

Agnieszka GURDZIEL¹, Łukasz KARWOWSKI²

**PROCESY WIETRZENIA W METEORYCIE PUŁTUSK
(WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ)
WEATHERING PROCESSES OF IN PUŁTUSK METEORITE
(PRELIMINARY RESULTS)**

Abstract: The research investigations of secondary changes in the tree samples of Pułtusk meteorite, have brought more questions than answers. All the samples have well kept preserved fusion crust, which is built of tree parts. The external part is massive and compact, practically without any fractures whereas the middle part is cracked and porous. The internal part goes into the "black veins zone". In the middle zone of the crust, skeletal crystals of Fe-Ni spinel, - trevorite, were found. Minerals present within Pułtusk meteorite are differently variously weathered. In At the edges of meteorite the sulphide phases are slightly altered whereas the metallic phases are completely replaced by iron and iron-nickel oxides and hydroxides, which were partly removed during cutting. Silicates and chromite are the best preserved minerals.

Keywords: Pułtusk meteorite, weathering, chondrite H5, weathered iron and sulphides, secondary minerals

WSTĘP

Od początku swojej ziemskiej historii tj. od 30 stycznia 1868 roku, kiedy po efektownym przelocie jasnego bolidu i spadku w postaci deszczu odłamków skalnych, meteoryt Pułtusk budzi żywe zainteresowanie. Niezwłocznie po tym wydarzeniu, zaczęto oględziny całego terenu oraz przystąpiono do badań znalezionych okazów (Pokrzywnicki 1964). Badania okolicy spadku oraz samych znalezisk są prowadzone do dnia dzisiejszego. Budowa mineralogiczna poszczególnych fragmentów meteorytu jak i w jego obrębie wykazuje duże zróżnicowanie. Zalicza się go do wieloskładnikowej brekcji meteorytowej typu H4 - H5, zbudowanej głównie z ksenolitów (Manecki 1972, Siemiątkowski 2004). Również stopień zwiertzenia odnajdywanych fragmentów meteorytów bywa różny. Celem badań jest prześledzenie wtórnych zmian, jakie zaszły w tym meteorycie od momentu jego wylądowania na powierzchni ziemi.

MATERIAŁ BADAWCZY I METODY BADAŃ

Badaniu poddano trzy próbki meteorytu Pułtusk (różnej wielkości), pochodzących z kolekcji panów: Marcina Cimały (płytką) oraz Janusza Kosińskiego i Arkadiusza Bingoraja (płytką oraz piętką). Przy użyciu metod mikroskopowych (optycznych) oraz wykorzystując elektronowy środowiskowy mikroskop skaningowy Philips XL 30 ESEM/TMP z przystawką analityczną EDS (Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi) przeprowadzono analizy składu chemicznego oraz identyfikację faz mineralnych.

¹ *Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, 41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60.
v.agnieszka@interia.pl*

² *Ibidem. lkarwows@wnoz.us.edu.pl*

WYNIKI BADAŃ

W badanych meteorytach zaobserwowano sterfowość procesów wietrzenia. Pod skorupą obtopieniową następuje wyraźnie rozjaśnienie chondrytu, spowodowane odprowadzeniem związków żelaza. Kolejna strefa, od głębokości około 0,5 cm, charakteryzuje się wyraźnie ciemniejszą barwą, co jest wynikiem jej zażelazienia (obecności w spękaniach, mikrospękaniach wydzielen wodorotlenków żelaza). Najbardziej wewnętrzną część meteorytu jest jaśniejsza, bez oznak wietrzenia.

Meteoryty, które zostały poddane badaniom, w większości przypadków charakteryzowały się dobrze zachowaną skorupą obtopieniową. Stwierdzono, iż przetopiona strefa ma budowę jednolitą, a jedynie na pewnych fragmentach swojego przebiegu jest spękana i zawiera dość dużą ilość por i mikropor. Spękania te obejmują zarówno skorupę obtopieniową jak i kontynuują się one w głąb meteorytu. Skorupa ma zmienną grubość, maksymalnie do 0,5 milimetra i w wyraźny sposób odcina się od wewnętrznych części meteorytu (Fig. 1.). Jedyne miejscami, w wyniku najprawdopodobniej mechanicznej obróbki próbek, skorupa ta nie zachowała się. Strefa przetopiona zbudowana jest z zeszklnych krzemianów o składzie zbliżonym do oliwinów. Miejscami zaznacza się w niej strefowa budowa (Fig. 2.). Najbardziej zewnętrzny pas skorupy obtopieniowej, jest szklisty i poza rzadko spotykanymi spękaniem, praktycznie nie zawiera innych nieciągłości struktury. Pomimo, iż jest on, ze względu na swoje skrajne położenie, najbardziej narażony na działanie niszczących czynników zewnętrznych, nie odnotowano w nim wtórnych zmian. Jedyne na jego zewnętrznej powierzchni, szczególnie w zagłębieniach, stwierdzono wtórną mineralizację koloru rdzawo-brunatnego, złożoną głównie z wodorotlenków żelaza. Większe urozmaicenie zaobserwowano w budowie strefy środkowej, która zawiera nieco większą, w porównaniu z pasem zewnętrznym, ilość por i mikropor (pęcherzyków gazowych) oraz spękań. Ponadto w obrębie tej strefy stwierdzono obecność szkieletowych kryształów spinelu żelaza i niklu (trevoryt) (Fig. 3.). Występują one tylko w tej strefie i to we wszystkich trzech próbkach. Najbardziej wewnętrzny pas strefy obtopieniowej, z mniejszą ilością por i mikropor w stosunku do środkowego pasa, przechodzi dość płynnie w tzw. strefę czarnych żyłek.

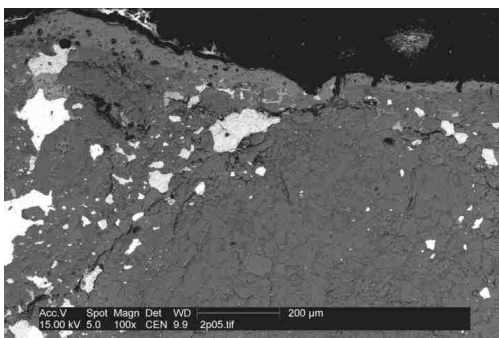


Fig. 1. Obraz BSE. Strefa przetopiona meteorytu Pułtusk o zmiennej grubości. Tu rzadko spotykany fragment ze stosunkowo dużą ilością por oraz z licznymi spękaniem, kontynuującymi się w głąb meteorytu.

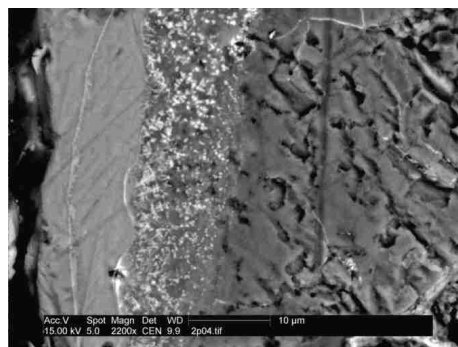


Fig. 2. Obraz BSE. Strefowość w skorupie obtopieniowej meteorytu Pułtusk. Pas lewy-zewnętrzny, środkowy (z jasnymi wydzieleniami) oraz wewnętrzny, przechodzący w strefę czarnych żyłek.

W obrębie badanych przekrojów próbek, stwierdzono obecność swoistych pustek (Fig. 4.). Ich szczególnie zagęszczenie występuje w brzeżnych częściach meteorytów, w odległości do około 1-1,5 cm od skorupy obtopieniowej. Odpowiada to drugiej strefie

wietrzeniowej (strefie ciemnej). Pustki te wypełnione były wodorotlenkami żelaza. Zaobserwowano, że w rejonach ich występowania występuje zaobserwowano deficyt kamacytu w otoczeniu. Przynajmniej więc są to pustki po kamacycie.

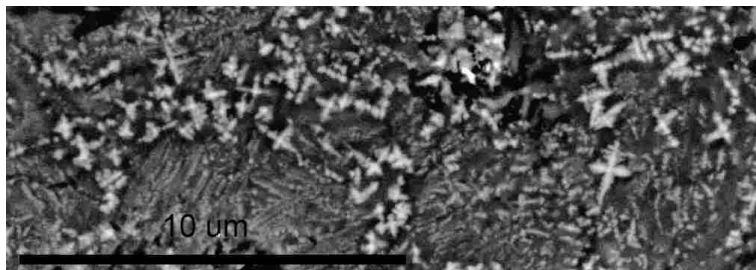


Fig. 3. Obraz BSE. Wydzielenia spinelu Fe-Ni (trevortytu) w środkowej części skorupy obtopieniowej. Meteoryt Pułtusk.

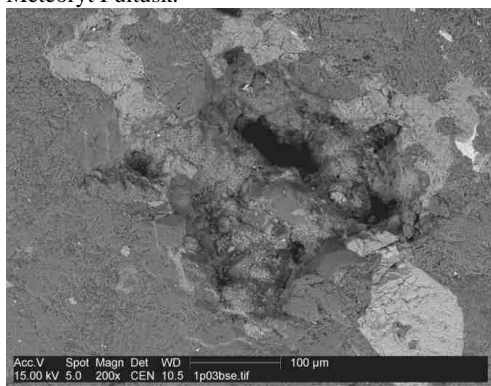


Fig. 4. Obraz BSE. Morfologia pustek w meteorycie Pułtusk. Obszar zbudowany z krzemianów z wydzieleniami wodorotlenków żelaza wokół otworów. Na górze z lewej i prawej jaśniejsze wydzielenia troilitu, a na dole z prawej ziarno chromitu.

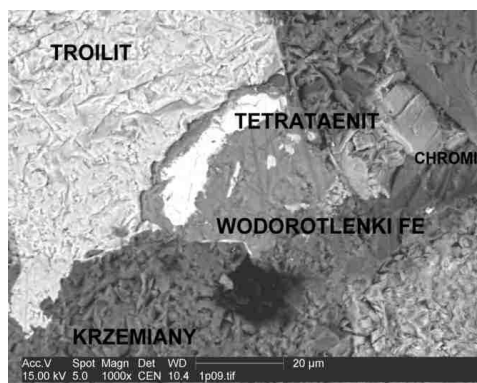


Fig. 5. Obraz BSE. Tkwiący w krzemianach zwietrzały taenit z reszkowym wydzieleniem fazy tetrataenitowej w sąsiedztwie dobrze zachowanego troilitu. Meteoryt Pułtusk.

Obecność spękań i mikrospękań oraz por i mikropor czy innych nieciągłości struktur w zewnętrznych strefach meteorytów, sprzyja procesom powodującym ich wietrzenie. Kontynuujące się w ich głąb spękania i mikrospękania stanowią doskonałą drogę migracji roztworów wnoszących oraz wnoszących rozpuszczalne jony i związki chemiczne. W badanych meteorytach fazy krzemianowe są nienaruszone. Tkwiące w sąsiedztwie krzemianów ksenomorficzne fazy żelazo-niklowe oraz troilit poddają się wtórnym zmianom w różny sposób. W pobliżu prawie nienaruszonych ziaren troilitu następuje bardzo szybkie wietrzenie sąsiadujących z nim ziaren taenitu. Wśród wodorotlenków żelaza ujawnia się miejscami fragmentarycznie tetrataenit, który jest nieco odporniejszy na wietrzenie (Fig. 5.). Szybsze wietrzenie w sąsiedztwie siarczków jest spowodowane najprawdopodobniej lokalną obecnością jonów siarczanowych, uwalnianych podczas wietrzenia troilitu. Miejscami troilit bywa bardzo dobrze zachowany, bez oznak wtórnych zmian. Czasami tylko daje się zaobserwować, iż i on nie pozostaje obojętny na wpływ czynników wietrzeniowych i bywa otoczony cienką warstwą wodorotlenków żelaza.

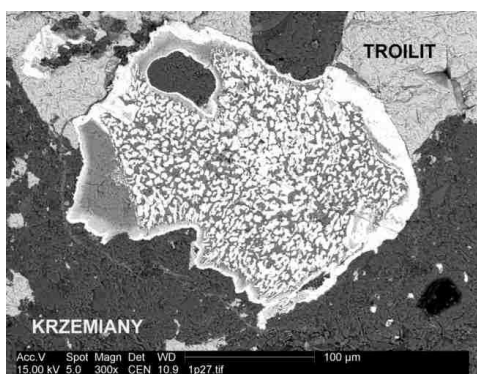


Fig. 6. Obraz BSE. Wietrzejące ziarno taenitu i tetrataenitu w otoczeniu krzemianów. W środku ziarna niezidentyfikowana wtórna faza wodorotlenków Fe-Ni (ciemniejsze plamki). W górnej części dobrze zachowany troilit. Meteoryt Pułtusk.

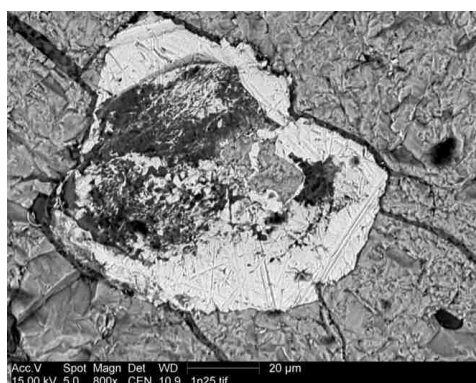


Fig. 7. Obraz BSE. Przykład wietrzejącego taenitu i tetrataenitu z wydzielaniem niezidentyfikowanej wtórnej fazy (ciemne pola) w sąsiedztwie dobrze zachowanego troilitu wewnątrz ziarna (szare wydzielania). Wokół nienaruszone fazy krzemianowe. Meteoryt Pułtusk.

Na działanie niszczących czynników środowiskowych mało odporne są fazy metaliczne. W zależności od zawartości niklu poddają się wietrzeniu w mniejszym lub większym stopniu. Wszystkie zaobserwowane ziarna kamacytu oraz częściowo taenitu uległy znacznemu przekształceniu w fazy wodorotlenków żelaza z różnymi domieszkami niklu. Wietrzeniu ulegały wewnętrzne strefy ziaren taenitowych. Front wtórnych zmian rozchodził się od wewnątrz ku zewnętrznym ich częściom, gdzie dominowała już, odporniejsza na wietrzenie faza bogatszego w nikiel taenitu i tetrataenitu (Fig. 6 i 7). Tak powstała wewnątrz ziaren niezidentyfikowana faza wodorotlenków żelaza (i niklu) (Fig. 8). Wymaga ona jeszcze dalszych badań.

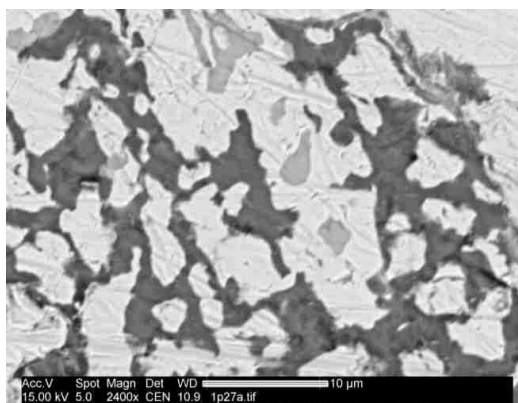


Fig. 8. Obraz BSE. Wtórne fazy wodorotlenkowe o nieznanym przynależności systematycznej (ciemniejsze wydzielania). Jasne pola to fazy żelaza i niklu z przewagą tetrataenitu. Meteoryt Pułtusk.

Wszystkie badane próbki, w strefach wietrzenia, poprzecinane są mikrożyłkami wypełnionymi wodorotlenkami żelaza.

WNIOSKI

Doskonale zachowała się skorupa obtopieniowa, w której stwierdzono obecność spinelu Fe-Ni – trevorytu.

Proces wietrzenia w przebadanych meteorytach przebiega stosunkowo wolno. Ich środkowe partie charakteryzowały się stopniem zwietrzenia W 1, natomiast brzeżne części W 3 - W 2. Najważniejszym czynnikiem wpływającym na proces wietrzenia jest bardzo dobrze zachowana skorupa obtopieniowa, stanowiąca osłonę przed działaniem niszczących czynników środowiskowych oraz wiążąca się z tym mała ilość spękań i por, zarówno w jej obrębie jak i w obrębie samych meteorytów.

Pierwszy etap wietrzenia polegał na nasyceniu skały wodorotlenkami żelaza do głębokości migracji roztworów glebowych. Migrujące roztwory w efekcie doprowadziły do rozjaśnienia najbardziej zewnętrznej strefy meteorytu, poprzez usunięcie z niej związków żelaza, powstających z kamacytu i częściowo troilitu. W strefie ciemnej pozostały wodorotlenki żelaza, w postaci pseudomorfoz po kamacycie, częściowo taenicie oraz rozproszone w mikrospekaniach skały. Wietrzenie ujawniło obecność znacznych ilości taenitu oraz tetrataenitu w tym meteorycie. W badanych okazach strefa środkowa nie uległa procesom wietrzenia i porównywalna jest z okazami podjętymi zaraz po spadku meteorytu. Fazy krzemianowe i chromit w strefach wietrzenia nie uległy zmianom.

Niestety, brak próbek gruntu z otoczenia, gdzie znaleziono badane meteoryty, uniemożliwiło wnioskowanie na temat czynników środowiskowych takich jak np. charakterystyka gleby itd. mających wpływ na stan ich zachowania.

Charakterystyczne pustki, ułożone równolegle do obwodu meteorytu powstały najprawdopodobniej w wyniku wykruszenia słabokrystalicznych, sypkich wodorotlenków żelaza na skutek np. mechanicznej obróbki próbek lub stanowią one pustki po wyprowadzonych wodorotlenkach żelaza wyprowadzonych przez roztwory glebowe.

Podziękowania: Autorzy dziękują Panom: Januszowi Kosińskiemu, Arkadiuszowi Bingorajowi oraz Marcinowi Cimale za udostępnienie meteorytów do badań.

LITERATURA

- POKRZYWNICKI J., 1964. Meteoryty Polski. II. Katalog meteorytów w zbiorach polskich. *Studia Geologica Polonica* vol. XV. Wyd. Geologiczne. Warszawa.
- MANECKI A., 1972. Chondry i chondryty. Stadium mineralogiczno-petrograficzne meteorytu Pułusk. *Polska Akademia Nauk. Praca Prace Mineralogiczna* nr 27. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.
- SIEMIĄTKOWSKI J., 2004. Chondryt Pułusk: przykład meteorytowej brekcji wieloskładnikowej (H4+H5). *Meteoryt.* 2 (50). 26-28.