowcami kamiennymi jako przykład interdyscyplinarnej współpracy archeologii z geologią. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego* 713: 57–72.
- Prinke, A., Skoczylas, J., 1987. Petroarcheologia i jej znaczenie dla rozwoju geologii. *Prace Geologiczno-Mineralogiczne* 10: 275–279.
- Quinn, P.S. 2013. *Ceramic Petrography: The Interpretation of Archaeological Pottery & Related Artefacts in Thin Section*. Oxford.
- Rapp, G. 2009. *Archaeomineralogy*. Berlin.
- Resi, H.G. 1990. *Die Wetz- und Schleifsteine aus Haithabu. Mit Beiträgen von Helge Askvik, David T. Moore und Gernot Schlüter*, Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu 28, Neumünster, 9–133.
- Richter, D.K., Götte, T., Götze, J., Neuser R.D. 2003. Progress in application of cathodoluminescence (CL) in sedimentary petrology (Review Article). *Mineralogy and Petrology* 79(3/4): 127–166.
- Riederer, J. 2004. Thin Section Microscopy Applied to the Study of Archaeological Ceramics. *Hyperfine Interactions* 154: 143–158.
- Ryka, W., Maliszewska, A. 1982. *Słownik petrograficzny*. Warszawa.
- Skoczylas, J. 1990. *Użytkowanie surowców skalnych we wczesnym średniowieczu w północno-zachodniej Polsce*. Poznań.
- Słowik, G. 2014. *Podstawy mikroskopii elektronowej i jej wybrane zastosowania w charakterystyce katalizatorów nośnikowych*. Lublin.
- Sikorska, M. 2000. Od gemmologii do archeologii śladami katodoluminescencji, (w:) *Streszczenia referatów, Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, Polskie Towarzystwo Geologiczne, Oddział Wrocławski* 2, Wrocław, 53–55.
- Sikorska, M. 2005. *Badania katodoluminescencyjne minerałów. Instrumentalne Metody Badań Geologicznych* 59, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Smith, G.D., Clark, R.J.H. 2004. Raman microscopy in archaeological science. *Journal of Archaeological Science* 31: 1137–1160.
- Štělcl, J., Malina, J. 1970. *Anwendung der Petrographie in der Archäologie*. Brünn.
- Štělcl, J., Malina, J. 1975. *Základy petroarcheologie*. Brno.
- Szydlowski, M. 2011. Wstępna analiza kamiennych oselek z wczesnośredniowiecznego Wolina, (w:) M. Rębkowski (red.), *Wolińskie Spotkania Mediewistyczne I, Ekskluzywne życie – dostojny pochówek. W kręgu kultury elitarnej wieków średnich*, Wolin: 45–51.
- Waldhauser, J. 1981. Keltské rotační mlýny v Čechách, *Památky Archeologické* 72: 153–221.
- Webster, R. 1976. *Practical Gemmology*. Washington.
- Webster, R. Anderson, B.W. 1983. *Gems, their sources, descriptions and identification*. London-Boston.
- Wirski-Parachoniak, M. 1980. Mineral raw-materials in Celtic pottery-production of southern Poland, (w:) A. Kulczycka-Leciejewiczowa (red.), *II Międzynarodowe Seminarium Petroarcheologiczne*. Wrocław-Sobótka, 91–98.
- Wojciechowski, W. 1988. Próba lokalizacji ośrodków produkcyjnych toporów ślezańskich w świetle badań petroarcheologicznych. *Przegląd Archeologiczny* 35: 101–138.
- Wołoszyn, M. 2007. Między Gnieznem, Krakowem a Kijowem. Archeologia o wczesnośredniowiecznych relacjach polsko-ruskich i formowaniu polsko-ruskiego pogranicza, (w:) M. Dębiec, M. Wołoszyn (red.), *U źródeł Europy Środkowo-Wschodniej: pogranicze polsko-ukraińskie w perspektywie badań archeologicznych*. Rzeszów, 177–206.
- Wróbel, B., Zienkiewicz, K., Smoliński, D. J., Niedojadło, J., Świdziński M., 2005. *Podstawy mikroskopii elektronowej. Skrypt dla studentów biologii*. Toruń.
- Żak, J. 1967. *Importy skandynawskie na ziemiach zachodniosłowiańskich od IX do XI wieku*. Poznań.

