

Siarka i jej główne minerały w iłach poznańskich (górnym neogenem) oraz ich wpływ na barwę osadu

Jakub Klęsk¹



Sulphur and its main minerals in the Poznań Clays (upper Neogene) – their influence on the sediment colour. Prz. Geol., 71: 249–254; doi: 10.7306/2023.22

Abstract. The Poznań Clays, which are a well-known but still informal lithostratigraphic unit in the Neogene of the Polish Lowlands, contain sulphur and its minerals. Native sulphur was found in them for the first time, whilst pyrite, gypsum and jarosite were documented using various research methods. Native sulphur is present only in the microcrystalline form, and pyrite as the framboids. Gypsum is very well developed in the form of both micro- and macrocrystals, often as twins. In turn, jarosite was found macroscopically in the field exposure and confirmed by mineralogical research methods. Generally, sulphur minerals mentioned above do not affect the colour of the studied sediments. This is due to their trace amounts and microcrystalline form in the sediment (sulphur, pyrite). However, the gypsum has the same colour as the surrounding Poznań Clays due to its transparency or the admixture of other mineral components. Only jarosite, macroscopically yellow or orange together with goethite, can affect the colour of the sediment if it is present in significant amounts.

Over, the gypsum has the same colour as the surrounding Poznań Clays due to its transparency or the admixture of other mineral components. Only jarosite, macroscopically yellow or orange together with goethite, can affect the colour of the sediment if it is present in significant amounts.

Keywords: native sulphur, pyrite, gypsum, jarosite, Neogene, central Poland

Iły poznańskie wyróżnili w drugiej połowie XIX w. niemieccy geolodzy, nazywając tak różnokolorowe osady iłaste zalegające w okolicach Poznania powyżej tzw. pokładu podstawowego węgla brunatnego (obecnie 1. śródkowopolski pokład) i poniżej plejstocenijskich osadów glacygenicznych (Piwocki i in., 2004). Przez prawie 100 lat przyjmowano za wspomnianymi badaczami, że są to osady pochodzenia jeziornego, a ich wiek określano na pliocen (Areń, 1964). Od lat 60. i 70. XX w. ich genezę łączono ze środowiskiem jezioro-rzeczno-morskim (Dyjur i in., 1968; Dyjur, 1970). Natomiast na początku XXI w. zaproponowano hipotezę fluwialną (Piwocki i in., 2004), która została pozytywnie zweryfikowana wynikami badań sedymentologicznych, głównie osadów z konińskich odkrywek węgla brunatnego. Obecnie uznaje się, że iły poznańskie w dominującej części powstały w środowisku późnoneogeneńskiego systemu rzeczno-jezioro-łazącego (Widera i in., 2017, 2019; Maciaszek i in., 2020) lub anastomozująco-meandrującego (Zieliński, Widera, 2020; Kędzior i in., 2021).

Zainteresowanie iłami poznańskimi wynika głównie z ich przydatności surowcowej. Są one wykorzystywane do produkcji ceramiki budowlanej, ale znajdują również zastosowanie w wielu innych gałęziach gospodarki (Wyrwicki, 1974; Ratajczak i in., 2015; Ratajczak, Hyncnar, 2017) i w związku z tym były poddawane licznym badaniom, głównie mineralogicznym (Dyjur i in., 1968; Wiewióra, Wyrwicki, 1976; Wyrwicki, Maliszewska, 1977; Wichrowski, 1981; Wyrwicki, Wiewióra, 1981; Wagner, 1982; Choma-Moryl, 1988; Górniak i in., 2001; Bojakowska i in., 2010; Duczmal-Czernikiewicz, 2010, 2013). W ostatnim czasie podjęto także badania poświęcone wyjaśnieniu przyczyn różnorodności iłów poznańskich (Klęsk i in., 2022).

Głównym celem artykułu jest zaprezentowanie wyników badań siarki i jej głównych minerałów występujących w iłach poznańskich na Niżu Polskim. W pracy tej opisano także wpływ siarki rodzimej, piryty, gipsu i jarosytu na

barwę iłów poznańskich. Podobne badania, jednak poświęcone głównie gipsowi i jarosytowi w iłach poznańskich, prowadzili Wyrwicki (1969), Cieśla i Wyrwicki (1971) oraz Duczmal (1992).

OBIEKT BADAŃ

Badaniami objęto główne minerały siarki występujące w iłach poznańskich, które zalegają na monoklinie przed-sudeckiej, antyklinalium śródpolskim oraz synklinorium szczecińsko-miechowskim, zajmując obszar o powierzchni 75 tys. km² (ryc. 1). W późnym neogenie zasięg tych



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych na tle zasięgu iłów poznańskich na Niżu Polskim

Fig. 1. Location of the research sites against the Poznań Clays extent in the Polish Lowlands

¹ Instytut Geologii, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, ul. B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; jakub.klesk@amu.edu.pl; ORCID ID: 0000-0001-7437-1232

utworów był zapewne jeszcze większy, lecz część z nich uległa erozji, głównie w plejstocenie (Areni, 1964; Piwocki i in., 2004).

Według litostratygraficznego podziału neogenu Niziu Polskiego ility poznańskie należą do formacji poznańskiej, która dzieli się na dwa ogniwa: ility szarych i wielkopolskie (Piwocki, Ziemińska-Tworzydło, 1995). Ogniwo ility szarych obejmuje 1. środkowopolski pokład węgla brunatnego oraz ility szare zalegające wyspowo w jego stropie. Natomiast ogniwo wielkopolskie zawiera ility zielone i ility płomieniste. Wiek ility poznańskich jest określany na przedział od późnego środkowego miocenu po najniższy wczesny pliocen (Piwocki, Ziemińska-Tworzydło, 1995; Troć, Sadowska, 2006).

METODYKA

W latach 2018–2022 pobrano do badań próbki ility poznańskich i kryształy gipsu z czterech stanowisk (ryc. 1): Dymaczewo Stare (k. Poznania), Józwin IIB (k. Konina), Chodzież i Wysoka (k. Piły). Z dwóch pierwszych stanowisk (Dymaczewo Stare i Józwin IIB) pobrano próbki ility poznańskich i poddano je kompleksowym analizom badawczym. Ze stanowisk Chodzież i Wysoka pobrano tylko makrokryształy gipsu, co ograniczyło zakres badań. Wszystkie próbki wysuszono w stałej temperaturze 25°C.

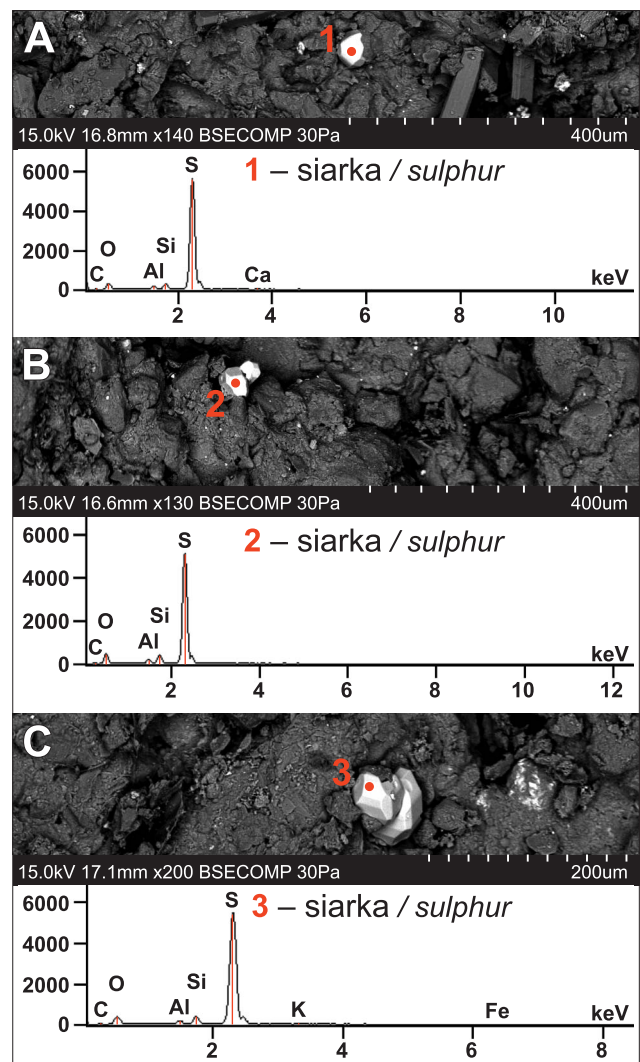
Do identyfikacji faz mineralnych siarki zastosowano proszkową dyfrakcję rentgenowską PXRD (*powder X-ray diffraction*). W celu potwierdzenia obecności w osadzie minerałów siarki zawierających atomy żelaza, takich jak piryt (FeS_2) i jarosyt ($\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$), wykonano spektroskopię mössbauerowską ^{57}Fe -MS (^{57}Fe Mössbauer spectroscopy). Skład chemiczny siarki rodzimej (S_8), pirytu (FeS_2) i gipsu ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) analizowano za pomocą mikroskopii skaningowej (*scanning electron microscopy*), wspartej spektroskopią dyspersji energii (*energy dispersive spectroscopy*), w skrócie SEM-EDS. Analizy PXRD wykonano w Instytucie Mikroelektroniki i Fotoniki w Warszawie, który należy do Sieci Badawczej Łukasiewicz, oraz w Instytucie Geologii UAM w Poznaniu. Badania próbek metodą ^{57}Fe -MS przeprowadzono w Laboratorium Spektroskopii Mössbauerowskiej Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Natomiast analizy SEM-EDS zrealizowano w Laboratorium Mikroskopii Skaningowej i Mikroanalizy Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu.

WYNIKI

W ilitych poznańskich zalegających w środkowej części Niziu Polskiego w odkrywkach powierzchniowych (stanowiska Dymaczewo Stare, Chodzież i Wysoka) oraz kopalnianych (Józwin IIB) występują główne minerały siarki. Są to: siarka rodzima, piryt, gips i jarosyt.

Siarka rodzima

Prowadząc obserwacje mikroskopowe SEM-EDS ilitych poznańskich, po raz pierwszy jednoznacznie udokumentowano w nich obecność siarki rodzimej w postaci krystalicznej (ryc. 2). W obrazach SEM próbek ility z odkrywki Józwin IIB obserwowano kryształy siarki o wymiarach w przedziale 30–70 μm i dużej liczbie ścian. Wyniki anali-



Ryc. 2. Wyniki analizy SEM-EDS siarki rodzimej ze stanowiska Józwin IIB

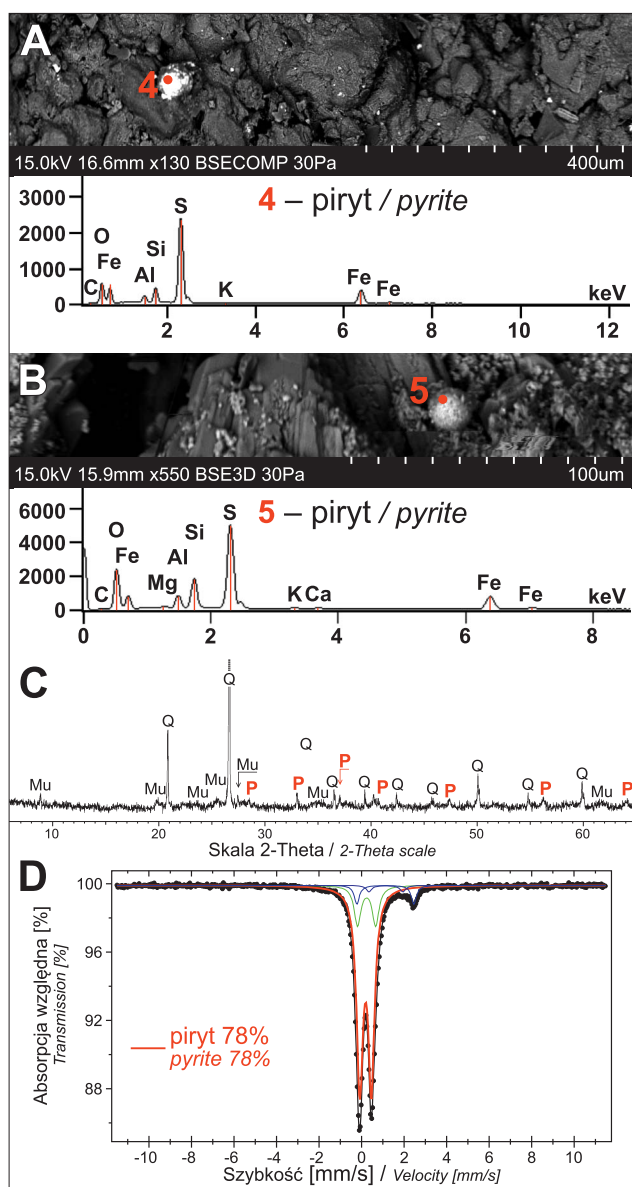
Fig. 2. SEM-EDS results for native sulphur from the Józwin IIB site

zy EDS potwierdziły, że kryształy te składają się prawie wyłącznie z siarki elementarnej. Śladowe ilości glinu (Al) i krzemu (Si), jakie wykryto, pochodzą od kaolinitu obecnego w tle skalnym ilitych (ryc. 2). Obecność siarki rodzimej zaznaczyła się także w formie słabych, pojedynczych pasm ($d = 3,85, 3,21 \text{ \AA}$) na dyfraktogramach kilku próbek ze stanowiska Józwin IIB.

Piryt

Piryt jest minerałem towarzyszącym siarce rodzimej i powszechnie występuje w ilitych poznańskich, zwłaszcza w ilitych szarych i zielonych (np. Choma-Moryl, 1988; Duczmal-Czemnikiewicz, 2010; Ratajczak i in., 2015). Jego obecność w kilku próbkach pochodzących ze stanowiska Józwin IIB wyraźnie zaznaczyła się na dyfraktogramach i dobrze ją udokumentowano metodami SEM-EDS, PXRD i ^{57}Fe -MS (ryc. 3). Morfologia kryształów pirytu, widoczna w obrazach SEM-EDS, wskazuje na obecność form framboidalnych pochodzenia bakteryjnego (ryc. 3A, B).

Na podstawie wyników analizy ^{57}Fe -MS stwierdzono, że zdecydowana większość atomów żelaza II (Fe^{2+}) znajduje się w siarczках. Po uwzględnieniu wyników analizy



Ryc. 3. Piryty framboidalny w próbkach ze stanowiska Józwin IIB: A, B – wyniki analizy SEM-EDS; C – wyniki analizy PXR; D – wyniki analizy ^{57}Fe -MS

Fig. 3. Framboidal pyrite in samples from the Józwin IIB site: A, B – SEM-EDS results; C – PXR results; D – ^{57}Fe -MS results

SEM-EDS i PXR wyliczono, że aż 78% atomów żelaza obecnych w badanej próbce jest związanych w sieci krystalicznej pirytu (ryc. 3D).

Framboidy pirytowe są przydatne do interpretacji warunków redoks osadów (Zatoń i in., 2008). Tworzą się one w warunkach anoksydacyjnych, często w osadach bogatych w materię organiczną, zatem ich obecność jest wskaźnikiem środowiska redukcyjnego (Pękala, Hycnar, 2011). W iłach poznańskich kryształów pirytu framboidalnego należy się spodziewać w odmianie iłów szarych o ciemnych barwach (szarych z odcieniem zielononiebieskim), determinowanych obecnością substancji organicznej pochodzenia roślinnego.

Piryty nie stwierdzono jedynie w próbkach iłów pobranych ze stanowiska Dymaczewo Stare, co może być skutkiem ich ekspozycji na warunki atmosferyczne, pod wpływem których nastąpiło utlenianie Fe^{2+} do Fe^{3+} (Klęsk i in., 2022).

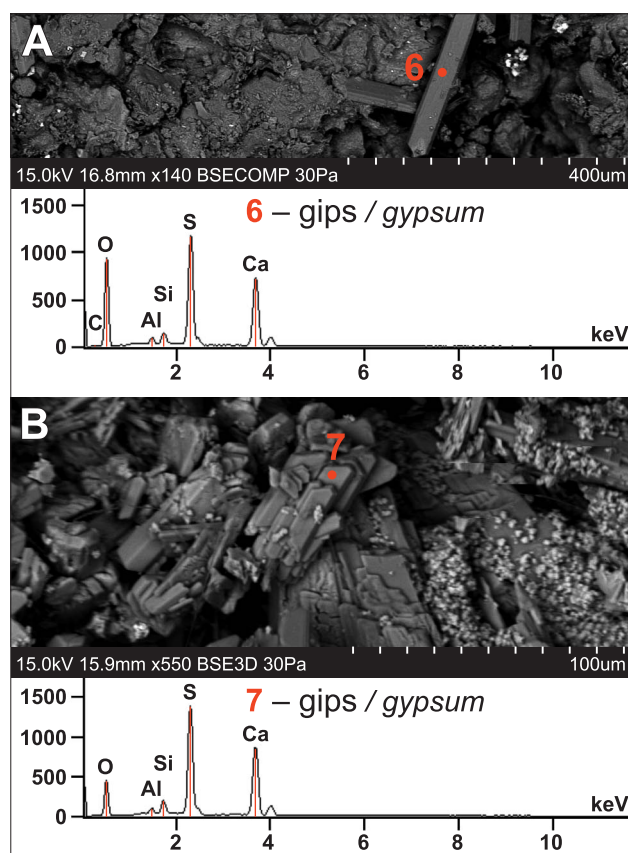
Gips

We wszystkich badanych próbkach iłów poznańskich stwierdzono obecność kryształów gipsu (ryc. 4–6). W większości próbek były one widoczne makroskopowo, a jedynie w próbkach z odkrywki węgla brunatnego Józwin IIB rozpoznano je dopiero pod mikroskopem. Piki charakterystyczne dla kryształów gipsu były widoczne tylko na niektórych dyfraktogramach SEM-EDS.

W próbkach iłów poznańskich ze stanowisk w Chodzieży (ryc. 5A, B) i Wysokiej (ryc. 5C–F) zidentyfikowano kryształy selenitu o długości kilku, a nawet kilkunastu centymetrów (ryc. 5). Ich unikatowe piękno sprawia, że mają dużą wartość kolekcjonerską. Przeważnie tworzą zrosty lub zbliźniaczenia. Kryształy gipsu z Wysokiej są zlepione brunatną substancją ilasto-żelazistą (ryc. 5E, F). Wyrwicki (1969) zauważył w nich czarne wrostki pirytu.

W iłach ze stanowiska Dymaczewo Stare znaleziono rozetę gipsową (ryc. 7). Bogactwo form gipsu z tego rejonu opisała Duczmal (1992), wyróżniając rozetowe konkrecje gipsu, gips włóknisty oraz idiomorficzne kryształy gipsu, w tym tworzące zbliźniaczenia (tzw. jaskółcze ogony). Autorka ta zwróciła też uwagę na obecność substancji ilasto-żelazistej, która spaja kryształy gipsu (Duczmal, 1992).

Mikrokryształy gipsu są bardzo dobrze widoczne w obrazach SEM próbek iłów poznańskich ze stanowiska Józwin IIB. Przyjmują one pokrój silnie wydłużonych, jednoskośnych słupków o długości od <10 do >200 μm . Ich wykształcenie należy uznać za typowe. Kryształy te często tworzą większe nagromadzenia, ale występują także pojedynczo (ryc. 4A, B).



Ryc. 4. Wyniki analizy SEM-EDS mikrokryształów gipsu ze stanowiska Józwin IIB

Fig. 4. SEM-EDS results for gypsum microcrystals from the Józwin IIB site



Ryc. 5. Makrokryształy gipsu z ilów poznańskich: **A** (10,9 × 8,6 × 6,5 cm) i **B** (10,9 × 8,6 × 6,5 cm; światło UV) – okaz ze stanowiska Chodzież; **C** (12 × 3 × 1,5 cm), **D** (4 × 4 × 2 cm), **E** (8 × 5,5 × 5 cm) i **F** (6,5 × 3 × 2,5 cm) – ze stanowiska Wysoka
Fig. 5. Gypsum macrocrystals from the Poznań Clays: **A** (10.9 × 8.6 × 6.5 cm) and **B** (10.9 × 8.6 × 6.5 cm; UV light) – specimen from the Chodzież site; **C** (12 × 3 × 1.5 cm), **D** (4 × 4 × 2 cm), **E** (8 × 5.5 × 5 cm) and **F** (6.5 × 3 × 2.5 cm) – from the Wysoka site

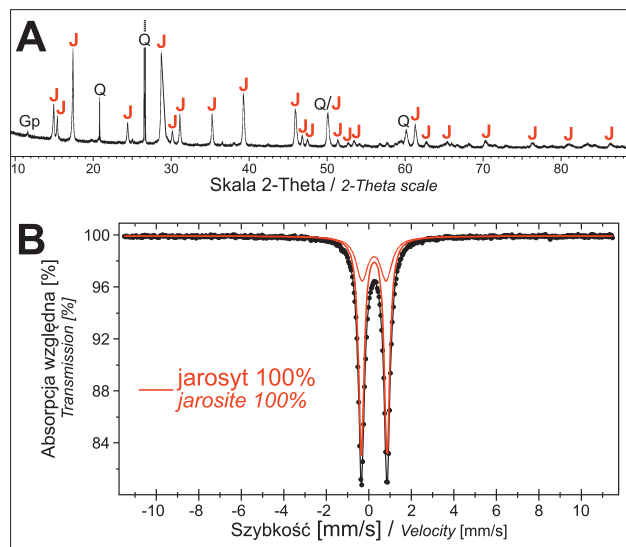
Jarosyt

Jarosyt zdecydowanie rzadziej występuje w łańcuchach poznańskich niż gips. Śladowe ilości tego minerału zidentyfikowano za pomocą PXRD w jednej próbce ilów szarych z odkrywki Józwin IIB, a także w pełni udokumentowano w próbkach ilów pochodzących ze stanowiska Dymaczewo Stare (ryc. 6). Uprzednio jego obecność została potwierdzona w Wysokiej (Cieśla, Wyrwicki, 1971) i Dymaczewie Starym (Duczmał, 1992; Duczmał-Czernikiewicz, 2010).

→

Ryc. 6. Wyniki badań jarosytu w próbkach ilów poznańskich ze stanowiska Dymaczewo Stare: **A** – analiza PXRD; **B** – analiza ⁵⁷Fe-MS

Fig. 6. Results of jarosite tests in samples of the Poznań Clays from the Dymaczewo Stare site: **A** – PXRD results; **B** – ⁵⁷Fe-MS results



W Dymaczewie Starym jarosyt występuje zarówno samodzielnie, jak i razem z goethytem (Klęsk i in., 2022). W wystąpieniach samodzielnych tworzy na ścianie odsłonięcia iłów jasnożółte, pylaste naloty o kolistym kształcie i średnicy 7–8 mm, usytuowane pojedynczo lub w skupieniach, przeważnie w sąsiedztwie gipsu (ryc. 7). Pylaste wystąpienia jarosytu stwierdzono też w szczelinach, w których miąższość mineralizacji rzadko przekracza 1–2 mm. W miejscach, gdzie jarosytowi towarzyszy goethyt, w osadzie ilastym powstają pomarańczowe i żółto-brązowe, pionowo zorientowane smugi o długości do kilkudziesięciu centymetrów (Klęsk i in., 2022). Smugi te powstają prawdopodobnie na skutek wytrącania się jarosytu i goethytu wokół korzeni roślin (Duczmał-Czernikiewicz, 2010).

Wyniki analiz PXRD próbek jarosytu ze stanowiska w Dymaczewie Starym wskazują na jego prawie monomineralne występowanie obok kwarcu i śladowych ilości gipsu ($d = 7,62\text{\AA}$). Obecność jarosytu w iłach potwierdzają charakterystyczne dla tego minerału refleksy ($d = 3,08; 3,11; 5,09$ i $1,98\text{\AA}$) na dyfraktogramach (ryc. 6A). Należy też zauważyć, że jedynym minerałem w tej próbce, który zawiera żelazo III (Fe^{3+}), jest właśnie jarosyt. Niezbiecnie potwierdzają to wyniki analizy ^{57}Fe -MS (ryc. 6B).

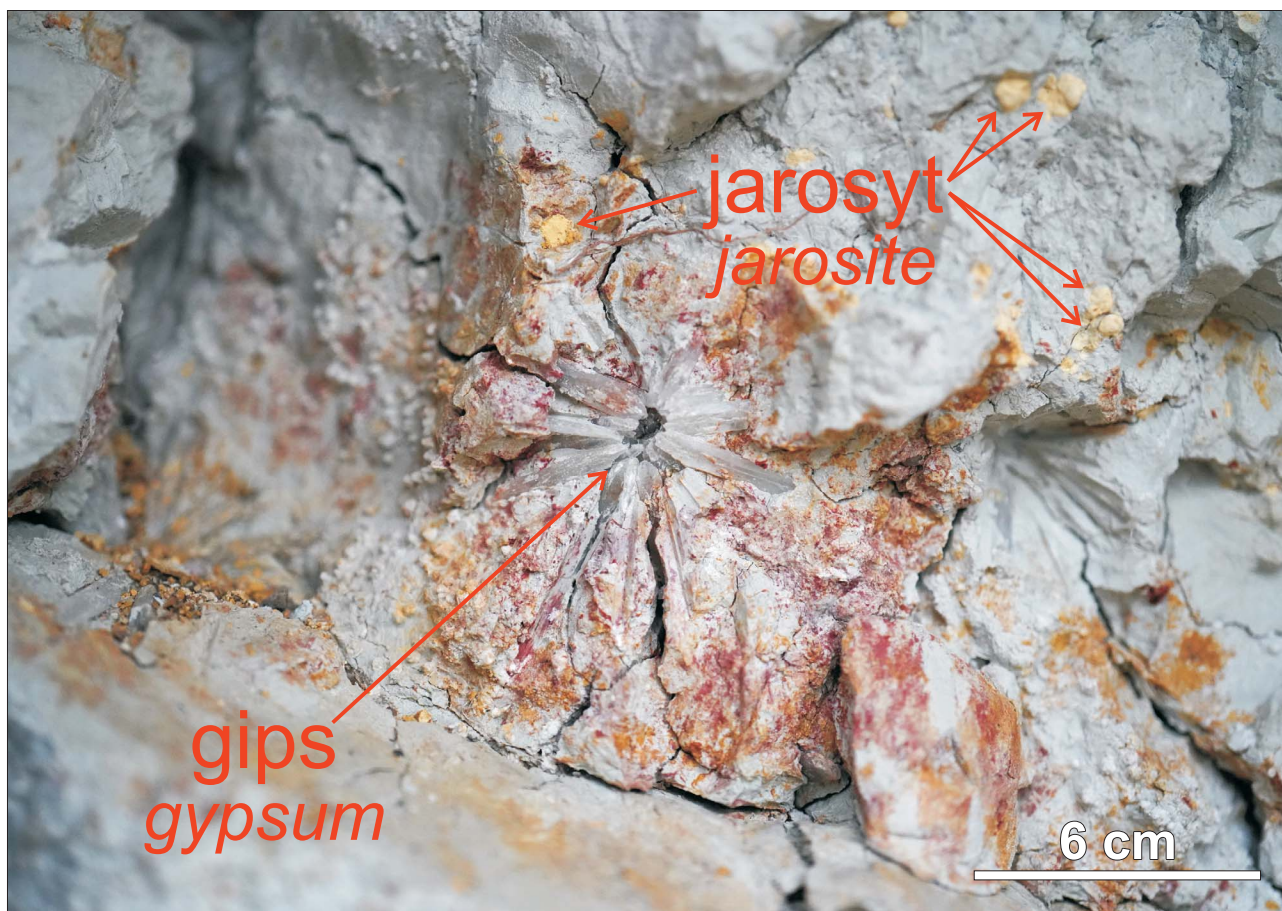
Wpływ minerałów siarki na barwę iłów poznańskich

Krystaliczna siarka rodzima, zidentyfikowana w badanych próbkach iłów poznańskich, która nie zawiera domieszek, ma barwę żółtą. Pojedyncze mikrokryształy siarki (ryc. 2) występują w iłach poznańskich sporadycznie, są niewidoczne makroskopowo ($<60\ \mu\text{m}$) i nie mają wpływu na ich kolor.

Framboidy pirytowe, których obecność świadczy o redukcyjnych warunkach środowiska (Zatoń i in., 2008; Pękala, Hycnar, 2011), są makroskopowo niedostrzegalne (ryc. 3) i nie zmieniają barwy osadu.

Kryształy gipsu są bezbarwne, jednak większość z nich zawiera wrostki, np. czarne wrostki pirytu (Wyrwicki, 1969), oraz rdzawe zanieczyszczenia substancją ilasto-żelazistą, pełniącą rolę spoiwa (Duczmał, 1992). Tego typu gipsy przyjmują barwy osadu macierzystego.

Żółty jarosyt w czystej postaci, tzn. bez domieszek minerałów barwiących, nie zmienia koloru iłów poznańskich, ponieważ jego kryształy mają niewielkie rozmiary i jest ich niewiele w osadzie (ryc. 7). Jednak w miejscach, gdzie jarosyt występuje w iłach razem z goethytem (i udział goethytu przeważa), w osadzie tym powstają pomarańczowe



Ryc. 7. Jarosyt i gips w odsłonięciu iłów poznańskich w Dymaczewie Starym. Wszystkie fot. J. Klęsk
Fig. 7. Jarosite and gypsum in an outcrop of the Poznań Clays at Dymaczewo Stare. All photos by J. Klęsk

smugi. Oznacza to, że obecność jarosytu i goethytu wpływa lokalnie na kolor ilów poznańskich.

O kolorze ilów poznańskich decyduje przede wszystkim obecność innych minerałów zawierających silne pigmenty, np. goethytu i hematytu, a także materii organicznej.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Spośród siarczanów w składzie mineralnym ilów poznańskich wykryto dotychczas metodą PXRD obecność barytu (BaSO_4) o zmiennej domieszce strontu (Kowalski i in., 1974), a także innych minerałów siarczanowych, m.in. alunitu, anhydrytu, bassanitu, butlerytu, coquimbitu i melanterytu, których występowanie wymaga potwierdzenia dodatkowymi metodami badawczymi, oraz rozenitu i szomolnokitu, stanowiących domieszki (Choma-Moryl, 1988). Minerale te wskazują na różne przemiany pierwotnego pirytu i niejednokrotnie są wskaźnikami specyficznych warunków środowiskowych (pH, Eh, wilgotności i jej zmienności), co stwarza podstawy do dalszych badań.

PODSUMOWANIE

W składzie mineralnym ilów poznańskich z odkrywki węgla brunatnego Józwin IIB stwierdzono obecność siarki rodzimej. Najprawdopodobniej wykryto ją w tych osadach po raz pierwszy. W próbkach ilów z tego samego stanowiska obserwowano także piryt framboidalny i mikrokrystalny gipsu. Badano także makrokrystalny gipsu ze stanowisk ilów poznańskich w Chodzieży, Wysokiej i Dymaczewie Starym. Jarosyt zaznaczył swą obecność w próbkach ilów ze stanowiska Wysoka oraz Dymaczewo Stare. Kryształy jarosytu występują w ilach samodzielnie oraz z goethytem. Główne minerale siarki (piryt, gips i jarosyt) nie mają istotnego wpływu na barwę ilów poznańskich, ponieważ ich zawartość w tych osadach jest śladowa. Jedynie współwystępujący z goethytem jarosyt sprawia, że lokalnie w ilach poznańskich powstają pomarańczowe smugi.

Serdecznie dziękuję promotorom, tj. prof. M. Widerze (UAM, Poznań) i prof. Ł. Kruszewskiemu (PAN, Warszawa), za inspirację i pomoc w przygotowaniu pracy. Jestem bardzo wdzięczny prof. A. Błachowskiemu (AGH, Kraków) za wykonanie analiz ^{57}Fe -MS oraz prof. D. Michalskiej i dr M. Mrozek-Wysockiej (UAM, Poznań) za pomoc w analizach SEM-EDS. Uprzejmie dziękuję też dwóm anonimowym Recenzentom za pozytywną ocenę artykułu, a przede wszystkim za liczne uwagi, które znacząco wpłynęły na ostateczną jakość mojej pracy.

LITERATURA

AREŃ B. 1964 – Atlas geologiczny Polski. Zagadnienia stratygraficzno-facjalne. Trzeciorzęd 1 : 3000 000, z. 3. Wyd. Geol., Warszawa.
BOJAKOWSKA I., BARAŃSKI P., IWASIŃSKA-BUDZYK I., RETKA J. 2010 – Zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych w ilach poznańskich. *Gór. Geol.*, 5: 31–39.
CIEŚLA A., WYRWICKI R. 1971 – Jarosyty w serii ilów poznańskich. *Prz. Geol.*, 19: 482–486.
CHOMA-MORYL K. 1988 – Zmienność właściwości fizycznych ilów poznańskich okolic Wrocławia na tle ich genezy i litostratygrafii. *Geol. Sudet.*, 23: 1–63.
DUCZMAL A. 1992 – Mineralizacja węglanowo-siarczanowa w ilach poznańskich, Dymaczewo Stare (na SW od Poznania). [W:] Wojewoda J., Zwoliński Z. (red.). *Osady i procesy sedymentacji w środowiskach i systemach depozycyjnych w zapisie współczesnym i kopalnym*. Przew. Sem. Sedyment. Inst. Geol. UAM, Poznań: 106–107.

DUCZMAL-CZERNIKIEWICZ A. 2010 – Geochemistry and mineralogy of the Poznań Formation (Polish Lowlands). *Wyd. Nauk. UAM, Poznań*.
DUCZMAL-CZERNIKIEWICZ A. 2013 – Evidence of soils and palaeo-soils in the Poznań Formation (Neogene, Polish Lowlands). *Geol. Quart.*, 57: 189–204.
DYJOR S. 1970 – Seria poznańska w Polsce zachodniej. *Kwart. Geol.*, 14: 819–835.
DYJOR S., BOGDA A., CHODAK T. 1968 – Wstępne badania składu mineralnego ilów poznańskich. *Rocz. PTG*, 38: 491–510.
GÓRNIK K., SZYDLAK T., SIKORA W.S., GAWEŁ A., BAHRA-NOWSKI K., RATAJCZAK T. 2001 – Minerale ilaste w różnobarwnych odmianach skał występujących nad pokładem węgla brunatnego w rejonie Konina. *Gór. Odkryw.*, 43: 129–139.
KĘDZIOR A., WIDERA M., ZIELIŃSKI T. 2021 – Ancient and modern anastomosing rivers: insights from sedimentological and geomorphological case studies of the Triassic, Neogene and Holocene of Poland. *Geol. Quart.*, 65: 54.
KŁEŚK J., BŁACHOWSKI A., DIDUSZKO R., KRUSZEWSKI Ł., WIDERA M. 2022 – Iron-bearing phases affecting the colour of upper Neogene clayey sediments from Dymaczewo Stare, west-central Poland. *Geologos*, 28: 129–139.
KOWALSKI W., SZPIŁA K., WYRWICKI R. 1974 – Konkrecje barytowe w ilach serii poznańskiej ze Stabłowic pod Wrocławiem. *Kwart. Geol.*, 16: 370–377.
MACIASZEK P., CHOMIAK L., URBAŃSKI P., WIDERA M. 2020 – New insights into the genesis of the “Poznań Clays” – upper Neogene of Poland. *Civ. Environ. Eng. Rep.*, 30: 18–32.
PEKALA A., HYCENAR E. 2011 – Minerale ciężkie w strefie kontaktu mezozoik/kenozoik w złożu węgla brunatnego Bełchatów. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 444: 171–176.
PIWOCKI M., ZIEMBIŃSKA-TWORZYDŁO M. 1995 – Litostratygrafia i poziomy sporowo-pyłkowe neogenu na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, 43: 916–927.
PIWOCKI M., BADURA J., PRZYBYLSKI B. 2004 – Neogen. [W:] Peryt T.M., Piwocki M. (red.). *Budowa Geologiczna Polski, t. 1, Stratygrafia, część 3a, Kenozoik – paleogen, neogen*. Państw. Inst. Geol.: 71–133.
RATAJCZAK T., HYCENAR E. 2017 – Kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego. *Geologiczno-surowcowe aspekty zagospodarowania kopaliny towarzyszących*, tom I. *Wyd. IGSMiE PAN, Kraków*.
RATAJCZAK T., HYCENAR E., BOŻECKI P. 2015 – Kryterium mineralogiczne jako element oceny przydatności niektórych polskich surowców ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych. *Wyd. IGSMiE PAN, Kraków*.
TROĆ M., SADOWSKA A. 2006 – Wiek utworów formacji poznańskiej rejonu Poznania. *Prz. Geol.*, 54: 588–593.
WAGNER M. 1982 – Zmienność litologiczno-petrograficzna i warunki sedymentacji utworów najmłodszego trzeciorzędu w zapadlisku środkowej Odry. *Geol. Sudet.*, 17: 57–101.
WICHROWSKI Z. 1981 – Badania mineralogiczne ilów serii poznańskiej. *Arch. Mineral.*, 37: 93–196.
WIEWIÓRA A., WYRWICKI R. 1976 – Beidellite from the sediments of the Poznań series. *Kwart. Geol.*, 20: 331–341.
WIDERA M., KOWALSKA E., FORTUNA M. 2017 – A Miocene anastomosing river system in the area of Konin Lignite Mine, central Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 87 (2): 157–168.
WIDERA M., CHOMIAK L., ZIELIŃSKI T. 2019 – Sedimentary facies, processes and paleochannel pattern of an anastomosing river system: an example from the Upper Neogene of Central Poland. *J. Sediment. Res.*, 89: 487–507.
WYRWICKI R. 1969 – Gipsy w utworach pliocenicznych. *Prz. Geol.*, 17: 488–494.
WYRWICKI R. 1974 – Osady ilaste serii poznańskiej jako surowce ceramiczne. *Biul. Inst. Geol.*, 280: 107–215.
WYRWICKI R., MALISZEWSKA A. 1977 – Utwory węglanowe w osadach ilastych serii poznańskiej (neogen). *Biul. Inst. Geol.*, 298: 269–314.
WYRWICKI R., WIEWIÓRA A. 1981 – Clay minerals of the Upper Miocene sediments in Poland. *Bull. Pol. Acad. Sci., Earth Sci.*, 29: 67–71.
ZATOŃ M., RAKOCIŃSKI M., MARYNOWSKI L. 2008 – Framboidal pirytowe jako wskaźniki paleośrodowiska. *Prz. Geol.*, 56: 158–164.
ZIELIŃSKI T., WIDERA M. 2020 – Anastomosing-to-meandering transitional river in sedimentary record: A case study from the Neogene of central Poland. *Sediment. Geol.*, 404: 105677; doi: 10.1016/j.sed-geo.2020.105677

Praca wpłynęła do redakcji 15.02.2023 r.
Akceptowano do druku 11.04.2023 r.