Największy deszcz meteorytów żelaznych
w Europie środkowej

Morasko

The largest iron meteorite shower
in Central Europe



Morasko.
Największy deszcz meteorytów żelaznych
w Europie środkowej

Morasko.
The largest iron meteorite shower
in Central Europe

Znalezienie meteorytu „Memorss” zostało uznane
w plebiscycie National Geographic Polska
za naukowe odkrycie roku 2012

The finding of the “Memorss” meteorite
was decided to be a scientific discovery of 2012
in a National Geographic Polska plebiscite

Seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii nr 28

Morasko.
Największy deszcz meteorytów żelaznych w Europie środkowej

Morasko.
The largest iron meteorite shower in Central Europe

Redakcja naukowa/Edited by:

Andrzej Muszyński, Ryszard Kryza, Łukasz Karwowski,
Andrzej S. Pilski, Jadwiga Muszyńska

Bogucki Wydawnictwo Naukowe • Poznań 2012

Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego MNiSW pt: „Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne – deszcz meteorytów żelaznych" (NN 307 353333).
The project performed within research grant of the Ministry of Science and Higher Education of Poland "Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne – iron meteorite shower" (NN 307 353333).

Fotografia na pierwszej stronie okładki: meteoryt Morasko z widocznymi nodulami troilitowo-grafitowymi, figurami Thomsona-Widmanstättena i liniami Neumanna, wielkość okazu: 154×124×54 mm; własność Łukasza Smuły (fot. Łukasz Smuła).
Photograph on front cover: Morasko meteorite, with troilite-graphite nodules, Thomson-Widmanstätten and Neumann lines; the longer axis of the meteorite is 154 mm; from Łukasz Smuła collection (photo Łukasz Smuła).

Fotografie na ostatniej stronie okładki: największy w Polsce i Europie środkowej meteoryt żelazny znaleziony 8.10.2012 (po oczyszczeniu 261 kg). Znalazcy meteorytu z wydobytym okazem: Magdalena Skirzewska i Łukasz Smuła (fot. Andrzej Muszyński).
Prorektor UAM prof. Jacek Witkoś, dziekan WNGiG prof. Leszek Kasprzak i prof. Andrzej Muszyński przy nowym meteorycie na konferencji prasowej w dniu 31.10.2012 (fot. L. Stachowiak, www.codziennypoznan.pl).
Photographs on back cover: the largest in Poland and Central Europe iron meteorite fund on October 8th, 2012 (261 kg after cleaning). The founders with their meteorite: Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła (photo Andrzej Muszyński).
Prof. Jacek Witkoś, V-ce Rector of the Adam Mickiewicz University in Poznań, Prof. Leszek Kasprzak, Dean of the the Faculty of Geographical and Geologicical Sciences AMU, and Prof. Andrzej Muszyński, with the new meteorite during press conference on October 31st, 2012 (photo L. Stachowiak, www.codziennypoznan.pl).

Przekład na język angielski / Translation into English:
Ryszard Kryza (rozdziały / chapters: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10)
Marek Awdankiewicz (rozdziały / chapters: 3, 8, 9)

Korekta wersji angielskiej / English correction:
Ray Macdonald, Institute of Geochemistry, Mineralogy and Petrology, University of Warsaw, Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warsaw, Poland. E-mail: r.macdonald@lancaster.ac.uk

Copyright © by Authors, Poznań, 2012

ISBN 978-83-63400-50-7

Dodruk czerwiec 2013

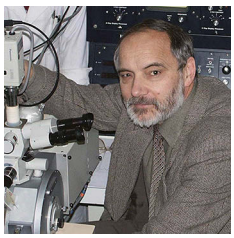
Bogucki Wydawnictwo Naukowe
ul. Górna Wilda 90, 61-576 Poznań
tel. 61 833 65 80
fax 61 833 14 68
e-mail: bogucki@bogucki.com.pl
www.bogucki.com.pl

Druk i oprawa:
UNI-DRUK

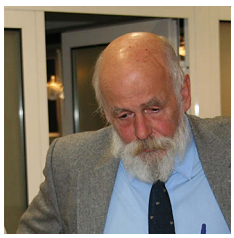
Redaktorzy
Editors



Andrzej Muszyński
Institute of Geology, Adam Mickiewicz University in Poznań,
Maków Polnych 16, 60-606 Poznań, Poland
E-mail: anmu@amu.edu.pl



Ryszard Kryza
Institute of Geological Sciences, University of Wrocław,
Cybulskiego 30, 50-205 Wrocław, Poland
E-mail: ryszard.kryza@ing.uni.wroc.pl



Łukasz Karwowski
Faculty of Earth Sciences, University of Silesia,
Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland
E-mail: lukasz.karwowski@us.edu.pl



Andrzej S. Pilski
Nicolaus Copernicus Museum,
Katedralna 8, 14-530 Frombork, Poland
E-mail: aspmet@wp.pl



Jadwiga Muszyńska
Faculty of Geographical and Geological Sciences (Library),
Adam Mickiewicz University in Poznań,
Dzięgielowa 27, 60-680 Poznań, Poland
E-mail: jadziam@amu.edu.pl

Współautorzy
Co-authors

Piotr Drożdżewski
Faculty of Chemistry, Wrocław University of Technology,
Smoluchowskiego 23, 50-370 Wrocław, Poland
E-mail: piotr.drozdzewski@pwr.wroc.pl

Magdalena Dworzyńska
Institute of Geology, Adam Mickiewicz University in Poznań,
Maków Polnych 16, 60-606 Poznań, Poland
E-mail: DworzynskaM@wp.pl

Agnieszka Gurdziel
Faculty of Earth Sciences, University of Silesia,
Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland
E-mail: v.agnieszka@interia.pl

Katarzyna Helios
Faculty of Chemistry, Wrocław University of Technology,
Smoluchowskiego 23, 50-370 Wrocław, Poland
E-mail: katarzyna.helios@pwr.wroc.pl

Rafał Jakieła
Institute of Physics, Polish Academy of Sciences,
Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, Poland
E-mail: jakiela@if.pan.edu.pl

Monika Nowak
Institute of Geology, Adam Mickiewicz University in Poznań,
Maków Polnych 16, 60-606 Poznań, Poland
E-mail: mnap@amu.edu.pl

Andreas Pack
Geowissenschaftliches Zentrum, Universität Göttingen,
Goldschmidtstraße 1, D–37077 Göttingen, Germany
E-mail: apack@uni-goettingen.de

Michael Raith
Steinmann Institut, Universität Bonn,
Poppelsdorfer Schloß, D–53115 Bonn, Germany
E-mail: une200@uni-bonn.de

Ewa Słaby
Institute of Geological Sciences PAS, Research Centre – Warsaw,
Twarda 51/55, 00-818 Warsaw, Poland
E-mail: e.slaby@twarda.pan.pl

Wojciech Stankowski
Institute of Geology, Adam Mickiewicz University in Poznań,
Maków Polnych 16, 60-606 Poznań, Poland
E-mail: stawgeo@amu.edu.pl

Spis treści

1. Wstęp 9
Andrzej Muszyński, Jadwiga Muszyńska

2. Z historii – odkrycie i badania meteorytów Morasko, Przełazy (Seeläsgen), Jankowo Dolne 17
Andrzej Muszyński, Andrzej S. Pilski, Jadwiga Muszyńska, Ryszard Kryza, Łukasz Karwowski

3. Deszcz meteorytów żelaznych Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne 27
Andrzej Muszyński, Wojciech Stankowski, Andrzej S. Pilski, Ryszard Kryza, Monika Nowak

4. Petrologia, skład chemiczny i pozycja systematyczna Moraska i pokrewnych meteorytów żelaznych 36
Ryszard Kryza, Andrzej S. Pilski, Andrzej Muszyński, Łukasz Karwowski

5. Zarys mineralogii meteorytu Morasko 43
Łukasz Karwowski, Ryszard Kryza, Andrzej Muszyński, Andrzej S. Pilski

6. Spektroskopia Ramana w badaniach wybranych minerałów meteorytu Morasko 52
Ryszard Kryza, Katarzyna Helios, Łukasz Karwowski, Andrzej Muszyński, Piotr Drożdżewski

7. Badania izotopowe wybranych minerałów meteorytu Morasko: wstępne wyniki 58
Andreas Pack, Ryszard Kryza, Łukasz Karwowski, Andrzej Muszyński, Ewa Słaby, Michael Raith, Rafał Jakieła

8. Mikrometeoryty: część deszczu meteorytu Morasko 64
Magdalena Dworzyńska, Andrzej Muszyński

9. Wietrzenie w meteorycie Morasko 68
Agnieszka Gurdziel, Łukasz Karwowski, Andrzej S. Pilski, Andrzej Muszyński, Ryszard Kryza

10. Poszukiwania i nowe odkrycia w rezerwacie Meteoryt Morasko 76
Andrzej Muszyński, Andrzej S. Pilski, Jadwiga Muszyńska, Ryszard Kryza, Łukasz Karwowski

Literatura 82

Najważniejsze polskie strony internetowe o meteorytach 85

Galeria fotografii meteorytów Morasko, Przełazy i Jankowo Dolne 87

Contents

1. Introduction 9
Andrzej Muszyński, Jadwiga Muszyńska

2. Historical notes – discovery and investigation of the Morasko, Przełazy (Seeläsgen) and Jankowo Dolne meteorites 17
Andrzej Muszyński, Andrzej S. Pilski, Jadwiga Muszyńska, Ryszard Kryza, Łukasz Karwowski

3. Iron meteorite shower Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne 27
Andrzej Muszyński, Wojciech Stankowski, Andrzej S. Pilski, Ryszard Kryza, Monika Nowak

4. Petrology, bulk chemistry and systematic position of Morasko and other twin irons 36
Ryszard Kryza, Andrzej S. Pilski, Andrzej Muszyński, Łukasz Karwowski

5. Outline mineralogy of the Morasko meteorite 43
Łukasz Karwowski, Ryszard Kryza, Andrzej Muszyński, Andrzej S. Pilski

6. Raman spectroscopy investigations of selected minerals in the Morasko meteorite 52
Ryszard Kryza, Katarzyna Helios, Łukasz Karwowski, Andrzej Muszyński, Piotr Drożdżewski

7. Isotopic studies of selected minerals from the Morasko iron: preliminary data 58
Andreas Pack, Ryszard Kryza, Łukasz Karwowski, Andrzej Muszyński, Ewa Słaby, Michael Raith, Rafał Jakieła

8. Micrometeorites: a part of the Morasko meteorite shower 64
Magdalena Dworzyńska, Andrzej Muszyński

9. Weathering in the Morasko meteorite 68
Agnieszka Gurdziel, Łukasz Karwowski, Andrzej S. Pilski, Andrzej Muszyński, Ryszard Kryza

10. Meteorite prospecting and new discoveries in the "Morasko Meteorite" reserve 76
Andrzej Muszyński, Andrzej S. Pilski, Jadwiga Muszyńska, Ryszard Kryza, Łukasz Karwowski

References 82

List of selected Polish web sites on meteorites 86

Photogallery of the Morasko, Przełazy and Jankowo Dolne meteorites 87

1.

Wstęp
Introduction

Andrzej Muszyński (UAM Poznań), Jadwiga Muszyńska (UAM Poznań)

W ziarenku piasku ujrzeć świat cały
I niebo w polnym kwiecie,
Zamknąć w swej dłoni nieskończoność,
A wieczność w jednej godzinie.

(William Blake)

Kosmos od pradziejów fascynował człowieka i pobudzał do zadawania pytań o nasze istnienie we Wszechświecie. Piękne wersy z wiersza Williama Blake'a, osiemnastowiecznego poety angielskiego, najlepiej oddają odczucia filozofów, poszukiwaczy, badaczy, naukowców i wszystkich, którzy zastanawiają się nad człowiekiem, Ziemią, Kosmosem i wiecznością.

Jak poznać to, co niedostępne, tak odległe? Jak znaleźć odpowiedź na pytanie: w jaki sposób powstał nasz świat?

Jesteśmy w stanie coraz lepszymi metodami badać naszą Ziemię, mamy coraz doskonalsze narzędzia. Ale jak pokonać przestrzeń, odległość między planetami?

Neil Armstrong, jako pierwszy człowiek, stanął 20.07.1969 roku na powierzchni Księżyca. Załoga Apollo 11 zebrała próbki gruntu księżycowego, które zostały przebadane w warunkach laboratoryjnych. Na Marsie od 2007 roku wylądowało kilka sond i pojazdów, które przesyłają przede wszystkim zdjęcia powierzchni „czerwonej planety". Ale wciąż najważniejszym źródłem naszej wiedzy o kosmosie są małe i większe fragmenty materii kosmicznej zwane meteorytami, które docierają do powierzchni Ziemi.

Patrząc na naszą planetę, uświadamiamy sobie, że ogromna masa materii kosmicznej

To see a World in a Grain of Sand
And a Heaven in a Wild Flower,
Hold Infinity in the palm of your hand
And Eternity in an Hour.

(William Blake)

The Cosmos has always fascinated human beings and has inspired questions about our existence in the Universe. The fine verses from the poem by William Blake, an 18th century English poet, clearly express the feelings of philosophers, explores, researchers, scientists and all others who have been trying to understand humanity, the Earth, Cosmos and Eternity.

How can we recognize the inaccessible and far-distant? How do we get an answer to the question: How did the Earth originate?

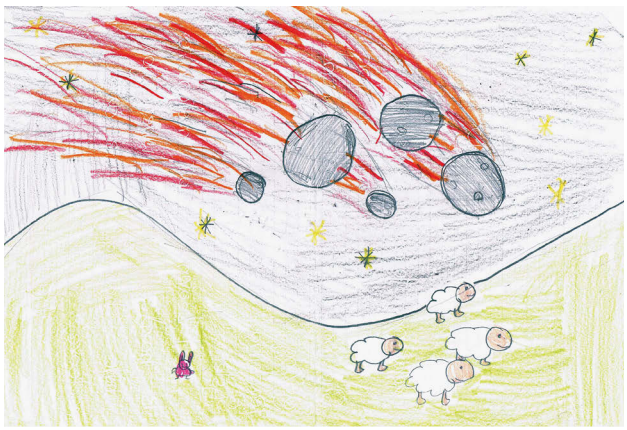
We can use more and more sophisticated methods and tools to investigate the Earth. But how can we overcome the distances between the planets?

Neil Armstrong was the first man to stand on the Moon, on July 20th, 1969. The crew of Apollo 11 had collected samples of the Moon soil which were analyzed in laboratories. Several probes and vehicles have landed on the Mars since 2007, and have been sending images of the surface of the "Red Planet". However, the most important source of our knowledge of space matter is meteorites which reach the Earth's surface.

Looking at our Planet, we become aware that a large mass of cosmic matter sinks into the depths of the oceans and seas. A widely

tonie w przepastnych oceanach i morzach. Istnieje hipoteza, że upadek wielkiej asteroidy na półwysep Jukatan w Ameryce Środkowej miał wpływ na bieg historii geologicznej naszej planety. Być może spowodował wyginięcie olbrzymich dinozaurów pod koniec mezozoiku. Ale też zdarzają się upadki mniej tragiczne w skutkach, których ślady widoczne są do dzisiaj w postaci milczących przybyszów z kosmosu, spadających bez świadków na powierzchnię Ziemi. Przeloty bolidów i upadki materii kosmicznej, obserwowane przez ludzi, często wywołują strach i jednocześnie podziw (ryc. 1).

Większość meteorytów to meteoryty kamienne i rzadsze od nich – kamienno-żelazne, zewnętrznie podobne do skał ultramaficznych na powierzchni Ziemi. Najwięcej tego typu okazów znajdowanych jest na pustyniach lub lodowcach Antarktydy. Meteoryty kamienne najłatwiej zdiagnozować, obserwując moment ich spadku lub szkody, jakie wyrządziły. Tak było w przypadku meteorytu kamiennego Sołtmany, który 30.04.2011 roku spadł na dach gospodarstwa w miejscowości Sołtmany na Mazurach i już po 79 dniach został zarejestrowany w Meteoritical Bulletin jako Sołtmany – chondryt oliwinowo-hiperstenowy L6.



Ryc. 1. Deszcz meteorytu Morasko w wyobrażeniu 8-letniego Kamila Sokołowskiego
Fig. 1. Morasko meteorite shower as imagined by eight-year old Kamil Sokołowski.

Trzecia grupa to meteoryty żelazne. Stanowią one zaledwie 4,6% spadłej na Ziemię materii kosmicznej, ale są dużo łatwiejsze do odnalezienia. Najważniejszą ich cechą jest waga i namagnesowanie. Wynika to z faktu, że są one stopem żelaza z domieszką niklu, czyli po prostu bryłą żelaza, reagującą na magnes i wykrywacz metalu.

Meteoryty, które są przedmiotem naszych badań, spadły w okolicach Moraska, Przełazów

known hypothesis argues that the fall of a large asteroid on Jukatan in Central America could have had a great impact on the subsequent geological history of our planet. It probably caused a mass extinction that totally eliminated the giant dinosaurs at the end of the Mesozoic Era. However, many falls have not had such catastrophic consequences, but their traces can be seen today in the form of "silent visitors" from space, meteorites, that fell usually without witnesses onto the Earth surface. The falling bolids and falls of cosmic matter have been observed by people with fear and admiration (Fig. 1).

Most meteorites are stone meteorites and less common stone-iron meteorites, similar in appearance to ultramafic rocks found on the Earth's surface. A great number of such meteorites are found in deserts and on glaciers in Antarctica. Stone meteorites are easily recognised, e.g. when the fall is observed and we can also assess the damage they may cause. This was the case of the Soltmany stone which fell on the roof of a farm house at Soltmany village in Mazuria (NE Poland), on April 30, 2011. After only 79 days it was formally registered in the Meteorological Bulletin as the Soltmany olivine-hypersthene chondrite L6.

The third group of meteorites are irons. They represent only 4.6% of all cosmic matter that falls onto the Earth, but they are much easier to identify. The most important features of the irons are their weight (density) and magnetic properties. This is because these materials are composed of metallic iron, with an admixture of nickel, thus simply being a lump of iron attracted by magnets and metal detectors.

i Jankowa Dolnego prawdopodobnie około 5000 lat temu i długo czekały na odkrycie i naukowe opisanie.

Dopiero pod koniec lat 40. XIX wieku wśród wrocławskich uczonych zainteresowanie wzbudził meteoryt o wadze około 100 kg, znaleziony przez rolnika we wsi Przełazy (wtedy niemieckie Seeläsgen). W 2004 roku natrafiono na pierwsze okazy meteorytu Jankowo Dolne. Najsłynniejsze są jednak meteoryty z Moraska. Pierwszy okaz o masie 78 kg został znaleziony podczas I wojny światowej. Od tamtego czasu w okolicy znajdowano bardzo liczne fragmenty o różnej masie, aż po ten największy, odnaleziony w 2006 roku przez Krzysztofa Sochę. Okaz ważył po oczyszczeniu 164 kg i wzbudził wielki entuzjazm nie tylko w świecie nauki. Przez 6 lat meteoryt ten, o imieniu „Rudy", nadanym mu przez czytelników „Głosu Wielkopolskiego", nosił miano największego meteorytu polskiego i był pokazywany na licznych wystawach o tematyce poświęconej materii kosmicznej.

Na początku października 2012 roku dwójka profesjonalnych poszukiwaczy – Łukasz Smuła i Magdalena Skirzewska – zlokalizowała na terenie rezerwatu Meteoryt Morasko, za pomocą nowoczesnego wykrywacza metali okaz na głębokości ponad 2 m (ryc. 2). Meteoryt po wydobyciu ważył 300 kg. Po oczyszczeniu i zakonserwowaniu waży 261 kg i jest największym meteorytem nie tylko w Polsce, ale i w Europie środkowej.

Badając przybyszów z kosmosu, stawiamy sobie wiele pytań: interesuje nas budowa zewnętrzna i wewnętrzna, skład chemiczny, minerały, z jakich są zbudowane, podobieństwo do minerałów ziemskich, okoliczności upadku, a przede wszystkim pytamy, skąd przybyły i jaka była wyjściowa waga materii kosmicznej, aż po najważniejsze – czy TAM też mogło być życie?

Dzięki postępowi techniki, pozwalającej poszukiwaczom lokalizować obiekty na coraz większych głębokościach, wzrastają możliwości znajdowania nowych meteorytów. Dzięki dobrej współpracy naukowców z poszukiwaczami, ci pierwsi zyskują wciąż nowe obiekty do badań.

The meteorites that are the target of our research fell in the vicinity of Morasko, Przełazy and Jankowo Dolne, probably around 5,000 years ago, and have waited a long time to be discovered and investigated.

In the late 1840's, scientists from Wrocław became interested in a piece of iron, ~100 kg in weight, that had been found by a farmer in the village of Przełazy (then Seeläsgen, under German control). In 2004, the first pieces of the Jankowo Dolne iron were found. However, the most famous are the meteorites of Morasko. The first find, 78 kg in weight, was discovered during the World War I. Since then, a great number of iron fragments of various size have been found, including a large lump discovered by Krzysztof Socha. This lump, 164 kg in weight after cleaning, inspired great interest not only in the scientific community. Named "Rudy" by the readers of the local newspaper "Głos Wielkopolski", it was considered for six years the largest Polish meteorite and was shown in many exhibitions devoted to cosmic matter issues.

In early October 2012, two professional prospectors, Łukasz Smuła and Magdalena Skirzewska, using a modern metal detector, localized, within the "Morasko Meteorite" reserve, a large object at a depth of more than 2 metres (Fig. 2). This meteorite, after excavation, was c. 300 kg in weight. After cleaning and conservation, its weight is 261 kg, and it is the largest meteorite ever found in Poland (and in Central Europe).

When studying the incomers from the Cosmos, we tend to ask many questions: about their form and internal structure, chemical composition, mineral components and their (dis)similarity to terrestrial materials, the circumstances of the fall but, first of all, we ask where they have come from and what their original total weight was, as well as most intriguingly: whether life can exist there.

Due to technical advances that allow prospectors to locate objects at greater depth, we have a better chance to find new meteorites. Due to the close cooperation between scientists and meteorite prospectors, the scientists have



Ryc. 2. Wydobywanie nowego, rekordowego okazu meteorytu Morasko (fot. A. Muszyński)
Fig. 2. Excavation of the new main mass of Morasko (photo A. Muszyński).

Trzy największe meteoryty żelazne znalezione w Europie to: (1) Muonionalusta (1200 kg, znaleziony w północnej Szwecji w 2008 roku), (2) La Caille (626 kg, Francja, 1828 roku) oraz (3) Mont Dieu (największy okaz 450 kg, Francja, 1994 roku). Nowy okaz Moraska (znaleziony 8.10.2012 roku) jest największym meteorytem żelaznym w Europie środkowej i – jak się wydaje – czwartym największym okazem w całej Europie (Pilski i in. 2012b).

Dzięki postępowi nauki, posługującej się nowoczesnymi metodami badań, możemy odpowiadać na pytania dotyczące wszechświata i udowadniać lub obalać dawne hipotezy. Naszą publikacją chcemy dołączyć do wcześniejszych opracowań na temat meteorytów Moraska: Jerzego Pokrzywnickiego (1957), Hieronima Hurnika (1976), Bogny Dominik (1976) oraz Wojciecha Stankowskiego (2008).

Udostępniamy czytelnikowi przystępną wersję aktualnego stanu wiedzy na temat Mo-

access to newly found objects for their research. Due to progress in science and the application of modern analytical techniques, we can answer queries about the Universe and we can question earlier ideas and supply new hypotheses.

The three largest iron meteorites fund in Europe are: (1) Muonionalusta (1,200 kg, found in northern Sweden in 2008), (2) La Caille (626 kg, France, 1828), and (3) Mont Dieu (the largest find, 450 kg, France, 1994). The new find of Morasko (261 kg, on October 8th, 2012) is the largest iron meteorite in Central Europe and, apparently, the fourth largest find in Europe (Pilski *et al.* 2012b).

We wish that our book complements earlier publications devoted to the Morasko meteorite: Jerzy Pokrzywnicki (1957), Hieronim Hurnik (1976), Bogna Dominik (1976) and Wojciech Stankowski (2008).

We offer the reader an easily-read (we hope) version of current knowledge on Morasko (and

raska i powiązanych z nim meteorytów, opartą na współczesnych badaniach, których pełne wyniki znaleźć można w artykułach zamieszczonych w literaturze krajowej i światowej. Mamy nadzieję, że już niedługo pojawi się następna pozycja dotycząca największego obecnie polskiego meteorytu. Proponujemy go nazwać „Memorss" (**Me**teoryt **Mor**asko **S**muła **S**kirzewska).

the related two twin irons: Przełazy/Seeläsgen and Jankowo Dolne). The detailed results of these studies can be found in a range of scientific and popular papers published in Polish and international journals. We hope that in the near future, we will have another comprehensive publication about this new and largest Polish meteorite. We propose to call it "Memorss" = **Me**teorite **Mor**asko of **S**muła and **S**kirzewska.

Podziękowania

Do powstania tej publikacji przyczyniło się wiele osób i instytucji.

Przede wszystkim pragniemy podziękować poszukiwaczom meteorytów, którzy przekazują nam wiadomości o znaleziskach i udostępniają okazy do badań naukowych. Ich pasja, zaangażowanie, poświęcony czas, specjalistyczny sprzęt, umożliwiają zlokalizowanie meteorytów na coraz większych głębokościach lub w miejscach trudno dostępnych.

Szczególne podziękowania kierujemy do Krzysztofa Sochy, profesjonalnego poszukiwacza, naszego wieloletniego współpracownika, który skrupulatnie przez wiele lat przeszukiwał rezerwat i okolice, znajdował wiele okazów, przy okazji oczyszczając teren z „żelastwa" w postaci łusek po nabojach, drutów i innego złomu. Do niego należał dotychczasowy rekord – meteoryt „Rudy", przez 6 lat największy polski meteoryt.

Dziękujemy łowcom meteorytów: Steve'owi Arnoldowi i Geoffreyowi Notkinowi, którzy jeden ze swoich odcinków „Meteorite Men" nakręcili w rezerwacie Meteoryt Morasko. Była to wspaniała promocja dla rezerwatu i miasta Poznania na świecie. W ostatnich dniach poszukiwań słynni „MM" znaleźli 34-kilogramowy meteoryt, który zgodnie z umową został przekazany do badań Uniwersytetowi im. Adama Mickiewicza.

Słowa uznania kierujemy pod adresem Magdaleny Skirzewskiej i Łukasza Smuły, którzy tworzą niezwykły duet, wzajemnie się uzupełniający i wspierający. Są pełni pasji, wytrwało-

Acknowledgements

Many individuals and institutions have contributed to this publication.

First of all, we are grateful to meteorite prospectors who inform us of their findings and offer meteorites for scientific investigation. Their enthusiasm and engagement, their time, and their prospecting technical equipment, enable the locating of meteorites, sometimes in hardly accessible sites and at ever greater depths.

Special thanks are due to Krzysztof Socha, a professional meteorite hunter and our long-term co-operator, who has, for many years, prospected the reserve "Morasko Meteorite" and its surroundings, and found many meteorites and, simultaneously, cleaned the field of other scrap iron, such as rusted shells, pieces of wire, etc. He used to be the record-holder: his meteorite "Rudy" was for six years the largest Polish meteorite.

We are grateful to meteorite prospectors, Steve Arnold and Geoff Notkins, who have made one of the films of their series "Meteorite Men" in the "Morasko Meteorite" reserve. This was a splendid global promotion for the Reserve and for the city of Poznań. During the final days of their prospecting, the famous "MM" discovered a 34 kg meteorite that, as agreed earlier, was deposited for scientific purposes at the Adam Mickiewicz University in Poznań.

Our warmest thanks go also to Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła, an extraordinary duo, strongly complementing and supporting one another. They are full of enthusiasm and

ści, a przede wszystkim są prawdziwymi profesjonalistami. Od 8.10.2012 roku do nich należy rekord – znaleźli i wydobyli około 300-kilogramowy, piękny meteoryt orientowany. Dziękujemy im także za pomoc w uzupełnianiu dokumentacji fotograficznej i historycznej dotyczącej meteorytów.

Bez okazów nie byłoby znaczącego postępu w badaniach. Największe dotychczas okazy zostały znalezione w rezerwacie Meteoryt Morasko. Było to możliwe dzięki przychylności Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Poznaniu, który ze zrozumieniem odnosił się do naszych projektów badawczych i zezwalał na prowadzenie badań w wyznaczonym czasie na terenie rezerwatu. Szczególne podziękowania kierujemy do Magdaleny Majewskiej z Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Poznaniu, która w ekspresowym tempie przygotowała nowe zezwolenie umożliwiające wydobycie blisko 300-kilogramowego meteorytu z głębokości ponad 2 m.

perseverance, but first of all, they are real professionals. Since October 8th, 2012, they are the new record-holders: they discovered a beautiful, oriented meteorite, ca. 300 kg in weight. We are grateful also for their help in gathering photographs and historical documentation of meteorites.

Without new finds, there would be limited advances in research. So far, the largest irons have been found within the limits of the reserve "Morasko Meteorite". This would not be possible without the support of the General Director of Environmental Protection in Poznań, who has always addressed our research projects with understanding and has given permission for field studies in the Reserve whenever necessary. Special thanks go also to Mrs. Magdalena Majewska of the Regional Office of Environmental Protection, who prepared, at very short notice, the permission that enabled excavation of the nearly 300 kg meteorite.

Meteoryt orientowany

Gdy meteoryt nie koziołkuje podczas spadania, lecz zwrócony jest cały czas tą samą stroną w kierunku lotu, stopiona materia jest zdmuchiwana z rozgrzanej powierzchni równomiernie od środka ku brzegom, w wyniku czego czołowa powierzchnia przybiera kształt stożka, a wszystkie wgłębienia i nacieki układają się na niej symetrycznie od środka ku brzegom. Taki meteoryt nazywamy orientowanym, ponieważ jego kształt wskazuje, która strona była przednią, a która tylną względem kierunku spadania. Skorupa na tylnej stronie bywa spieniona wskutek niższego ciśnienia. Podręcznikowym przykładem orientowanego meteorytu jest meteoryt Baszkówka.



Chondryt Baszkówka – meteoryt orientowany o wadze 15,7 kg, spadł 25 sierpnia 1994 we wsi Baszkówka k/Warszawy (fot. Internet)
Baszkówka chondrite – oriented meteorite, 15.7 kg in weight, fell August 25th, 1994 at Baszkówka near Warsaw (photo Internet).

Oriented meteorite

When a meteorite does not rotate during its fall and the same side is continuously oriented towards the fall direction, the melted matter is blown from the heated front surface symmetrically, from the centre to margins. As a result, the heading face becomes cone-shaped, and all hollows and other structures are also oriented symmetrically, from the centre to margins. Such a meteorite is called an "oriented meteorite" because its shape shows which side was the front and which the back in relation to the direction of fall. The crust on the back side is often foamy, due to the lower pressure there. A classical example of an oriented meteorite is Baszkówka.

Dziękujemy nadleśniczemu Zbigniewowi Szelągowi i leśniczemu z Moraska Zdzisławowi Napierale za długoletnią opiekę i współpracę w pracach terenowych.

Kanclerzowi Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Stanisławowi Wachowiakowi, i dziekanowi WNGiG UAM, profesorowi Leszkowi Kasprzakowi, dziękujemy za przychylność i pomoc w rozwiązywaniu trudnych problemów, zwłaszcza dotyczących funduszy na prowadzenie prac wydobywczych i czyszczenie meteorytu.

Szczególne podziękowania należą się:

Profesorowi Stanisławowi Lorencowi za rady i wszechstronną pomoc na każdym etapie badań i przy wydobywaniu największego meteorytu.

Profesorowi Wojciechowi Stankowskiemu za współpracę i liczne konsultacje przy rozwiązywaniu problemu deszczu meteorytów żelaznych.

Profesorowi Johnowi T. Wassonowi za przyjęcie zaproszenia do współpracy nad badaniem chemizmu i klasyfikowaniem meteorytów. Profesorowi Andreasowi Packowi za podjęcie współpracy w zakresie trudnych, ale fascynujących badań izotopowych. Profesorowi Piotrowi Drożdżewskiemu i doktor Katarzynie Helios za ich wartościowy wkład w badania metodą spektroskopii Ramana. Rainerowi Bartoschewitzowi za współpracę w ustalaniu zasięgu elipsy rozrzutu deszczu meteorytowego.

Profesorowi Pierre'owi Rochette'owi za mobilizację, bo gdyby nie jego zainteresowanie problemem meteorytów moraskich i chęć sprawdzenia w rezerwacie swojego przyrządu – gradiometru magnetycznego – być może sprawa znalezienia 300-kilogramowego meteorytu przesunęłaby się w czasie.

Członkom Polskiego Towarzystwa Meteorytowego za pomoc w popularyzowaniu odkrycia i rezerwatu Morasko oraz za liczne dyskusje podczas zjazdów PTM. Szczególne podziękowania kierujemy do Jana Woreczko i Wadi – twórców portalu wiki.meteoritica.pl, jak również do Marcina Cimały – autora strony www.meteoryt.net – za udostępnienie zdjęć meteorytów i pomoc w uzupełnieniu dokumentacji histograficznej.

We thank the chief forester, Zbigniew Szeląg and the forester of Morasko, Zdzisław Napierała, for their long-term care and cooperation.

We are indebted to Mr. Stanisław Wachowiak, the Chancellor of Adam Mickiewicz University, and to Professor Leszek Kasprzak, the Dean of the Faculty of Geographical and Geological Sciences, for their support and help in resolving difficult tasks, in particular those concerning funds for excavation work and cleaning the new meteorite.

Many thanks are due to:

Professor Stanisław Lorenc, for his valuable advice and help at every stage of research and during the excavation of the largest meteorite.

Professor Wojciech Stankowski, for cooperation and intense consulting of the problems of the Morasko iron shower.

Professor John T. Wasson, for accepting our invitation to cooperate on studying the chemical composition and classification of the meteorites. Professor Andreas Pack, for undertaking difficult but intriguing studies on the isotopic composition of Morasko. Professor Piotr Drożdżewski and Dr. Katarzyna Helios, for valuable contributions from Raman spectroscopy studies. To Rainer Bartoschewitz for his contribution to the study of the strewn ellipse.

Professor Pierre Rochette, for his encouragement; without his interest in the Morasko meteorites and the attempt to check his magnetic gradiometer in the Reserve, the finding of the 300 kg meteorite would have had to wait for some time.

Members of the Polish Meteorite Society, for their help in popularizing the new discovery and the "Morasko Meteorite" reserve, as well as for countless discussions during PMS meetings. Special thanks are due to Jan Woreczko and Wadi – the authors of web site wiki-meteoritica.pl, and to Marcin Cimała, the author of www.meteoryt.net, for photographs and help in extending histographic documentation.

Mrs. Lidia Jeżak and Dr. Piotr Dzierżanowski, for their efficient help during electron microprobe work at Warsaw University. Mrs. Marlena Makowska, for her photographs of meteorites.

Lidii Jeżak i Piotrowi Dzierżanowskiemu dziękujemy za wydajną pomoc przy pracach na mikrosondzie elektronowej na Uniwersytecie Warszawskim. Marlenie Makowskiej za wykonanie zdjęć meteorytów oraz pracownikom laboratoriów chemicznych, obsłudze urządzeń – ramanowskich, mikroskopu elektronowego, mikrosondy elektronowej – i wielu innym osobom zaangażowanym w badania meteorytów.

Magistrantom i doktorantom, którzy w swoich pracach magisterskich rozwiązywali problemy meteorytowe, szczególnie badaczom mikrometeorytów: Zofii Bartosz, Magdalenie Cyz, Rafałowi Derdowskiemu, Magdalenie Dworzyńskiej, Agnieszce Dziurdzi, Urszuli Grzegolec, Kamilowi Jureczce i Ewie Piszczała.

Rayowi Macdonaldowi za rzetelną korektę tekstów angielskich, Markowi Awdankiewiczowi za przekład trzech rozdziałów monografii na język angielski, Grażynie Kryzie za pomoc w opracowaniu i korektę językową polskiej wersji tekstów tej książki.

Uniwersyteckiemu Studiu Filmowemu w Poznaniu za przygotowanie filmów: „Zagadka meteorytu Morasko" i „Dotyk wszechświata" dotyczących meteorytu Morasko i dokumentowanie ważnych wydarzeń związanych z meteorytami, w tym największego, jakim było wydobycie nowego, rekordowego meteorytu, jego oczyszczenie i konferencja prasowa na jego temat.

Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego dziękujemy za sfinansowanie projektu badawczego NN 307 353333 „Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne – deszcz meteorytów żelaznych".

The staff of our laboratories, for technical assistance with analytical equipment, including Raman spectrometer, electron microscope, electron microprobe, and many others involved in the meteorite investigations.

MSc and PhD students, who undertook meteorite problems in their projects, in particular those studying micrometeorites: Zofia Bartosz, Magdalena Cyz, Rafał Derdowski, Magdalena Dworzyńska, Agnieszka Dziurdzi, Urszula Grzegolec, Kamil Jureczko and Ewa Piszczała.

Professor Ray Macdonald, for careful correction of the English texts, Marek Awdankiewicz, for the English translation of three chapters, and Grażyna Kryza for help in preparation and language correction of the Polish version of the text of this book.

University Film Studio in Poznań, for making the films: "Mystery of the Morasko meteorite" and "Touch of the Universe" devoted to the Morasko meteorite; and for documenting important events connected with the meteorites, in particular those around the excavation, cleaning and press conferences of the new largest meteorite.

The Ministry of Science and Higher Education of Poland, for funding research project NN 307 353333: "Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne – iron meteorite shower".

2.

Z historii – odkrycie i badania meteorytów Morasko, Przełazy (Seeläsgen), Jankowo Dolne

Historical notes – discovery and investigation of the Morasko, Przełazy (Seeläsgen) and Jankowo Dolne meteorites

Andrzej Muszyński (UAM Poznań), Andrzej S. Pilski (Muzeum M. Kopernika, Frombork), Jadwiga Muszyńska (UAM Poznań), Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski), Łukasz Karwowski (Uniwersytet Śląski)

Polska ma szczęście, że w jej granicach spadło kilka największych deszczów meteorytowych Europy. Przede wszystkim był to pułtuski deszcz chondrytów, który był największym deszczem meteorytów nie tylko w Europie, ale i na świecie, jeśli liczyć zebraną liczbę okazów. Łowicz był obszarem największego europejskiego spadku mezosyderytów. Wreszcie Morasko jest miejscem największego w Europie środkowej spadku meteorytów żelaznych.

Pierwsza wzmianka o odkryciu meteorytu na terenie Wielkopolski pochodzi z XIX wieku, a dokładnie z 1847 roku. Dotyczy ona opisu znalezionego parę lat wcześniej meteorytu we wsi Przełazy (Seeläsgen). Meteoryt Morasko pojawił się w dokumentach w 1914 roku, a o znaleziskach w Jankowie Dolnym usłyszeliśmy dopiero w 2004 roku (ryc. 1). Daty te wyznaczają początek zainteresowania świata naukowego i medialnego największym deszczem meteorytów żelaznych w Europie środkowej, ale ich geologiczna historia jest oczywiście dużo starsza.

Z dotychczasowych badań palinologicznych i datowań radiowęglowych (Stankowski 2008) wynika, że deszcz meteorytów żelaznych spadł w Wielkopolsce około 5000 lat temu (2700–4000 lat p.n.e.). W tym czasie ziemie te były

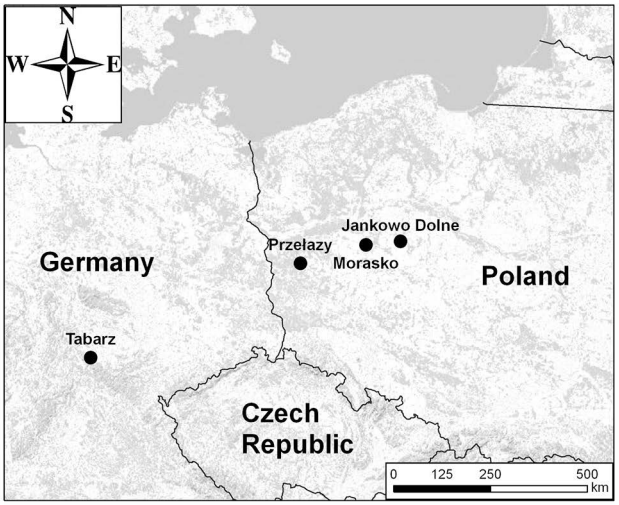
Poland is a unique place having, on its territory, some of the largest meteorite showers in Europe. First, there is the Pułtusk chondrite shower, which is the largest meteorite shower in the world, if the number of collected fragments are considered. The Łowicz meteorite is the largest mesosiderite fall in Europe. And, finally, the Morasko meteorite is the largest fall of an iron in Central Europe.

The first information about the discovery of a meteorite in the Wielkopolska region in western Poland comes from 1847. It is a description of a meteorite that was found a few years earlier in the village of Przełazy (Seeläsgen). The Morasko iron appeared in written reports in 1914, whereas the Jankowo Dolne meteorite was reported only in 2004 (Fig. 1). These dates mark the beginning of the interest of the scientific community and mass media in what is known today as the largest iron meteorite shower in Central Europe but, of course, its geological history is much older.

Based on available palynological and radiocarbon data (Stankowski 2008), the iron meteorite shower in Wielkopolska happened at around 5,000 years ago (2,700–4,000 BC). At that time, the region was inhabited by prehis-

zamieszkane przez pierwotne ludy i jest prawdopodobne, że byli świadkowie tego upadku. Przelot tak wielkiego bolidu, rozpad w atmosferze, a następnie zderzenie z powierzchnią ziemi były widoczne i słyszalne z odległości wielu setek kilometrów. Rozżarzona materia kosmiczna połamała drzewa i wywołała pożary lasów. Przypuszczalnie w wyniku zderzenia z powierzchnią ziemi powstały kratery impaktowe. Obszar upadku jest jednym z kilkunastu znanych miejsc na świecie, gdzie jednocześnie występują obok siebie meteoryty i kratery uderzeniowe.

Istnieje też hipoteza, że meteoryty dotarły do nas w średniowieczu (Czajka 2010, 2012). Deszcz meteorytów mógł spaść w Wielkopolsce w 1305 roku. Zachowały się historyczne zapiski o spadku ognistych kamieni z przestworzy, które pozostawiły po sobie spalone lasy i wypaloną ziemię. Mimo nazwania zjawiska kometą zapisy w kronikach wskazują raczej, że był to duży deszcz meteorytów, którego śladów dotąd nie znaleziono. Przelot meteorytu tej wielkości mógł być widoczny z odległości wielu setek kilometrów i są zwolennicy teorii, że bolid ten został uwieczniony na obrazie „Pokłon Trzech Króli" słynnego włoskiego artysty Giotta. „Morasko" to meteoryty żelazne i ówczesna ludność mogłaby wykorzystywać kawałki metalu do wykonania narzędzi lub biżuterii. Nie odnaleziono jednak takich przedmiotów ani nie zachowały się żadne wzmianki o tym.



Ryc. 1. Deszcz meteorytów żelaznych
Fig. 1. Iron meteorite shower.

Na początku XX wieku opisywane przez nas ziemie były pod zaborem pruskim i trwała na nich I wojna światowa. Podczas kopania okopów na północ od Poznania w okolicy wsi Morasko (obecnie znajduje się w granicach miatoric tribes and it is likely that there were witnesses to the fall. The passage of such a large bolid and its disintegration in the atmosphere and, finally, its collision with the Earth's surface must have been seen and heard over hundreds of kilometres. The hot cosmic matter damaged trees and caused wood fires. It is likely that impact craters were formed as a result of the collision with the ground. The fall site in Wielkopolska is one of more than ten localities on Earth where we can find both meteorites and the impact craters caused by them at the same place.

There is also a hypothesis that the meteorites in Wielkopolska arrived in the Middle Ages (Czajka 2010, 2012). A meteorite shower could have taken place there in 1305. Historical reports exist about "fire-stones" falling from the sky, leaving burnt forest and land. Although this event was called "a comet", historical descriptions show that it was rather a large meteorite shower. However, so far no traces of that Middle Ages fall have been found. The passage of such a big meteorite could have been observed from a distance of several hundred kilometres. Some support of this theory comes from the fact that such a bolid has been shown by the famous Italian artist, Giotto, in his painting "The Three Mags' bow". Morasko belongs to the iron meteorites and the local people at that time could have used pieces of metal found in the field for making tools and jewellery. However, no such objects have been found and no written reports on them are known.

At the beginning of the 20th c., during World War I, the Wielkopolska region was under Prussian rule. It was during the digging of military trenches in the vicinity of the village of Morasko,



Ryc. 2. Największy krater impaktowy w rezerwacie Meteoryt Morasko (fot. J. Muszyńska)
Fig. 2. The largest impact crater in the "Morasko Meteorite" reserve (photo J. Muszyńska).

sta Poznania) natrafiono na duży metaliczny okaz. Zainteresował się nim dr Cobliner, wtedy w randze sierżanta, prowadzący prace ziemne i rozpoznał w nim meteoryt. O tym wydarzeniu poinformował dyrektora muzeum w Poznaniu, podając, że w dniu 12.11.1914 roku znaleziono około pół metra pod powierzchnią ziemi bryłę metalu o wadze 77,5 kg. Fragment bryły został wysłany do biura służby geologicznej w Berlinie, gdzie uznano go za meteoryt. Główna masa została w Muzeum Wielkopolskim w Poznaniu.

north of Poznań (today, it is part of the city of Poznań) that a large piece of metal was discovered. Sergeant Dr. Cobliner, controlling the digging works, became interested in the find and recognized it as a meteorite. He informed the Director of the Museum in Poznań that a lump of metal, 77.5 kg in weight, had been found at a depth of c. half a metre below the ground surface, on November 12th, 1914. A fragment of the lump was sent to the office of the Geological Survey in Berlin, where it was confirmed as

Kratery impaktowe powstają w wyniku uderzenia meteorytów o powierzchnię ziemi (ryc. 2). Podobne są do lejów po bombach. W wyniku eksplozji bomby powstaje zagłębienie w ziemi, którego wielkość jest proporcjonalna do wielkości użytego ładunku. Charakterystyczną cechą kraterów impaktowych jest brak meteorytu wewnątrz struktury wgłębnej, natomiast jego fragmenty są znajdowane na jej obrzeżach.

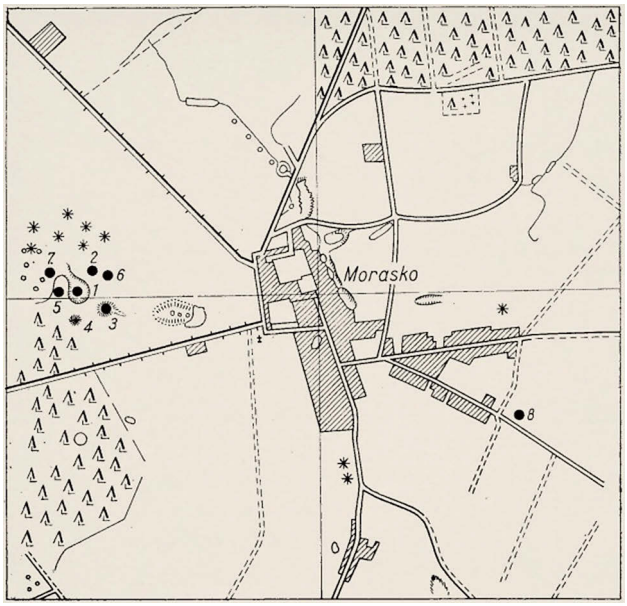
Impact craters are formed as a result of the collision of a meteorite with the Earth's surface (Fig. 2). They are similar to shell holes. Due to a bomb explosion, a hole in the ground is formed and its size depends on the amount of the explosive material in the bomb. A typical feature of the impact craters is the lack of the meteorite inside the hollow but meteorite fragments are found at the crater's margin.

Dziś okaz ten znajduje się w zbiorach Muzeum Geologicznego ING PAN w Krakowie.

W latach 50. XX wieku tematem meteorytów zainteresował się prawnik z Warszawy – dr Jerzy Pokrzywnicki (1955, 1957, 1964).

Jego zamiarem było przygotowanie katalogu wszystkich meteorytów zachowanych w zbiorach polskich po II wojnie światowej. Znalazł on w muzeum w Poznaniu nie tylko okaz z 1914 roku, ale także kilka mniejszych zardzewiałych fragmentów meteorytów. Sądząc, że mógł to być deszcz meteorytowy, zaczął rozpytywać mieszkańców Moraska na temat możliwych znalezisk brył z żelaza. Wkrótce potem w obejściu gospodarstwa znalazł żelazny meteoryt o wadze 78 kg (obecnie w Muzeum Mineralogicznym we Wrocławiu), który rolnik wyorał jesienią 1947 roku. Inny rolnik powiedział mu, że przed II wojną światową wyorano na polach bryłę o wadze 80 kg. Większość prawdopodobnie zaginęła, ale kilka mogło być tymi, które dr Pokrzywnicki znalazł w muzeum w Poznaniu. Spodziewając się większej liczby meteorytów żelaznych, zwrócił się o pomoc do wojska. Saperzy wyposażeni w wojskowe wykrywacze min przeszukali pola wokół wsi Morasko, ale akcja ta zakończyła się niepowodzeniem.

Dane na temat meteorytów Morasko i innych polskich meteorytów Pokrzywnicki przedstawił w 1964 roku w monografii „Meteoryty Polski. Katalog meteorytów w zbiorach polskich" (Studia Geologica Polonica, vol. XV) (ryc. 3 i 4).



Ryc. 3. Mapa rozmieszczenia kraterów impaktowych (czarne kropki) i znalezisk meteorytów (gwiazdki) w rezerwacie Meteoryt Morasko (Pokrzywnicki 1964)

Fig. 3. Map showing location of impact craters (dots) and meteorite finds (stars) in the Morasko Meteorite reserve (Pokrzywnicki 1964).

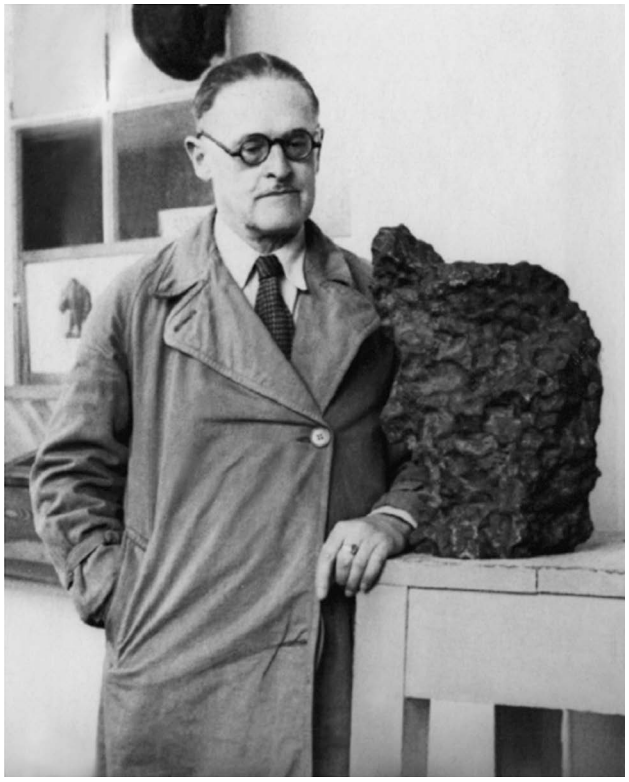
a meteorite. The main mass was deposited in the Wielkopolska Museum in Poznań. Presently, this piece of Morasko is in the possession of the Geological Museum of the Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Kraków.

In the 1950's, a lawyer from Warsaw, Dr. Jerzy Pokrzywnicki, became interested in meteorites (Pokrzywnicki, 1955, 1957, 1964).

He intended to prepare a catalogue of all meteorites in Poland that were preserved after World War II. In the Museum in Poznań, he discovered not only the original large mass found in 1914 but also a few smaller rusty pieces. Assuming that Morasko could have been a meteorite shower, he started to ask people of Morasko village about possible earlier finds of lumps of metal there. Soon after, he found a piece of iron of 78 kg that had been discovered during ploughing a field in autumn 1947 (the piece is now in the possession of the Mineralogical Museum of the University of Wrocław). Another farmer of Morasko told him that before World War II, another iron lump of 80 kg was ploughed up in the field. Many of these pieces possibly disappeared, but a few of them could have preserved as those found by Pokrzywnicki in the Museum in Poznań. Hoping to find more iron meteorites, he asked the army for help in the fieldwork. Sappers equipped with military shell detectors searched the fields around the Morasko village, but this prospecting appeared unsuccessful.

Od lat 50. XX wieku trwają w okolicy Moraska nie tylko poszukiwania materii pozaziemskiej, ale również badania geomorfologiczne, geologiczne i palinologiczne.

Działania dr. Pokrzywnickiego zwróciły uwagę naukowców na problem genezy meteorytu Morasko. Pod kierunkiem poznańskiego astronoma, prof. Hieronima Hurnika z UAM, zrealizowano jedno z zadań programu Interkosmos. Naukowcy opublikowali wyniki swoich badań dotyczące zagadnień teoretycznych, analizy trajektorii ruchu, budowy i składu samego meteorytu, a także skutków upadku (Hurnik i in. 1976). Pod kierunkiem prof. Tobolskiego (Hurnik i in. 1976) przebadano osady organiczne w przypuszczalnych kraterach impaktowych i ustalono ich wiek na 5000 lat.



Ryc. 4. Dr Jerzy Pokrzywnicki z meteorytem Coblinera (Pokrzywnicki 1964)
Fig. 4. Dr. Jerzy Pokrzywnicki with the Cobliner's meteorite (Pokrzywnicki 1964).

Wśród badaczy zarysowały się wyraźnie dwa poglądy w odniesieniu do genezy zagłębień na północnych zboczach góry Morasko. Hurnik i in. (1976) oraz Kuźmiński (1976) podtrzymywali interpretację Pokrzywnickiego (1957) o impaktowym pochodzeniu tych form. Natomiast Karczewski (1976) w swoich pracach opowiadał się za polodowcową genezą, widząc w nich jeziorka wytopiskowe.

Pewnymi przesłankami potwierdzającymi tezę o impaktowym pochodzeniu zagłębień terenu mogą być wyniki badań zespołu naukowego UAM, pracującego nad wiekiem tych zagłębień uznawanych za kratery impaktowe od lat 90. XX wieku do czasów obecnych, opisane przez Stankowskiego (2001, 2008).

Data on the Morasko irons and other Polish meteorites were presented by Pokrzywnicki in his monograph: "Meteorites of Poland. Catalogue of meteorites in Polish collections", Studia Geologica Polonica, vol. XV (Figs. 3, 4).

Since the 1950's, in the vicinity of Morasko, prospecting for extraterrestial matter has been carried out, as well as geomorphological, geological and palynological investigations. Dr. Pokrzywnicki's activities turned the attention of the scientific community to the problem of the origin of the Morasko meteorite. One of the research tasks of the "Itercosmos Programme" was led by an astronomer from Poznań, Professor Hieronim Hurnik. His research team published the results of their studies on theoretical issues, such as the analysis of the trajectory of movement, structure and composition of the meteorite and effects of its fall (Hurnik *et al.* 1976). The team of Professor Kazimierz Tobolski investigated the organic deposits within the assumed impact craters and established their age at 5,000 years (Hurnik *et al.* 1976).

Two opposing views prevail as to the origin of small morphological hollows or craters located on the northern slope of Morasko Hill. Hurnik *et al.* (1976) and Kuźmiński (1976) supported the interpretation by Pokrzywnicki (1957), assuming an impact origin of these morphological features. Karczewski (1976), however, suggested a post-glacial origin for the hollows and interpreted them as ice-melting ponds.

Bez względu na to, która teza przeważy, obszar występowania meteorytów w okolicy góry Morasko jest unikalnym miejscem. Pierwszy docenił to dr Pokrzywnicki i dzięki jego staraniom w 1976 roku utworzono rezerwat Meteoryt Morasko o powierzchni 55 ha w celu ochrony terenu, na którym znajdowano materię pozaziemską, a także rzadkiej flory i fauny tam występującej.

Od tego czasu poszukiwania w rezerwacie są możliwe tylko po uzyskaniu specjalnego pozwolenia od Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Poznaniu. Niestrudzenie trwała jednak eksploracja wokół rezerwatu, ale na odkrycia dalszych meteorytów trzeba było poczekać aż do lat 90. XX wieku. Był to czas, kiedy wzrosło zainteresowanie meteorytami w Polsce i wielu łowców meteorytów, wyposażonych w detektory metali, rozpoczęło poszukiwania w obiecującym terenie. Dzięki nowocześniejszemu sprzętowi ich ciężka praca wkrótce zaowocowała nowymi znaleziskami. W 1995 roku odkryto dwa okazy o wadze 30 i 40 kg, a oprócz tego wiele mniejszych, od kilku gramów do kilku kilogramów. Najbardziej aktywnymi poszukiwaczami w tamtym okresie byli Rainer Bartoschewitz z Nie-

Some arguments for the impact origin of the morphological basins come from investigations of the research team of the AMU of Poznań, who worked on dating of these hollows assumed as impact craters, as described by Stankowski (2001, 2008).

Regardless of which hypothesis is accepted, the site of meteorite finds in the vicinity of Morasko Hill is a unique place. This fact was recognized, for the first time, by Dr. Pokrzywnicki, and due to his attempts, the "Morasko Meteorite" reserve was created in 1976, covering an area of 0.55 km^2, and aimed at protecting the site of extraterrestrial matter finds, but also the unique flora and fauna occurring there.

Since that time, prospecting within the reserve is possible only with permission from the Regional Director of Environmental Protection in Poznań. However, prospecting around the reserve has been carried on continuously, although we had to wait for new significant finds until 1990's. That was the time of growing public interest in meteorites in Poland, and many meteorite hunters, equipped with metal detectors, started prospecting in the "promised land". Their hard work and efficient equipment soon brought about



Ryc. 5. Krzysztof Socha w poszukiwaniu meteorytów (fot. A. Muszyński)
Fig. 5. Krzysztof Socha searching meteorites (photo A. Muszyński).

miec, Henryk Nowacki z Wrocławia i Krzysztof Socha z Kielc. W XXI wieku do poszukiwaczy dołączyli Magdalena Skirzewska i Łukasz Smuła z Opola, Mateusz Szyszka i Andrzej Owczarzak z Poznania oraz inni.

W ostatnich dwóch dziesięcioleciach odnaleziono wiele nowych okazów, ale nie wszystkie zostały ujawnione przez zbieraczy. Ocenia się, że waga znalezisk, co do których zakłada się, że ze względu na miejsce występowania pochodzą z tego samego deszczu, wynosi ponad 1500 kg.

Krzysztof Socha przez wiele lat współpracował z naukowcami z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i dzięki pozwoleniu z Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Poznaniu przeszukiwał systematycznie teren w rezerwacie Meteoryt Morasko (ryc. 5). Jego zasługą, poza znalezieniem wielu meteorytów o różnej wadze, jest też oczyszczenie rezerwatu z kilku ton „żelastwa". Rezerwat znajduje się na terenie dawnego poligonu i Krzysztof Socha co krok napotykał na fałszywe sygnały w postaci łusek po nabojach, metalowego wyposażenia żołnierzy, przerdzewiałych drutów i innych przedmiotów (Muszyński i in. 2006).

We wrześniu 2006 roku Krzysztof Socha, po prawie 3 latach poszukiwań, na głębokości 80 cm znalazł w rezerwacie „Rudego", meteoryt o wadze 178 kg (ryc. 6). Była to ogromna radość i dla znalazcy, i dla osób kierujących programem badań, bo „Rudy" stanął na czele wszystkich polskich meteorytów. W oparciu o to znalezisko przygotowano grant, który umożliwił przeprowadzenie interdyscyplinarnych badań naukowych. Obecna monografia dotycząca deszczu meteorytowego Przełazy, Morasko, Jankowo Dolne jest jego podsumowaniem i jednocześnie formą popularyzacji wiedzy o meteorytach.

Kracher i in. (1980) zwrócili uwagę, że jednym z nielicznych meteorytów żelaznych mających skład chemiczny bardzo podobny do Moraska jest meteoryt Przełazy (Seeläsgen). Wobec niezbyt dużej odległości dzielącej te meteoryty jest więc możliwe, że spadły one jednocześnie. Dlatego badania meteorytu Morasko poszerzono o meteoryt Przełazy. Opis meteorytu Przełanew discoveries. In 1995, two meteorites were found, 30 and 40 kg in weight, as well as a great number of smaller fragments, between a few grams and a few kilograms. Among the most active prospectors were Rainer Bartoschewitz form Germany, Henryk Nowacki from Wrocław and Krzysztof Socha from Kielce. After the year 2000, new meteorite hunters arrived, including Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła from Opole, Mateusz Szyszka and Andrzej Owczarzak from Poznań, and many others.

During the last two decades, a great number of new meteorite fragments have been found, though not all have been announced to the public. The total weight of all finds is estimated at over 1,500 kg, and they all are assumed to belong to the same meteorite shower.

Krzysztof Socha has cooperated with scientists of the University of Poznań for many years. Having obtained permission from the Regional Director of Environmental Protection in Poznań, he systematically searched the "Morasko Meteorite" reserve (Fig. 5). His achievements, apart from numerous finds of meteorites of various weights, include "cleaning" the reserve of a few tons of rusty iron. The reserve is located in the area of a former military field (polygon), and Krzysztof Socha very often got false signals from his detector, coming from shells, pieces of metal military equipment, rusty wire and other similar objects (Muszyński *et al.* 2006).

In September 2006, after nearly three years of prospecting, K. Socha discovered, at a depth of 80 cm, a meteorite, 178 kg in weight (Fig. 6). It offered great satisfaction to the finder and to the research team working in the reserve, as the newly found meteorite, called "Rudy" ("Redhaired"), became the "champion" of all meteorites ever found in Poland. With reference to this find, a research grant was prepared that enabled new interdisciplinary studies of Morasko. This monograph, devoted to the Przełazy-Morasko-Jankowo Dolne meteorite shower, is a summary of the outcomes of this project, aimed also at popularizing our knowledge of meteorites.

Kracher *et al.* (1980) noticed that one of the very few meteorites similar to Morasko is the



Ryc. 6. Krzysztof Socha mierzy znaleziony meteoryt „Rudy" (fot. P. Wilkosz)
Fig. 6. Krzysztof Socha measuring the newly found "Rudy" meteorite (photo P. Wilkosz).

zy znajdujemy w publikacji J. Pokrzywnickiego z 1964 roku i przytoczymy go tutaj w całości:

„Na kilka lat przed 1847 r. pewien rolnik z miejscowości Seeläsgen (obecnie Przełazy, pow. Świebodzin,) kopiąc na swej wilgotnej łące rów odpływowy w kierunku pobliskiego jeziora Nieschlitzer See (Niesulica), wydobył z głębokości 6–7 łokci masę żelaza meteorytycznego wagi około 2 cetnarów (102 kg). Masę tę sprzedał kowalowi i handlarzowi żelazem Jähnschowi z Züllichau (Sulechów), gdzie przed domem tego ostatniego znalazł ją w listopadzie 1847 r. «mechanik» Hartig i wziął z niej próbkę. Gdy okazało się, że żelazo jest pochodzenia meteorytycznego, za jego staraniem przewieziono bryłę do Wrocławia.

Dr Schneider sądził z wyglądu otoczki meteorytu, że musiał on przeleżeć w ziemi dobrych paręset lat. Natomiast Duflos i Göppert uważali go za część spadłego 14 lipca 1847 r. syderytu Braunau. Pomijając pewne różnice w składzie tych dwóch meteory-

Przełazy (Seeläsgen) iron. Considering the relatively short distance between the Morasko and Przełazy sites, it was suggested that the two irons may have fallen at the same time. That was why studies on Morasko were extended to Przełazy. A description of the Przełazy meteorite is given by Pokrzywnicki (1964) and here it is *in extenso*:

"A few years before 1847, a farmer of the village of Seeläsgen (now Przełazy, in the Świebodzin district), digging a draining trench towards the nearby Nieschlitzer See (Lake Niesulica), excavated at a depth of 6–7 ells (c. 3–4 m) a mass of meteoritic iron, c. two centners (102 kg) in weight. He sold the iron to a blacksmith and iron-trader, Jähnsch of Züllichau (Sulechów), where, in front of the house, the iron mass was found, again, in November 1847, by a mechanician, Hartig. He took a sample of the mass and when confirmed as meteoritic in origin, he arranged the transfer of the iron to Wrocław.

tów, przypuszczenie Duflosa i Göpperta wydaje się z różnych względów mało prawdopodobne".

Meteoryt Przełazy został pocięty na wiele części, które trafiły do kilkudziesięciu kolekcji na całym świecie (ryc. 7). W Polsce największe fragmenty (płytki) meteorytu Przełazy znajdują się w zbiorach Muzeum Mineralogicznego we Wrocławiu (278 g) i w Muzeum Geologicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (239 g). Są informacje, że współcześnie odkryto w okolicach Przełazów jeszcze kilka nowych okazów meteorytów żelaznych (dane za wiki.meteoritica.pl).



Ryc. 7. Fragment meteorytu żelaznego znalezionego w Przełazach przed 1847 rokiem (fot. Koefbac)
Fig. 7. Fragment of the iron meteorite found at Przełazy before 1847 (photo Koefbac).

Meteoryt żelazny Jankowo Dolne (ryc. 8) został znaleziony przez rolnika we wrześniu 1971 roku w pobliżu miejscowości Jankowo Dolne koło Gniezna (ok. 90 km ENE od Moraska). To odkrycie długo pozostawało nieznane szerszemu ogółowi. Dopiero w 2004 roku uczeń liceum, pasjonat meteorytów Mateusz Szyszka, dowiedział się o tym znalezisku i rozpoczął poszukiwania w okolicy Jankowa Dolnego. W marcu 2004 roku znalazł trzy małe fragmenty, które, jak to później potwierdziły badania Łukasza Karwowskiego, były kawałkami meteorytu. W czerwcu 2004 roku znalazł bryłę żelaza o wadze 11,5 kg z regmagliptami – płytkimi wgnieceniami na powierzchni meteorytu, przypominającymi odcisk kciuka – która



Ryc. 8. Meteoryt o wadze 11,5 kg znaleziony w Jankowie Dolnym w 2004 r. (fot. M. Cimała)
Fig. 8. Meteorite, 11.5 kg in weight, found at Jankowo Dolne in 2004 (photo M. Cimała).

Dr Schneider, based on the appearance of the meteorite crust, thought that it had to have stayed in the ground for a "good few hundreds of years". In contrast, Duflos and Göppert considered the lump as a part of the Braunau siderite that had fallen on July 14th, 1847. Apart from some compositional differences, the assumption of Duflos and Göpper seems, for many reasons, unlikely."

The Przełazy meteorite has been cut into several pieces (plates) that have been distributed to many collections around the world (Fig. 7). In Poland, the largest fragments of Przełazy are in the possession of the Mineralogical Museum of the University of Wrocław (278 g) and in the Geological Museum of the Jagiellonian University in Kraków (239 g). There are some reports that a few more pieces of irons have recently been found in the vicinity of Przełazy (see: wiki.meteoritica.pl).

The Jankowo Dolne iron meteorite (Fig. 8) was discovered by a farmer in the village of Jankowo Dolne, near Gniezno (c. 90 km ENE of Morasko), in September 1971. This find remained unknown to the public for quite a long time. Only in 2004, a student at a secondary school and a meteorite enthusiast, Mateusz Szyszka, learned of the find and started prospecting in the vicinity of the village. During his first fieldwork in March 2004, he found three small fragments which were later confirmed by Łukasz Kar-

spoczywała na szczycie starego ula i która najprawdopodobniej była fragmentem meteorytu znalezionym w 1971 roku.

Obecne badania potwierdziły, że meteoryt Jankowo Dolne ma skład chemiczny identyczny jak meteoryt Morasko i Przełazy i może być rozważany jako część wspólnego deszczu meteorytów. Historia odkryć i wyniki badań tych trzech meteorytów są przedstawione w wielu publikacjach, np.: Pokrzywnicki (1957, 1964), Dominik i in. (1974), Dominik (1976), Hurnik i in. (1976), Pilski i Walton (1999), Stankowski (2001), Karwowski i Gurdziel (2004), Gurdziel i Karwowski (2007), Karwowski i Muszyński (2007), Wojnarowska i in. (2008). Obszerne podsumowanie stanu wiedzy o meteorycie Morasko podał Stankowski (2008).

W naszym projekcie badawczym podjęliśmy próbę poszerzenia badań różnych aspektów dotyczących deszczu meteorytów Przełazy, Morasko, Jankowo Dolne: zaczynając od dokonania syntezy wyników badań terenowych, rozmieszczenia znalezionych okazów i kształtu elipsy rozrzutu, poprzez szczegółowe badania mineralogiczne, petrologiczne i geochemiczne, prowadzące do interpretacji pochodzenia trzech badanych meteorytów. Zastosowano przy tym szereg tradycyjnych oraz nowych technik badawczych, w tym konwencjonalną mikroskopię optyczną, mikrosondę elektronową, dyfrakcję rentgenowską, spektroskopię Ramana, analizy chemiczne pierwiastków głównych i śladowych oraz analizy izotopowe.

W wielu okazach z nowych znalezisk stwierdzono występowanie rzadkich minerałów nieznanych dotąd w meteorycie Morasko (Muszyński i in. 2001, Karwowski, Muszyński 2006), np. nowych fosforanów o składzie chemicznym dotychczas nienotowanym z materiałów ziemskich (Kryza i in. 2010).

Wyniki ostatnich badań pozwalają lepiej zrozumieć genezę meteorytu Morasko i spokrewnionych z nim meteorytów żelaznych oraz dostarczają mocnych argumentów wspierających hipotezę, że meteoryty Przełazy, Morasko, Jankowo Dolne reprezentują pojedynczy, duży deszcz meteorytów (Muszyński i in. 2013b).

wowski as meteorites. In June 2004, Mateusz Szyszka found a lump of iron of 11.5 kg, with regmaglipts (shallow hollows on meteorite surface, resembling finger prints), which was resting on top of a beehive and which probably was the piece discovered in 1971.

Recent investigations have confirmed that the Jankowo Dolne meteorite has the same chemical composition as Morasko and Przełazy, and can be considered as fragments of the same meteorite shower. The history of discoveries and the results of investigations of the three meteorites can be found in many publications: Pokrzywnicki (1957, 1964), Dominik *et al.* (1974), Dominik (1976), Hurnik *et al.* (1976), Pilski and Walton (1999), Stankowski (2001), Karwowski and Gurdziel (2004), Gurdziel and Karwowski (2007), Karwowski and Muszyński (2007), Wojnarowska *et al.* (2008). An extensive summary of the state of knowledge of the Morasko meteorite was given by Stankowski (2008).

In our research project, we have tried to make progress in investigating various aspects of the Przełazy, Morasko, Jankowo Dolne iron shower, i.e. starting with a summary of field observations and the distribution of the meteorite finds to delineate the strewnfield, through detailed mineralogy, petrology and geochemistry, to a final interpretation of the origin of the meteorites. We have applied a range of conventional and modern techniques, including conventional optical microscopy, electron microprobe, X-ray diffraction, Raman spectroscopy, major and trace bulk chemical analysis and isotope methods.

In many newly found pieces of Morasko, a few rare minerals have been identified, not reported earlier from this meteorite (Muszyński *et al.* 2001; Karwowski and Muszyński 2006), e.g. new species of phosphates with compositions unknown from terrestrial materials (Kryza *et al.* 2010).

As a result of the new investigations, we have a better understanding of the genesis of the Morasko and its paired meteorites, and we can provide strong arguments for the hypothesis that Przełazy, Morasko, Jankowo Dolne represent a single large iron meteorite shower (Muszyński *et al.* 2013b).

3.

Deszcz meteorytów żelaznych Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne

Iron meteorite shower Morasko, Przełazy, Jankowo Dolne

Andrzej Muszyński (UAM, Poznań), Wojciech Stankowski (UAM, Poznań), Andrzej S. Pilski (Muzeum M. Kopernika, Frombork), Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski), Monika Nowak (UAM, Poznań)

Wprowadzenie

Meteoryt żelazny Morasko (IAB) oraz dwa inne meteoryty tego samego typu – Przełazy (Seeläsgen) i Jankowo Dolne – zostały znalezione w Wielkopolsce i są uważane za wspólny deszcz meteorytów (ryc. 1). Jest wielce prawdopodobne, że bolid rozpadał się wielokrotnie, kaskadowo, podczas przelotu przez warstwy atmosfery ziemskiej i nie zdążył się rozsortować na duże i mniejsze fragmenty. Dlatego mógł spadać w różnych miejscach i dać nietypową elipsę rozrzutu.

Meteoryt Morasko i „sąsiadujące" z nim meteoryty żelazne Jankowo Dolne oraz Przełazy były badane przez wielu autorów, np. Pokrzywnicki (1964), Dominik (1976), Hurnik i in. (1976), Classen (1978), Czegka (1996), Pilski i Walton (1999), Stankowski (2001), Karwowski i Gurdziel (2004), Gurdziel i Karwowski (2007), Karwowski i Muszyński (2007, 2008), Wojnarowska i in. (2008). Stankowski (2008) przedstawił aktualny stan wiedzy na temat upadku meteorytu Morasko i podał szeroki spis literatury.

Introduction

The Morasko iron meteorite (IAB), together with two other meteorites of the same type, Przełazy (Seeläsgen) and Jankowo Dolne, have been found in Wielkopolska and are considered to be a single meteorite shower (Fig. 1). It is highly likely that the bolide disrupted in several phases, in cascade-like style, during its path through the atmosphere, and that there was not enough time for sorting the big and small fragments. Therefore, it could have fallen in various places resulting in an atypical strewn field.

The Morasko meteorite and the associated Jankowo Dolne and Przełazy iron meteorites have been studied by several authors, e.g. Pokrzywnicki (1964), Dominik (1976), Hurnik *et al.* (1976), Classen (1978), Czegka (1996), Pilski and Walton (1999), Stankowski (2001), Karwowski and Gurdziel (2004), Gurdziel and Karwowski (2007), Karwowski and Muszyński (2007, 2008), Wojnarowska *et al.* (2008). Stankowski (2008) presented the current state of knowledge of the fall of the Morasko meteorite and provided extensive references.

Upadek meteorytu Morasko a dane geochronologiczne

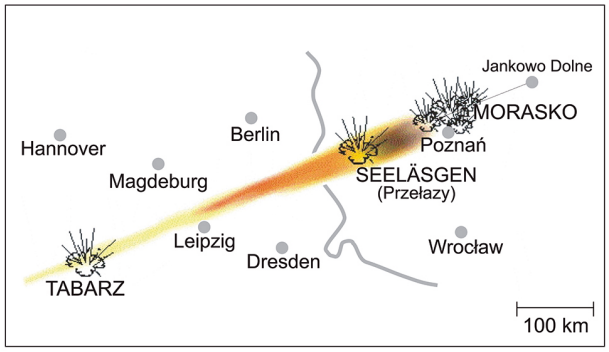
Większość znalezisk meteorytu Morasko ogranicza się do stosunkowo niewielkiego obszaru na

The fall of the Morasko meteorite and geochronological data

Most findings of the Morasko meteorite are limited to a relatively small area on the north-

północnym zboczu moreny czołowej najmłodszego zlodowacenia Wisły (Stankowski 2001, 2008). Nie ma doniesień o znaleziskach dalej na północ od moreny, z wyjątkiem dwóch niepotwierdzonych meteorytów żelaznych w okolicach miejscowości Oborniki Wielkopolskie (ok. 20 km na północ od Moraska), które zaginęły, zanim można było zrobić szczegółowe badania (Pokrzywnicki 1964).

Pokrzywnicki (1957) sugerował, że upadek meteorytów żelaznych Morasko spowodował powstanie kilku kraterów o średnicy do kilkudziesięciu metrów w miękkich, polodowcowych skałach osadowych. Relief w miejscu upadku jest typowy dla glacitektonicznie zdeformowanej moreny czołowej (patrz Stankowski 2001, 2008). Jak dotąd istnieją dwa odmienne poglądy na temat pochodzenia kilku symetrycznych zagłębień w miejscu dzisiejszego rezerwatu Meteoryt Morasko. Hipotezę Pokrzywnickiego o impaktowym pochodzeniu tych zagłębień podzielili Hurnik oraz Kuźmiński (Hurnik i in. 1976). Jednak Karczewski (Hurnik i in. 1976) twierdził, że mamy do czynienia raczej z formami powstałymi przez procesy wytapiania zasypanych brył lodowych.



Ryc. 1. Lokalizacja upadku deszczu meteorytowego Morasko (zmodyfikowane za Czajka 2005)
Fig. 1. Location of Morasko-type iron meteorite falls (modified after Czajka 2005).

Istotnym argumentem przeciw tej drugiej hipotezie jest wiek rozpoczęcia osadzania się materii organicznej (sedentacji) w zagłębieniach, który palinologicznie został określony na ~5000 lat (środkowy atlantyk) (Tobolski, w: Hurnik i in. 1976), to jest ~4000–5000 lat po ostatniej degradacji zmarzliny i topieniu się brył lodu kopalnego. Jest to zatem poważna trudność dla zaakceptowania hipotezy wytopiskowego pochodzenia moraskich kraterów.

Upadek meteorytu Morasko został także przekonująco oszacowany na około 5000 lat

ern slope of the terminal moraine of the youngest glaciation of the Vistula stage (Stankowski 2001, 2008). There are no reports on findings further north, excluding two unconfirmed iron meteorites in the vicinity of Oborniki Wielkopolskie (ca. 20 km north of Morasko), which were lost before detailed studies were possible (Pokrzywnicki 1964).

Pokrzywnicki (1957) suggested that the fall of the Morasko iron meteorites resulted in the formation of a few craters, up to several tens of metres in diameter. The craters formed in soft, postglacial sedimentary rocks. The relief in the fall area is typical of glacitectonically deformed terminal moraine (details in Stankowski 2001, 2008). Two different views on the origin of a few symmetrical depressions in the area of today's reserve Morasko Meteorite have been presented until now. The hypothesis of Pokrzywnicki on an impact origin of the depressions was also shared by Hurnik and Kuźmiński (Hurnik *et al.* 1976). However, Karczewski (in Hurnik *et al.* 1976) claimed that we are rather dealing with forms generated by melting of buried ice masses.

A significant limitation on the possible origin is the age of initial sedimentation inside the depressions. This age has been determined palynologically at ~5,000 years BP (the middle Atlantic; Tobolski in Hurnik *et al.* 1976), i.e. some 4,000–5,000 years after the latest permafrost degradation and ancient ice melting. This is therefore a serious obstacle to the acceptance of an ice melting origin for the Morasko craters.

The fall of the Morasko meteorite was also convincingly estimated at ca. 5000 years BP using the ^{14}C method (Stankowski 2008 and references therein) and from dosimetric data

temu za pomocą metody ^{14}C (Stankowski 2008 i odnośniki tamże) oraz danych dozymetrycznych (Stankowski, Bluszcz 2012). Podobne wieki otrzymano z datowania tzw. skorupy obtopieniowo-wietrzeniowej z wykorzystaniem metody termoluminescencji (TL): 4,7–6,1 tys. lat (Fedorowicz, w Stankowski 2008).

(Stankowski and Bluszcz 2012). Similar ages of 4.7–6.1 ka were also obtained from dating of the so called melting-weathering crust using the thermoluminescence (TL) method (Fedorowicz in Stankowski 2008).

Elipsa rozrzutu meteorytu Morasko w powiązaniu z innymi meteorytami

Pierwsza sugestia dotycząca elipsy rozrzutu meteorytu Morasko pochodzi od Pokrzywnickiego (1964), który wykonał mapę znalezisk w okolicach Moraska i odkrył, że możemy mieć do czynienia z deszczem meteorytów żelaznych. Biorąc pod uwagę dwa wątpliwe meteoryty znalezione w miejscowości Oborniki, Pokrzywnicki (1964) narysował elipsę rozrzutu o dłuższej osi z N ku S i zasugerował to jako kierunek lotu bolidu Morasko.

Kuźmiński (1976) określił szereg parametrów lotu bolidu oraz jego masę przy wejściu w atmosferę na 1400 do 4500 ton. Według jego założeń meteoryt Morasko leciał z kierunku NE.

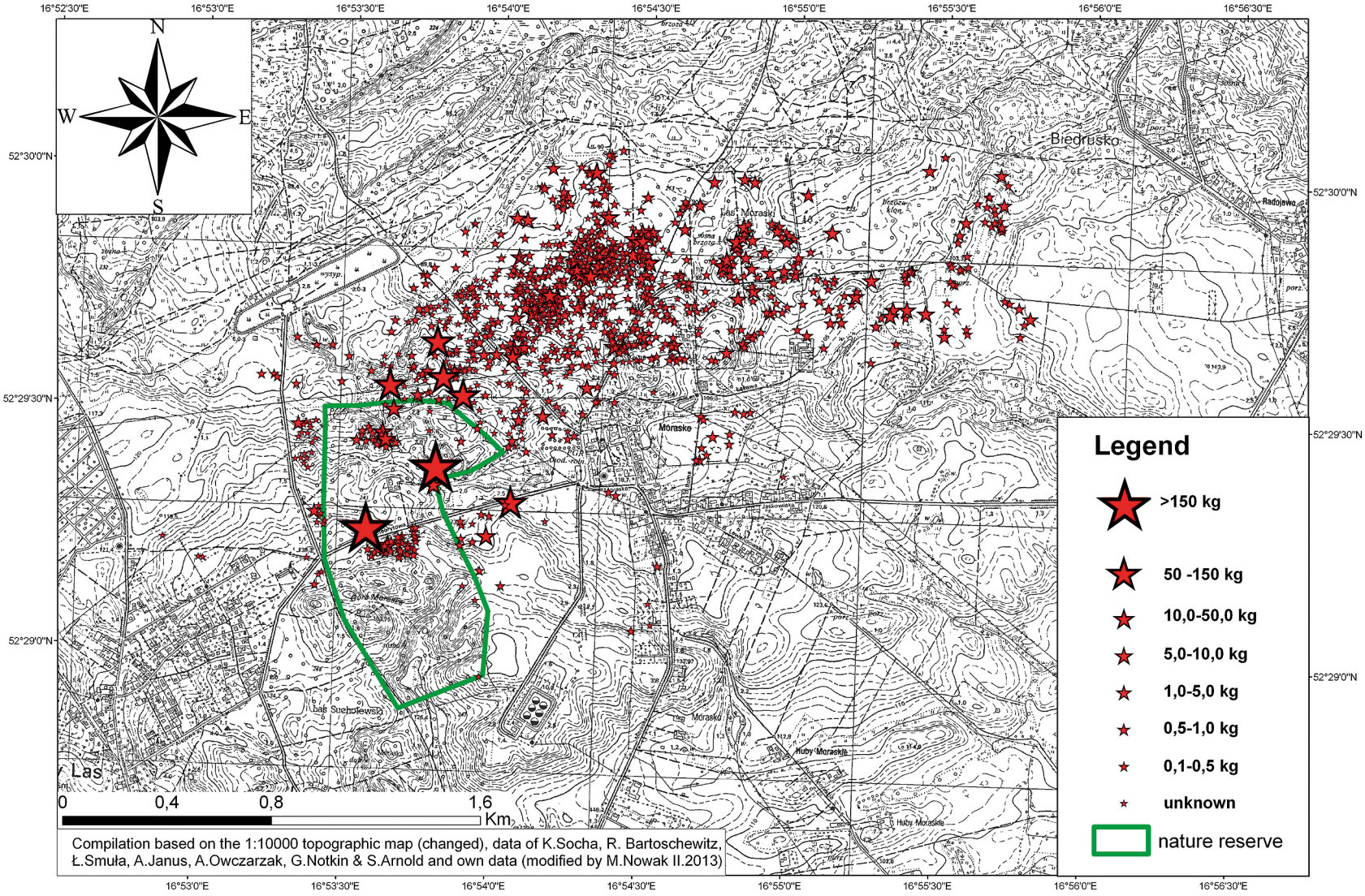
Kolejnej próby ustalenia elipsy rozrzutu meteorytu Morasko dokonał Pilski (2003), który dodał do znalezisk opublikowanych przez Pokrzywnickiego (1964) kilka innych miejsc ostatnich znalezisk meteorytów zgłaszanych przez poszukiwaczy. Wszystkie nowe znaleziska znajdowały się niedaleko starych, znanych Pokrzywnickiemu, głównie na północnym zboczu moreny czołowej. Ich rozmieszczenie nie wskazuje jeszcze żadnego preferowanego kierunku upadku. Wydaje się jednak, że bolid mógł spaść z kierunku wschodniego. Czajka (2005) swoimi obliczeniami połączył wcześniejsze przypuszczenia Bartoschewitza i Spettel (2001) oraz Karwowskiego (2004) na temat hipotetycznej elipsy rozrzutu meteorytu na linii Tabarz, Przełazy, Morasko, Jankowo Dolne, jednak później (Czajka 2010) poddał w wątpliwość takie rozwiązanie, ze względu na niepewne okoliczno-

The strewn field of the Morasko meteorite in relation to other meteorites

The first determination of the strewn field of the Morasko meteorite was by Pokrzywnicki (1964), who prepared a map of Morasko finds and realised that we might be dealing with an iron meteorite shower. Including two doubtful meteorites found in the village of Oborniki, Pokrzywnicki (1964) drew the strewn field with the longer axis from north to south and suggested also that the flight direction of the Morasko meteorite was from north to south.

Kuźmiński (1976) determined several parameters of the bolide flight and estimated the bolide mass upon entering the atmosphere at 1,400 to 4,500 tons. According to his assumptions the Morasko bolide flight direction was from the NE.

The next attempt at determining the strewn area of the Morasko meteorite was by Pilski (2003), who appended some recent meteorite find locations reported by prospectors to the list published by Pokrzywnicki (1964). All the new finds are located near the old ones known to Pokrzywnicki, mainly on the northern slope on the terminal moraine. Their distribution does not yet indicate any preferred fall direction. It seems however, that the bolide could have fallen from an easterly direction. Czajka (2005) made calculations which linked the earlier inferences of Bartoschewitz and Spettel (2001) and Karwowski (2007) on the hypothetic strewn field of the meteorite between Tabarz – Przełazy – Morasko – Jankowo Dolne. Later on, however, Czajka (2010) questioned such a solution



Ryc. 2. Rozmieszczenie znalezisk w elipsie rozrzutu meteorytów Morasko (Karwowski i in. 2011)
Fig. 2. Distribution of finds in the strewn field of the Morasko meteorite (Karwowski *et al.* 2011).

ści znalezisk meteorytów w Tabarz, Przełazach i Jankowie Dolnym.

Z zamieszczonej mapy znalezisk wynika, że meteoryt spadł raczej ze wschodu na zachód, a dokładniej z ENE na WSW (ryc. 2). Największe okazy znajdują się po zachodniej stronie elipsy rozrzutu meteorytów Morasko, w pobliżu przypuszczalnych kraterów impaktowych. Potwierdzają to najnowsze i największe znaleziska na południowo-zachodnim krańcu elipsy. Dodatkowe potwierdzenie pochodzi z rozkładu szrapneli – tak nazywamy odłamki meteorytów rozerwanych przy zderzeniu z Ziemią (ryc. 3). Odłamki te znajdowane są najczęściej na zachód od kraterów Moraska.

Nowe znaleziska w kierunku wschodnim zostały zgłoszone niedawno i wydaje się możliwe, że elipsa rozrzutu meteorytów Morasko może być rozciągnięta dalej na wschód.

Z dostępnych danych wynika, że zwarty obszar rozrzutu meteorytu Morasko ma około 3 km długości i około 1 km szerokości. Ocena ta może być obarczona dość dużym błędem. Dane pochodzą bowiem w większości od prywatnych poszukiwaczy, którzy niezbyt dokładnie oznaczali miejsca znalezienia. Najczęściej robili to orientacyjnie, na podstawie mapy i szczegółów topograficznych, nie korzystając z GPS. Nierzadko nie oznaczali lokalizacji znalezisk na miejscu, lecz dopiero później odtwarzali to z pamięci.

Większość łowców meteorytów prowadziła poszukiwania w okolicy znanych im, wcześniejszych znalezisk, starając się znaleźć nowe okazy, a nie określić granice obszaru rozrzutu. Jedynie Krzysztof Socha próbował ustalić granicę w kierunku północnym, docierając do obszaru, w którym już znalezisk nie było (informacja ustna).

Trudno stwierdzić, jaka część nowo znalezionych okazów była weryfikowana. Przeważnie opierano się na ocenie znalazców, że ich okazy są meteorytami. W przypadku dużych fragmentów ryzyko popełnienia błędu przy ocenie jedynie na podstawie ich kształtu jest niewielkie, gdyż nieregularne kształty i widoczne regmaglipty jednoznacznie wskazują na pozaziemskie pochodzenie. Natomiast w przypadku małych okazów oraz szrapneli ocena tylko na podstawie kształtu

because of the uncertain circumstances of the Tabarz, Przełazy and Jankowo Dolne finds.

From the finds map presented (Fig. 2) it emerges that the meteorite fell from east to west, or more precisely from ENE to WSW. The largest specimens are located on the western side of the strewn field, near the supposed impact craters. This is confirmed by the latest and the largest findings in the SW end of the Morasko meteorite strewn field. Additional confirmation stems from the distribution of shrapnel – pieces that formed on collision with the Earth's surface, which are mainly found west of the Morasko craters (Fig. 3). New findings in an easterly direction were recently reported and it seems possible that the strewn field may extend further east.

The data available suggest that the local strewn field is ca. 3 km long and ca. 1 km wide. The error on this estimate may be quite high. The data mainly originate from private collectors, who did not determine the location of finds very accurately. Generally, they did it tentatively, based on maps and topographic details, without GPS. Usually, the location was not determined on site but later reconstructed from memory.

Most collectors carried out their search in the vicinities of earlier finds which they knew, attempting to collect new specimens and not to determine the boundaries of the strewn field. Only Krzysztof Socha tried to determine the extent of the field to the north, reaching an area without more finds (personal communication).

It is hard to say how many of the newly found specimens have been verified. In most cases, it was the finder's evaluation that their specimens are meteorites. In the case of large individual finds, the risk of error during evaluation based solely on shape is small, as the irregular shapes and regmaglipts visible clearly indicate an extraterrestrial origin. However, in the case of small specimens and shrapnels, evaluation based solely on shape may be misleading in two ways: (1) fragments of anthropogenic origin may be mistaken for meteorites, (2) meteorite shrapnels may be mistaken for



Ryc. 3. Przykłady szrapneli z rezerwatu Meteoryt Morasko (wielkość 2–5 cm) (fot. Ł. Smuła)
Fig. 3. Examples of shrapnels from the "Morasko Meteorite"reserve (size 2–5 cm) (photo Ł. Smuła).

może prowadzić do błędu dwojakiego rodzaju: (1) odłamki pochodzenia antropogenicznego mogą być wzięte za meteoryty, (2) szrapnele meteorytowe mogą być wzięte za odłamki pochodzenia antropogenicznego i odrzucone. Oba przypadki są znane z poszukiwań meteorytu Morasko. Przykładem pierwszej sytuacji mogą być znaleziska podczas realizacji odcinka serialu „Meteorite Men", które do złudzenia przypominały wyglądem szrapnele meteorytowe z kraterów Henbury. Po wytrawieniu okazało się jednak, że ich struktura jest idealnie jednorodna i nie ma żadnych cech meteorytów Morasko. Przykładem drugiej sytuacji jest znalezisko Andrzeja S. Pilskiego o kształcie prostopadłościanu, wyglądające jak kawałek złomu od jakiejś maszyny. Po wytrawieniu ukazały się zdeformowane figury meteorytowego szrapnela. Wobec powyższego nie można wykluczyć, że część znalezisk zgłoszonych jako małe meteoryty w rzeczywistości meteorytami nie jest. Jeśli błędnie ocenione znalezisko pochodzi z wewnętrznych

anthropogenic fragments and rejected. Both cases are known from the Morasko meteorite search history. An example of the first situation are finds during the production of an episode of the 'Meteorite Men' series. The fragments were deceptively similar to meteorite shrapnels from the Henbury craters. It turned out after etching, however, that their structure is ideally homogeneous and no features of Morasko meteorites are present. An example of the second situation is the Andrzej S. Pilski cuboid-shaped find, looking like a piece of scrap from some machine. Deformed figures of a meteorite shrapnel showed up after etching. Therefore, it cannot be excluded that some finds reported as small meteorites are not in fact meteorites. If the wrongly evaluated find is from an internal part of the strewn field, the error is of little importance, whereas in the case of finds from the margins of the strewn field, verification would be necessary to avoid erroneous expansion of the field.

rejonów obszaru rozrzutu, to błąd nie ma większego znaczenia, ale w przypadku znalezisk na brzegach zasięgu rozrzutu niezbędna byłaby weryfikacja, by nie powiększać granic obszaru.

Rejon poszukiwań jest ograniczony zabudowaniami, składowiskiem odpadów i terenem poligonu, jest więc prawdopodobne, że przynajmniej niektóre fragmenty granic obszaru rozrzutu wynikają jedynie z braku możliwości prowadzenia poszukiwań poza tymi granicami.

Obszar rozrzutu jest wydłużony w kierunku WSW–ENE, przy czym większość dużych okazów została znaleziona po stronie zachodniej. Sugeruje to spadanie meteorytów z kierunku wschodniego ku zachodowi. Nie można jednak zapominać o przypadku meteorytu Łowicz, gdzie największe okazy także znaleziono po stronie zachodniej, a mimo to obserwatorzy z większej odległości widzieli bolid lecący z zachodu na wschód. Ponadto zachodnią granicę terenu znalezisk Moraska stanowią zabudowania miejscowości Suchy Las, gdzie możliwości poszukiwań są bardzo ograniczone.

Największe okazy meteorytu Morasko znaleziono w okolicy kraterów, które również są usytuowane w zachodniej części obszaru rozrzutu. Okazy te nie mają bezpośredniego związku z kraterami, gdyż ich kształt wskazuje, że spadły bezpośrednio z atmosfery, a nie zostały wyrzucone z krateru. Niemniej ich odszukanie w sąsiedztwie kraterów potwierdza, że mógł to być rejon spadania dużych okazów, z których największe wytworzyły kratery. Brak jednak bezpośrednich dowodów związku kraterów z meteorytami. Przyjmuje się, że kratery o średnicy ponad 60 m są kraterami wybuchowymi, w których nie należy spodziewać się meteorytów, natomiast mniejsze są kraterami uderzeniowymi, w których powinny być zagrzebane meteoryty. W przypadku Moraska jedynie największe kratery mogą być zaliczone do wybuchowych. Większość odpowiada rozmiarami kraterom uderzeniowym, w których powinny znajdować się meteoryty, ale jak dotąd nie udało się znaleźć w tych kraterach żadnego meteorytu.

Gęstość rozmieszczenia znalezisk jest dość wysoka. W centralnej części obszaru rozrzutu

The search area is limited by buildings, landfill and military training ground and it is possible that at least some fragments of strewn field boundaries result only from our inability to search beyond these boundaries.

The strewn field is aligned WSW–ENE and most large specimens have been found on the western side. This suggests a direction from east to west. One should not forget, however, the case of the Łowicz meteorite, where the biggest specimens were also found on the western side, although distant observers saw the bolide flying from west to east. Moreover, the western boundary of the Morasko find area comprises buildings of the village of Suchy Las, where search opportunities are very limited.

The largest specimens of the Morasko meteorite were found in the vicinity of the craters, which are also situated in the western part of the strewn field. These specimens have no direct relationship to the craters because their shapes indicate they fell directly through the atmosphere and were not ejected from craters. Nevertheless, the finding of these specimens near the craters confirms that it could have been the area where large specimens fell, the largest of which formed the craters. However, direct evidence of the links between the craters and meteorites is lacking. It is assumed that craters over 60 m in diameter are explosion-related and meteorites should not be expected inside them, whereas the smaller ones should contain, buried, the meteorites which formed them upon hitting the ground. In the case of Morasko, only the largest craters may be considered as explosion structures. The majority correspond, according to size, to impact craters, inside which meteorites should be present. However, no meteorite has so far been found inside these craters.

The areal density of finds is relatively high. In the central part of the strewn field, ca. 1000 specimens were found over an area of 1 km^2, which gives a mean of 1 meteorite per 1000 m^2 or, in other words, an average distance between meteorites of ca. 30 m. This density is comparable to that of Sikhote-Alin meteorite shower,

znaleziono około 1000 okazów na powierzchni mniej więcej 1 km^2, co daje średnio 1 meteoryt na 1000 m^2 albo, inaczej, przeciętną odległość między meteorytami około 30 m. Jest to gęstość porównywalna z deszczem meteorytów Sikhote-Alin, gdzie miejscami była ona jeszcze wyższa. Meteoryt Sikhote-Alin rozpadł się jednak na mniejsze fragmenty, co wynikało z jego budowy.

Dyskusja

Jak wykazano powyżej, większość znalezisk w rejonie Moraska jest ograniczona do stosunkowo niewielkiego obszaru na północnym zboczu moreny czołowej i najwyraźniej nie ma doniesień o znaleziskach dalej na północ poza moreną (oprócz dwóch wyżej wymienionych, niepotwierdzonych meteorytów, znalezionych w Obornikach Wielkopolskich; Pokrzywnicki 1964).

Wyniki datowań luminescencyjnych i radiowęglowych przytoczone powyżej jednoznacznie wskazują na impaktowe pochodzenie kraterów na Morasku. Według tych danych deszcz meteorytów żelaznych spadł ~ 5000 lat temu. Lokalna elipsa rozrzutu określona na podstawie obserwacji z Moraska i Jankowa Dolnego rozciąga się na co najmniej kilkadziesiąt kilometrów.

Jak dotychczas nie ma wyraźnych wskazań geochronologicznych, że upadek meteorytu Jankowo Dolne był, lub nie, synchroniczny z impaktem Morasko. Rekonesansowe obserwacje terenowe pozwalają na stwierdzenie, że niektóre formy rzeźby mogą być strukturami impaktowymi. Poszukiwania drobnoziarnistej materii magnetycznej w osadach w miejscu przypuszczalnego upadku są w toku.

Podsumowując, trzy spadki żelaznych meteorytów – Przełazy, Morasko i Jankowo Dolne – leżą na mapie wzdłuż linii WSW–ENE, z największym spadkiem na Morasku, w połowie drogi między Przełazami i Jankowem Dolnym (ryc. 1). Meteoryty te wykazują wiele podobieństw w petrografii, mineralogii i w składzie chemicznym (Pilski i in. 2013). Wszystkie one należą do grupy IAB-MG i charakteryzują się niską zawartością Ir i wysoką zawartością Ge (Kracher i in.

where the density of findings was even higher in places. The Sikhote-Alin meteorite disintegrated, however, into smaller fragments, due to its structure.

Discussion

As shown above, the vast majority of finds at Morasko are limited to a relatively small area on the northern slope of the terminal moraine and, apparently, there are no reports on finds further north beyond the moraine (apart from the afore-mentioned two unconfirmed meteorites found at Oborniki Wielkopolskie (Pokrzywnicki 1964).

The results of luminescence and radiocarbon dating quoted above clearly indicate the impact-related origin of the Morasko craters. According to these data, the Morasko iron meteorite shower occurred ca. 5000 years BP. The local strewn field, determined from observations at Morasko and Jankowo Dolne, extends for at least several tens of kilometres.

So far there are no distinct geochronological indications that the Jankowo Dolne meteorite fall was, or was not, synchronous with the Morasko impact. Reconnaissance observations in that area allow us to state that some forms of relief there may be impact structures. Moreover, the search for fine-grained magnetic particles in sediments at the presumed fall site is in progress.

Summing up, the three iron meteorite falls, Przełazy, Morasko and Jankowo Dolne, are WNW–ENE aligned on the map, with the largest fall at Morasko, situated half-way between Przełazy and Jankowo Dolne (Fig. 1). These meteorites show many similarities in terms of petrography, mineralogy and chemical composition (Pilski *et al.* 2013). All belong to the IAB-MG group and are characterized by low Ir and high Ge contents (Kracher *et al.* 1980, Bartoschewitz and Spettel 2001, Pilski *et al.*

1980, Bartoschewitz, Spettel 2001, Pilski i in. 2013). Składają się głównie z gruboziarnistego kamacytu i taenitu, z akcesorycznym cohenitem i schreibersytem. Odrębną cechą wszystkich tych meteorytów jest obecność nodul, zwykle około 1–2,5 cm wielkości, zbudowanych z grafitu i troilitu, z niewielką ilością krzemianów, siarczków, tlenków i fosforanów. Wszystkie te cechy, wraz z rekonstruowaną elipsą rozrzutu, silnie wspierają hipotezę jednolitego deszczu meteorytów (por. Pilski i in. 2013). Niemniej niektóre pozornie sprzeczne geochronologiczne dane z Przełazów (Stankowski, Uścinowicz 2011) wymagają dalszych badań i weryfikacji.

2013). These meteorites are composed mainly of coarse-grained kamacite and taenite, with accessory cohenite and schreibersite. A distinctive feature of all the meteorites is the presence of nodules, usually c. 1–2.5 cm in size, composed of graphite and troilite with small amounts of silicates, sulphides, oxides and phosphates. All these features, together with the reconstructed strewn field, strongly support the hypothesis of a single meteorite shower (cf. Pilski *et al*. 2013). Nevertheless, some apparently contradictory geochronological data from Przełazy (Stankowski and Uścinowicz 2011) require further study and verification.

4.

Petrologia, skład chemiczny i pozycja systematyczna Moraska i pokrewnych meteorytów żelaznych

Petrology, bulk chemistry and systematic position of Morasko and other twin irons

Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski), Andrzej S. Pilski (Muzeum M. Kopernika, Frombork), Andrzej Muszyński (UAM, Poznań), Łukasz Karwowski (Uniwersytet Śląski)

Cechy petrograficzne i mineralogiczne, obok cech chemicznych, wskazują na duże podobieństwo między meteorytami żelaznymi Morasko, Przełazy i Jankowo Dolne. Wszystkie te meteoryty są zaliczane do tej samej grupy systematycznej meteorytów żelaznych, a niektóre ich cechy szczegółowe wykazują pewne wyraźne różnice w porównaniu z innymi grupami meteorytów żelaznych, dostarczając ważkich argumentów wspierających hipotezę o genetycznym pokrewieństwie tych trzech meteorytów oraz że mogą one reprezentować jeden duży deszcz meteorytowy (Muszyński i in. 2013a, b).

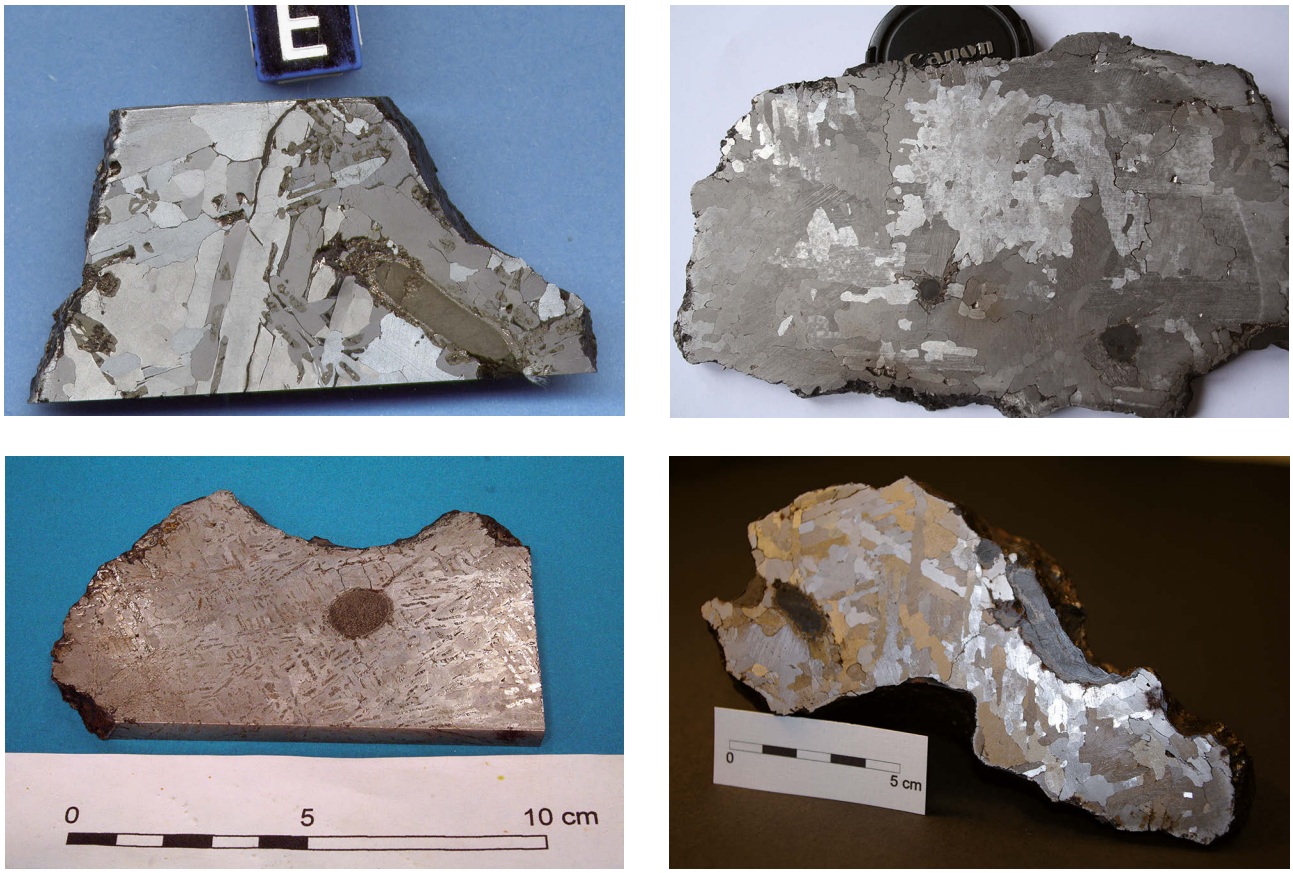
Petrographic, mineralogical and geochemical characteristics, show many similarities between the Morasko, Przełazy and Jankowo Dolne iron meteorites. The three meteorites are classified in the same systematic group of iron meteorites, and their specific characteristics show distinct differences when compared to other groups of irons, thus providing strong arguments for the suggestion that the three meteorites are genetically related and represent a single large meteorite shower (Muszyński *et al.* 2013a, b).

Petrografia

Fragmenty meteorytów żelaznych znalezione w rejonie Moraska, Przełazów i Jankowa Dolnego są podobne makroskopowo. Dominujące objętościowo tło metaliczne (matriks) w okazach z Moraska jest zbudowane z kamacytu i taenitu. Kamacyt tworzy niekiedy prostoliniowe struktury Widmanstättena; zwykle po wytrawieniu widoczne są wydłużone pręty kamacytu (ryc. 1). Polerowane przekroje okazów z trzech lokalizacji są bardzo podobne, tak że trudno odróżnić fragmenty z poszczególnych rejonów. We wszystkich trzech spotyka się specyficzne nodule grafitowo-troilitowe.

Petrography

Fragments of iron meteorites found near Morasko, Przełazy and Jankowo Dolne are macroscopically similar. The predominant metal matrix of Morasko is composed of kamacite and taenite. Kamacite occasionally forms the straight-line Widmanstätten pattern; most often, after etching, irregular elongated kamacite rods are visible (Fig. 1). Polished sections of meteorite fragments from the three localities are very similar, so that it is difficult to distinguish pieces from particular sites. They all contain distinctive graphite-troilite nodules.



Ryc. 1. Figury Thomsona-Widmanstättena w meteorycie Morasko (skala E – 1 cm) (fot. A.S. Pilski)
Fig. 1. Thomson-Widmanstätten pattern in the Morasko meteorite (scale E = 1 cm) (photo A.S. Pilski).

Fragmenty meteorytów z trzech lokalizacji wykazują na przeciętych powierzchniach zróżnicowaną morfologię ziarn kamacytowych. Grubość prętów kamacytowych wynosi przeważnie ~2–3 mm. Duże ziarna osiągają szerokość kilku centymetrów przy długości około 10 cm. Niektóre fragmenty struktur gruboziarnistych upodabniają się do heksaedrytów. Jednak w większych okazach domeny grubokrystaliczne otoczone są domenami drobnokrystalicznymi, a między nimi obserwuje się stopniowe przejścia. Wszystkie te cechy petrograficzne, często widoczne na wielu fragmentach z każdej z trzech lokalizacji, sugerują, że mamy do czynienia z deszczem meteorytów.

W kamacycie, we wszystkich trzech lokalizacjach, zawartość niklu waha się od 3,9 do 6,7% wag., najczęściej od 6,0 do 6,5% wag. (Karwowski i in. 2013b). Taenit z trzech opisywanych meteorytów tworzy zwykle płytkowe ziarna oraz przerosty typu plessytu. Często to-

Particular fragments of meteorites found at the three localities display, on cut surfaces, various morphologies of the kamacite grains. The thickness of the kamacite rods is most often around 2–3 mm, but some large grains are ~10 cm long and up to several cm wide. Small fragments with coarse-grained texture resemble hexahedrites. In larger pieces, however, the coarsely crystalline domains appear to occur within finer-grained kamacite domains, and there are transitions between the various textural types. All these petrographic features, frequently observed in many meteorite fragments from the three sites, suggest that we are dealing with a meteorite shower.

In kamacite from all three localities, the Ni contents vary widely from 3.9 to 6.7 wt. %, most typically being between 6.0 and 6.5 wt. % (Karwowski *et al.* 2013b). Taenite in all three usually forms platy grains and plessite-type intergrowths. Often, they are associated with

warzyszą im inne bogate w nikiel fazy – tetrataenit i antytaenit – które potwierdzono techniką Mösbauera (Dziel i in. 2007). Zawartości niklu w taenicie są zróżnicowane, najczęściej w przedziale 17–40% wag., a w tetrataenicie wynoszą ~50% wag. (Karwowski i in. 2013b). Fazom metalicznym w badanych meteorytach towarzyszą fosforki (schreibersyt, jego bogata w Ni odmiana – rhabdyt oraz fosforek niklu), węgliki (cohenit), lokalnie siarczki (sfaleryt i troilit) oraz rzadki ałtait (patrz rozdział 5).

Metaliczne tło opisywanych meteorytów dość często zawiera owalne nodule troilitowo-grafitowe o wielkości do kilku centymetrów (ryc. 2). Ich bardzo urozmaicona mineralogia jest opisana w kilku osobnych publikacjach (Karwowski, Muszyński 2008, Karwowski i in. 2013b). Nodule troilitowo-grafitowe nierzadko mają otoczki cohenitowe z niewielką domieszką schreibersytu i djerfischerytu. W nodulach występuje kilka krzemianów i innych minerałów, m.in. pirokseny (enstatyt, kosmochlor-augit i kosmochlor), oliwiny, skalenie (albit i skaleń potasowy, często antypertytowy), kwarc i chromit (Karwowski, Muszyński 2006, Karwowski i in. 2013b). Oprócz nich stwierdzono w nodulach następujące minerały akcesoryczne: sfaleryt, whitlockit (Dominik 1976), ałtait, daubreelit, rutyl, miedź rodzima (Muszyński i in. 2001) i pirotyn (Dziel i in. 2007) oraz kilka fosforanów (buchwaldyt, brianit, merrillit, apatyt i nowe fazy fosforanowe; Karwowski i in. 2009a, 2013c). Więcej szczegółów o mineralogii meteorytów Moraska podano w rozdziale 5.



Ryc. 2. Nodule troilitowo-grafitowe w meteorycie Morasko (wielkość 20 cm) (fot. A.S. Pilski)
Fig. 2. Troilite-graphite nodules in the Morasko meteorite (size 20 cm) (photo A.S. Pilski).

other high-Ni phases, tetrataenite and antitaenite which were confirmed using the Mössbauer method (Dziel *et al.* 2007). The Ni contents in taenite range widely, mostly between 17–40 wt. %, and in tetrataenite are ~50 wt. % (Karwowski *et al.* 2013b; see also chapter 5). The metal phases in the meteorites studied are associated with phosphides (schreibersite, its higher-Ni variety – rhabdite, and nickelphosphide), carbides (cohenite) and, occasionally, sulphides (sphalerite and troilite) and rare altaite (see chapter 5).

The matrix of the iron encloses quite frequent oval, troilite-graphite nodules, up to a few centimeters in size (Fig. 2). Their complex mineralogy has been described elsewhere (Karwowski and Muszyński 2008, Karwowski *et al.* 2013b). The troilite-graphite nodules are often rimmed by cohenite, with small admixture of schreibersite and djerfischerite. The nodules contain several silicates and other phases, including pyroxenes (enstatite, kosmochlor-augite and kosmochlor), olivines, feldspars (albite and K-feldspar, often antiperthitic), quartz and chromite (Karwowski and Muszyński 2006, Karwowski *et al.* 2013b). Apart from these, the following other accessories have been reported: sphalerite, whitlockite (Dominik 1976), altaite, daubreelite, rutile, native copper (Muszyński *et al.* 2001) and pyrrhotite (Dziel *et al.* 2007), as well as several phosphates (buchwaldite, brianite, merrillite, apatite and new phosphate phases; Karwowski *et al.* 2009, 2013c). More details on the mineralogy of Morasko are given in chapter 5 of this volume.

Skład chemiczny i pozycja systematyczna meteorytów

Meteoryty Morasko, Przełazy i Jankowo Dolne są zbudowane w przewadze z metalu i należą do meteorytów żelaznych. Fazy metaliczne, jak wspomniano wyżej, są reprezentowane głównie przez kamacyt i podrzędnie taenit. Zawierają też pokaźne ilości niklu i kobaltu oraz szereg pierwiastków śladowych.

Na podstawie składu i struktury meteoryt Morasko został zaliczony do grupy IAB-MG meteorytów żelaznych (Pilski i in. 2013). Jednak już dużo wcześniej Kracher i in. (1980) zwrócili uwagę, że Morasko różni się od innych meteory-

Bulk chemistry and systematic position

The Morasko, Przełazy and Jankowo Dolne meteorites are composed predominantly of metal and are iron meteorites. The metal phases are kamacite and subordinate taenite. These irons contain significant amounts of Ni and minor Co, as well as a range of trace elements.

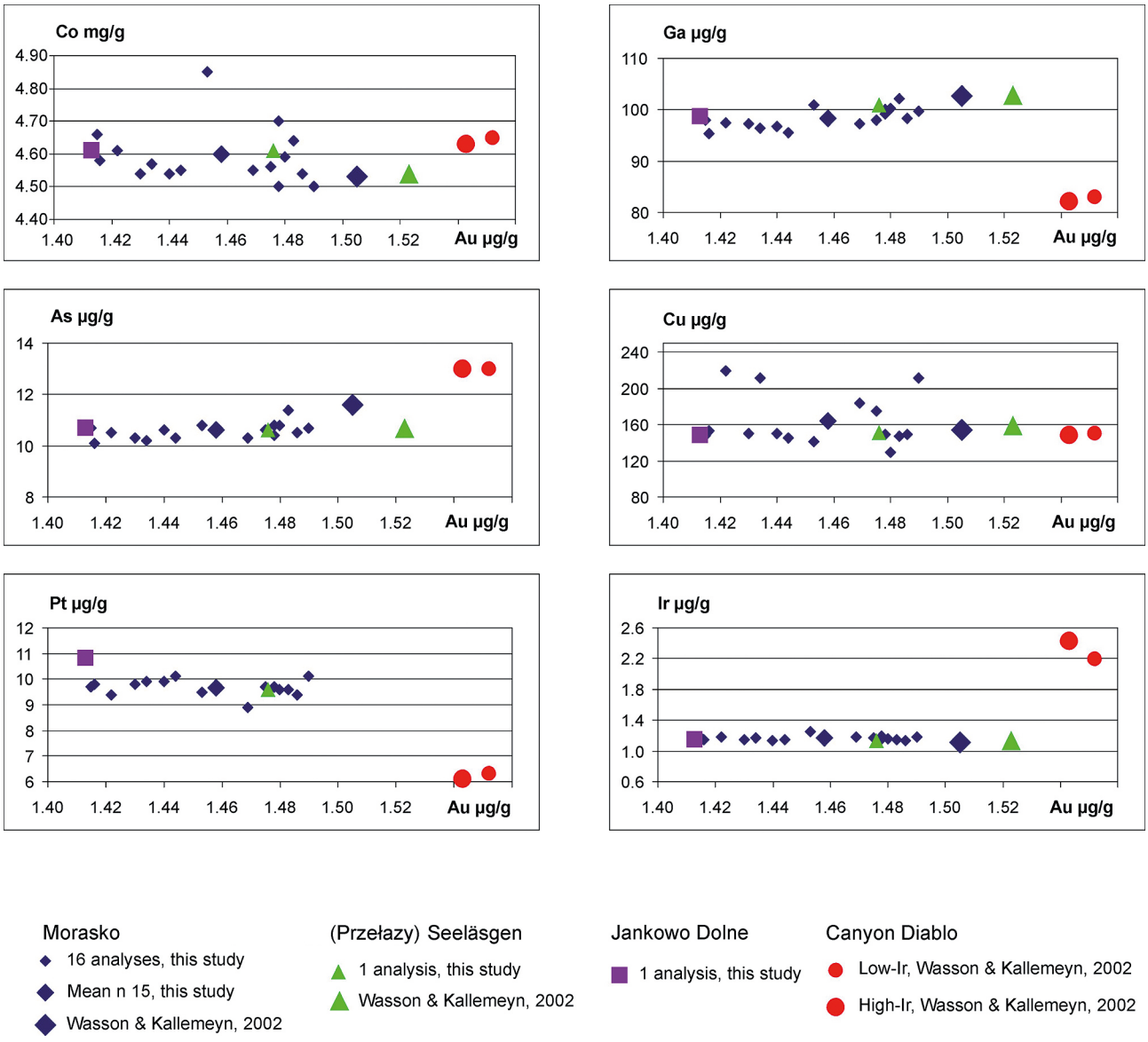
Based on its composition and structure, Morasko has been assigned to the IAB-MG group of iron meteorites (Pilski *et al.* 2013). However, Kracher *et al.* (1980) noted that Morasko differs from other IAB irons in its exceptionally low Ir (ca. 1.2 μg/g) and relatively high Ge (ca. 500

Meteoryty żelazne

Główne składniki meteorytów żelaznych to żelazo i nikiel. Różnice zawartości niklu są podstawą podziału tych meteorytów. Wcześniejsza klasyfikacja oparta była na różnicach struktury widocznych po wytrawieniu przekroju meteorytu, ale okazało się, że te różnice też są związane z zawartością niklu. Klasyfikacja strukturalna dzieli meteoryty żelazne (według rosnącej zawartości Ni) na heksaedryty, oktaedryty (bardzo gruboziarniste, gruboziarniste, średnioziarniste, drobnoziarniste, bardzo drobnoziarniste i plessytowe) i ataksyty. W tej klasyfikacji Morasko jest oktaedrytem gruboziarnistym. Później wprowadzono klasyfikację chemiczną, uwzględniającą, prócz niklu, iryd, gal, german i złoto. Dzieli ona meteoryty żelazne na cztery grupy (według rosnącej zawartości Ni) II, I, III i IV, w których wyróżniane są podgrupy oznaczane dużymi literami. Klasyfikacja ta pokrywa się częściowo z klasyfikacją strukturalną: w grupie II przeważają heksaedryty i oktaedryty bardzo gruboziarniste, w grupie I oktaedryty gruboziarniste, w grupie III oktaedryty średnioziarniste i w grupie IV oktaedryty drobnoziarniste i ataksyty. Jest jednak sporo wyjątków i dość dużo żelaznych meteorytów anomalnych nie pasujących do żadnej grupy. Klasyfikacja chemiczna sugeruje, że meteoryty z grup II, III i IV pochodzą w większości z żelaznych jąder planetoid, a meteoryty z grupy I – przeważnie z żelaza wytopionego lokalnie na dnie kraterów po silnych zderzeniach planetoid. W tej klasyfikacji Morasko należy do typu IAB-MG (patrz Pilski i in. 2013).

Iron meteorites

The main components of the iron meteorites are iron and nickel. Various Ni contents are the basis of subdivisions. An earlier classification was based on textural differences that can be seen on etched sections of meteorites, but it appears that these differences correlate with the Ni contents. The textural classification subdivides the iron meteorites (following also their increasing nickel contents) into: hexahedrites, octahedrites (very coarse-, coarse-, medium-, fine-, very fine-grained, and plessite type), and ataxites. In this scheme, Morasko is a coarse-grained octahedrite. Later on, a chemical systematic approach was applied which also takes into account, apart from Ni, the concentrations of iridium, gallium, germanium and gold. This systematic subdivides the iron meteorites into four groups (according to increasing Ni contents): II, I, III and IV, in which subgroups are distinguished, indicated by capital letters. This classification is, partly, in line with the textural classification: group II comprises mostly hexahedrites and very coarse-grained octahedrites, group I is dominated by coarse-grained octahedrites, group III by medium-grained octahedrites, and group IV by fine-grained octahedrites and ataxites. However, there are many exceptions and a number of iron meteorites do not fit to any systematic group. The chemical classification suggests that meteorites of groups II, III and IV have derived mainly from the iron cores of planetoids, whereas those of group I come usually from iron melts locally formed at the bottom of impact craters after the fall of large planetoids. In this classification, Morasko belongs to group IAB-MG (for details, see Pilski *et al.* 2013).



Ryc. 3. Koncentracje wybranych pierwiastków śladowych w Morasku i pokrewnych meteorytach żelaznych (dane wg Pilskiego i in. 2013)

Fig. 3. Selected trace-element concentrations in Morasko and paired irons (data from Pilski *et al.* 2013).

tów żelaznych IAB swą wyjątkowo niską zawartością irydu (~ 1,2 µg/g) i względnie wysoką koncentracją germanu (~ 500 µg/g). Jedynie dwa inne meteoryty IAB są podobne do Moraska: Przełazy (Seeläsgen) i Burgavli (Kracher i in. 1980); meteoryt Hope IAB ma jeszcze niższą zawartość irydu – ~0,75 µg/g. Warto zauważyć, że zarówno Przełazy, jak i Jankowo Dolne mają podobne do Moraska, niskie koncentracje irydu (Pilski i in. 2012a, 2013).

Zawartości niektórych pierwiastków śladowych w meteorytach Morasko, Przełazy i Jankoµg/g) contents. Only two other IABs are similar in composition to Morasko: Seeläsgen and Burgavli (Kracher *et al.* 1980); the Hope IAB iron has a still lower Ir content of 0.75 µg/g. It is worth noting that both the Przełazy (Seeläsgen) and Jankowo Dolne irons have similarly low Ir contents (Pilski *et al.* 2012a, 2013).

Trace-element concentrations in the Morasko, Przełazy and Jankowo Dolne irons are shown in Fig. 3. An important conclusion is that all the Morasko samples, together with the other two paired irons, represent a single mete-

wo Dolne są pokazane na rycinie 3. Wynika stąd ważny wniosek, że wszystkie próbki Moraska oraz z dwóch pozostałych meteorytów reprezentują jeden deszcz meteorytów. Ścisłe zgrupowanie tych próbek, o niskiej koncentracji irydu, na zewnątrz pola grupy IAB-MG stanowi mocną podstawę takiego wniosku.

Pilski i in. (2013) konkludują, że jest nieprawdopodobne, by za niską zawartość irydu w Morasku była odpowiedzialna frakcjonalna krystalizacja stopów. Sugerują przy tym, że przypuszczalnie część irydu w materiale prekursora była uwięziona w fazie mineralnej, która nie uległa przetopieniu podczas domniemanego podgrzania w czasie impaktu.

Inną znamienną cechą składu chemicznego meteorytu Morasko jest jego wyraźnie zróżnicowana zawartość miedzi. Wiele próbek wykazuje niskie koncentracje Cu, które interpretuje się jako rezultat osiągnięcia równowagi między stopem a podrzędną fazą, taką jak np. metaliczna miedź (której nie stwierdzono w analizowanych próbkach) (Pilski i in. 2013).

Pilski i in. (2013) sugerują, że podczas impaktowego formowania się stopu Moraska większość irydu (>50%) pozostała w niestopionym residuum. Morasko oraz dwa spokrewnione z nim meteoryty nie są normalnymi przedstawicielami grupy IAB-MG meteorytów żelaznych. Wspomniani autorzy wydzielają je jako anomalny zespół w grupie IAB-MG, któremu nadają symbol IAB-MG-anom. Jak się wydaje, powstały one podczas impaktu odmiennego od tego, który był odpowiedzialny za utworzenie stopu IAB-MG.

orite shower. The tight clustering of low Ir contents outside the IAB-MG field provides strong evidence of this conclusion.

Pilski *et al.* (2013) conclude that it is unlikely that fractional crystallization is responsible for the low Ir contents of Morasko and similar irons. They suggest that, more probably, some of the Ir in the precursor material was in a phase that did not melt during the inferred impact heating event.

Another specific compositional feature of Morasko is its diverse Cu contents. Many samples display low Cu concentrations that are interpreted to reflect equilibration with a minor phase such as metallic Cu (not identified in the samples analyzed) (Pilski *et al.* 2013)

Pilski *et al.* (2013) suggest that, during the impact formation of the Morasko melt, most (>50%) of the Ir was left behind in the unmelted residue. Morasko and its twin irons are not normal members of IAB-MG. They, therefore, are designated as anomalous members of IAB-MG with the identifier IAB-MG-anom. They seem to have formed in an impact event distinct from that responsible for the IAB-MG melt.

Cechy impaktowe, szokowe i wietrzeniowe

Wiele okazów Moraska, Przełazów i Jankowa Dolnego wykazuje bardzo wyraźne zmiany szokowe, które częściowo zacierają ich strukturę wewnętrzną (Karwowski 2007, Jastrzębska 2009). Zmiany te mogą być związane albo ze zdarzeniem spadku (i powstania kraterów), albo ze zjawiskami silnych przemian szokowych podczas wcześniejszej, kosmicznej historii meteory-

Impact, shock and weathering features

Many pieces of Morasko, (Przełazy) Seeläsgen and Jankowo Dolne show very distinct shock changes that partly damaged the internal structure of the meteorites (Karwowski 2007, Jastrzębska 2009). These shock changes may be related either to the cratering (fall) event or to very strong shock phenomena during the earlier, cosmic period of meteorite history. Within do-

tu. Wewnątrz domen, które nie doznały zmian szokowych, obserwuje się żyłkowanie typowe dla topienia wywołanego impaktem; są one wypełnione reliktami schreibersytu oraz „pęcherzykowym" schreibersytem – kamacytem (stop ze zróżnicowaną zawartością fosforu). Struktury niektórych nodul zdają się wskazywać na procesy kataklastyczne – najczęściej troilit jest kataklastycznie rozdrobniony i wymieszany ze schreibersytem pochodzącym z otoczenia nodul.

Większość fragmentów meteorytowych jest wyraźnie zmieniona przez wietrzenie, ale w wielu okazach zachowane są domeny o grubości kilku milimetrów, w których linie Neumanna zostały zatarte na skutek ogrzania się powierzchni meteorytu podczas przejścia przez atmosferę. Spotyka się także dobrze zachowane fragmenty skorupy obtopieniowej, reprezentujące stopione przypowierzchniowe części meteorytów, które przetrwały ablację. Natomiast procesy wietrzenia spowodowały powstanie szeregu wtórnych faz mineralnych, takich jak wzbogacone w Ni wodorotlenki żelaza, nietrwałe chloryty, siarczany, fosforany i węglany (patrz rozdział 9).

mains that escaped being shocked, veinlets typical of melting caused by impact are observed; they are filled with relics of schreibersite and vesicular schreibersite-kamacite (melt, with variable phosphorus contents). The textures in some nodules apparently indicate cataclastic processes. Usually, troilite is cataclastically fragmented and mixed with schreibersite, coming from the surroundings of the nodule.

Most of the meteorite fragments are considerably altered by weathering but, in many, a few-mm thick domains are preserved in which the Neumann lines have been erased due to the heating of the meteorite surface when passing through the atmosphere. Also, well preserved fragments of melted crust are found, representing molten near-surface parts of the meteorites that survived during ablation. The weathering processes resulted in the formation of a range of secondary phases, including Ni-bearing iron hydroxides, unstable chlorites, sulphates, phosphates and carbonates (see also chapter 9 in this volume).

5.

Zarys mineralogii meteorytu Morasko
Outline mineralogy of the Morasko meteorite

Łukasz Karwowski (Uniwersytet Śląski), Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski), Andrzej Muszyński (UAM, Poznań), Andrzej S. Pilski (Muzeum M. Kopernika, Frombork)

Wprowadzenie

Meteoryt Morasko i dwa inne spokrewnione z nim meteoryty (Jankowo Dolne i Przełazy) wykazują podobny i ciekawy skład mineralny, w szczególności jeśli chodzi o owalne inkluzje (nodule) do kilku centymetrów wielkości, dość powszechnie spotykane w kamacytowo-taenitowym tle (matriks). Nodule zbudowane są głównie z troilitu lub grafitu i często otoczone obwódką schreibersytu i cohenitu. W tych inkluzjach znaleziono wiele minerałów akcesorycznych, m.in. sfaleryt, whitlockit, ałtait, daubreelit, kosmochlor.

Poniżej przedstawiamy krótki przegląd wyników badań mineralogicznych omawianych meteorytów oktaedrycznych i poruszamy wybrane zagadnienia ich genezy. Pełny i systematyczny opis mineralogii zostanie opublikowany w obszernym artykule naukowym (Karwowski i in. 2013b).

Introduction

The Morasko iron and two other paired meteorites (Przełazy and Jankowo Dolne) show similar and intriguing mineralogy, in particular the common oval inclusions (nodules), up to several cm in size, enclosed in a kamacite and taenite matrix. The nodules are composed mainly of troilite and graphite, often rimmed with schreibersite and cohenite. Many accessory minerals are found in the inclusions including sphalerite, whitlockite, altaite, daubreelite, kosmochlor.

Here, we present a summary of results of mineralogical investigations of the octahedrites and discuss selected issues of their origin. A full and systematic account will be published in an extended regular paper (Karwowski *et al.* 2013b).

Skład mineralny matriks

Dominujące tło badanych meteorytów zbudowane jest głównie z metalu – kamacytu i taenitu. Poszczególne fragmenty meteorytów z trzech wystąpień wykazują różną morfologię ziaren kamacytu na powierzchniach przecięcia (ryc. 1, 2).

Zawartość Ni w kamacycie we wszystkich trzech lokalizacjach waha się od 3,9 do 6,7% wag., przy typowej koncentracji pomiędzy 6,0 i 6,5% wag. Zawartość Co wynosi 0,3–0,7%

Matrix mineral phases

The dominant matrix of the meteorites studied is composed mainly of metal: kamacite and taenite. Particular fragments of meteorites found in the three localities display, on cut surfaces, various morphologies of kamacite grains (Figs. 1 and 2).

The Ni contents in kamacite from all three localities vary widely, from 3.9 to 6.7 wt. %, most typically between 6.0 and 6.5 wt. %. The



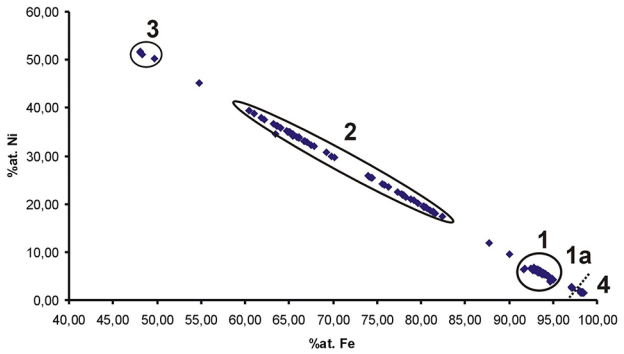
Ryc. 1. Zróżnicowana morfologia ziaren kamacytu i cohenitu w meteorycie Morasko (fot. A.S. Pilski)
Fig. 1. Various morphologies of kamacite and cohenite grains in the Morasko meteorite (photo A.S. Pilski).



Ryc. 2. Nodula troilitowo-grafitowa w meteorycie Morasko (fot. A.S. Pilski)
Fig. 2. Troilite-graphite nodule in the Morasko meteorite (photo A.S. Pilski).

wag. i wykazuje pozytywną korelację z zawartością niklu. Zawartości Fe i Ni (w % atomowych) w kamacycie i innych fazach metalicznych są pokazane na rycinie 3, gdzie pole 1 odpowiada kamacytowi. Pole 1a, z niskim niklem (2,5–2,6%) i niskim kobaltem (~0,2%), odpowiada niskoniklowemu kamacytowi, który spotyka się raczej rzadko, tylko wokół nodul, między ziarnami cohenitu i schreibersytu. Jest on wyraźnie różny od wtórnych, nisko-niklowych faz z matriks meteorytu, będących produktem rozkładu cohenitu (pole 4 na ryc. 3), które zawierają relikty cohenitu i żyłki wtórnego grafitu.

Taenit we wszystkich trzech badanych meteorytach tworzy zazwyczaj ziarna o pokroju płytowym oraz zrosty typu plessytów. Często mają one cienką obwódkę tetrataenitu. Fazy o wysokiej zawartości niklu są również związane z antytaenitem. Zawartość niklu w taenicie waha się w szerokim zakresie, przeważnie między 17 a 40% (pole 2 na ryc. 3). W badaniach Mösbauera potwierdzono obecność tetrataenitu (Dziel i in. 2007, Wojnarowska i in. 2008). Przybliżo-



Ryc. 3. Zawartość Fe/Ni w fazach metalicznych meteorytów grupy Morasko
Fig. 3. Fe and Ni concentrations in meteorites of the Morasko group.

Co concentrations are in the range 0.3–0.7 wt. %, with a positive correlation with the Ni contents. Fe and Ni concentrations (in at. %) in kamacite and other metal phases are shown in Fig. 3, where field 1 corresponds to kamacite. Field 1a, with low Ni (2.5–2.6%) and low Co (c. 0.2%) comprises low-Ni kamacite which is found rather rarely only around the nodules, between cohenite and schreibersite grains. They are clearly different from a secondary, low-Ni iron phase which is a product of decomposition of cohenite (field 4 in Fig. 3) and which contains relics of cohenite and veinlets of secondary graphite.

Taenite in all three meteorites usually forms platy grains and plessite-type intergrowths. Often, they have a thin rim of tetrataenite. High-Ni phases are also associated with antitaenite. The Ni contents in taenite range widely, mostly from 17–40% (field 2 in Fig. 3). In Mössbauer studies (Dziel *et al.* 2007, Wojnarowska *et al.* 2008), tetrataenite was identified in a few larger concentrations, with approximate composition of Ni

ny skład tetrataenitu: Ni 50% i Fe 50% przy bardzo niskiej zawartości kobaltu (pole 3 na ryc. 3).

Fazom metalicznym w badanych meteorytach towarzyszą fosforki, węgliki, lokalnie też siarczki. Fosforki są reprezentowane przez widoczny makroskopowo schreibersyt i jego bogatszą w nikiel odmianę – rhabdyt. Ten ostatni rozróżnialny jest tylko pod mikroskopem. Również lokalnie znaleziono wysokoniklowy odpowiednik rhabdytu – fosforek niklu (nickelphosphid). Gruboziarnisty schreibersyt jest zazwyczaj mocno popękany.



Ryc. 4. Struktura siatkowa cohenitu (ciemno szary, na tle jaśniejszego kamacytu) (fot. A.S. Pilski)
Fig. 4. Net-like texture of cohenite (dark grey, within the matrix of lighter-grey kamacite) (photo A.S. Pilski).

Węgliki są reprezentowane przez niskoniklowy cohenit (1,6–1,7% wag. Ni). Miejscami cohenit tworzy wydłużone agregaty, ze specyficzną teksturą siatkopodobną (ryc. 4). Lokalnie dominuje nad schreibersytem. Ten ostatni występuje w postaci drobnych agregatów wzdłuż brzegów ziaren cohenitu. W kamacycie sporadycznie znajdowano ziarna sfalerytu, a jeszcze rzadziej – troilitu (Dominik 1976). Ziarna sfalerytu są zazwyczaj małe (ok. 0,2–2,0 mm) i występują w asocjacji ze schreibersytem i ałtaitem. Spotyka się dwie odmiany sfalerytu: bogatą w Fe i Mn (odpowiednio: 19–20% wag. i 0,3–4,0% wag.) oraz ubogą w Fe. Sfaleryt z fazy metalicznej jest wyraźnie uboższy w Fe w porównaniu ze sfalerytem z nodul troilitowo-grafitowych.

Mineralogia nodul troilitowo-grafitowych

W nodulach troilitowo-grafitowych (ryc. 2), występujących dość powszechnie w trzech omawianych meteorytach, te dwa składniki mineralne (troilit i grafit) pojawiają się w różnych proporcjach.

50% and Fe 50%, and very low Co (field 3 in Fig. 3).

The metal phases in the meteorites are associated with phosphides, carbides and, occasionally, sulphides. The phosphides are represented by macroscopically visible schreibersite and its higher-Ni variety – rhabdite, the latter discernible only under the microscope. Also, the high-Ni equivalent of rhabdite, i.e. nickelphosphide, is found locally Coarse-grained schreibersite is usually strongly cracked.

The carbides are represented by low-Ni cohenite (1.6–1.7 wt. % Ni). In places, cohenite forms aligned aggregates, with specific net-like textures (Fig. 4). Locally, cohenite dominates over schreibersite, the latter found as fine aggregates along margins of cohenite grains. Sporadically, within kamacite, sphalerite and, less frequently, troilite grains are found (Dominik 1976). Sphalerite grains are usually small (c. 0.2–2.0 mm) and are associated with schreibersite and altaite. There are two varieties of sphalerite: Fe- and Mn-rich (19–20 wt. % and 0.3–4.0 wt. %, respectively) and Fe-poor. The sphalerite in the metal phase is clearly poorer in Fe than the sphalerite in the graphite-troilite nodules.

Mineralogy of troilite-graphite nodules

In the graphite-troilite nodules (Fig. 2), which are common in all three meteorites, there are two main mineral (troilite and graphite) components occurring in variable proportions. Troilite

cjach. Troilitowi towarzyszy pirotyn i daubreelit. Daubreelit tworzy wydłużone ziarna w troilicie albo ziarna przerośnięte z troilitem i grafitem zazwyczaj w zewnętrznych częściach inkluzji. Nodule zawierają często cohenitowe otoczki, z niewielką ilością schreibersytu występującego wzdłuż wewnętrznej i zewnętrznej krawędzi obrzeża. W schreibersytowych otoczkach rzadko pojawia się djerfisheryt, zwykle przylegający do troilitu. W cohenitowych otoczkach można czasem znaleźć troilit i grafit. Grafit występuje również poza nodulami, w promienistych agregatach o prostokątnych zarysach w obrębie kamacytu. Nodule stosunkowo rzadko nie mają obwódek cohenitowych lub schreibersytowych. Bardzo rzadkie są małe nodule utworzone wyłącznie z fosforanów wapnia, magnezu i sodu.

W większości nodul daubreelit przybiera dwie formy: (a) drobne agregaty tkwiące w troilicie, przypominające formy z odmieszania, (b) ziarniste agregaty występujące przy brzegach nodul wraz z grafitem, sfalerytem i troilitem. W troilicie często napotykamy małe fragmenty schreibersytu o takim samym składzie jak w otoczkach nodul. Mogą być one pochodzenia kataklastycznego.

Oprócz troilitu, grafitu, daubreelitu i sfalerytu w nodulach występują krzemiany, w tym pirokseny (enstatyt-bronzyt, kosmochlor-augit i kosmochlor; Karwowski, Muszyński 2006), oliwiny, skalenie (albit i skaleń potasowy, często antypertyt) i kwarc jako faza SiO_2 (Karwowski i in. 2009b). Towarzyszą im fosforany: buchwaldyt, brianit, merrillit, apatyt i kilka innych faz fosforanowych (Karwowski i in. 2009a, 2013d).

Najczęstszym piroksenem jest kosmochlor. Enstatyt występuje niezależnie od kosmochloru, czasami minerały te kontaktują się ze skaleniami i fosforanami. Niekiedy zawierają liczne małe inkluzje troilitu lub krzemionki. Najbardziej interesujące są bogate w chrom pirokseny sodowo-wapniowe zwane kosmochlor-augitami. Zdarza się, że piroksenom towarzyszą ziarna skalenia potasowego. Oliwiny występują bardzo rzadko, w postaci drobnych, pojedynczych ziaren w troilicie. Krzemionka, zidentyfikowana spektroskopią Ramana jako kwarc, pojawia się

is associated with pyrrhotite and daubreelite, which form elongated grains in troilite or grains intergrown with troilite and graphite usually in the outer parts of inclusions. Commonly, nodules have cohenite rims, with small amounts of schreibersite that occurs both along the inner and outer edges of the rims. Rare in the schreibersite rims is djerfisherite, usually adjoining troilite. Within the cohenite rims, troilite and graphite are occasionally found. Graphite also occurs outside the nodules, in radial aggregates of rectangular shape within kamacite. Rare nodules have no, or only a fragmentary, cohenite rim. Small nodules composed almost entirely of Ca, Mg and Na phosphates are also very rare.

In most nodules, daubreelite is found in two forms: (a) exsolution-type fine-grained aggregates in troilite, (b) granular aggregates at nodule edges, along with graphite, sphalerite and troilite. Within the troilite, little fragments of schreibersite are often found, having the same composition as those in nodule rims. They may be of cataclastic origin.

Apart from troilite, graphite, daubreelite and sphalerite, silicates are also found within the nodules, including pyroxenes (enstatite-bronzite, kosmochlor-augite and kosmochlor (Karwowski and Muszyński 2006), olivines, feldspars (albite and K-feldspar, often antiperthitic), and quartz as the SiO_2 phase (Karwowski *et al.* 2009b). These minerals are associated with phosphates: buchwaldite, brianite, merrillite, apatite and a few other phosphate phases (Karwowski *et al.* 2009a, 2013d).

Kosmochlor is the most common pyroxene. Enstatites occur separately from kosmochlor, sometimes contacting feldspar or phosphates. They sometimes contain numerous small inclusions of troilite or silica. The most interesting are Cr-rich Na-Ca pyroxenes, kosmochlor-augite. Sometimes grains of K-feldspar are associated with the pyroxenes. Olivines are very scarce in the form of tiny isolated grains in troilite. Silica, identified by Raman spectroscopy as quartz, appears quite often, together with chromite and pyroxenes. The origin of the pyroxenes seems to be more complex than was sug-

Minerały meteorytów Morasko występujące tylko w materii pozaziemskiej
Minerals of the Morasko meteorite which occur only in extraterrestial matter

Nazwa minerału Mineral name	Układ krystaliczny System	Wzór chemiczny Chemical formula	Barwa Colour	Połysk Lustre	Uwagi Comments
Kamacyt Kamacite	regularny cubic	α – (Fe,Ni)	szara grey	metaliczny metallic	pospolity w meteorytach common in meteorites
Taenit Taenite	regularny cubic	γ –(Ni,Fe)	biała white	metaliczny metallic	zwykle z kamacytem[1] usually with kamacite[1]
Ałtait Altaite	regularny cubic	PbTe	biała white	metaliczny metallic	bardzo rzadki minerał[2] very rare mineral[2]
Daubreelit Daubréelite	rombowy orthorhombic	$FeCr_2S_4$	czarna black	metaliczny metallic	akcesoryczny, dość częsty accessory, rather common
Troilit Troilite	heksagonalny hexagonal	FeS	brązowa brown	metaliczny metallic	pospolity w meteorytach common in meteorites
Kosmochlor Kosmochlor	jednoskośny monoclinic	$NaCr[Si_2O_6]$,	zielona green	szklisty vitreous	rzadki Na,Cr-piroksen rare Na,Cr-pyroxene
Cohenit Cohenite	rombowy orthorhombic	$(FeNi)_3C$	biała white	metaliczny metallic	węglik Fe,Ni Fe,Ni carbide
Schreibersyt Schreibersite	tetragonalny tetragonal	$(Fe,Ni)_3P$	biała white	metaliczny metallic	fosforek Fe,Ni Fe,Ni phosphide

[1] W oktaedrytach tworzy z taenitem tzw. figury Thomsona-Widmanstättena.
[1] In octahedrites, it forms intergrowths with taenite, so called Thomson-Widmanstätten patterns.
[2] Morasko jest drugim meteorytem żelaznym, gdzie stwierdzono ałtait (po meteorycie Egvekinot).
[2] Morasko is the second iron meteorite, where altaite was found (the first one is Egvekinot).

dość często w asocjacji z chromitem i piroksenami. Geneza piroksenów wydaje się bardziej skomplikowana niż sugerowano np. w pracy Benedix i in. (2000). Naszym zdaniem, podczas tworzenia się piroksenów pojawiły się dwa rodzaje stopów krzemianowych. Stopy były bogate w Na, K, Ca, Cr, Fe oraz jony fosforanowe. Z pierwszego stopu, chemicznie podobnego do aubrytów, wykrystalizowały enstatyt, krzemionka i oliwin. Z drugiego stopu wykrystalizował kosmochlor. Po frakcjonalizacji stopu (bogatego w Ca, Na i Cr) przereagował on z wcześniej utworzonym enstatytem, prowadząc do powstania kosmochlor-augitu.

W nodulach dość powszechny jest również chromit, zazwyczaj stowarzyszony z krzemianami i fosforanami, takimi jak buchwaldyt, brianit i fazy $Na_2Mg(PO_4)F$ oraz $Na_4MgCa_3(PO_4)_4$. Rutyl, zawierający domieszki chromu (0,24% wag.), niobu (0,27–0,29% wag.) i żelaza (0,13–0,19% wag.), pojawia się w formie ziaren poikilitowo zamykających inkluzje grafitu. Ponadto stwierdzono obecność djerfischerytu oraz miedzi rodzimej. Miedź rodzima jest związana z otoczkami sfalerytu lub występuje w szczelinach schreibersytowych. Trudno stwierdzić, czy miedź rodzima to pierwotna faza mineralna meteorytu.

gested by Benedix *et al.* (2000). In our opinion, two types of silicate melts occurred during pyroxene formation. The melts were rich in Na, K, Ca, Cr, Fe, and phosphate ions. From the first, compositionally close to aubrites, enstatite, silica and olivine crystallized. The second gave rise to kosmochlor. When fractionated (rich in Ca, Na, and Cr), it reacted with previously formed enstatites leading to kosmochlor-augite.

Chromite is also fairly common in the nodules, usually along with silicates and phosphates. Chromites are associated with phosphates: buchwaldite, brianite and phases: $Na_2Mg(PO_4)F$ and $Na_4MgCa_3(PO_4)_4$. Rutile containing Cr–0.24 wt. %, Nb–0.27–0.29 wt. % and Fe−0.13–0.19 wt. % appears in the form of grains poikilitically enclosing graphite. Furthermore, djerfischerite and native copper have been found. Native Cu is associated with sphalerite rims or occurs in cracks in schreibersite. It is difficult to resolve whether native copper is here a primary mineral phase.

Occasionally, rare altaite (PbTe) has been confimed within the nodules, mainly at borders with cohenite-schreibersite rims. Altaite is situated usually in the discontinuity zone between troilite and the schreibersite rim, com-

Rzadkim minerałem w nodulach jest ałtait (PbTe); występuje głównie na granicach otoczek cohenitowo-schreibersytowych. Ałtait znajduje się zazwyczaj w strefie rozgraniczającej troilit i obwódkę schreibersytową, składającej się z mieszaniny skataklazowanego troilitu i grafitu z drobnymi ziarenkami schreibersytu. Stwierdzono go też w małych ziarenkach w kamacycie, razem ze schreibersytem i sfalerytem. Poza nodulami ałtait występuje w wielofazowych mikroinkluzjach zawierających sfaleryt, ałtait i tetrataenit, tkwiących w kamacycie. Ałtait odnotowano wcześniej, oprócz Moraska, tylko w jednym meteorycie żelaznym – Egvekinot (Plyashkhevich i in. 1980).

posed of a cataclased mixture of troilite and graphite with tiny grains of schreibersite. Altaite was found also in small grains in kamacite together with schreibersite and sphalerite. Outside the nodules, altaite forms polyphase microinclusions, together with sphalerite and schreibersite, enclosed in kamacite. Altaite has been reported, apart from Morasko, from only one iron meteorite – Egvekinot (Plyashkhevich *et al.* 1980).

Fazy wietrzeniowe

Fragmenty badanych meteorytów wykazują różny stopień zwietrzenia (patrz rozdział 9), uzależniony od charakteru osadu czy gleby, w których zostały znalezione. W wyniku procesów wietrzenia tworzą się różne fazy wtórne, zawierające głównie wzbogacone w nikiel wodorotlenki żelaza i nietrwałe chloryty, siarczany, fosforany i węglany. Lokalnie w wodorotlenkach zostały znalezione mikroagregaty fazy metalicznej bogatej w nikiel, zawierające do 5% germanu (Karwowski, Gurdziel 2009).

Weathering phases

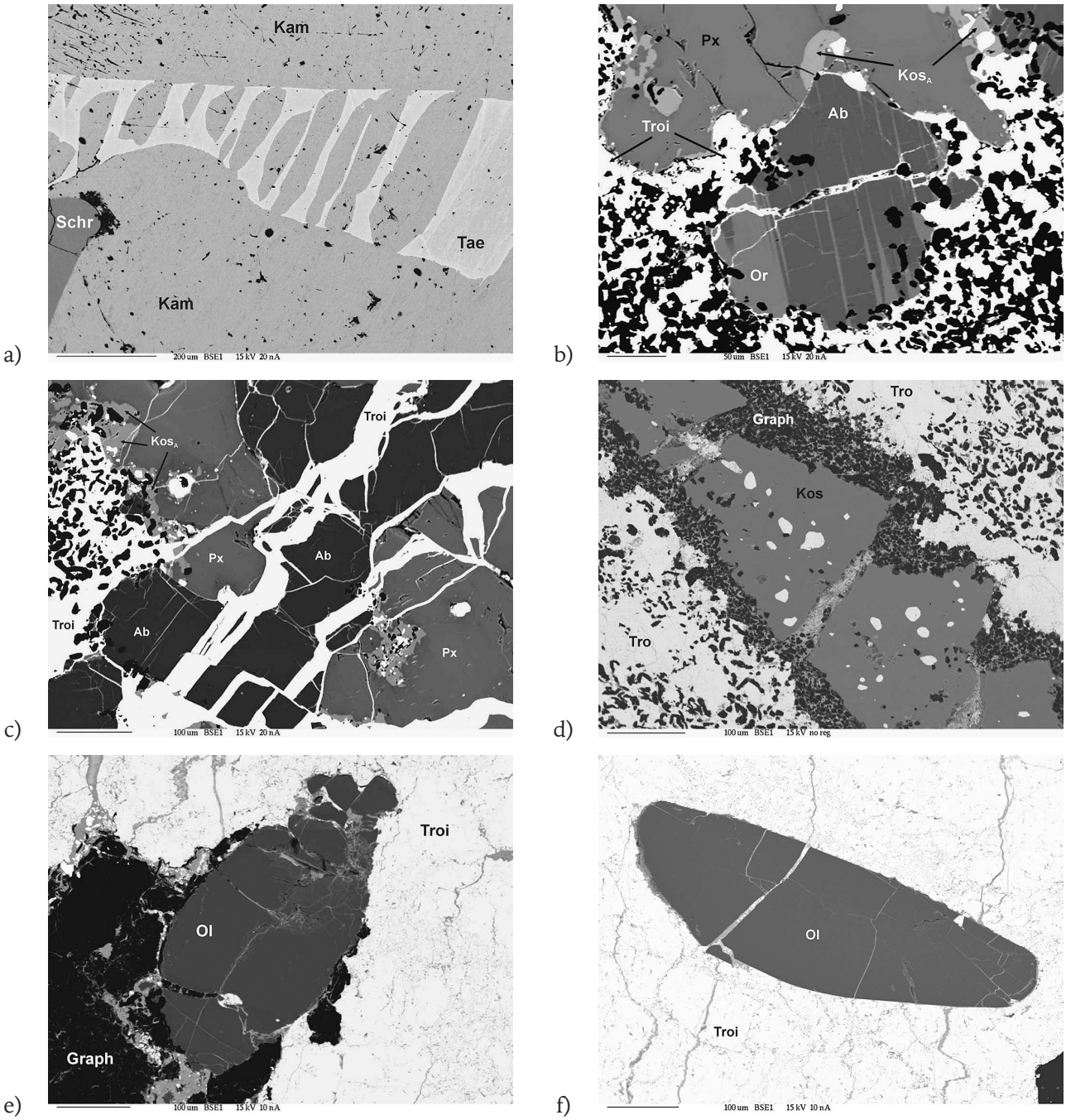
The meteorite fragments show various degrees of weathering (see chapter 9, this volume), often depending on the surrounding sediment where they have been found. The weathering resulted in the formation of a range of secondary phases, including mainly Ni-bearing iron hydroxides, unstable chlorites, sulphates, phosphates and carbonates. Locally, within hydroxides, microaggregates of Ni-rich metal phase, containing up to 5% Ge are found (Karwowski and Gurdziel 2009).

Konkluzja

Czy istnieją różnice w składzie mineralnym nodul między trzema badanymi meteorytami: Morasko, Przełazy i Jankowo Dolne? Na to pytanie nie można odpowiedzieć jednoznacznie, choć dostępne dane potwierdzają wielkie podobieństwo nodul w Morasku i Przełazach: podobną morfologię, skład mineralny (grafit, troilit, daubreelit, ałtait, chromit i krzemiany), a także praktycznie identyczne składy chemiczne faz mineralnych. Ponadto skład chemiczny trzech żelaznych meteorytów jest podobny i dość specyficzny, wskazujący na ich genetyczne pokrewieństwo (patrz rozdział 4).

Conclusion

Are there differences in mineral composition of the nodules between the three meteorites studied, viz. Morasko, (Przełazy) Seeläsgen and Jankowo Dolne? This question cannot be answered unequivocally, although the available data confirm the strong similarity of the nodules in Morasko and Seeläsgen: similar morphology of the nodules, their mineral composition, comprising graphite, troilite, daubreelite, altaite, chromite and silicates, as well as practically identical chemical compositions of the mineral phases. Furthermore, the bulk chemical compositions of the three irons are similar and fairly specific, strongly indicating their genetic relations (see chapter 4).

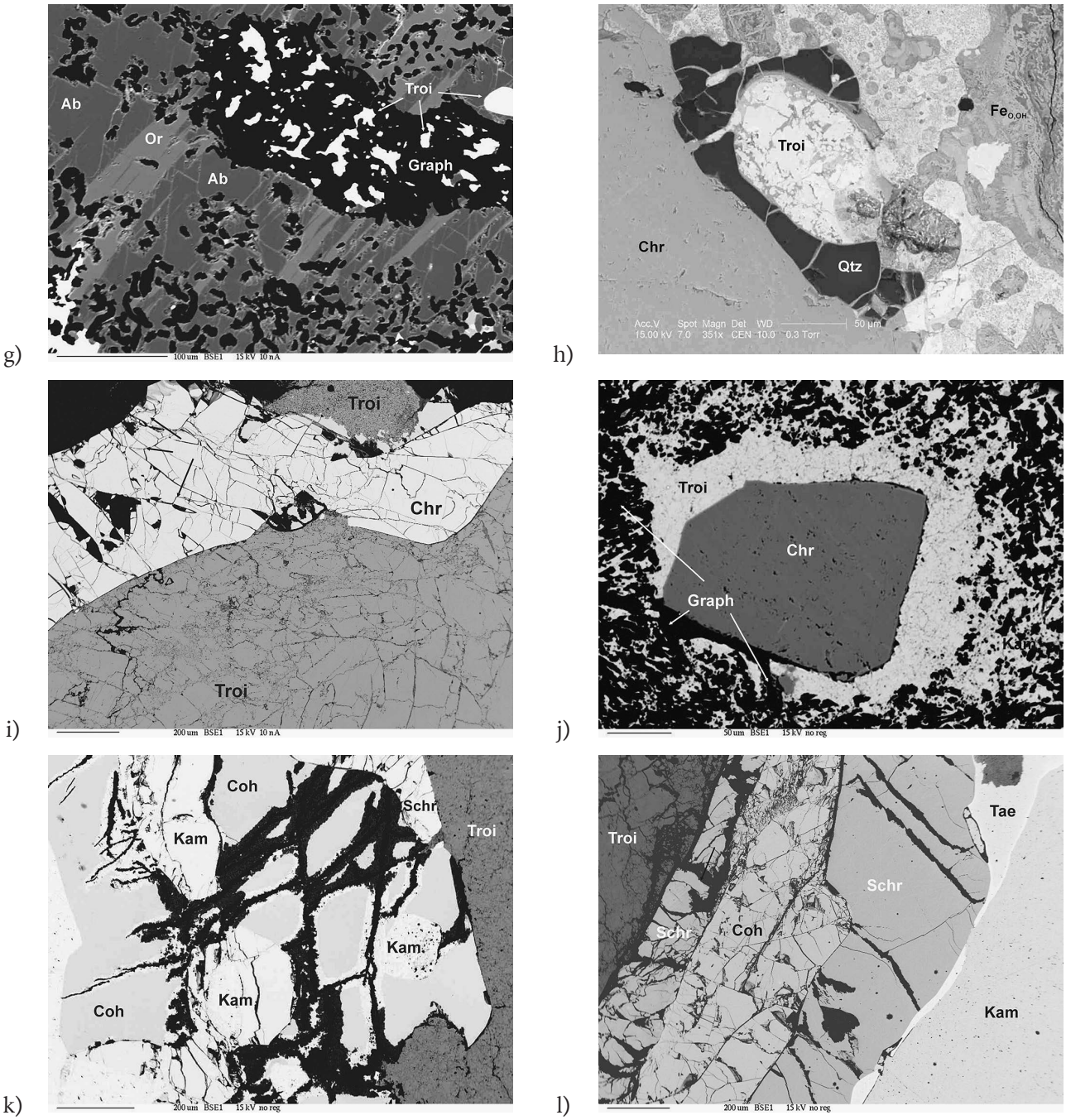


Ryc. 5. Minerały meteorytu Morasko w obrazach elektronów wstecznie rozproszonych (BSE)

a) Wydzielenia taenitu (Tae) w kamacycie (Kam), Schr – schreibersyt; b) Piroksen (enstatyt, Px) zastępowany na brzegach przez kosmochlor-augit (Kos_A), na środku – ziarno skalenia, Ab – albit, Or – skaleń potasowy, Troi – troilit; c) Pirokseny – enstatyt (Px) i kosmochlor-augit (Kos_A), duże wydzielenie albitu (Ab). Troi – troilit, czarne skupienia – grafit; d) Spękane ziarno kosmochloru (Kos)w otoczeniu troilitu (Tro) i grafitu (Graph), wewnątrz kosmochloru – wrostki troilitu; e) Spękane ziarno oliwinu na granicy troilitu (Troi) i grafitu (Graph), szare żyłki – wodorotlenki żelaza; f) Ziarno oliwinu (Ol) w troilicie (Troi) w noduli troilitowo-grafitowej.

Fig. 5. Mineral components of the Morasko meteorite in back-scattered electron (BSE) images.

a) Segregations of taenite (Tae) in kamacite (Kam), Schr – schreibersite; b) Pyroxene (enstatite, Px) replaced at margins by kosmochlor-augite (Kos_A), in the centre – feldspar grain, Ab – albite, Or – K-feldspar, Troi – troilite; c) Pyroxene (enstatite, Px) and kosmochlor-augite (Kos_A), large grains of albite (Ab), Troi – troilite, black – graphite; d) Cracked grain of kosmochlor (Kos) eclosed in troilite (Tro) and graphite (Graph), inside kosmochlor – troilite inclusions; e) Cracked grain of olivine between troilite (Troi) and graphite (Graph), grey veins – iron hydroxides; f) Olivine grain (Ol) in troilite (Troi) in troilite-graphite nodule.

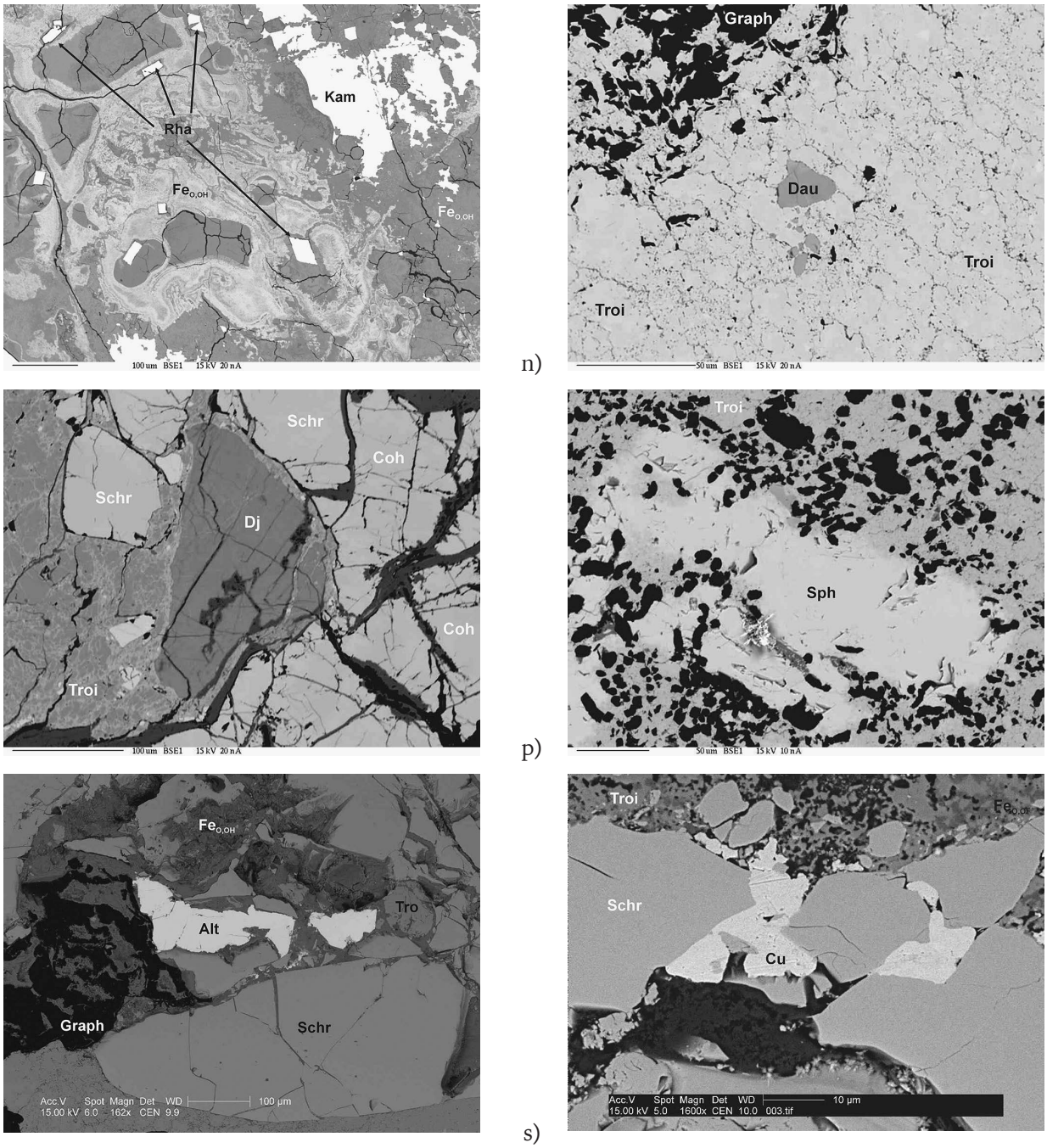


Ryc. 5. cd.

g) Skaleń z równoległymi wydzieleniami albitu (Ab) i skalenia potasowego (Or), grafit – Graph i troilit – Troi; h) Kwarc (Qtz) na granicy chromitu (Chr) i troilitu (Troi), troilit zastępowany przez wodorotlenki żelaza ($Fe_{O,OH}$), wnętrze noduli grafitowo-troilitowej; i) Chromit (Chr) w noduli grafitowo-troilitowej, Troi – troilit, czarny – grafit; j) Hipautomorficzne ziarno chromitu (Chr) w troilicie (Troi), troilit przerasta się z grafitem (Graph); k) Brzeg noduli troilitowej, Coh – cohenit, Schr – schreibersyt, Troi – troilit, Kam – kamacyt; l) Brzeg noduli troilitowo-grafitowej, Troi – troilit, skupienia schreibersytu (Schr) i cohenitu (Coh) wokół noduli, na zewnątrz – taenit (Tae) i kamacyt (Kam).

Fig. 5. cont.

g) Feldspar with parallel segregations of albite (Ab) and K-feldspar (Or), graphite – Graph and troilite – Troi; h) Quartz (Qtz) between chromite (Chr) and troilite (Troi), troilite replaced by iron hydroxides ($Fe_{O,OH}$), interior of a graphite-troilite nodule; i) Chromite (Chr) in a graphite-troilite nodule, Troi – troilite, black – graphite; j) Hypautomorphic grain of chromite (Chr) in troilite (Troi), troilite intergrown with graphite (Graph); k) Margin of a graphite-troilite nodule, Coh – cohenite, Schr – schreibersite, Troi – troilite, Kam – kamacite; l) Margin of a graphite-troilite nodule, Troi – troilite, aggregate of schreibersite (Schr) and cohenite (Coh) around the nodule, further outside – taenite (Tae) and kamacite (Kam).



Ryc. 5. cd.

m) Rhabdyt (Rha) – odmiana schreibersytu w masie wodorotlenków żelaza ($Fe_{O,OH}$) o zróżnicowanym stopniu uwodnienia. Po prawej – relikt kamacytu (Kam); n) Daubreelit (Dau) w obrębie troilitu (Troi), Graph – grafit; o) Djerfischeryt (Dj) pomiędzy ziarnami schreibersytu (Schr), cohenitu (Coh) i troilitu (Troi). W obrębie troilitu widoczne drobne żyłki pentlandytu (jaśniejsze), ciemne żyłki – wodorotlenki żelaza; p) Sfaleryt (Sph) w troilicie (Troi), wnętrze noduli troilitowo-grafitowej, czarny – grafit; r) Ałtait (Alt) na brzegu noduli troilotowo-grafitowej, Schr – schreibersyt, Tro – troilit, Graph – grafit, $Fe_{O,OH}$ – wodorotlenki żelaza; s) Miedź rodzima (Cu) pomiędzy ziarnami schreibersytu (Schr), Troi – troilit).

Fig. 5. cont.

m) Rhabdite (Rha), a variety of schreibersite, eclosed in iron hydroxides of various water contents ($Fe_{O,OH}$), to the right – relic of kamacite (Kam); n) Daubreelite (Dau) within troilite (Troi), Graph – graphite; o) Djerfischerite (Dj) among schreibersite (Schr), cohenite (Coh) and troilite (Troi), within troilite, fine veins of pentlandite are visible (brighter), dark veins – iron hydroxides; p) Sphalerite (Sph) in troilite (Troi), interior of a graphite-troilite nodule, black – graphite; r) Altaite (Alt) at a margin of a graphite-troilite nodule, Schr – schreibersite, Tro – troilite, Graph – graphite, $Fe_{O,OH}$ – iron hydroxides; s) Native copper (Cu) among schreibersite grains (Schr), Troi – troilite.

6.

Spektroskopia Ramana w badaniach wybranych minerałów meteorytu Morasko

Raman spectroscopy investigations of selected minerals in the Morasko meteorite

Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski), Katarzyna Helios (Politechnika Wrocławska), Łukasz Karwowski (Uniwersytet Śląski), Andrzej Muszyński (UAM, Poznań), Piotr Drożdżewski (Politechnika Wrocławska)

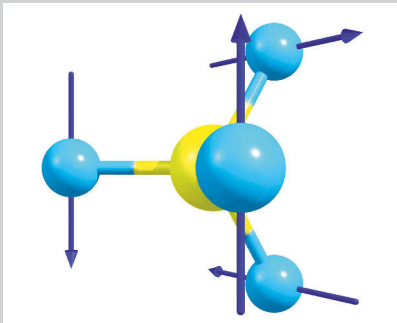
Wprowadzenie

Spektroskopia Ramana (RS) jest użyteczną metodą instrumentalną badań fazowych (patrz okienko), stosowaną coraz szerzej w mineralogii i petrologii. Technika mikroramanowska może być również z powodzeniem wykorzystywana w mineralogicznych badaniach meteorytów. W naszych badaniach użyto jej do identyfikacji szeregu faz mineralnych w meteorycie żelaznym Morasko, a zwłaszcza tych z nodul troilitowo-grafitowych. Zebrane widma Ramana kilku faz mineralnych porównano z odpo-

Introduction

Raman spectroscopy (RS) is a useful instrumental method of phase investigations (see attached box), having become widely applied in mineralogy and petrology. The micro-Raman technique can also be applied in mineralogical studies of meteorites. We have used this method to study a range of mineral phases in the Morasko iron meteorite, in particular those from the troilite-graphite nodules. The Raman spectra of several mineral phases were compared with corresponding measurements of terrestri-

Spektroskopia Ramana jest metodą opartą na rozproszeniu promieniowania przez oscylujące cząsteczki. Zastosowanie połączonych metod mikroskopii i spektroskopii Ramana stanowi nowoczesne i bardzo efektywne narzędzie do badania minerałów. Dostarcza nowych informacji o charakterze wiązań chemicznych i oddziaływaniach międzycząsteczkowych, umożliwia identyfikację minerałów. Badania te są nieniszczące, a duża czułość i wykorzystanie precyzyjnego układu pomiarowego pozwalają na wykonanie analizy z bardzo małego, wybranego fragmentu powierzchni próbki, rzędu ~1 μm^2.



Drgania zginające w grupie PO_4^{3-}
Bending of PO_4^{3-} group

Raman spectroscopy (RS) is a method based on the analysis of radiation dispersed by oscillating molecules. The application of combined methods of microscopy and Raman spectroscopy is an advanced and very effective tool in mineralogical studies. It provides information about the type of chemical bonds and interactions between molecules, and enables identification of minerals. RS is a non-destructive method where the high sensitivity and precise detector system allow analysis of a very small area of the sample surface (~1 μm^2).

wiednimi pomiarami dla minerałów ziemskich i użyto do szybkiej identyfikacji faz mineralnych we fragmentach meteorytów, które nie były wcześniej szczegółowo badane, np. za pomocą mikrosondy elektronowej (EMP). Omówiono też możliwe zależności pomiędzy pewnymi cechami strukturalnymi a koncentracją domieszek chemicznych w minerałach o zmiennym składzie chemicznym (np. w piroksenach i fosforanach). Wysnuto pewne wnioski co do struktury poszczególnych minerałów, np. średniej wielkości krystalitów w badanych minerałach.

W pracy przedstawiono przykładowe widma Ramana wybranych faz meteorytu Morasko i omówiono pokrótce najważniejsze wyniki badań. Pełniejsze dane zawarte są w osobnych publikacjach, poświęconych krzemianom i tlenkom (Karwowski i in. 2013a) oraz fosforanom (Karwowski i in. 2009a, 2013d).

Metody

Pomiary RS były poprzedzone szczegółowymi badaniami przy użyciu mikroskopu optycznego i mikrosondy elektronowej (patrz rozdział 5). Widma Ramana zostały zebrane w Laboratorium Materiałów Nanotechnologii Sol-Gel Dolnośląskiego Centrum Zaawansowanych Technologii Politechniki Wrocławskiej. Widma o rozdzielczości 2,0 cm^{-1} otrzymano w mikrospektrometrze Horiba Jobin Yvon HR800 wyposażonym w mikroskop optyczny (z obiektywami 50× i 100×) oraz laser He-Ne (632,8 nm). Użyte obiektywy dały skondensowaną wiązkę lasera o średnicy około 1 μm na płaszczyźnie fokalnej.

Kamacytowe matriks meteorytu Morasko zawiera dość liczne nodule troilitowo-grafitowe do kilku centymetrów średnicy, z bogactwem minerałów akcesorycznych, takich jak piroksen, oliwiny, skalenie, tlenki, siarczki i in. Małe rozmiary tych ziaren mineralnych faworyzują technikę spektroskopii mikroramanowskiej jako wygodną do ich identyfikacji. Zebrane z nich widma zostały porównane z opublikowanymi wcześniej widmami dla minerałów ziemskich. Na koniec, jako rodzaj testu, zmierzono widal minerals and used for rapid identification of the phases in meteorite fragments that had not been analyzed earlier, e.g. by using the electron microprobe (EMP). We also discuss possible relationships between some structural features and chemical admixtures of minerals with variable chemical composition (e.g. in pyroxenes and phosphates). Some structural conclusions concerning particular minerals, such as the solid state form or average crystallite size, were also drawn from the measured spectra.

Here we present Raman spectra of selected mineral phases of the Morasko iron and briefly discuss the most important results of our studies. More extended data from these investigations are reported in separate publications, devoted to silicates and oxides (Karwowski *et al.* 2013a), and to phosphates (Karwowski *et al.* 2009a, 2013d).

Methods

Prior to the RS measurements, detailed optical-microscopy and electron-microprobe investigations were performed (see chapter 5). The Raman spectra were collected in the Sol-Gel Nanotechnology Materials Laboratory of Lower Silesian Centre for Advanced Technologies at Wrocław University of Technology. Spectra of 2.0 cm^{-1} resolution were recorded on a Horiba Jobin Yvon HR800 dispersive confocal micro-Raman spectrometer equipped with microscope (50× and 100× objective lenses) and a He-Ne laser (632.8 nm). The objectives used provided a condensed laser beam of about 1 μm in diameter on the focal plane.

The kamacite matrix of the Morasko iron contains common oval troilite-graphite nodules, up to several centimetres in size, with many accessory minerals, such as pyroxenes, olivines, feldspars, oxides, sulfides and others. The small size of these mineral grains favours the use of micro-Raman spectroscopy in their identification. The spectra were compared with those published for respective terrestial minerals. Finally, as a test, the Raman spec-

ma Ramana w dwóch wybranych przypadkowo obszarach nodul i wykorzystano je do szybkiej identyfikacji oraz sprawdzenia powtarzalności spektralnej tego samego minerału zlokalizowanego w różnych obszarach nodul.

tra of two randomly chosen nodule areas were measured and used for rapid mineral identification and for checking the spectral repeatability of the same mineral located in different nodule areas.

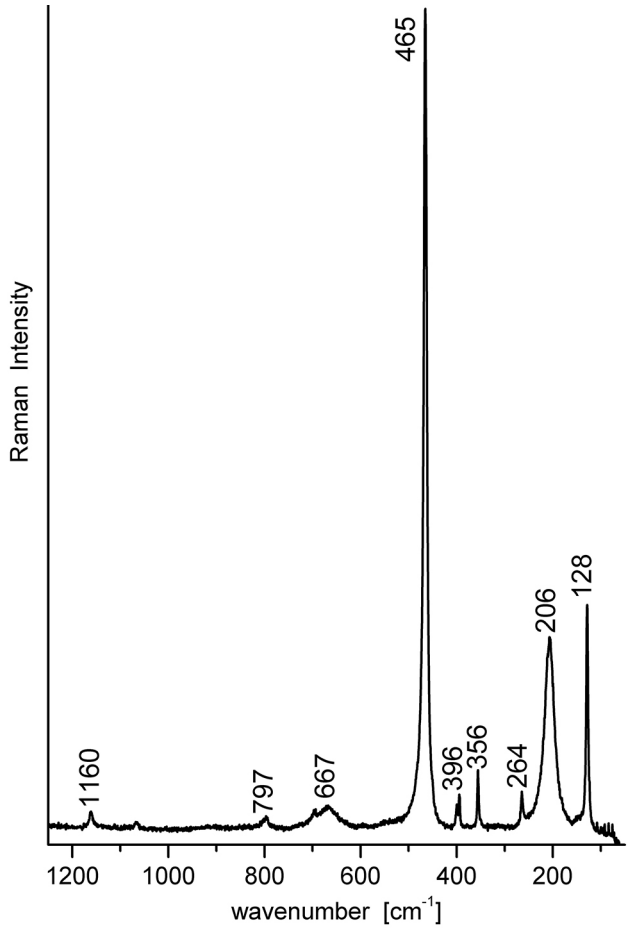
Wyniki

Faza mineralna **SiO_2** jest spotykana w Morasku jako małe (100–200 μm) ziarenka stowarzyszone z troilitem i grafitem. Analiza EMP wskazuje na niemal czysty SiO_2. Jednakże trudno jest określić, z jaką fazą SiO_2 mamy do czynienia, nawet dysponując obserwacjami z mikroskopu optycznego czy danymi z mikrosondy elektronowej; w szczególności czy jest to pospolity w warunkach ziemskich niskotemperaturowy α-kwarc, czy jedna z wysokotemperaturowych modyfikacji – trydymit lub krystobalit. Jest to doskonały przykład, jak RS może dopomóc w jednoznacznej identyfikacji odmian polimorficznych minerałów, które są niełatwe (jeśli w ogóle możliwe) do oznaczenia za pomocą innych konwencjonalnych metod. Widma zmierzone dla ziaren SiO_2 w meteorycie Morasko demonstrują obecność fazy α-kwarc (ryc. 1).

Ziarna **skaleni** zbadane za pomocą EMP i RS są prawie czystym **albitem**, z podrzędną domieszką składnika ortoklazowego. Najbardziej wyraźne pasma 510

Results

An **SiO_2** phase is found as rare, small (100–200 μm) grains associated with troilite and graphite. EMP analysis shows a nearly pure SiO_2 composition. However, it is very difficult to identify which SiO_2 phase it is, based on optical-microscopy and EMP data, and in particular whether it is the low-temperature α-quartz or a high-temperature modifications, tridymite or cristobalite. This is a good example of how RS can help to identify, unequivocally, a mineral polymorph which otherwise is difficult (if at all possible) using other conventional methods. The spectra measured for Morasko SiO_2 grains and shown in Fig. 1 demonstrates the presence of α-quartz phase.



Ryc. 1. Widmo Ramana kwarcu z meteorytu Morasko
Fig. 1. The Raman spectrum of Morasko iron quartz.

Feldspar grains measured by EMP and RS are almost pure **albite**, with minor admixtures of an orthoclase component. The most prominent bands at 510 and 479 cm^{-1} are typical of terrestrial Na-feldspars reported in the literature (see Karwowski *et al.* 2013d, and refs. therein).

Olivine is a rare silicate in the troilite-graphite nodules.

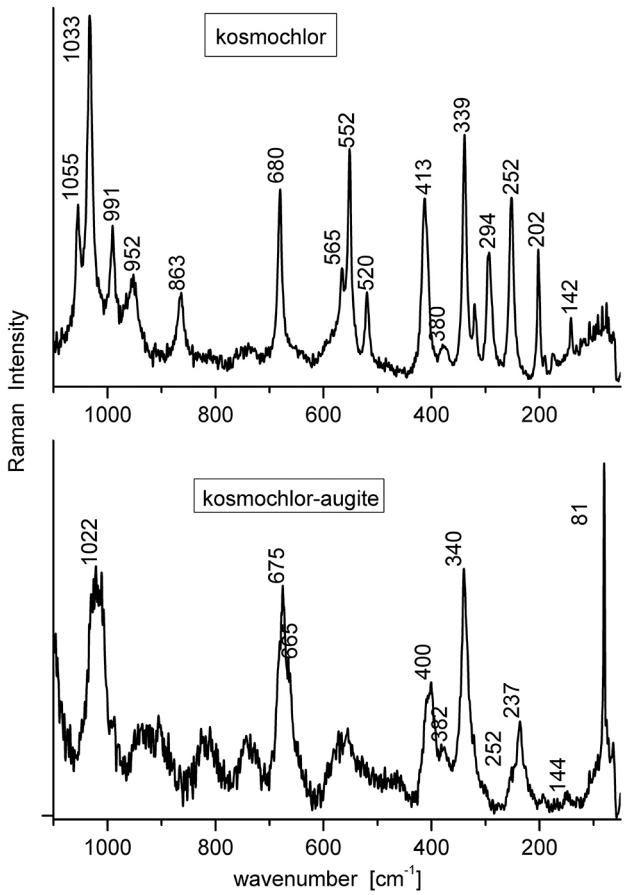
i 479 cm^{-1} są typowe dla ziemskich skaleni sodowych, opisywanych w literaturze (patrz cytowania w Karwowski i in. 2013d).

Oliwin jest krzemianem rzadko spotykanym w nodulach troilitowo-grafitowych. Jego widma Ramana wykazują dwa maksima – 856 i 824 cm^{-1} – których pozycja jest dokładnie taka, jak podawana dla syntetycznego Mg-oliwinu – forsterytu. To dobrze koresponduje ze składem oliwinu Moraska, który zawiera ~95% mol. członu magnezowego.

Spektroskopia Ramana okazała się także bardzo efektywną metodą w naszych badaniach Na-Cr klinopiroksenów: **kosmochloru** i **kosmochlor-augitu**. Widma obu typów piroksenów są wyraźnie odmienne (ryc. 2) i odzwierciedlają różnice chemiczne pomiędzy tymi fazami (Karwowski i in. 2013a).

Chromit z nodul meteorytu Morasko zawiera, oprócz dominujących Cr_2O_3 i FeO, znaczne domieszki ZnO i MnO. Najbardziej intensywne pasmo 683 cm^{-1} (ryc. 3) jest typowe dla tego minerału i jest efektem wibracji oktaedru CrO_6.

Technika RS okazała się bardzo skuteczna w naszych badaniach kilku różnych minerałów z grupy **fosforanów** odkrytych w meteorycie Morasko, takich jak apatyt, buchwaldyt $NaCaPO_4$, brianit $Na_2CaMg(PO_4)_2$, merrillit $Ca_{18}Na_2Mg_2(PO_4)_{14}$, oraz nowych faz fosforanowych (patrz wstępne dane w pracy Karwowskiego i in. 2009a). Warto



Ryc. 2. Widma Ramana kosmochloru i kosmochlor-augitu

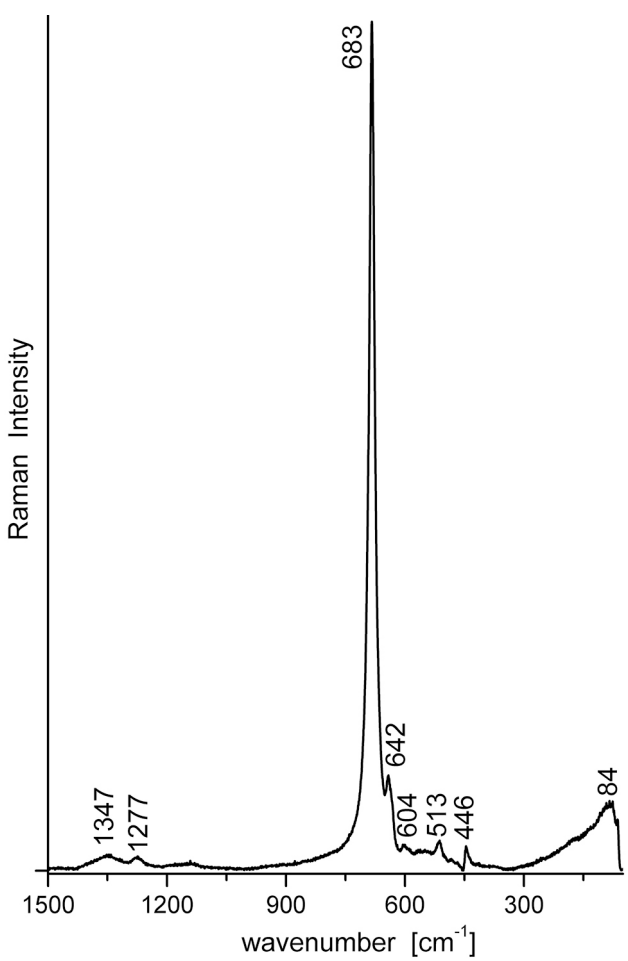
Fig. 2. The Raman spectra of kosmochlor and kosmochlor-augite.

Its Raman spectra display two maxima at 856 and 824 cm^{-1}, positions exactly the same as those reported for synthetic Mg olivine, forsterite. This result is in line with the measured composition of the Morasko olivine of ~0.95 mol. % Fo.

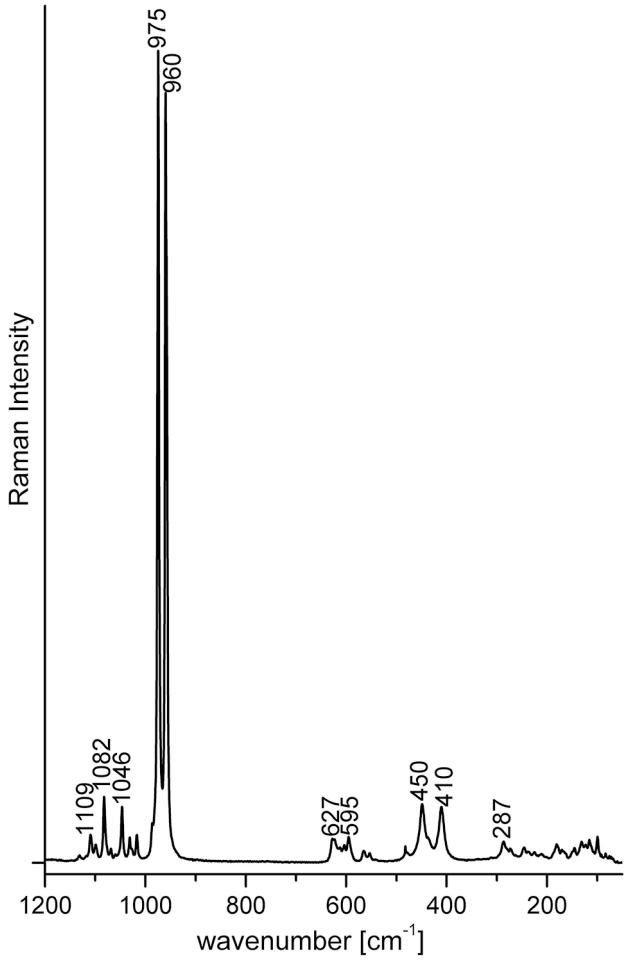
RS appeared also to be a very effective method in our study of specific, Na-Cr-rich clinopyroxenes: **kosmochlor** and **kosmochlor-augite**. The spectra of both pyroxenes are considerably different (Fig. 2) and reflect chemical differences between the two phases (Karwowski *et al.* 2013a).

Chromite from the Morasko nodules contains, apart from dominant Cr_2O_3 and FeO, significant admixtures of ZnO and MnO. The most intense band at 683 cm^{-1} (Fig. 3) is typical of this mineral and results from vibrations of CrO_6 octahedra.

The RS technique has also proved to be efficient in our study of a group of several various **phosphates** discovered in the Morasko iron: apatite, buchwaldite $NaCaPO_4$, brianite $Na_2CaMg(PO_4)_2$, merrillite $Ca_{18}Na_2Mg_2(PO_4)_{14}$, and new phosphate phases (see preliminary data in Karwowski *et al.* 2009a). It is worth noting that the spectra of brianite and new phosphate have never been published before in the mineralogical literature. The spectra of particular phosphates differ considerably, reflecting their diverse chemical compositions. RS provides a useful tool



Ryc. 3. Widmo Ramana chromitu
Fig. 3. The Raman spectrum of chromite.



Ryc. 4. Widmo Ramana apatytu
Fig. 4. The Raman spectrum of apatite.

zauważyć, że widma brianitu i nowego fosforanu nigdy wcześniej nie były publikowane w literaturze geologicznej. Widma poszczególnych fosforanów różnią się znacząco, co odzwierciedla różnice w ich składzie chemicznym. RS dostarcza użytecznego narzędzia do rozpoznania złożonych cech krystalochemicznych tych dość niezwykłych minerałów. Pasma w zakresie 1047–1011 cm^{-1} i 988–960 cm^{-1} są interpretowane jako korespondujące, odpowiednio, z asymetrycznymi i symetrycznymi ν(OPO) drganiami rozciągającymi, natomiast pasma w zakresie 628–565 cm^{-1} i 453–410 cm^{-1} – z drganiami zginającymi δ(OPO) (ryc. 4). Typowe dla grupy PO_4^{3-} pasma 1017, 938, 567 i 420 cm^{-1} są rozdzielone i nieco przesunięte w kierunku wyższych liczb falowych, jako wynik oddziaływań międzycząsteczkowych oraz efektów pola

to study the complex crystallochemical features of these unusual minerals. Bands within the ranges 1047–1011 cm^{-1} and 988–960 cm^{-1} are interpreted as corresponding, respectively, to asymmetric and symmetric ν(OPO) stretching vibrations, whereas bands within 628–565 cm^{-1} and 453–410 cm^{-1} are interpreted to be bending δ(OPO) vibrations (Fig. 4). The typical PO_4^{3-} group bands at 1017, 938, 567 and 420 cm^{-1} show splitting and shifting to slightly higher wave numbers, as a result of intermolecular interactions and crystal field effects in these materials (Karwowski *et al.* 2009a).

Summing up, our micro-Raman spectroscopy studies have confirmed their applicability and high efficiency in detailed mineralogical studies of meteorites, e.g. in crystallochemical investigations of complex mineral phases, such

krystalicznego w tych minerałach (Karwowski i in. 2009a).

Podsumowując, chcemy podkreślić, że wykonane przez nas badania metodą RS potwierdziły możliwości jej zastosowania oraz wysoką efektywność w szczegółowych badaniach mineralogicznych meteorytów, np. w badaniach krystalochemicznych złożonych faz mineralnych, takich jak pirokseny i fosforany, jak również do szybkiej i wiarygodnej identyfikacji minerałów i ich odmian polimorficznych, zwłaszcza występujących jako małe inkluzje (np. odmian polimorficznych SiO_2).

as pyroxenes and phosphates, as well as in rapid and reliable identification of minerals and their polymorphs, especially those present as small inclusions (e.g. SiO_2 polymorphs).

7.

Badania izotopowe wybranych minerałów meteorytu Morasko: wstępne wyniki

Isotopic studies of selected minerals from the Morasko iron: preliminary data

Andreas Pack (Universität Göttingen), Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski), Łukasz Karwowski (Uniwersytet Śląski), Andrzej Muszyński (UAM, Poznań), Ewa Słaby (Uniwersytet Warszawski), Michael Raith (Universität Bonn), Rafał Jakieła (Instytut Fizyki PAN, Warszawa)

Wstęp

Charakterystyki izotopowe meteorytów i budujących je faz mineralnych, obok ich składów chemicznych, dostarczają użytecznych danych do interpretacji zarówno ich genezy (np. określenie ich ciał macierzystych), jak i procesów petrogenetycznych podczas ich ewolucji. W ramach naszego projektu badawczego „Morasko" wykonaliśmy rekonesansowe badania izotopów tlenu w wybranych minerałach oraz – niezależnie – wstępnych oznaczeń izotopów ołowiu w akcesorycznym ałtaicie (PbTe). Szczegółowe wyniki tych badań są przedmiotem odrębnych publikacji (Pack i in. 2013, Karwowski i in. 2013e). W tym krótkim opracowaniu przedstawiamy jedynie przegląd najważniejszych wyników i omawiamy pewne implikacje dla interpretacji genezy tego typu meteorytów żelaznych.

Introduction

Isotopic characteristics of meteorites and of their mineral phases, along with chemical compositions, provide data which are useful in revealing their origin (e.g. designation of likely parent bodies), and petrogenetic processes on their evolutionary path. Within our "Morasko" research project, we have performed reconnaissance investigations of oxygen isotopes in selected minerals, and preliminary measurements of lead isotopes in accessory altaite (PbTe). The more detailed results of these studies are published in separate papers (Pack *et al.* 2013, Karwowski *et al.* 2013e). Here, we give only an overview of the basic results and discuss some implications for the interpretation of the origin of this type of iron meteorite.

Izotopy tlenu

Opierając się na wcześniejszych szczegółowych badaniach mineralogicznych (w tym badaniach metodą mikroskopii optycznej, mikrosondy elektronowej i spektroskopii Ramana – patrz rozdziały 5 i 6), wyselekcjonowaliśmy dwie fazy mineralne – enstatyt i chromit – do analizy izo-

Oxygen isotopes

Based on an earlier detailed mineralogical study (including optical microscopy, electron microprobe analysis and Raman spectroscopy; see Chapters 5 and 6 in this volume), we selected two mineral phases, enstatite and chromite, for oxygen isotopic analysis. These minerals form

Tlen to jeden z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków w układzie planetarnym. Skalny płaszcz Ziemi zawiera około 50% tlenu. Pierwiastek ten ma trzy stabilne, tj. nieradioaktywne, izotopy: ^{16}O, ^{17}O i ^{18}O. Od wczesnych lat 1950. pomiary stosunków izotopowych $^{18}O/^{16}O$ w skałach ziemskich dostarczyły ważnych informacji m.in. na temat klimatu w czasie setek milionów lat historii Ziemi. Informacje dotyczące temperatury wody otrzymuje się z bardzo precyzyjnych pomiarów (z dokładnością rzędu ± 0,01%) małych zmian w stosunku $^{18}O/^{16}O$ w skamieniałych skorupkach mięczaków.

W 1973 roku Clayton wraz ze swoim zespołem z Uniwersytetu w Chicago opublikowali dane na temat izotopów tlenu w meteorytach. Ekstrahowali oni tlen z meteorytów poprzez reakcję z agresywnymi związkami fluoru i byli w stanie zastąpić wiązania tlenowe w tlenkach i krzemianach gazową postacią cząsteczkowego O_2. Następnie analizowali stosunki izotopowe $^{18}O/^{16}O$ i $^{17}O/^{16}O$. Badania te zapoczątkowały duży postęp w wiedzy o meteorytach, czerpiącej wiele z wyników badań izotopowych.

Clayton z zespołem (patrz Pack i in. 2013) odkryli nieznane wcześniej anomalne zachowanie się ^{16}O w stosunku do pozostałych izotopów tlenu. Meteoryty wykazują silne wzbogacenie w ^{16}O, którego nie można było wyjaśnić żadnym znanym wówczas procesem powodującym zmiany stosunków izotopowych. Sformułowano wniosek, że materia meteorytowa doświadczyła przeobrażenia we Wczesnym Układzie Słonecznym, około 4,6 mld lat temu, które doprowadziło do anomalnych zachowań w układzie izotopów tlenu.

Izotopy tlenu są ważnym narzędziem do identyfikacji materii pozaziemskiej. Od wszystkich skał ziemskich meteoryty odróżniają się pewną anomalią tlenową, która w sposób jasny definiuje je jako obiekty pozaziemskie. Dlatego w obiektach podejrzewanych o pochodzenie pozaziemskie często mierzy się stosunki izotopowe $^{18}O/^{16}O$ i $^{17}O/^{16}O$. Przy zastosowaniu nowych technik, które używają laserów do wzbudzenia reakcji materiału meteorytowego z fluorem i uwolnienia O_2, zaledwie 1/1000 g lub mniej materiału wystarcza, by zidentyfikować i sklasyfikować dowolny meteoryt.

Oxygen is one of the most abundant elements in the Planetary System. The Earth's rocky mantle contains about 50% oxygen. Oxygen has three stable, i.e. non-radioactive, isotopes, ^{16}O, ^{17}O and ^{18}O. Since the early 50s of the 20th century, measurements of the ratios of $^{18}O/^{16}O$ in terrestrial rocks have provided a wealth of information, mainly about the climate in the past hundreds of million years of Earth history. Information about the water temperature is obtained by observing small variations in the $^{18}O/^{16}O$ ratios in fossil mollusc shells with a high precision in the range of ±0.01 percent.

In 1973, Clayton and his group at the University of Chicago published oxygen isotope data on meteorites. They extracted the oxygen from the meteorites by reaction with hazardous fluorine compounds and were able to convert the oxygen bond in oxides and silicates to gaseous molecular O_2. They not only analyzed the $^{18}O/^{16}O$ isotope ratio, but also studied the $^{17}O/^{16}O$ ratio. These studies initiated important progress in our knowledge of meteorites based on isotopic studies.

In meteorites, Clayton *et al.* (see Pack *et al.* 2013) discovered a so far unobserved anomalous behaviour of ^{16}O relative to the other oxygen isotopes. The meteorites showed a strong enrichment in ^{16}O that could not be explained by the then known processes that cause variations in isotope ratios. They concluded that meteoritic material has experienced a processing in the Early Solar System some 4.6 billion years ago that led to the observed anomalous behaviour in oxygen isotopes.

Oxygen isotopes are an important tool for the identification of extraterrestrial material. Unlike any rock from Earth, meteorites possess an anomaly in oxygen that clearly identifies them as extraterrestrial objects. Therefore, ratios of $^{18}O/^{16}O$ and $^{17}O/^{16}O$ are measured in any object that is suspected of being from outer space. With modern techniques that use lasers to enhance the reaction of the meteorite material with fluorine and the liberation of O_2, only 1/1000 g or less is required for the identification and classification of a meteorite.

topowej tlenu. Minerały te tworzą drobne inkluzje w obrębie nodul troilitowo-grafitowych meteorytu Morasko.

Nodule mają średnice do kilku centymetrów i są często osłonięte otoczką schreibersytu i cohenitu (ryc. 1). Oprócz tych faz w inkluzjach wy-

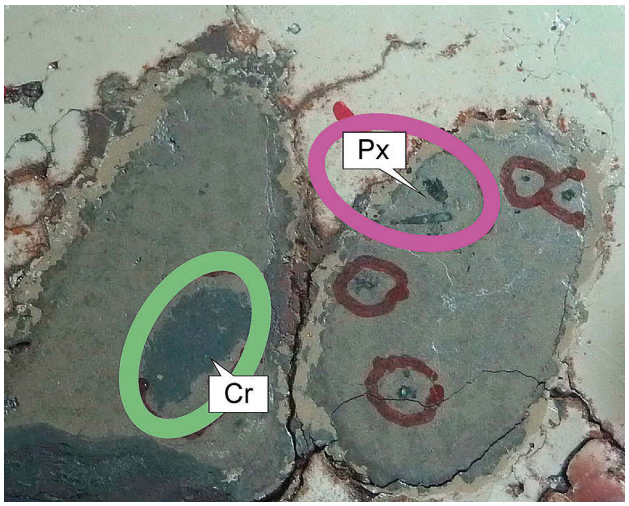
small inclusions within troilite-graphite nodules in the Morasko iron.

The nodules are up to several cm in diameter and often rimmed with schreibersite and cohenite (Fig. 1). Apart from these phases, the inclusions contain a range of other minerals,

stępuje szereg innych minerałów, np.: Na-Cr pirokseny, oliwin, skalenie, kwarc, sfaleryt, whitlockit, ałtait, daubreelit, kilka rozmaitych fosforanów (Karwowski, Muszyński 2006 i cytowane tam prace).

Enstatyt (ryc. 2A), zwykle stowarzyszony ze skaleniami lub fosforanami, nie jest zbyt częsty; bogate w Na-Cr pirokseny (kosmochlor i kosmochlor-augit) są bardziej rozpowszechnione w nodulach troilitowo-grafitowych. Enstatyt często zamyka liczne drobne wrostki troilitu i kwarcu. Zawiera 85–90% mol. En, sporą ilość Fs (9–14%) i podrzędną Wo (0,5–2%).

Chromit jest dość częsty, zwykle w towarzystwie krzemianów i fosforanów (ryc. 2B). Na ogół zawiera ~69% wag. Cr_2O_3, 16–19% wag. FeO i 5–8% wag. MgO. Inne istotne domieszki stanowią: ZnO (2,4–2,8% wag.) i MnO (1,0–2,2% wag.), a śladowo występują Fe^{3+}, Al, V i Ti. Trzeba jednak podkreślić, że spinel w meteorycie Morasko może mieć różny skład, np. różną zawartość Fe, Mg, Zn i Mn.



Ryc. 1. Nodule troilitowo-grafitowe w meteorycie Morasko. Zaznaczono położenie ziarn minerałów badanych izotopowo – Px = enstatyt, Cr = chromit
Fig. 1. Troilite-graphite nodules in the Morasko iron. The location of the mineral grains measured for oxygen isotopes is indicated: Px = enstatite, Cr = chromite.

e.g. Na-Cr pyroxenes, olivine, feldspars, quartz, sphalerite, whitlockite, altaite, daubreelite, and several different phosphates (Karwowski and Muszyński 2006, and refs. therein).

Enstatite (Fig. 2A), typically associated with feldspars or phosphates, is not very abundant; Cr-rich Na-Ca pyroxenes (kosmochlor and kosmochlor-augite) are more widespread in the troilite-graphite nodules. Enstatite often contains numerous small inclusions of troilite and quartz. It has 85–90 mol. % En, significant amounts of Fs (9–14%), and minor Wo (0.5–2%).

Chromite is fairly common, usually associated with silicates, quartz and phosphates (Fig. 2B). It usually contains ~69 wt. % Cr_2O_3, 16–19 wt. % FeO, and 5–8 wt. % MgO. Other considerable admixtures are ZnO (2.4–2.8 wt. %) and MnO (1.0–2.2 wt. %), and traces of Fe^{+3}, Al, V and Ti. However, the spinel in Morasko may vary considerably in its composition, e.g. in Fe, Mg, Zn and Mn contents.

Metody

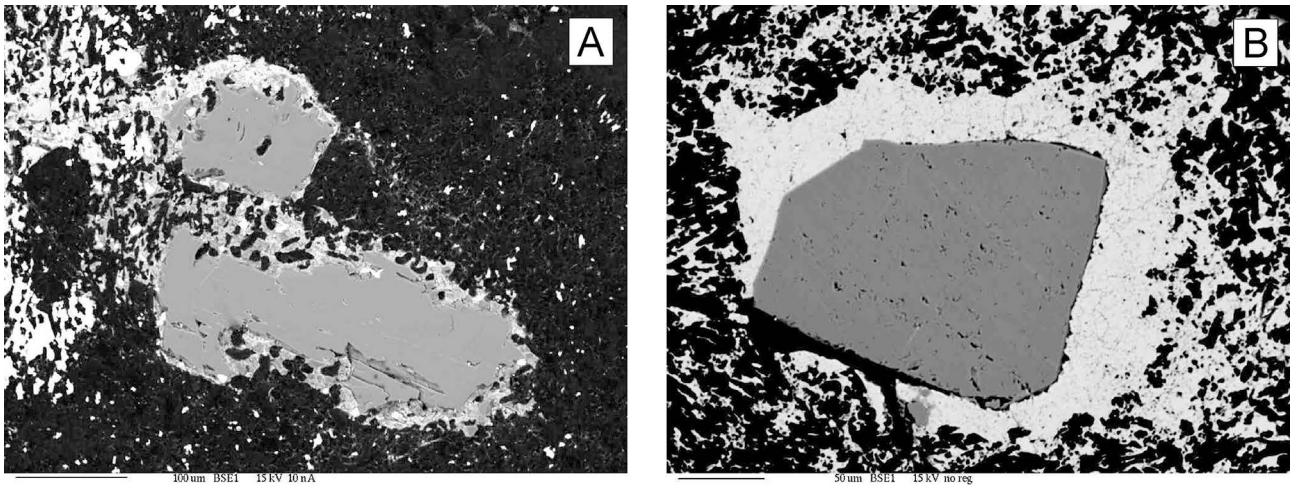
Po szczegółowych badaniach mineralogicznych (Karwowski i in. 2013b) wyselekcjonowano jedną próbkę zawierającą dwie nodule troilitowo-grafitowe do badań izotopowych tlenu (ryc. 1). Minerały z nodul (ok. 0,2 mg każda z próbek) były wydobyte przy użyciu mikrowiertarki.

Aby otrzymać pożądaną informację o frakcjonacji izotopowej pomiędzy krzemianami i tlenkami, dodatkowo przeanalizowano ziemską skałę wysokometamorficzną, w której minerały

Methods

After a detailed mineralogical study (Karwowski *et al.* 2013b), one specimen containing two troilite-graphite nodules has been selected for oxygen isotope studies (Fig. 1). The minerals from the nodules (about 0.2 mg samples) were drilled out of the slab using a micro-drill.

To obtain the necessary information about the isotope fractionation between silicates and oxides, we measured, additionally, a terrestrial high-grade metamorphic rock with minerals



Ryc. 2. Obrazy elektronowe BSE enstatytu i chromitu w meteorycie Morasko: A – dwa ziarna enstatytu, jedno z widoczną łupliwością; jasny – troilit, ciemny – grafit; B – subautomorficzny chromit w troilicie; ciemny – grafit

Fig. 2. BSE images of enstatite and chromite in the Morasko iron: A – two enstatite grains, one with cleavage visible; bright – troilite, black – graphite; B – subautomorphic chromite in troilite; black – graphite.

znajdują się w równowadze teksturalnej (skała magnetytowo-fajalitowo-kwarcowa z Indii).

Stosunki izotopowe $^{17}O/^{16}O$ i $^{18}O/^{16}O$ były mierzone metodą multikolektorowej gazowej spektrometrii masowej w gazowym O_2 uwolnionym podczas fluorynacji. Szczegóły analityczne można znaleźć w publikacji Pack i in. (2013 i cytowane tam prace).

that appear in textural equilibrium (a magnetite-fayalite-quartz rock from India).

The ratios of $^{17}O/^{16}O$ and $^{18}O/^{16}O$ have been determined by multicollector gas mass spectrometry on O_2 that was liberated by fluorination. Details of the technique have been described elsewhere (Pack *et al.* 2013, and refs. therein).

Wyniki i wnioski

Otrzymano dane izotopowe tlenu z dwóch ziaren enstatytu oraz czterech ziaren chromitu tworzącego jeden duży agregat. Enstatyt wykazuje $\delta^{18}O$ = 4,9‰ i $\Delta^{17}O$ = –0,50‰. Chromit wykazuje zróżnicowanie $\delta^{18}O$ między –7,4 a –5‰ oraz wartość $\Delta^{17}O$ –0,49‰.

Inkluzje krzemianów w meteorytach grupy IAB mają wartości $\delta^{18}O$ w przedziale 4,5–5,5‰, a $\Delta^{17}O$ w zakresie od –1,0 do –0,6‰. Uzyskane wyniki z Moraska są doskonale zgodne z danymi literaturowymi, wykazując $\Delta^{17}O$ bliskie górnego przedziału wartości podawanych dla IAB. Wartość $\delta^{18}O$ pomiędzy 3–5‰, z niewielkim deficytem lub nadmiarem ^{16}O (–1‰ ≤ $\Delta^{17}O$ ≤ 0,5‰), jest typowa dla dużych zdyferencjonowanych ciał Układu Słonecznego (Ziemia, Księżyc, Mars, Westa). Opierając się na tej obserwacji

Results and conclusions

We have obtained oxygen isotope data from 2 enstatite grains and from 4 chromite grains within a large aggregate. The enstatite has $\delta^{18}O$ = 4.9‰ and $\Delta^{17}O$ = –0.50‰. The chromite varies in $\delta^{18}O$ between –7.4 and –5 ‰ with a $\Delta^{17}O$ of –0.49‰.

Silicate inclusions in IAB iron meteorites have $\delta^{18}O$ values in the range 4.5 - 5.5‰ with $\Delta^{17}O$ falling in the range –1.0 to –0.6‰. Our enstatite data are in excellent agreement with literature data, with our $\Delta^{17}O$ falling at the upper end of the range reported for IAB's in the literature. A $\delta^{18}O$ value of 3–5‰ with small ^{16}O deficit or excess (–11‰ ≤ $\Delta^{17}O$ ≤ 0.5‰) is typical of large differentiated Solar System bodies (Earth, Moon, Mars, Vesta). Based on this observation and on the fact that IAB silicate inclu-

oraz na fakcie, że wrostki krzemianów w meteorytach IAB grupują się przy $\delta^{18}O = 5‰$, przyjmujemy, że wartość otrzymana dla enstatytu jest reprezentatywna dla krzemianowej części ciała macierzystego meteorytu Morasko.

$\Delta^{17}O$ dla chromitu Moraska jest identyczna, w zakresie błędu analitycznego, z $\Delta^{17}O$ dla enstatytu. Wskazuje to na pochodzenie z tego samego rezerwuaru tlenu oraz frakcjonowanie $\delta^{18}O$ na drodze zależnej od masy frakcjonacji. Niskie wartości $\delta^{18}O$ w chromicie można wyjaśnić poprzez zależną od masy ekwilibrację izotopową pomiędzy chromitem i enstatytem. Wskazują one na temperatury równowagi pomiędzy 500 a 730 K. Są to temperatury dużo niższe niż temperatury krystalizacji meteorytów żelaznych (~ 1200–1870 K) i sugerują, że chromit w meteorycie Morasko jest prawdopodobnie pochodzenia niemagmowego. Autorzy sugerują, że niska wartość $\delta^{18}O$ w chromicie z Moraska jest wynikiem jego tworzenia na drodze odmieszania się ze stałego metalu podczas późnej fazy chłodzenia ciała macierzystego (Pack i in. 2013).

sions cluster at $\delta^{18}O = 5‰$, we conclude that the value obtained on enstatite is representative of the silicate portion of the Morasko parent body.

The $\Delta^{17}O$ of chromite is, within analytical uncertainty, identical with the $\Delta^{17}O$ of Morasko enstatite. This indicates an origin from the same oxygen reservoir and fractionation in $\delta^{18}O$ by means of mass-dependent fractionation. The low $\delta^{18}O$ values of chromite may be explained by mass-dependent isotope equilibration between chromite and enstatite, and they point to equilibration temperatures between 500 and 730 K. Such temperatures are much lower than the crystallization temperatures of iron meteorites (~1200–1870 K) and suggest that chromite in Morasko is probably not of magmatic origin. We suggest that the low $\delta^{18}O$ of the Morasko chromite is a result of its formation by exsolution from the solid metal, during late cooling of the parent body (Pack *et al.* 2013).

Izotopy ołowiu w ałtaicie Moraska

Jeden z wątków naszego projektu badawczego poświęcony był wstępnym badaniom izotopowym zmierzającym do określenia stosunków izotopów ołowiu w ałtaicie z meteorytu Morasko. Wyniki tych badań mogą dostarczyć informacji na temat cech materii kosmicznej na wczesnym etapie ewolucji planetarnej w naszym Układzie Słonecznym.

Ałtait (PbTe) został wybrany do tych badań jako minerał bogaty w Pb, co gwarantuje wysoką precyzję pomiarów analitycznych. Ałtait jest rzadkim minerałem, ale w Morasku (drugie znane wystąpienie tego minerału w meteorytach) tworzy stosunkowo duże wydzielenia.

Nowe wyniki wstępnych badań izotopów Pb z Moraska są bardzo podobne do tych z wcześniejszych publikowanych doniesień z meteorytów żelaznych (w nawiasach podano wartości dla Canyon Diablo, wg Tatsumoto i in. 1973):

Lead isotopes in altaite from Morasko

Another isotopic project in our study of Morasko was aimed at the determination of Pb isotopes in altaite in the meteorite. The Pb isotopic ratios may provide information about the cosmic matter at the early stages of planetary evolution in the Solar System. Altaite (PbTe) was selected as a mineral rich in lead that ensures a high precision of the measurements.

Altaite is a rare mineral but in Morasko (the second known occurrence reported from meteorites), it forms relatively large segregations.

The new results of the Pb isotopes from Morasko are very similar to the values earlier reported for the Canyon Diablo iron (Tatsumoto *et al.* 1973) (in brackets: Canyon Diablo data):

Izotopy tlenu – wzory i definicje
Oxygen isotopes: formulas and definitions

Stosunki izotopowe tlenu ($^{17}O/^{16}O$, $^{18}O/^{16}O$) są wyrażone w formie zapisu δ:
Oxygen isotope ratios ($^{17}O/^{16}O$, $^{18}O/^{16}O$) are expressed in form of the δ-notation:

$$\delta^{17}O = \left(\frac{\left(\frac{^{17}O}{^{16}O}\right)_{sample}}{\left(\frac{^{17}O}{^{16}O}\right)_{VSMOW}} - 1 \right) \times 1000 \text{ (1)}, \qquad \delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{sample}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{VSMOW}} - 1 \right) \times 1000 \text{ (2)}$$

VSMOW = Vienna Standard Mean Ocean Water standard.

Postać liniowa zapisu d ($\delta'^{18}O$, $\delta'^{17}O$) jest zdefiniowana jako:
The linearized form of the d-notation ($\delta'^{18}O$, $\delta'^{17}O$) is defined as:

$$\delta'^{17}O = 1000 \ln\left(\frac{\delta^{17}O}{1000} + 1\right) \text{ (3)}, \quad \delta'^{18}O = 1000 \ln\left(\frac{\delta^{18}O}{1000} + 1\right) \text{ (4)}$$

Frakcjonowanie izotopów tlenu pomiędzy dwie fazy (A, B) jest określone przez α_{A-B} i θ_{A-B}
The oxygen isotope fractionation between two phases (A, B) is characterized by α_{A-B} and θ_{A-B}

$$\alpha_{A-B}^{17/16} = \left(\alpha_{A-B}^{18/16}\right)^{\theta_{A-B}} \text{ (5)}$$

Czynniki $\alpha_{A-B}^{17/16}$ i $\alpha_{A-B}^{18/16}$ to stosunki $^{17}O/^{16}O$ i $^{18}O/^{16}O$ w koegzystujących fazach. Wykładnik θ jest funkcją mechanizmu frakcjonowania faz A i B i w ogólności – temperatury. Wartość θ może się zmieniać między 0,5 i 0,53.
The factors $\alpha_{A-B}^{17/16}$ and $\alpha_{A-B}^{18/16}$ are the ratios of the $^{17}O/^{16}O$ and the $^{18}O/^{16}O$ of coexisting phases. The exponent θ is function of phases A and B, of the fractionation mechanism and, in general, of temperature. The value of θ can vary between 0.5 and 0.53.

Anomalie izotopów tlenu wyraża się poprzez $\Delta^{17}O$:
Oxygen isotope anomalies are expressed as $\Delta^{17}O$:

$$\Delta^{17}O_{RL}^{sample} = \delta'^{17}O_{VSMOW}^{sample} - \lambda_{RL}\delta'^{18}O_{VSMOW}^{sample} - \gamma_{RL} \text{ (8)}$$

Wszystkie próbki ziemskie mają $\Delta^{17}O = 0$. Odchylenia od zera w sposób oczywisty identyfikują obiekty pozaziemskie. (Szczegóły i źródła podane są w pracy Pack i in. 2013).
All samples from the Earth have a $\Delta^{17}O = 0$. Deviation from zero clearly identifies an object of not being from Earth. (For details and references, see Pack *et al.* 2013).

Pb206/204 = 9,607 (9,307),
Pb207/204 = 10,589 (10,294),
Pb 208/204 = 28,096 (29,474).

Trzeba podkreślić, że nasze dane są bardziej precyzyjne ze względu na to, że pomiary były wykonane w minerale o wysokiej koncentracji Pb.

Z drugiej strony, otrzymane stosunki izotopowe są kontrastowo odmienne od wartości podawanych dla współczesnych materiałów skorupy ziemskiej. Stosunki izotopów Pb w ałtaicie Moraska wskazują, że mamy tu do czynienia z próbką reprezentującą częściowo zdyferencjonowaną materię planetarną z wczesnego etapu jej ewolucji.

Pb206/204 = 9.607 (9.307)
Pb207/204 = 10.589 (10.294)
Pb 208/204 = 28.096 (29.474)

We should note that our results have higher precision, being obtained from a mineral of high Pb concentration.

On the other hand, these ratios are strikingly different from recent terrestrial values of Pb isotopes. The Pb ratios in the Morasko altaite indicate that we are dealing with a sample of somewhat differentiated planetary matter from an early stage of its evolution.

8.

Mikrometeoryty: część deszczu meteorytu Morasko
Micrometeorites: a part of the Morasko meteorite shower

Magdalena Dworzyńska (UAM, Poznań), Andrzej Muszyński (UAM, Poznań)

Z chwilą gdy w 1914 roku na terenie rezerwatu Meteoryt Morasko odnaleziono fragment materii pochodzenia pozaziemskiego, rozpoczęły się także badania jej składu mineralnego. W ostatnim czasie badaniom poddano znajdowane w glebie rezerwatu mikrometeoryty, ponieważ mogą być mineralogicznymi wskaźnikami upadku deszczu meteorytów.

Mikrometeoryty to małe (<2 mm) fragmenty materii kosmicznej, które przetrwały przejście przez atmosferę ziemską i występują w postaci stopionych lub częściowo stopionych cząstek, które zachowują swój pierwotny skład.

Marini i in. (2004) zaproponowali podział mikrometeorytów na dwie główne grupy (ze względu na czas powstania) – preimpaktową oraz impaktową (ryc. 1). W ich obrębie wydzielono trzy podgrupy: pierwszą związaną z odparowaniem, drugą z topieniem oraz trzecią z oderwaniem od fragmentów materii stałej. Pozwoliło to na podzielenie i uszeregowanie mikrometeorytów pod względem morfologicznym. W materiale badawczym pochodzącym z rezerwatu Meteoryt Morasko zidentyfikowano wszystkie wspomniane podgrupy mikrometeorytów. W poniższym opracowaniu przedstawione są wyniki dotyczące trzeciej podgrupy (oderwane fragmenty materii stałej), ponieważ są one najbardziej rozpowszechnione w osadach na terenie rezerwatu.

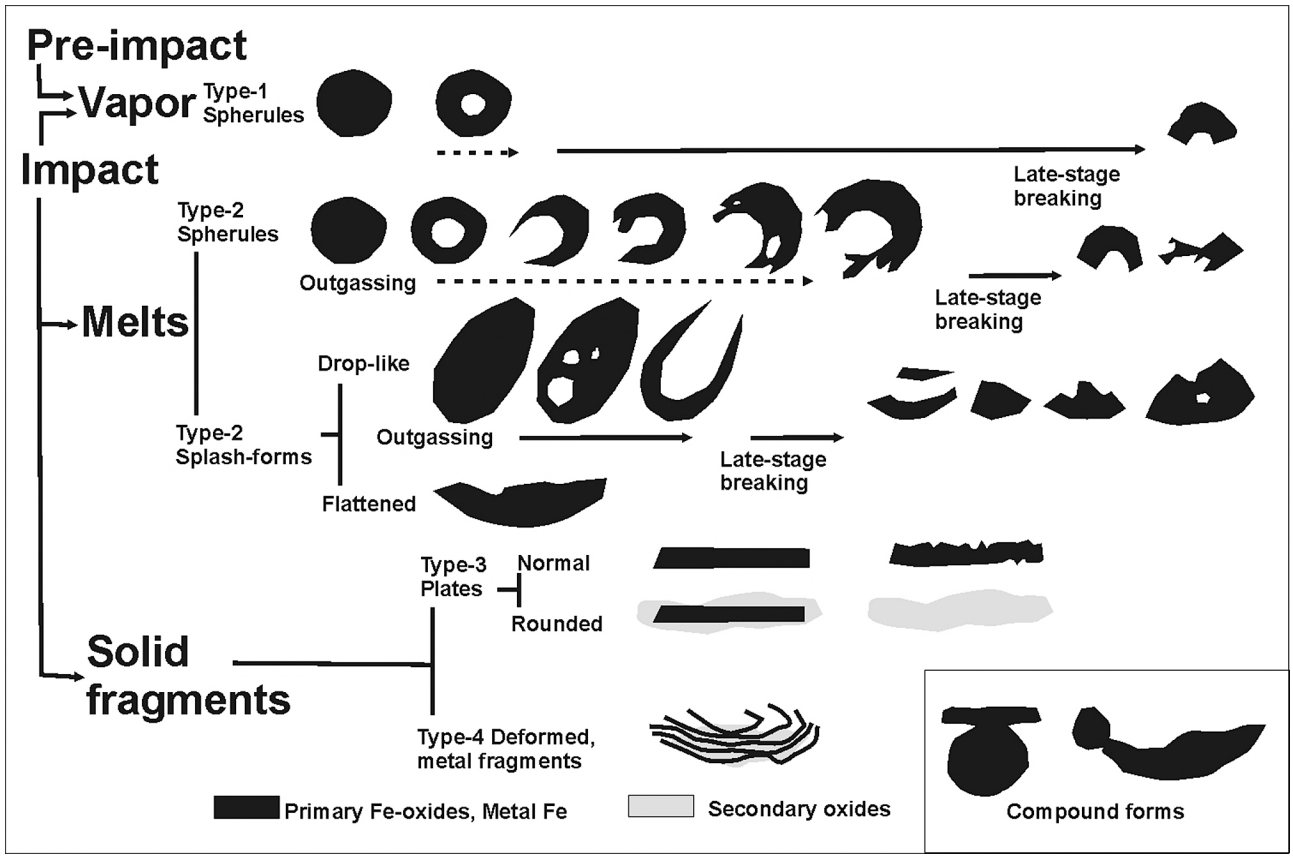
Do badań wybrano kilkaset próbek okazów mikrometeorytów pochodzących z gleby z otoczenia znanych wcześniej znalezisk meteorytów. Materiał wyseparowano magnesem ręcznym, po

In 1914, when a fragment of extraterrestrial matter was found in the "Morasko Meteorite" reserve investigations of its mineral composition also started. Recently, micrometeorites found in soil in the reserve were included in these studies, as they can be mineralogical proxies of the meteorite shower fall.

Micrometeorites are small (<2 mm) fragments of cosmic matter which survived the fall through the Earth's atmosphere. They occur as melted or partly melted particles which preserve the primary chemical composition.

Marini *et al.* (2004) proposed a classification of micrometeorites, based on their formation time, into two main groups: pre-impact and impact (Fig. 1). Within these groups, three subgroups were further distinguished, one related to evaporation, another to melting, and the third to detachment from fragments of solid matter. Further subdivision and ordering of the micrometeorites are based on their morphology. All the above-mentioned meteorite subgroups have been identified in research specimens from the "Morasko Meteorite" reserve. In this paper, the results of investigations of the third subgroup (detached fragments of solid matter) are reported, as these fragments are most widespread in deposits in the reserve.

Several hundred micrometeorite specimens, coming from soil in the vicinities of earlier meteorite finds, were selected for investigation. The specimens were separated using a hand magnet, after washing and sieving of soil samples. The separated material was studied using



Ryc. 1. Genetyczna różnorodność typów „magnetycznych mikrometeorytów" (wg Marini i in. 2004)
Fig. 1. Genetical diversity of "magnetic micrometeorite" types (after Marini *et al.* 2004).

przemyciu i przesianiu próbek gleby (ryc. 2). Wyselekcjonowany materiał poddano analizie dyfrakcyjno-rentgenowskiej XRD, badaniom na skaningowym mikroskopie elektronowym oraz pod mikroskopem stereoskopowym, co pozwoliło na poznanie składu fazowego oraz morfologii. Dodatkowo dla niektórych próbek wykonano badania na mikrosondzie elektronowej.

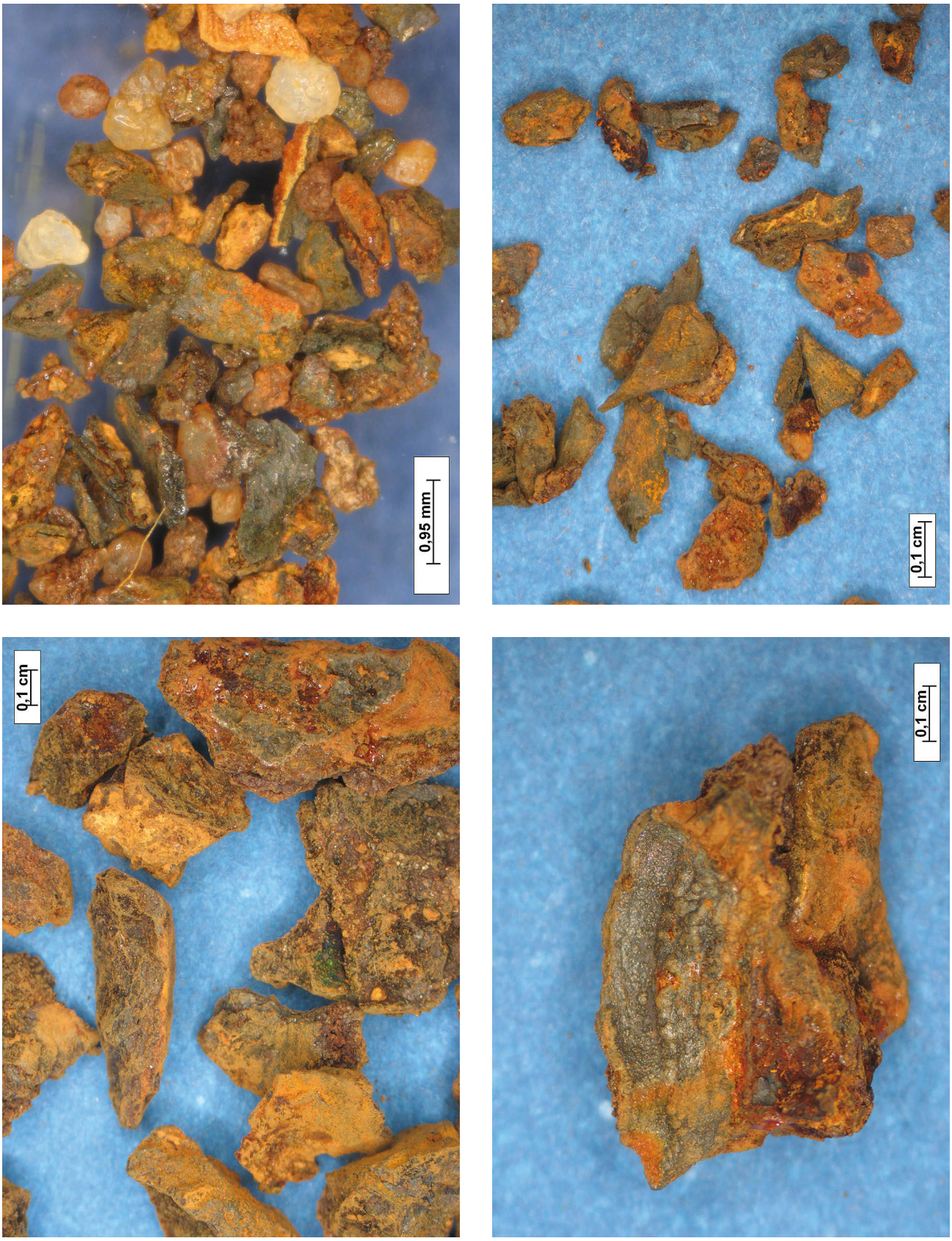
Obserwowane fragmenty materii pozaziemskiej cechowały się rdzawo-brązowym zabarwieniem. Część z nich była ostrokrawędzista, a część zaokrąglona. Ziarna podczas separacji wykazały silny magnetyzm. Fragmenty znajdujące się w drobniejszych frakcjach (<0,5 mm) były często mocno przemieszane z materiałem magnetycznym, głównie magnetytem i kwarcem z wrostkami.

Jakościowa analiza fazowa mikrometeorytów pozwoliła na zidentyfikowanie minerałów należących do stopu żelaza i niklu, takich jak kamacyt α-(Fe Ni), taenit γ-(Ni Fe) oraz schreibersyt

the X-ray diffraction (XRD) analysis, a scanning electron microscope and a stereomicroscope. These allowed for the determination of phase composition and morphology. In addition, some specimens were studied by electron microprobe.

The observed fragments of extraterrestrial matter are characterized by rusty-brown coloration. Some are angular and others are rounded. The grains reveal a strong magnetism upon separation. Fragments found in finer fractions (<0.5 mm) are often strongly mixed with other magnetic material, mainly magnetite and quartz with inclusions.

A qualitative phase analysis of the micrometeorites led to the identification of minerals representing iron-nickel alloys, i.e. kamacite α-(Fe,Ni), taenite γ – (Ni,Fe) and schreibersite $(Fe,Ni)_3P$ which are all characteristic of the Morasko meteorite. Furthermore, minerals of the iron hydroxide group, such as goethite and lepidocrocite (FeO(OH)), are common. Additional



Ryc. 2. Mikrometeoryty wyseparowane z gleby za pomocą magnesu (Dworzyńska 2011)
Fig. 2. Micrometeorites separated from soil with magnet (Dworzyńska 2011).

(Fe Ni)$_3$P, które są charakterystyczne dla meteorytu Morasko. Ponadto powszechne są minerały z grupy wodorotlenków żelaza, takie jak goethyt i lepidokrokit FeO(OH). Dodatkowymi minerałami są tlenki żelaza: magnetyt (Fe_3O_4) i maghemit γ-Fe_2O_3.

Zidentyfikowane minerały reprezentują przejście pierwotnych stopów żelazo-niklowych do stabilnych minerałów, jakimi są tlenki i wodorotlenki żelaza (goethyt i maghemit). Możliwe drogi przemian kamacytu i taenitu ilustruje diagram Goldena i in. (1995; patrz rozdział 9, ryc. 11).

Wyniki badań składu chemicznego (metodą WDS) wykazały, że prawie w każdym z wykonanych zgładów z wybranych mikrometeorytów znajduje się nikiel. Jego maksymalna zawartość w taenicie wyniosła 43,97% wag., podczas gdy najmniejsza w kamacycie wynosiła 3,02% wag. Wyniki analizy WDS potwierdziły występowanie w mikrometeorytach schreibersytu, kamacytu oraz taenitu.

Wszystkie wykonane badania jednoznacznie wskazują, że analizowane magnetyczne fragmenty są mikrometeorytami. Dzięki analizie składu fazowego i chemicznego stwierdzono występowanie minerałów charakterystycznych dla meteorytów żelaznych. Po wytrawieniu zgładów nie były widoczne struktury Widmanstättena, co pozwala sądzić, że znajdujące się w badanym osadzie mikrometeoryty uległy silnemu zszokowaniu podczas impaktu.

Obecność kamacytu, taenitu i schreibersytu w zbadanych mikrometeorytach jest dowodem, że są one częścią żelaznego meteorytu Morasko i mają wspólne, pozaziemskie pochodzenie (Dworzyńska 2011, Dworzyńska i Muszyński 2013).

minerals are iron oxides: magnetite (Fe_3O_4) and maghemite (γ-Fe_2O_3).

The minerals identified reflect the transition of the primary iron-nickel alloys into stable minerals such as iron oxides and hydroxides (goethite and maghemite). Possible paths of kamacite and taenite transformation are illustrated in a Golden's (1955) diagram; see chapter 9, Fig. 11).

The results of microchemical studies using WDS showed that nickel occurs in nearly all polished sections of the selected micrometeorites. The maximum content in taenite reaches 43.97 wt.%, whereas the lowest content in kamacite is 3.02 wt.%. WDS analysis confirmed the presence of schreibersite, kamacite and taenite in the micrometeorites.

All the studies clearly show that the magnetic fragments analyzed are micrometeorites. The occurrence of mineral phases characteristic of iron meteorites was confirmed by phase and chemical analysis. Widmanstätten structures were not visible after etching of polished sections, indicating that the micrometeorites in the deposits studied were strongly shocked upon impact.

The presence of kamacite, taenite and schreibersite in the investigated micrometeorites proves that they are part of the Morasko iron meteorite, sharing a common, extraterrestrial origin (Dworzyńska 2011, Dworzyńska and Muszyński 2013).

9.

Wietrzenie w meteorycie Morasko
Weathering in the Morasko meteorite

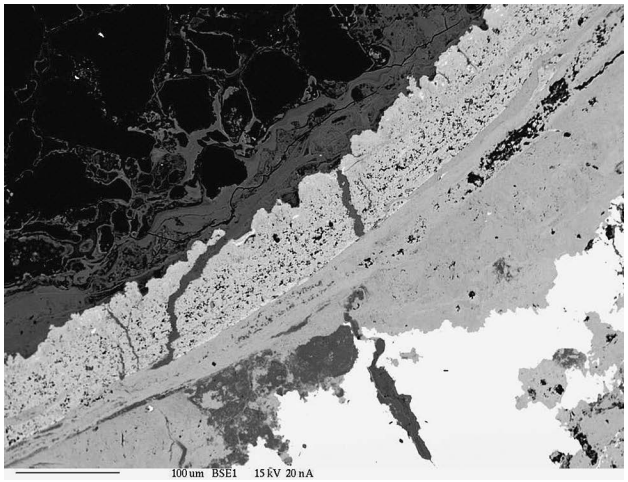
Agnieszka Gurdziel (Uniwersytet Śląski), Łukasz Karwowski (Uniwersytet Śląski), Andrzej S. Pilski (Muzeum M. Kopernika, Frombork), Andrzej Muszyński (UAM, Poznań), Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski)

Znajdowane okazy meteorytów Morasko pokryte są stosunkowo grubą skorupą wietrzeniową. Badania zwietrzeliny wskazują, że najczęściej jest to mieszanina wodorotlenków żelaza spajająca materiał klastyczny (piaszczysty, pyłowy) oraz w niewielkiej ilości materiał ilasty. Skład materiału odpowiada zatem piaskom lub glinom zwałowym. Wodorotlenki żelaza wykazują różny stopień krystaliczności. Wśród minerałów w skorupie wietrzeniowej przeważa kwarc (ryc. 1), rzadziej występują skalenie bądź przerosty skalenia i kwarcu ze zwietrzałym biotytem. Stosunkowo rzadko występują minerały takie jak cyrkon, monacyt, granaty bądź tlenki tytanu. Jest to niewątpliwie materiał pochodzący z bezpośredniego otoczenia meteorytu. Najprawdopodobniej w skład skorupy wietrzeniowej w niewielkim stopniu wchodzi żelazo z wnętrza meteorytu, natomiast głównie ze stref zewnętrznych w jego najbliższej okolicy. Meteoryt żelazny wywołuje w glebie lokalne środowisko redukcyjne działające przez długi okres, co powoduje skupianie wodorotlenków żelaza z otoczenia.

Wnętrze meteorytu często oddzielone jest od skorupy wietrzeniowej fragmentami skorupy obtopieniowej złożonej głównie z magnetytu (ryc. 1). Za fragmentarycznie zachowanymi elementami skorupy obtopieniowej mamy do czynienia z wodorotlenkami żelaza bądź akaganeitem, powstałymi z kamacytu, częściowo z taenitu. Od wodorotlenków żelaza znajdujących

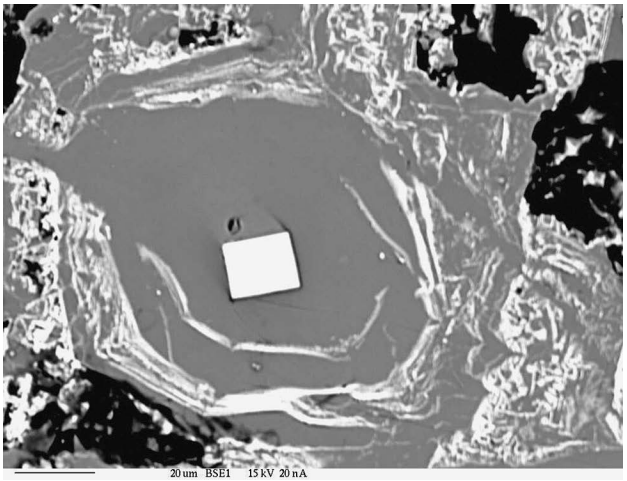
Newly found specimens of the Morasko meteorite are covered with a relatively thick weathering crust. Studies of the crust indicate that it is usually a mixture of iron hydroxides binding a clastic material (sandy and silty) and, in small amounts, a clay component. Thus, the composition of that material corresponds to sand or till. The iron hydroxides show variable crystallinity. Quartz (Fig. 1) predominates among minerals of the weathering crust, together with subordinate feldspars and intergrowths of feldspar and quartz with weathered biotite. Minerals such as zircon, monazite, garnet and titanium oxides are rather rare.This is undoubtedly material derived from the immediate surroundings of the meteorite. Most likely the iron from the interior of the meteorite does not contribute much to the weathering crust in which the iron comes mainly from its immediate environment. An iron meteorite in soil generates a local reducing environment acting for prolonged periods of time and resulting in the accumulation of iron hydroxides from the vicinity.

The interior of the meteorite is often separated from the weathering crust by fragments of the melting crust, composed mainly of magnetite (Fig. 1). Behind the fragmentarily preserved parts of the melting crust there are iron hydroxides or akaganeite, originating from kamacite and partly from taenite. They are distinguished from the iron hydroxides found outside by a distinctive nickel admixture. Only relics of



Ryc. 1. Fragment skorupy obtopieniowej zbudowanej z magnetytu. Na zewnątrz materiał klastyczny – głównie kwarc (czarny). Pod skorupą obtopieniową wodorotlenki żelaza i kamacyt. Obraz BSE

Fig. 1. A fragment of melting crust composed of magnetite. Outside – clastic material, mainly quartz (black). Iron hydroxides and kamacite below the weathering crust. BSE image.



Ryc. 2. Automorficzne ziarno rhabdytu w otoczeniu wtórnych minerałów żelaza z widocznymi wydzieleniami wtórnego niklu. Obraz BSE

Fig. 2. Euhedral grain of rhabdite surrounded by secondary iron minerals with segregations of secondary nickel. BSE image.

się na zewnątrz wyróżniają się one obecnością wyraźnej domieszki niklu. W wielu drobniejszych, silnie zwietrzałych okazach zachowują się jedynie relikty taenitu.

Część znajdowanych fragmentów meteorytów wykazuje bardzo silny stopień zaawansowania procesów wietrzenia. Często są to fragmenty, które złożone są już tylko z wodorotlenków żelaza. Dotyczy to szczególnie niewielkich okazów. Niewątpliwie też wpływ na stan zachowania okazów ma charakter otoczenia glebowego.

Pomimo bardzo zaawansowanego stopnia zwietrzenia niektórych okazów meteorytu Morasko, można w nich napotkać fazy, które w niewielkim stopniu uległy wtórnym przeobrażeniom. Są to fosforki: schreibersyt $(Fe, Ni, Co)_3P$ oraz jego odmiana morfologiczna rhabdyt (ryc. 2) i miejscami obecny fosforek niklu (nickielphosphide), a także węgliki, reprezentowane przez cohenit $(Fe, Ni, Co)_3C$. Ich obecność w wodorotlenkowych bryłach umożliwia identyfikację oraz określenie meteorytowego pochodzenia badanych próbek, znajdujących się w stanie silnego wtórnego przeobrażenia. Z upływem czasu jednak i te fazy ulegają powolnemu wietrzeniu.

taenite are preserved in many smaller, strongly weathered specimens.

A fraction of the meteorite fragments found is very strongly weathered. These are often fragments composed only of iron hydroxides. This is especially the case for small specimens. Undoubtedly, the preservation degree of specimens is influenced by the character of the surrounding soil.

Despite the very advanced degree of weathering of some Morasko meteorite specimens, it is possible to find in them phases only slightly altered by secondary processes. These are phosphides: schreibersite $(Fe, Ni, Co)_3P$, its morphological variety rhabdite (Fig. 2) and, in places, a nickel phosphide), as well as carbides, represented by cohenite $(Fe, Ni, Co)_3C$. Their presence in hydroxide masses enables their identification and a determination of the meteoritic origin of specimens which are in a state of strong secondary alteration. However, these phases also undergo slow weathering with time.

In the Morasko meteorite, schreibersite occurs in various forms, from segregations aligned parallel to growth planes in kamacite grains,

W meteorytach Morasko schreibersyt przyjmuje różne postacie, od wydłużonych wydzieleń zorientowanych równolegle wzdłuż płaszczyzn wzrostu ziaren kamacytu, poprzez nieregularne wydzielenia, bez określonej orientacji, aż do nieciągłych obwódek wokół polimineralnych nodul. Jego zawartości nie przekraczają na ogół 1,5% objętości meteorytów (Dominik 1976).

Prędkość, z jaką fazy te poddają się wietrzeniu, uzależniona jest w dużym stopniu od ich położenia w obrębie brył meteorytów oraz dodatkowo od stopnia ich spękania. W obrębie wietrzejących meteorytów spękania pokruszonych ziaren schreibersytu wypełnione są wodorotlenkami żelaza o różnym stopniu utlenienia.

Podczas rozpadu tych faz mineralnych już stosunkowo rzadko spotyka się fazy Fe-Ni, które są zastąpione przez wodorotlenki żelaza, głównie goethyt i lepidokrokit, czasami akaganeit, z domieszkami Ni (Gurdziel, Karwowski 2007, 2011). Na tym etapie wietrzenia meteorytów niekiedy udaje się jeszcze odnaleźć resztki troilitu, wcześniej izolowanego kamacytem i/lub taenitem.

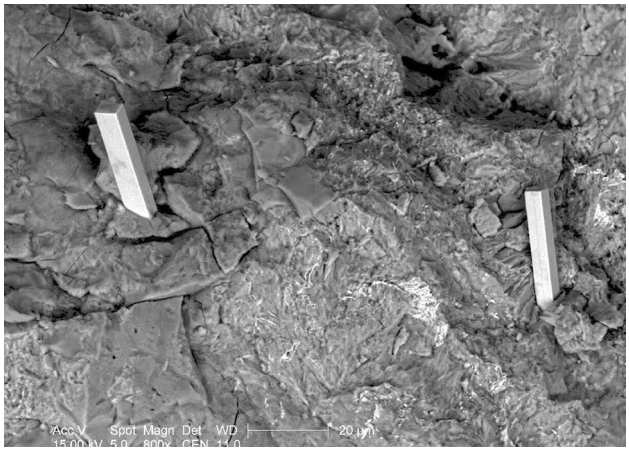
Na szybkość procesu wietrzenia wpływa również najbliższe sąsiedztwo. Zaobserwowa-

through irregular segregations without any distinct orientation, to discontinuous envelopes around polymineral nodules. The content of this mineral usually does not exceed 1.5% by volume (Dominik 1976).

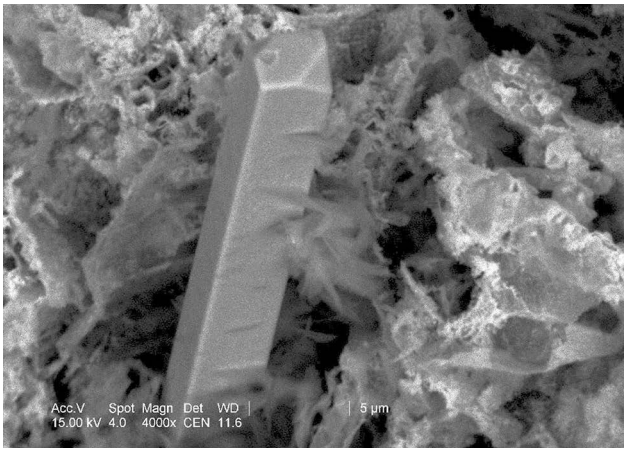
The rate at which these phases undergo weathering is largely determined by their location within the meteorite mass and, additionally, by the degree of fracturing. The fractures in crushed schreibersite grains inside weathering meteorites are filled with iron hydroxides of various degree of oxidation.

During the breakdown of these phases, Fe-Ni phases are rarely found; the latter are already replaced by iron hydroxides, mainly goethite and lepidocrocite, sometimes akaganeite, with Ni admixtures (Gurdziel and Karwowski 2007, 2011). Relics of troilite, previously isolated by kamacite and/or taenite, are occasionally found at this stage of meteorite weathering.

The rate of weathering is also influenced by the closest neighborhood. It is observed that weathering proceeds slightly more efficiently in the vicinity of troilite nodules, due to the formation of sulphate ions in this environment (Karwowski and Gurdziel 2004).



Ryc. 3. Słupki rhabdytu wśród różnorodnych wydzieleń wodorotlenków żelaza. Jasne żyłkowe wydzielenia to wtórne fazy wysokoniklowe. Meteoryt Morasko. Obraz z mikroskopu skaningowego
Fig. 3. Prismatic rhabdite crystals within various forms of iron hydroxides. Light vein-like segregations are secondary high-nickel phases. Morasko meteorite. SEM image.



Ryc. 4. Prawidłowo wykształcony kryształ rhabdytu, otoczony wodorotlenkami żelaza z wydzieleniami faz wysokoniklowych (jasne strefy). Meteoryt Morasko. Obraz z mikroskopu skaningowego
Fig. 4. Well-formed rhabdite crystal, surrounded by iron hydroxides with segregations of high-nickel phases (light zones). Morasko meteorite. SEM image.

no, że wietrzenie zachodzi nieco efektywniej w okolicach występowania nodul troilitowych, ze względu na powstawanie jonu siarczanowego w tym środowisku (Karwowski, Gurdziel 2004).

Pośród resztek wietrzejącego meteorytu, składającego się już prawie wyłącznie z różnorodnych form wodorotlenków żelaza, będących pozostałością po fazach metalicznych, często można napotkać zupełnie nienaruszone fazy fosforkowe. Obok pokruszonych wydzieleń schreibersytu spotyka się automorficzne kryształy rhabdytu (ryc. 1, 3). Ich idiomorficzne formy są wyraźnie widoczne wśród wtórnych faz powstałych po fazach Fe-Ni. Bardzo często w większych powiększeniach wyraźnie zaznaczają się ich prawidłowo wykształcone kryształy (ryc. 4).

Pomimo wysokiej odporności rhabdytów na czynniki wietrzeniowe, po pewnym czasie również i w obrębie tych faz można zaobserwować wtórne zmiany. Są one widoczne w morfologii kryształów oraz w ich chemizmie.

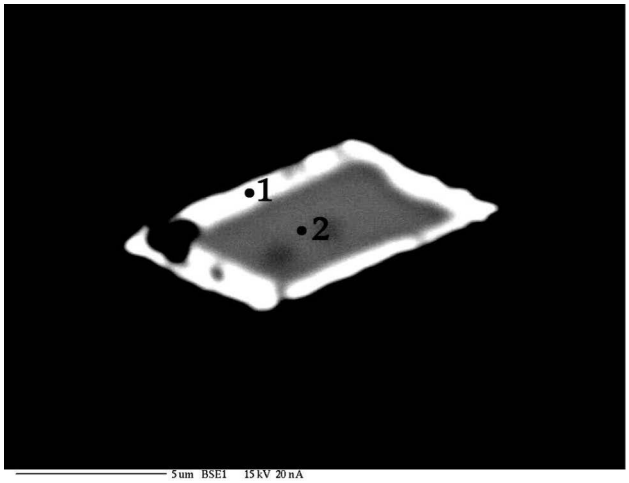
Wtórne zmiany szczególnie dobrze uwidaczniają się w przekrojach poprzecznych ich słupów. Na zdjęciach elektronowych BSE pojawiają się wyraźne różnice w odcieniach, które wskazu-

Completely unchanged phosphide phases can often be found within remnants of weathered meteorite, composed almost exclusively of variable forms of iron hydroxides after the metal phases. Euhedral crystals of rhabdite (Figs. 1 and 3) occur next to broken schreibersite segregations. Their euhedral forms are clearly visible among secondary phases formed of Fe-Ni phases. The well-formed crystals can often be discerned at higher magnifications (Fig. 4).

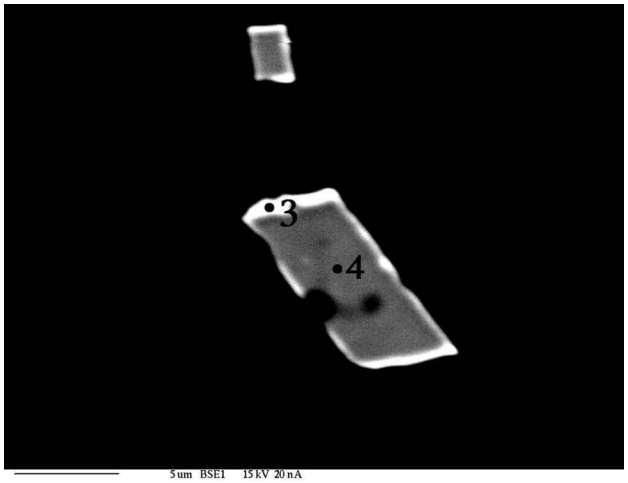
Despite the strong resistance of rhabdite to weathering, secondary changes can also be seen within this phase after some time. These changes are reflected both in crystal morphology and composition.

The secondary changes are particularly well displayed in cross-sections of prisms. Clear differences in shades in BSE images point to changes in chemical composition in various parts of crystals. The weathering begins from the outer zones, whereas their central parts still preserve the near-primary composition (Figs. 5 and 6).

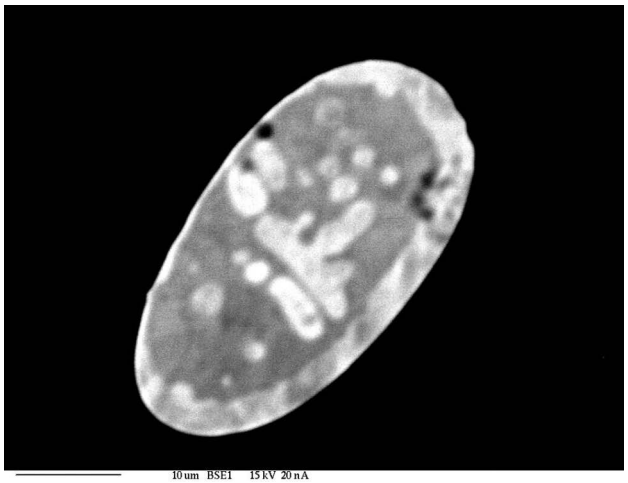
The bright band around the crystal is no longer phosphide in composition, which is clear from the chemical formulae: (Ni, Fe, Co)$_{23,9}$ P and (Ni, Fe, Co)$_{19}$ P. This is possi-



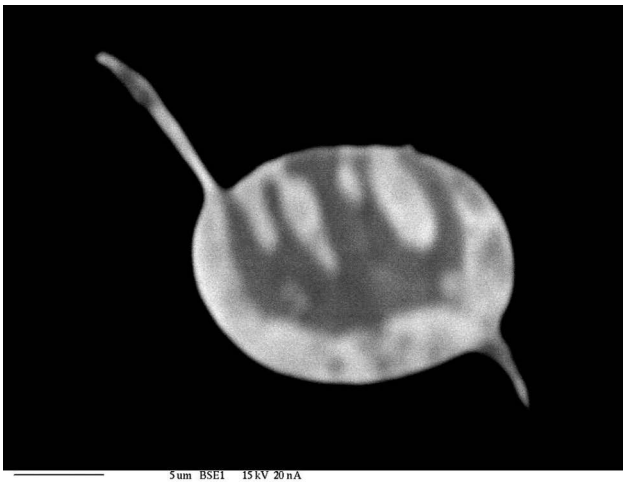
Ryc. 5. Przekrój poprzeczny słupa rhabdytu z wyraźnie widoczną jaśniejszą obwódką wokół kryształu. Oznaczone punkty to miejsca analiz. Silnie zwietrzały meteoryt. Obraz BSE
Fig. 5. Cross-section of rhabdite prism with distinctive brighter envelope around the crystal. The marked points are analytical spots. Strongly weathered meteorite. BSE image.



Ryc. 6. Wietrzenie kryształów rhabdytu, objawiające się zmianami jasności w obrazie elektronowym. Oznaczone punkty to miejsca analiz. Silnie zwietrzały meteoryt. Obraz BSE
Fig. 6. Weathering of rhabdite crystals reflected in changes of shades in the electron image. The marked points are analytical spots. Strongly weathered meteorite. BSE image.



Ryc. 7. Przekrój reliktu rhabdytu z plamistą budową, odzwierciedlającą różnice w składzie chemicznym. Silnie zwietrzały meteoryt. Obraz BSE
Fig. 7. Cross-section of relict rhabdite with spotty texture, reflecting differences in chemical composition. Strongly weathered meteorite. BSE image.



Ryc. 8. Jasna obwódka oraz „plamki" wewnątrz zmienionego rhabdytu to miejsca ubytku P przy jednoczesnym wzroście zawartości Ni. Silnie zwietrzały meteoryt. Obraz BSE
Fig. 8. Bright envelope and spots inside altered rhabdite are sites of P loss and simultaneous increase in Ni content. Strongly weathered meteorite. BSE image.

ją na zmiany w składzie chemicznym w różnych częściach kryształów. Proces wietrzenia kryształów rozpoczyna się od stref zewnętrznych, podczas gdy ich centralne części mają skład zbliżony do pierwotnego (ryc. 5, 6).

Jasna obwódka wokół kryształu nie ma już składu fosforku, co wyraźnie widać we wzorach chemicznych: $(Ni, Fe, Co)_{23,9}P$ i $(Ni, Fe, Co)_{19}P$. Stanowi ona zapewne fazę przejściową o składzie Ni-Fe-P. Obserwujemy tutaj zjawisko stopniowego przejścia od fosforku do fazy metalicznej.

Kolejnym etapem odzwierciedlającym zmiany w składzie chemicznym jest zmiana morfologii kryształów rhabdytu (ryc. 7, 8). Pierwotne słupowe przekroje tej fazy ulegają powolnemu przekształceniu w formy zaokrąglone, czemu towarzyszy coraz głębiej posuwający się proces wtórnych zmian.

Końcowym etapem jest całkowite odprowadzenie P oraz przekształcenie rhabdytu w fazę metaliczną bogatą w Ni.

W silnie zwietrzałych fragmentach meteorytu Morasko, w sąsiedztwie różnie zachowanych faz kamacytu i taenitu, można napotkać cohenit.

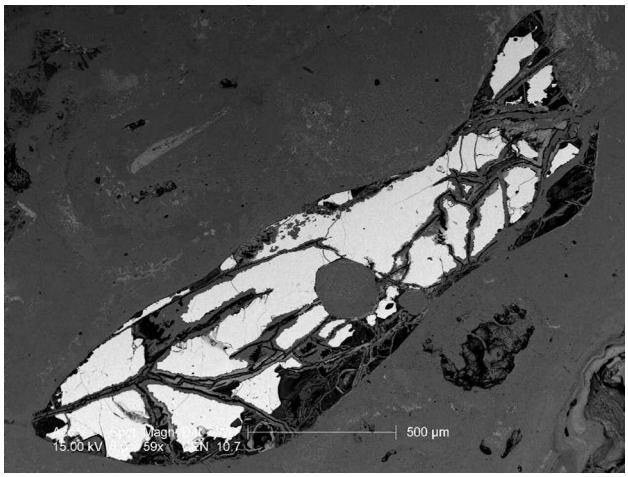
bly a transitional phase from a phosphide to a metal phase.

The next stage which reflects changes in composition is the change in crystal morphology of rhabdite (Figs. 7 and 8). Cross-sections (most likely of prisms, originally) of this phase are slowly transformed into rounded forms as the secondary changes become more advanced.

The final stage is a complete loss of P and the transformation of rhabdite into a metal phase rich in Ni.

In strongly weathered fragments of the Morasko meteorite, cohenite can be found in the vicinity of variably preserved kamacite and taenite.

It is difficult to determine clearly what happens in the weathering of cohenite (Figs. 9 and 10). Observations of fractures inside this carbide phase indicate the presence of untouched Fe-Ni phase (low-nickel kamacite) and graphite, before cohenite starts secondary alteration. Thus, it seems that during the next weathering stage this carbide becomes totally decomposed, passing into iron hydroxides, and then graphite is further dispersed into the surroundings.



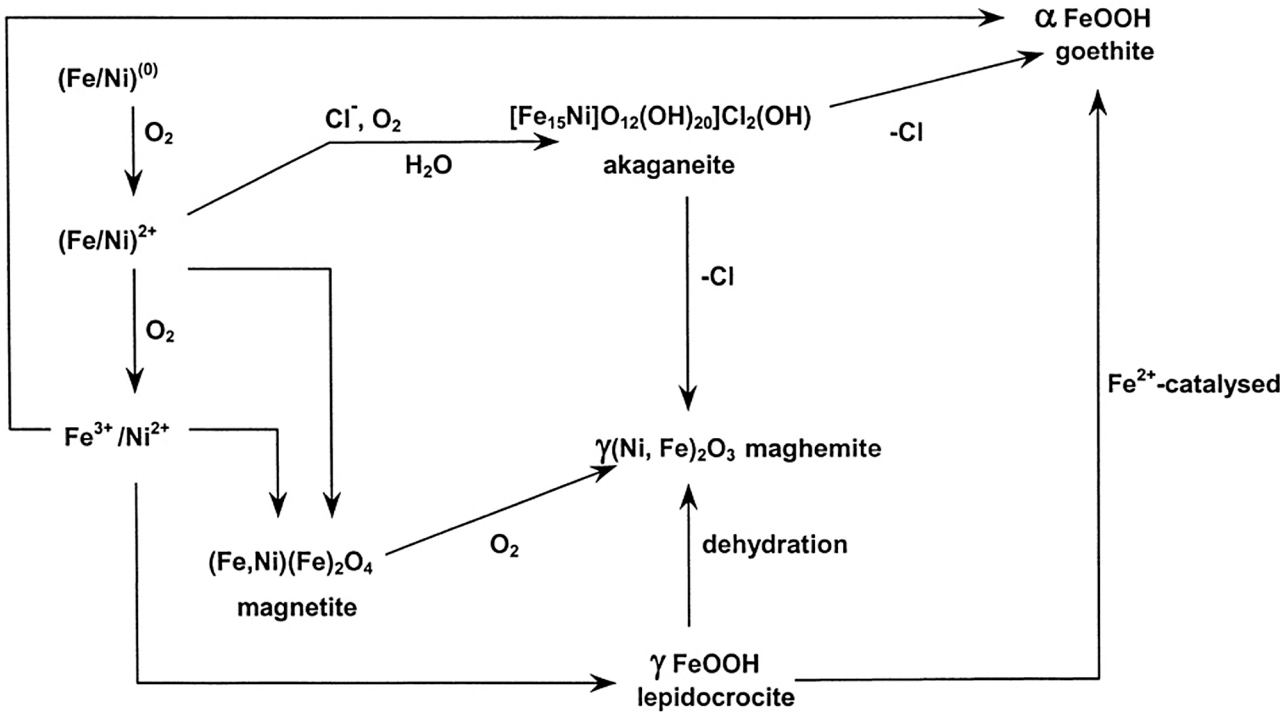
Ryc. 9. Wietrzejący cohenit wśród wodorotlenków Fe. W spękaniach wydzielenia grafitu (czarne żyłki). Mikroskop skaningowy
Fig. 9. Weathered cohenite within iron hydroxides. Graphite segregations (black veins) in fractures. Scanning microscope.



Ryc. 10. Relikt cohenitu wśród wodorotlenków żelaza. W spękaniach wydzielenia grafitu (czarne żyłki). Obraz BSE
Fig. 10. Relic of cohenite within iron hydroxides. Graphite segregations (black veins) in fractures. BSE image.

Trudno jednoznacznie określić, co dzieje się z wietrzejącym cohenitem (ryc. 9, 10). Obserwacje spękań wewnątrz fazy tego węglika wskazały obecność nienaruszonej fazy Fe-Ni (nisko-

The presence of vein-like segregations of high-nickel phases, including native nickel (Fig. 11) (Karwowski and Gurdziel 2004), is common in reducing environments, in places where



Ryc. 11. Możliwa droga powstania tlenków i wodorotlenków z przemian kamacytu i taenitu na podstawie meteorytu Hoba (Golden i in. 1995)
Fig. 11. The possible pathway of oxide and hydroxide formation due to kamacite and taenite alteration, based on Hoba meteorite (Golden *et al.* 1995).

niklowego kamacytu) i grafitu, zanim cohenit zaczął ulegać wtórnym przeobrażeniom. Wydaje się więc, że w dalszym etapie wietrzenia węglik ten ulega całkowitemu rozpadowi przechodząc w wodorotlenki żelaza, a grafit ulega dalszemu rozproszeniu w otoczeniu.

W środowisku redukcyjnym, w miejscach, gdzie nie zachowały się już praktycznie żadne pierwotne fazy meteorytowe, a obecne są tylko wodorotlenki żelaza z ewentualnymi domieszkami Ni, powszechna jest obecność żyłkowych wydzieleń faz wysokoniklowych, do niklu rodzimego włącznie (ryc. 11) (Karwowski, Gurdziel 2004).

Nieco odmiennie wietrzeją meteoryty, które dostały się do gruntu ilastego. Przykładem takim może być meteoryt, który został znaleziony na głębokości 1,6 m w trakcie realizacji programu „Meteorite Men" (ryc. 12). Meteoryt ten, wbity w pstre iły poznańskie, znalazł się częściowo w specyficznych warunkach zapewniających stałą wilgotność środowiska ze stosunkowo niewielkimi zmianami rocznymi temperatury. Meteoryt, wbijając się, zachował na swym czole nieco materii czwartorzędowej w postaci żwirków granitoidowych i kwarcowych. Dalej, na zewnątrz, materia ta przechodzi w strefę drobnoziarnistego kwarcu, spojonego węglanami (aragonit i kalcyt) z minerałami ilastymi (illit i kaolinit) i wodorotlenkami żelaza. Aragonit wykształcony jest w postaci zbliźniaczonych mikrokryształów słupowych. Posuwając się w kierunku stref centralnych meteorytu, zaobserwowano występowanie „strefy ciemnej", o barwie prawie czarnej, z widocznymi wydzieleniami taenitu i reliktami kamacytu. W strefie tej, w rzeczywistości ciemnozielonej, występuje czukanowit (ang. chukanovite, $Fe_2(CO_3)(OH)_2$. Wydaje się, że faza ta przechodzi w goethyt. Jest ona bardzo charakterystyczna i tworzyła się kosztem kamacytu. Pseudomorfozy czukanowitu po kamacycie wykazują łupliwość romboedryczną będącą pozostałością po liniach Neumanna.



Ryc. 12. Zwietrzała skorupa na 34-kilogramowym okazie meteorytu Morasko (fot. A.S. Pilski)
Fig. 12. Weathered crust on a 34 kg Morasko meteorite specimen (photo A.S. Pilski).

practically no primary meteoritic phases are preserved and only iron hydroxides with, possibly, some nickel admixtures, occur.

Somewhat different is the weathering of meteorites emplaced into clayey ground. An example can be a meteorite found at 1.6 m depth during the production of the 'Meteorite Men' program (Fig. 12). This meteorite, stuck into the variegated Poznań clays, occurred in partly specific conditions of constant humidity with rather limited annual temperature changes. Upon impact, the meteorite preserved some Quaternary gravel of granitoids and quartz on its head. Outside it grades into a zone of fine-grained quartz cemented with carbonates (aragonite and calcite) with clay minerals (illite and kaolinite) and iron hydroxides. The aragonite is developed as twinned prismatic microcrysts. A 'dark zone' with almost black colour and segregations of taenite and kamacite relics is observed on moving into central zones of the meteorite. Chukanovite ($Fe_2(CO_3)(OH)_2$) occurs in this dark zone, which is very dark green. This mineral apparently passes into goethite. It is a very characteristic mineral formed at the expense of kamacite. Pseudomorphs of chukanovite after kamacite show a rhombohedral cleavage as a remnant of the Neumann lines.

Wnioski

Skorupa wietrzeniowa stanowi wraz ze skorupą obtopieniową ekran powstrzymujący wietrzenie meteorytów żelaznych przykrytych warstwą ziemi.

Najczęściej pierwszym minerałem, który ulega wietrzeniu, jest kamacyt, chociaż obserwowano też wietrzenie taenitu w obrębie kamacytu. Na ogół jednak taenit wykazuje większą odporność na procesy wietrzeniowe.

Fosforki ulegają zwietrzeniu jako jedne z ostatnich faz mineralnych, obecnych w meteorycie Morasko (poza fazami krzemianowymi). Jest to szczególnie widoczne w miejscach, gdzie są one dobrze izolowane od wpływów otoczenia. Nieco szybsze ich wietrzenie obserwuje się natomiast w strefach brzeżnych meteorytów oraz w sąsiedztwie nodul troilitowych.

W przekrojach wietrzejących ziaren rhabdytu zaznaczają się wyraźne strefy odzwierciedlające różnice w składzie chemicznym. Podczas gdy środkowe partie zachowują skład zbliżony do pierwotnego, to w strefach zewnętrznych obserwuje się ubytek P przy jednoczesnym znacznym wzbogaceniu w Ni. Fosfor zostaje odprowadzony na zewnątrz, wchodząc następnie w skład innych wtórnych faz, m.in. uwodnionych fosforanów żelaza – typu wiwianit.

Wietrzejący cohenit najprawdopodobniej przekształca się w wodorotlenki żelaza. Na miejscu pozostaje obecny w spękaniach grafit, który otoczony wodorotlenkami żelaza, może utrzymać się jeszcze przez długi czas po rozpadzie węglika. Faza grafitu zanika następnie wskutek rozproszenia wśród wodorotlenków żelaza.

Jednymi z ostatnich faz, które można dostrzec wśród wodorotlenków żelaza, są fazy wysokoniklowe, które już jako fazy wtórne mogą wskazywać na meteorytowe pochodzenie badanych fragmentów (Gurdziel i in. 2013).

Conclusions

The weathering crust, together with the melting crust, represent a shield preventing weathering of iron meteorites covered with a soil layer.

The first mineral, which undergoes weathering most commonly, is kamacite, although weathering of taenite within kamacite has been observed. Generally, however, taenite shows a stronger resistance to weathering.

Phosphides undergo weathering as one of the latest mineral phases in the Morasko meteorite (apart from silicate phases). This is particularly seen in places where they are well isolated from the influence of their surroundings. Somewhat faster weathering of these phases is noted in marginal zones of meteorites and in the vicinity of troilite nodules.

In cross-sections of rhabdite crystals undergoing weathering there are clear zones reflecting differences in chemical composition. Whereas the central parts preserve more or less the original composition, a loss of P with simultaneous significant enrichment in Ni is observed in the outer zones. Phosphorous is lost and then it is included into such secondary phases as, among others, hydrated iron phosphates, e.g. vivianite.

On weathering, cohenite most probably transforms into iron hydroxides. Graphite, present in fractures of the original cohenite, is preserved. When surrounded by iron hydroxides, it may remain for a long time after decomposition of the original carbide. Later, the graphite phase disappears due to dispersal within iron hydroxides.

Among the latest phases which can be observed within iron hydroxides are high-nickel phases. These, as already secondary phases, may indicate a meteorite origin of the fragments studied (Gurdziel *et al.* 2013).

10.

Poszukiwania i nowe odkrycia w rezerwacie Meteoryt Morasko

Meteorite prospecting and new discoveries in the "Morasko Meteorite" reserve

Andrzej Muszyński (UAM Poznań), Andrzej S. Pilski (Muzeum M. Kopernika, Frombork), Jadwiga Muszyńska (UAM Poznań), Ryszard Kryza (Uniwersytet Wrocławski), Łukasz Karwowski (Uniwersytet Śląski)

W czasie trwania projektu badawczego latach 2007–2012 nie starano się o pozwolenie na poszukiwania w rezerwacie, ponieważ opracowywano zebrane wcześniej materiały i okazy, w tym również badano słynny okaz „Rudy" (178 kg, znaleziony w 2006 r.). Wyjątkiem były lata 2011 i 2012, kiedy uzyskano pozwolenia na specjalne badania naukowe i poszukiwania na terenie rezerwatu. Lata te obfitowały w znaczące wydarzenia, dzięki którym rezerwat Meteoryt Morasko stał się sławny w całym świecie.

W 2011 roku zaproszono ekipę kręcącą serial „Meteorite Men" dla Science Channel do realizacji jednego z odcinków na terenie rezerwatu Meteoryt Morasko, uza-



Ryc. 1. „Meteorite Men" – Steve Arnold i Geoffrey Notkin (fot. A. Muszyński)
Fig. 1. "Meteorite Men" – Steve Arnold and Geoffrey Notkin (photo A. Muszyński).

In 2007–2012, when our research project was carried out, we did not need to apply for permission for meteorite prospecting in the reserve, because we concentrated on investigating the material and meteorites collected earlier, including the famous "Rudy" ("Red-haired", 178 kg, found in 2006). Exceptions were the years 2011 and 2012, when we were given permission for special exploration within the reserve. There were many significant events during these two years which contributed greatly to increasing the fame of Morasko all over the world.

In 2011, we invited the Science Channel team to make one of their films of the se-

sadniając zaproszenie faktem, że jest to największy w Europie spadek meteorytów żelaznych. Dwóch słynnych łowców meteorytów – Geoffrey Notkin i Steve Arnold – dysponowało tylko 7 dniami na nakręcenie odcinka i aż do jego emisji w amerykańskiej telewizji wynik ich poszukiwań owiany był tajemnicą. Teraz już wszyscy wiedzą, że znaleziono 34-kilogramowy okaz na głębokości około 160 cm. Amerykanie używali w czasie poszukiwań nowoczesnego detektora zdolnego do wykrywania meteorytów żelaznych na znacznej głębokości. Miejsce znaleziska było wcześniej penetrowane przez innych badaczy standardowymi wykrywaczami metali, które nie wykazywały żadnego sygnału. Odkrycie to otworzyło perspektywy znalezienia nowych okazów w elipsie rozrzutu meteorytów Morasko. Okaz został przekazany do Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, a Poznań i rezerwat Meteoryt Morasko zyskały dobrą reklamę w mediach. Dla nauki okaz ten jest niezwykle cenny ze względu na

ries "Meteorite Men" in the "Morasko Meteorite" reserve– the site of the largest iron meteorite fall in Central Europe. Two famous hunters, Geoffrey Notkin and Steven Arnold, had only seven days to make the film, and the results of their prospecting remained a mystery until the film was shown on American TV. Now, it is known that a 34 kg meteorite was discovered by the film team, at a depth of 160 cm. The hunters used a modern detector, iron-meteorite-sensitive to relatively large depths. Earlier, this site had been investigated by other prospectors who used conventional metal detectors which did not give any signals. This find opened new perspectives for discovering new meteorites within the strewn field.

The new 34 kg meteorite has been deposited in the Adam Mickiewicz University of Poznań, and the film was a good promotion both for the "Morasko Meteorite" reserve and for the city of Poznań. The meteorite is a unique sample, be-



Ryc. 2. Ekipa filmowa rejestruje żmudną pracę kopaczy (fot. A. Muszyński)
Fig. 2. Film team register the hard work of the excavators (photo A. Muszyński).



Ryc. 4. Zespół gotowy do prac w rezerwacie, od lewej: M. Skirzewska, Ł. Smuła, P. Rochette, A. Hutzler, A. Krzesińska (fot. A. Muszyński)
Fig. 4. The team of prospectors ready to work in the reserve, from left to right : M. Skirzewska, Ł. Smuła, P. Rochette, A. Hutzler, A. Krzesińska (photo A. Muszyński).

grubą skorupę wietrzeniową, w której utworzyły się bardzo rzadkie minerały (Karwowski i in. 2011). Piszemy o tym również w rozdziale poświęconym wietrzeniu meteorytów (rozdział 9).

W 2012 roku z prośbą o możliwość przeprowadzenia badań w rezerwacie Meteoryt Morasko zwrócił się prof. Pierre Rochette z Francji – członek Międzynarodowej Komisji Klasyfikacyjnej Meteorytów, poszukiwacz meteorytów na pustyniach świata i lodowcach Antarktydy. Na podstawie wspólnego projektu badawczego, przygotowanego przez naukowców z Polski i Francji, uzyskano miesięczne pozwolenie na badania w rezerwacie. Uczestniczyli w nich także profesjonalni poszukiwacze meteorytów Magdalena Skirzewska i Łukasz Smuła z Opola. Wstępny rekonesans magnetyczny miał pozwolić na wytypowanie miejsc do szczegółowych badań z udziałem prof. Rochette. Dzięki wspaniałej intuicji poszukiwaczy oraz wyposażeniu w nowoczesny sprzęt,

cause of its thick weathering crust in which rare secondary minerals formed (Karwowski *et al.* 2011; see also chapter 9 in this volume).

In 2012, Professor Pierre Rochette, a member of the International Commission on Meteorite Classification, and a meteorite prospector over deserts and Antarctic glaciers, asked about the possibility of conducting investigations in the "Morasko Meteorite" reserve. A new joint French-Polish project formed the basis for obtaining a one-month permission for investigations in the reserve. The research team also included professional Polish meteorite hunters, Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła from Opole. A reconnaissance magnetic survey was carried out to help localize elevated magnetic signal sites that were selected for detailed search by Prof. Rochette's team. Due to the extraordinary intuition of the hunters, and using modern equipment, a few medium-sized frag-



Ryc. 5. M. Skirzewska podczas prac wydobywczych (fot. Ł. Smuła)
Fig. 5. M. Skirzewska at excavation works (photo Ł. Smuła).



Ryc. 6. Pomiar głębokości świeżo odsłoniętego meteorytu (fot. B. Idzikowski)
Fig. 6. Measuring the depth of the newly discovered meteorite (photo. B. Idzikowski).

nieustępujący temu, którego używali Amerykanie z „Meteorite Men", udało się znaleźć kilka mniejszych meteorytów i unikalny okaz o wadze około 300 kg, który tkwił jak pocisk na głębokości 218 cm w materiale piaszczystym. Jest to największy polski meteoryt żelazny i jednocześnie największy meteoryt w Europie środkowej

ments were found, as well as the unique piece, c. 300 kg in weight, which was resting like a bullet in the sand, at a depth of 218 cm. This is the largest iron meteorite in Poland and in Central Europe (see: www.artmet.meteoryty.pl, 2012). On October 8th, 2012, the new meteorite was excavated using a special lift and transferred to



Ryc. 7. Emocje odkrywców przy wyciąganiu meteorytu na powierzchnię (fot. A. Muszyński)
Fig. 7. Finders' emotions at the lifting of meteorite to the ground surface (photo A. Muszyński).



Ryc. 8. Transport meteorytu do drogi saniami po deskach (fot. M. Skirzewska)
Fig. 8. Carrying the meteorite on sledge to the main road (photo. M. Skirzewska).



Ryc. 9. Prezentacja nowego meteorytu mediom, konferencja prasowa w dniu 31.10.2012 r. (fot. J. Muszyńska)
Fig. 9. Presentation of the new meteorite to mass media, press conference, October 31st, 2012 (photo J. Muszyńska).



Ryc. 10. Uczestnicy Konferencji Meteorytowej Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego w Obrzycku 19–21.10.2012 (fot. M. Nowak)
Fig. 10. Participants of the Meteorite Conference of the Mineralogical Society of Poland, Obrzycko, October 19–21, 2012 (photo M. Nowak).

(www.artmet.meteoryty.pl 2012). W dniu 8.10. 2012 roku, przy użyciu specjalnej wyciągarki, wydobyto go na powierzchnię i następnie przetransportowano do Instytutu Geologii UAM. Świat oficjalnie dowiedział się o największym w Polsce i w Europie środkowej meteorycie na konferencji prasowej, zorganizowanej na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w dniu 31.10.2012 roku. Obecnie oczyszczony i zakonserwowany okaz można podziwiać w Muzeum Ziemi Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM (www.muzeumziemi.amu.edu.pl). Oprócz rekordowej wagi jego dodatkowym atutem jest fakt, że jest to meteoryt orientowany, mający z dwóch stron pierwotną skorupę obtopieniową. W przyszłości będzie stanowił ozdobę planowanego Muzeum Historii Naturalnej w Poznaniu.

Zwieńczeniem zainteresowań naukowców meteorytami i szeroko rozumianą materią pozaziemską była zorganizowana w dniach 19–21 października 2012 roku w Obrzycku doroczna konferencja Sekcji Petrologii Polskiego Towarzystwa Mineralogicznego poświęcona tym zagadnieniom.

Na tym ważnym wydarzeniu kończy się obecna historia poszukiwań i badań meteorytu Morasko, ale jesteśmy przekonani, że na odkrycie czekają jeszcze inne, może większe meteoryty, osadzone na głębokościach, do których będzie można docierać dzięki coraz doskonalszym wykrywaczom metali i dalszej, uporczywej pracy poszukiwaczy.

the Institute of Geology of the AMU in Poznań. An official announcement of the discovery was made to a press conference organized at the Faculty of Geographical and Geological Sciences of the AMU, on October 31st, 2012. The cleaned and conserved meteorite is now exposed at the Faculty's Museum of the Earth (see: www.muzeumziemi.amu.edu.pl). Apart from the record weight, the additional value of this find is that it is an oriented meteorite with a melting crust preserved on two sides. The record meteorite will be an extra object to be exposed in the planned Natural History Museum in Poznań.

A sort of unofficial "crowning" of recent research efforts in Poland that concentrated on the meteorites and, in general, on extraterrestrial matter, was the annual Meeting of the Petrology Group of the Mineralogical Society of Poland at Obrzycko, near Poznań, on October 19–21, 2012. This event ends the history of prospecting and investigating of the Morasko meteorite for today but we are sure that there are other, still larger meteorites waiting at greater depths to be discovered with more powerful metal detectors and due to the dedicated work of meteorite hunters.

Literatura
References

Bartoschewitz R., Spettel B. 2001: Tabarz – A Fragment of the Morasko Strewn Field? Meteoritics and Planetary Science, 36: A15–A16.

Benedix G.K., McCoy T.J., Keil K., Love S.G. 2000: A petrologic study of the IAB iron meteorites: Constraints on the formation of the IAB-Winonaite parent body. Meteorit. Planet. Sci., 35: 1127–1141.

Classen J.R. 1987: Die Meteoritenkrater von Morasko in der VR Polen. Veröffentl. Der Sternwarte Pulsnitz, 17: 1–16.

Czajka W. 2005: Obraz hipotetycznej trajektorii Tabarz–Przełazy–Morasko–Jankowo Dolne na geodezyjnej powierzchni odniesienia. www.astroblemy.pl

Czajka W. 2010: Rozważania na temat bolidu wielkopolskiego. Hipoteza bolidu wielkopolskiego. Meteoryt, 3: 7–9.

Czajka W. 2012: Bolid wielkopolski a kometa Halleya. Meteoryt 1, 16–18.

Czegka W. 1996: Remarks on the Morasko crater field and some of its lost morphological features (abstract). Meteorit. Planet. Sci., 31: A34.

Dominik B. 1976: Mineralogical and chemical study of coarse octahedrite Morasko. Pr. Mineral. PAN, 47: 7–53.

Dominik B., Manecki A., Pawłowski K.P. 1974: Microscopic and X-ray investigations of 2H- and 3R--graphite from the Morasko iron meteorite. Mineralogia Polonica, 5: 79–88.

Dworzyńska M. 2011: Mineralogiczne badania osadów otaczających meteoryty na terenie rezerwatu „Meteoryt Morasko" – na podstawie wybranych próbek. MSc thesis. Adam Mickiewicz University, Poznań.

Dworzyńska M., Muszyński A. 2013 (in prep.): Micrometeorites: a component of the Morasko iron shower.

Dziel T., Gałązka-Friedman J., Karwowski Ł. 2007: Badania Mosbauerowskie meteorytów Marlow i Morasko. III Seminarium Meteorytowe, 21–22 kwietnia 2005, Olsztyn. Materiały, p. 17–23 (abstract in English).

Golden D.C., Ming D.W., Zolensky M.E., 1995: Chemistry and mineralogy of oxidation products on the surface of the Hoba nickel-iron meteorite. Meteoritics, 30: 418.

Gurdziel A., Karwowski Ł. 2007: Wtórne przemiany w meteorycie Morasko. In: III Seminarium Meteorytowe, 21–22 IV 2005, Olsztyn, materiały, 24–29 (abstract in English).

Gurdziel A., Karwowski Ł. 2011: Wtórne zmiany w obrębie fosforków i węglików w meteorycie Morasko. Acta Soc. Metheor. Polon., 2: 25–34.

Gurdziel A., Karwowski Ł., Pilski A., Muszyński A., Kryza R. 2013 (in prep.): Weathering of iron meteorites: the Morasko IAB-MG and twin meteorites.

Hurnik H. (ed.) 1976: Meteorite „Morasko" and the region of the fall of the meteorite. Adam Mickiewicz University Press, Poznań, Ser. Astronomia, 2: 1–64.

Jastrzębska A. 2009: Zmiany szokowe w meteorytach żelaznych na przykładzie meteorytów Morasko i Jankowo Dolne. Acta Soc. Metheor. Polon., 1: 38–43.

Karczewski A. 1976: Morphology and lithology of closen depressions area located on the North slope of Moraska Hill near Poznań. In: Hurnik H. (ed.) Meteorite Morasko and region of its fall. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 7–19.

Karwowski Ł. 2007: Zmiany szokowe kraterowych odłamków z okolic Przełazów (Seeläsgen)–Moraska–Jankowa Dolnego. III Seminarium Meteorytowe, 21–22 kwietnia 2005, Olsztyn. Materiały, p. 43–48 (abstract in English).

Karwowski Ł., Gurdziel A. 2004: Wietrzenie meteorytu Morasko. III Konferencja Meteorytowa. Poznań 2004, 15–21.

Karwowski Ł., Gurdziel A. 2009: Secondary minerals in Morasko and Pułtusk meteorites. Vestnik Lviv. Univ. Ser. Physics, 43: 243–248.

Karwowski Ł., Helios K., Kryza R., Muszyński A., Drożdżewski P. 2013a (in press): Raman spectra of selected mineral phases of the Morasko iron meteorite. Journal of Raman Spectroscopy.

Karwowski Ł., Helios K., Kryza R., Muszyński A., Drożdżewski P. 2013d (in prep.): Raman spectra of phosphates of the Morasko IAB-MG iron meteorite. Journal of Raman Spectroscopy.

Karwowski Ł., Kryza R., Muszyński A. 2013c (in prep.): Phosphate phases in the Morasko IAB-MG iron meteorite.

Karwowski Ł., Kryza R., Muszyński A., Jakieła R. 2013e (in prep.): Izotopy ołowiu w ałtaicie z meteorytu Morasko.

Karwowski Ł., Muszyński A. 2006: Silicates association in nodules of iron meteorites Seeläsgen, Morasko and Jankowo Dolne. Miner. Soc. Pol. Spec. Pap., 29: 140–143.

Karwowski Ł., Muszyński A. 2007: Mineral association of nodules from iron meteorites Seeläsgen, Morasko and Jankowo Dolne. Mineral. Polon. Spec. Pap., 31: 159–162.

Karwowski Ł., Muszyński A. 2008: Multimineral inclusions in the Morasko coarse ochtahedrite. Meteorit. Planet. Sci., 43: A71.

Karwowski Ł., Muszyński A., Kryza R., Helios K. 2009a: Phosphates in the Morasko meteorite. Mineralogia Spec. Pap., 35: 90–91.

Karwowski Ł., Muszyński A., Kryza R., Pilski A. 2009b: Polimineralne nodule w gruboziarnistym meteorycie Morasko. Acta Soc. Metheor. Polon, 1: 52–58.

Karwowski Ł., Muszyński A., Kryza R., Słaby E., Pilski A.S.P. 2013b (in prep.): Mineralogy of the Morasko IAB-MG iron meteorite.

Karwowski Ł., Pilski A.S., Muszyński A., Arnold S., Notkin G., Gurdziel A. 2011: New finds in the Morasko Meteorite Preserve, Poland. Meteorites, 1: 21–28.

Kracher A., Willis J., Wasson J.T. 1980: Chemical classification of iron meteorites – IX. Geochimica et Cosmochimica Acta, 44: 773–787.

Kryza R., Helios K., Karwowski Ł., Muszyński A. 2010: Spektroskopia Ramana w badaniach fosforanów w meteorytach: wstępne dane z meteorytu Morasko. Raman spectroscopy investigations of phosphates in meteorites: preliminary data from meteorite Morasko. Materiały Konferencji PTMet., Kraków 2010.

Kuźmiński H. 1976: Dynamic elements of the meteoritic shower "Morasko". In: Hurnik H. (ed.) Meteorite Morasko and region of its fall. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 45–63.

Marini F., Raukas A.,Tiirmaa R., 2004: Magnetic fines from the Kaali impakt-site (Holocene, Estonia): preliminary SEM investigation. Geochem. J., 38: 107–120.

Muszyński A., Kryza R., Karwowski Ł., Pilski A.S.P. 2013a (in prep.): The Morasko iron and paired meteorites: petrology, bulk chemistry and systematic position.

Muszyński A., Pilski A.S., Socha K. 2006: Dwa lata w Rezerwacie Morasko. Meteoryt 4(60): 16–18.

Muszyński A., Pilski A., Kryza R., Karwowski Ł., Stankowski W., Nowak M., Bartoschewitz R. 2013b (in prep.): The Morasko iron and paired meteorites: fall sites and strewnfield of iron shower.

Muszyński A., Stankowski W., Dzierżanowski P., Karwowski Ł. 2001: New data about the Morasko Meteorite. Miner. Soc. Pol. Spec. Pap., 18: 134–137.

Pack A., Karwowski Ł., Kryza R., Muszyński A., Słaby E., Raith M. 2013 (in press): Low-T formation of chromite in the Morasko IAB iron meteorite by oxidative solid-state exsolution from metal.

Pilski A.S. 2003: Gdzie i kiedy spadły meteoryty Morasko? Meteoryt, 4(48): 6 + cover.

Pilski A.S., Kryza R., Wasson J.T., Muszyński A., Karwowski Ł. 2012a: Pierwiastki syderofilne w meteorytach Morasko (Siderophile elements in the Morasko meteorites). Acta Soc. Metheor. Polon., 3: 61–70.

Pilski A.S., Kryza R., Wasson J.T., Muszyński A., Karwowski Ł. 2013 (in press): Low-Ir IAB-irons from Morasko and other locations in central Europe: one fall, possibly distinct from IAB-MG. Meteoritics and Planetary Science.

Pilski A.S., Skirzewska M., Smuła Ł., Muszyński A. 2012b: Rekordowy okaz Moraska. Meteoryt 4(84): 3–7.

Pilski A., Walton W. 1999: Morasko – the largest European iron meteorite shower. Meteorite, 5: 27–28.

Plyashkhevich L.N., Sandomiroskaya S.M., Zaslavskaya N.I. 1980: The Mineralogy and Structure of the Egvekinot Meteorite. Meteoritika, 39: 70–78.

Pokrzywnicki J. 1955: O niektórych mało znanych polskich meteorytach. Acta Geol. Polonica, 5: 427–437.

Pokrzywnicki J. 1957: Nowe okazy Meteorytu Morasko. Urania, 28(8): 231–235.

Pokrzywnicki J. 1964: Meteoryty Polski. Katalog meteorytw w zbiorach polskich. Stud. Geol. Polon., 15: 1–176.

Stankowski W. 2001: The geology and morphology of the natural reserve "Meteoryt Morasko". Planet. Space Sci., 49: 749–753.

Stankowski W. 2008: Meteoryt Morasko, osobliwość obszaru Poznania (Morasko Meteorite, A curiosity of the Poznań region). Wyd. Nauk. UAM, p. 1–94.

Stankowski W., Bluszcz A. 2012: Luminescence dating as comparative data to radiocarbon age estimation of Morasko spherical depressions. In: D. Michalska-Nawrocka (ed.), Radiometric dating. InTech.

Stankowski W., Uścinowicz G. 2011: The age of the Przełazy (Seeläsgen) meteorite fall in the light of the metallic spherule content. Acta Geologica Polonica, 61, 1: 115–124.

Tatsumoto M., Knight R.J., Allegre C.J. 1973: Time difference in the formation of meteorites as determineted from the ratio of lead-207 to lead-206. Science, 180: 1279–1283.

Wojnarowska A., Dziel T., Gałązka-Friedman J., Karwowski Ł. 2008: New mineralogical phases identified by Mössbauer measurements in Morasko meteorite. Hyperfine Interact., 186: 167–171.

Najważniejsze polskie strony internetowe o meteorytach

http://www.ptmet.org.pl – strona Polskiego Towarzystwa Meteorytowego; informacje o meteorytach, kolekcjach, konferencjach i seminariach; wydawnictwa meteorytowe; badania.

http://wiki.meteoritica.pl – internetowa encyklopedia meteorytów – redaktorzy: Jan Woreczko i Wadi; katalog meteorytów polskich; bibliografia meteorytowa, źródła.

http://www.meteoryt.net – najstarsza polska strona meteorytowa prowadzona od 1997 przez Marcina Cimałę.

http://jba1.republika.pl/ – Polski Serwis Meteorytowy; najpopularniejszy polski serwis o meteorytach, strona prowadzona przez Jarosława Bandurowskiego (od jakiegoś czasu jej edycja została zawieszona).

http://www.woreczko.pl/ – strona kolekcjonerów Wadi i Jana Woreczko.

http://jotde.republika.pl/meteoryty/ – kolekcja dydaktyczna meteorytów Jadwigi i Jacka Drążkowskich.

http://meteoryt.info/ – kwartalnik METEORYT; redakcja Andrzej S. Pilski i Jacek Drążkowski; wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Meteorytowego i Olsztyńskiego Planetarium i Obserwatorium Astronomicznego.

http://www.artmet-meteoryty.pl/ – strona znalazców nowego 300-kilogramowego meteorytu: Magdaleny Skirzewskiej i Łukasza Smuły, zawiera osobistą relację z poszukiwań, wydobycia i czyszczenia meteorytu.

http://www.morasko2.republika.pl – Krzysztof Kamiński informacje dotyczące meteorytu Morasko do 2002 roku, tabela meteorytów do 2002 roku, model 3D kraterów uderzeniowych.

http://www.uamfilm.amu.edu.pl – z filmoteki UAM – film (28 min) Dotyk Wszechświata. Meteoryt Morasko; krótki film (5 min) o odkryciu i wydobyciu 300 kg meteorytu w październiku 2012.

http://www.meteorites.pwr.wroc.pl/ – czasopismo METEORITES; red. Tadeusz Przylibski; czasopismo o tematyce meteorytowej.

List of selected Polish web sites on meteorites

http://www.ptmet.org.pl – web site of the Polish Meteoritic Society; information on meteorites, collections, conferences and seminars; literature on meteorites; meteorite investigations.

http://wiki.meteoritica.pl – Internet encyclopedia of meteorites, editors: Jan Woreczko and Wadi; catalogue of Polish meteorites, bibliography and references.

http://www.meteoryt.net – the earliest Polish web site on meteorites, created by Marcin Cimała in 1997.

http://jba1.republika.pl/ – Polish Meteorite Service, most popular meteorite service led by Jarosław Bandurowski (recently not active).

http://www.woreczko.pl/ – web site of meteorite collectors, Wadi and Jan Woreczko.

http://jotde.republika.pl/meteoryty/ – didactic meteorite collection of Jadwiga and Jacek Drążkowski.

http://meteoryt.info/ – quarterly METEORYT; editors: Andrzej S. Pilski and Jacek Drążkowski; journal of the Polish Meteoritic Society and Olsztyn Planetary and Astronomic Observatory.

http://www.artmet-meteoryty.pl/ – web site of Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła, the finders of the new, 300 kg Morasko; personal reports on searching, excavation and cleaning the meteorite.

http://www.morasko2.republika.pl – Krzysztof Kamiński – information on the Morasko Meteorite up to 2002 (table of meteorites); 3D model of the impact craters.

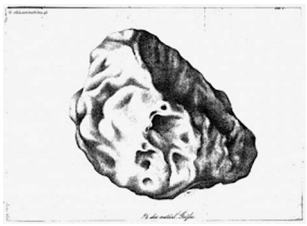
http://www.uamfilm.amu.edu.pl – film library of the AMU in Poznań: Touch of the Universe. Morasko meteorite (28 min.); short film (5 min.) on discovery and excavation of the new 300 kg meteorite in October 2012.

http://www.meteorites.pwr.wroc.pl/ – new journal METEORITES; editor Tadeusz Przylibski, journal devoted to meteorites.

Galeria fotografii
meteorytów Morasko, Przełazy i Jankowo Dolne

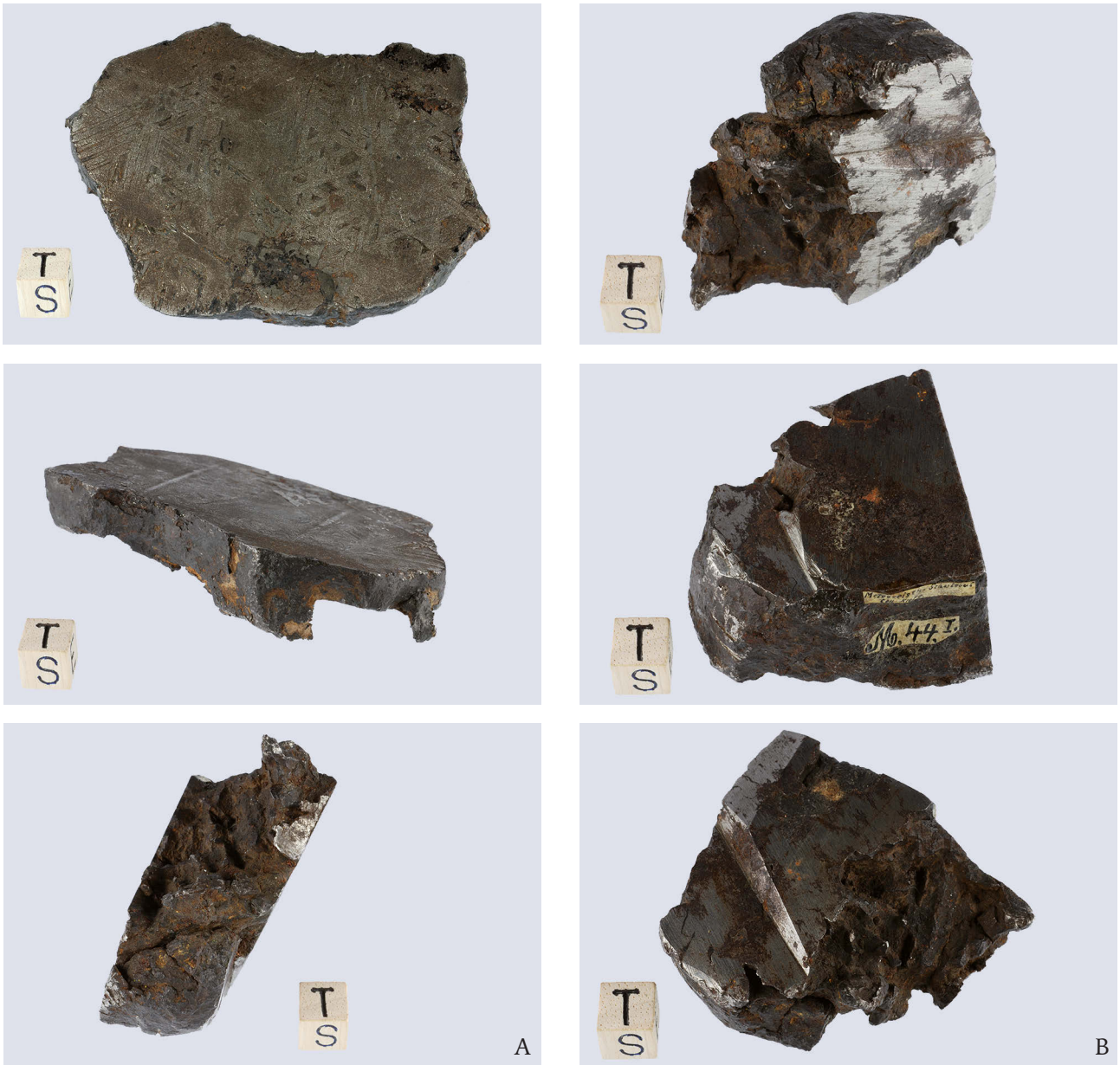
Photogallery of
the Morasko, Przełazy and Jankowo Dolne meteorites

Meteoryt Przełazy (Seeläsgen)
Przełazy (Seeläsgen) Meteorite



Prawdopodobnie tak wyglądał meteoryt Przełazy (Seeläsgen) o wadze ok. 100 kg, znaleziony przed rokiem 1847. Znalazca nieznany. Meteoryt pocięty na małe fragmenty trafił do wielu kolekcji muzealnych na świecie

Image, possibly of the Przełazy (Seeläsgen) meteorite, c. 100 kg in weight, found before 1847. Finder unknown. The meteorite cut into small plates was distributed to many museum collections worldwide.



Dwa fragmenty meteorytu Przełazy pokazane na fotografiach w kolumnach A i B w różnych położeniach znajdują się w Muzeum Mineralogicznym Uniwersytetu Wrocławskiego (fot. A. Stryjewski).

Two fragments of the Przełazy meteorite shown from various angles in columns A and B, are in the possession of the Mineralogical Museum of the University of Wrocław (photo A. Stryjewski).

Meteoryt Morasko
Morasko Meteorite



Meteoryt Morasko Coblinera. Rok znalezienia: 1914. Waga po znalezieniu 77,5 kg obecnie 71,2 kg (fot. M. Doktor)

Cobliner Morasko meteorite. Found in 1914. Weight after find 77.5 kg now 71.2 kg (photo M. Doktor).

Znaleziony przez żołnierzy podczas kopania okopów w okolicach wsi Morasko koło Poznania. Przekazany do badań naukowcom przez sierżanta dr. Coblinera. Po znalezieniu okaz najpierw trafił do Poznania, następnie został wywieziony do Berlina. Po wojnie wrócił do Poznania, skąd przed rokiem 1964 przewieziono go do ZNG PAN w Warszawie (nie zachowała się żadna dokumentacja nt. tego ostatniego przekazania).

W 1964–1965 w planetarium w Chorzowie zorganizowano wystawę „Materia meteorytowa w naszym układzie słonecznym", na której eksponowano 94 meteoryty „warszawskie" w tym „Coblinera". W 1967 roku wystawa została przeniesiona do muzeum w Krakowie. W 1968 roku, po zakończeniu wystawy, meteoryty „warszawskie" pozostawiono w Krakowie. Za zgodą ZNG PAN w Warszawie meteoryty „warszawskie" zostały wpisane do inwentarza muzeum w Krakowie. (Wg informacji przekazanych przez Barbarę Kietlińską-Michalik, kierownika Muzeum Geologicznego PAN w Krakowie).

Found by soldiers during digging trenches in the vicinity of the village of Morasko near Poznań. Given to scientists by sergeant Dr. Cobliner. After finding, the meteorite was transferred to Poznań, afterwards to Berlin, and after the World War II got back to Poznań; before 1964 it was transferred to the Geological Institute, Polish Academy of Science, Warsaw (no documents concerning the latter transfer are available).

In 1964–1965, in Planetarium in Chorzów, there was arranged an exhibition "Meteoritic matter in our Solar System", where 94 of the so called "Warsaw" meteorites (including "Cobliner") were exposed. In 1967, the exhibition was moved to Kraków. In 1968, when the exhibition was closed, the "Warsaw" meteorites were left in Kraków. With permission of the Geological Institute, Polish Academy of Science, the Warsaw" meteorites were formally registered in the collection of the Geological Museum of the PAS in Kraków. (Based on infrmation provided by Mrs. Barbara Kietlińska-Michalik, the head of the Geological Museum in Kraków).

Meteoryt Morasko
Morasko Meteorite



Okaz Moraska znaleziony w 1956 roku; waga 78 kg, znalazca nieznany; Muzeum Mineralogiczne Uniwersytetu Wrocławskiego (fot. A. Stryjewski)

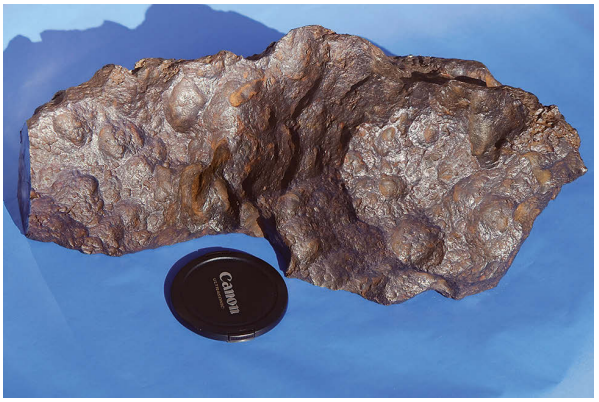
Morasko meteorite found in 1956; 78 kg in weight; Finder unknown; the Mineralogical Museum of the University of Wrocław (photo A. Stryjewski).



Sala Meteorytowa w Muzeum Mineralogicznym Uniwersytetu Wrocławskiego.
W centralnej części wystawiono meteoryt Morasko, o wadze 78 kg (fot. A. Stryjewski)

Meteorite Room in the Mineralogical Museum of the University of Wrocław.
In the middle, exposed is the 78 kg Morasko meteorite (photo A. Stryjewski).

Meteoryt Morasko
Morasko Meteorite



Okaz znaleziony w 1992 roku; waga 56 kg, znalazca: nieznany; Muzeum Ziemi UAM Poznań (fot. M. Nowak)

Meteorite found in 1992; weight 56 kg, finder: unknown; Museum of the Earth, AMU Poznań (photo M. Nowak).



Okaz znaleziony w 1995 roku; waga 72 kg, znalazca: Henryk Nowacki; okaz wywieziony z Polski (fot. H. Nowacki)

Meteorite found in 1995; weight 72 kg, finder: Henryk Nowacki; now the meteorite is outside Poland (photo H. Nowacki).



Okaz znaleziony w 2000 roku; waga 51 kg; znalazcy: Alexander Gehler, Tomasz Kurc (Thomas Kurtz) i Matthias Kurz; okaz został wywieziony z Polski i pocięty na fragmenty (fot. T. Kurc)

Meteorite found in 2000; weight 51 kg, finders: Alexander Gehler, Tomasz Kurc (Thomas Kurtz) i Matthias Kurz; the meteorite now outside Poland; it has been cut into pieces (photo T. Kurc).



Okaz znaleziony w 2003 roku; waga 54 kg, znalazca: Waldemar Ruliński; okaz został pocięty na fragmenty (fot. M. Cimała)

Meteorite found in 2003; weight 54 kg, finder: Waldemar Ruliński; the meteorite has been cut into pieces (photo M. Cimała).

Meteoryt Jankowo Dolne
Jankowo Dolne Meteorite



Największy okaz meteorytu Jankowo Dolne znaleziony 6 czerwca 2004 roku; waga 11,5 kg (przed oczyszczeniem) (fot. M. Cimała)

The largest meteorite of Jankowo Dolne (*main mass*) found on June 6th, 2004; weight 11.5 kg (before cleaning) (photo M. Cimała).



Pierwszy meteoryt znaleziony w Jankowie Dolnym; waga 112 g; na nim wykonano wstępne badania mineralogiczne (fot. Ł. Karwowski)

The first meteorite found at Jankowo Dolne; weight 112 g; this specimen was used for the first mineralogical investigation (photo Ł. Karwowski).



Struktura oktaedrytu gruboziarnistego w meteorycie z Jankowa Dolnego; widoczne linie Neumanna (fot. A.S. Pilski)

Coarse-grained texture in octahedrite from Jankowo Dolne; Neumann lines are visible (photo A.S. Pilski).



Okaz 151 g (fot. K. Mazurek)

Piece of 151 g (photo K. Mazurek).

Wykorzystano zdjęcia i opisy ze strony wiki.meteoritica.pl, za zgodą i dzięki uprzejmości Jana Woreczko
The photographs and descriptions come from wiki.meteoritica.pl, by courtesy of Jan Woreczko.

Meteoryt Morasko – nowe odkrycia
Morasko Meteorite – new discoveries

Meteoryt Morasko – „Rudy”; znaleziony 11 września 2006 roku; 178 kg (po oczyszczeniu 164 kg); znalazca: Krzysztof Socha; Muzeum Ziemi UAM Poznań.

Morasko meteorite – “Rudy”, found on September 11th, 2006; 178 kg (after cleaning 164 kg); finder: Krzysztof Socha; Museum of the Earth, AMU Poznań.



Krzysztof Socha przy 178 kg meteorycie „Rudy” (fot. A. Muszyński)

Krzysztof Socha with 178 kg meteorite “Rudy” (photo A. Muszyński).



Nowe wielkie Morasko („Rudy”) na okładce kwartalnika „Meteoryt”

New large Morasko (“Rudy”) on front cover of the quarterly “Meteoryt”.

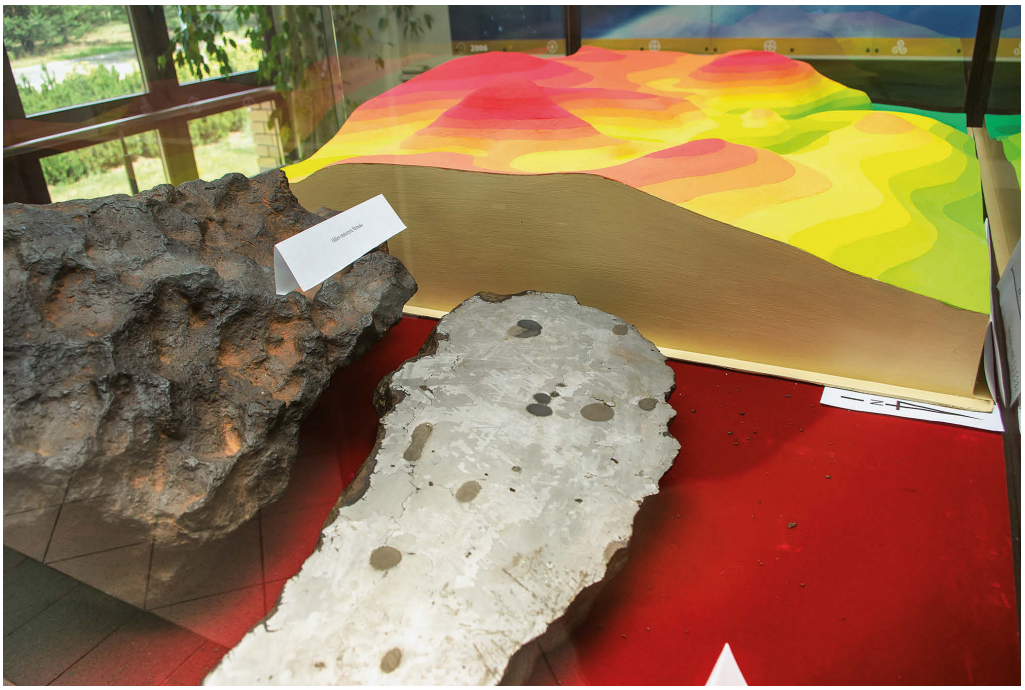


Oczyszczony meteoryt „Rudy” (164 kg) (fot. A. Muszyński)

Cleaned meteorite “Rudy” (164 kg) (photo A. Muszyński).



Fragment przeciętego meteorytu „Rudy” (fot. A. Muszyński)
Fragment of meteorite “Rudy” (photo A. Muszyński).



Gablota prezentująca fragment meteorytu „Rudy ”, kopię całego meteorytu oraz makietę kraterów impaktowych w rezerwacie Meteoryt Morasko. Instytut Geologiczny UAM Poznań (fot. A. Muszyński)
Exposition of meteorite “Rudy” (cut piece and a copy of the entire meteorite) and of the Morasko impact craters model. Geological Institute, AMU Poznań (photo A. Muszyński).

Meteoryt Morasko – nowe odkrycia
Morasko Meteorite – new discoveries











Meteoryt Morasko, znaleziony w 2008 roku przez Magdalenę Skirzewską i Łukasza Smułę, waga 40 kg (po oczyszczeniu 28 kg); z kolekcji Tomasza Jakubowskiego (fot. Ł. Smuła)

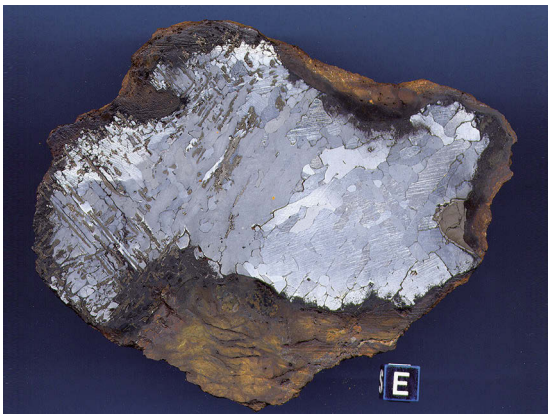
Morasko meteorite, found in 2008 by Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła, weight 40 kg (after cleaning 28 kg); from Tomasz Jakubowski collection (photo Ł. Smuła).











„Meteorite Men", Steve Arnold i Geoffrey Notkin, lipiec 2011 (34 kg)
"Meteorite Men", Steve Arnold and Geoffrey Notkin, July 2011 (34 kg).

Meteoryt Morasko – nowe odkrycia
Morasko Meteorite – new discoveries

„Memorss” o wadze ~ 300 kg, wydobyty 8 października 2012 roku przez Magdalenę Skirzewską i Łukasza Smułę
“Memorss”, excavated on October 8th, 2012 by Magdalena Skirzewska i Łukasz Smuła; weight ~ 300 kg
(fot./photo: 1, 2, 3 – A. Muszyński, 4 – M. Skirzewska)

1



2




3


4



„Memorss" po oczyszczeniu (261,2 kg), Muzeum Ziemi UAM Poznań (fot. A. Muszyński)
"Memorss" after cleaning (261.2 kg), Museum of the Earth, AMU Poznań (photo A. Muszyński).

Poszukiwania meteorytów / Meteorite prospection



Młodzi pasjonaci poszukują meteorytów w otoczeniu rezerwatu Meteoryt Morasko (fot. A. Muszyński)

Young enthusiastic prospectors search for meteorites in the vicinity of "Morasko Meteorite" reserve (photo A. Muszyński).



Steve Arnold i Geoffrey Notkin przygotowują sprzęt do poszukiwań meteorytów (fot. A. Muszyński)

Steve Arnold and Geoffrey Notkin preparing the equipment for meteorite search (photo A. Muszyński).



Magdalena Skirzewska i Łukasz Smuła lokalizują sygnały pochodzące od obiektów żelaznych pod powierzchnią ziemi (fot. A. Muszyński)

Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła locating signals coming from iron objects below the ground surface (photo A. Muszyński).

Wydobywanie meteorytów / Meteorite excavation



Krzysztof Socha i Andrzej S. Pilski wydobywają meteoryt o wadze ~20 kg (fot. A. Muszyński)

Krzysztof Socha and Andrzej S. Pilski during excavation of a meteorite ~20 kg in weight (photo A. Muszyński).



Łukasz Smuła sprawdza wykrywaczem sygnał jaki wydaje żelazny meteoryt (fot. A. Muszyński)

Łukasz Smuła controlling the detector signal that comes from an iron meteorite (photo A. Muszyński).



Zespół poszukiwaczy przygotowany do wydobycia meteorytu (fot. A. Muszyński)

The prospecting team ready for excavation of the meteorite (photo A. Muszyński).

Meteoryt Morasko – od odkrycia do muzeum
Morasko Meteorite – from discovery to museum

Meteoryty przed oczyszczeniem / Meteorites before cleaning


1


2



3



4


5


6

Fot./photo: 1,3,4,5,6 – A. Muszyński, 2 – Ł. Smuła

Czyszczenie meteorytów / Cleaning of meteorites




Krzysztof Socha w trakcie czyszczenia meteorytów (fot. A. Muszyński)
Krzysztof Socha cleaning the meteorites (photo A. Muszyński).






Magdalena Skirzewska i Łukasz Smuła podczas czyszczenia „Memorssa” (fot. M. Męczyński, M. Skirzewska)
Magdalena Skirzewska and Łukasz Smuła cleaning “Memorss” (photo M. Męczyński, M. Skirzewska).

Oczyszczone meteoryty / Cleaned metorites







Fot. /Photo A. Muszyński



Fot./Photo Ł. Smuła
waga/weight 6,5 kg



Fot. /Photo A. Muszyński
waga/weight 3,5 kg

Oczyszczone meteoryty / Cleaned meteorites

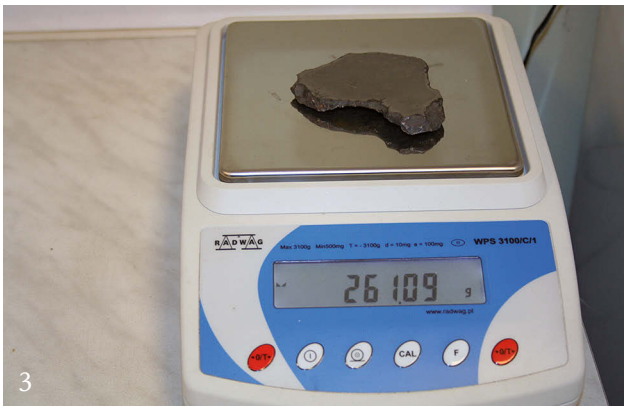


Fot. /Photo A. Muszyński

Ważenie meteorytów / Weighing the meteorites







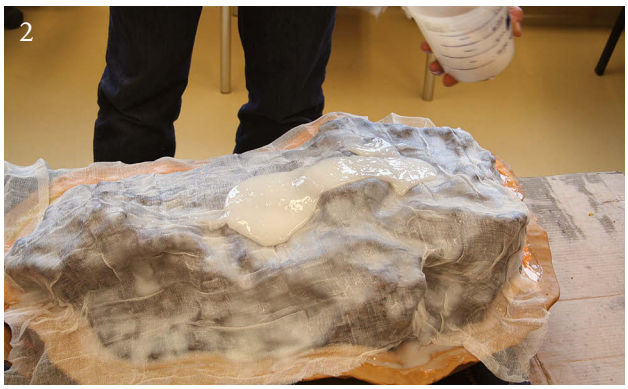


Mniejsze meteoryty ważymy na wadze laboratoryjnej, większe na wadze łazienkowej. Do zważenia „Rudego"i „Memorssa" wypożyczono wagę z poznańskiego RADWAG-u (fot. 1, 2, 3 A. Muszyński, fot. 4. M. Skirzewska)

Smaller meteorites can be weighed using laboratory scales, somewhat bigger using "bathroom" scales. To weigh the largest ones, such as "Rudy" and "Memorss", we had to use big scales borrowed from RADWAG (Poznań) (photo 1, 2, 3 A. Muszyński, photo 4. M. Skirzewska).

Wykonanie kopii „Rudego” / Making a copy of “Rudy”











1–5. Kolejne etapy powstawania kopii meteorytu (fot. A. Muszyński)

1–5. Following stages of making a copy of meteorite (photo A. Muszyński).



Krzysztof Socha eksponuje wykonaną z żywicy kopię „Rudego” (fot. A. Muszyński)

Krzysztof Socha presents a copy of “Rudy” (photo A. Muszyński).

Cięcie meteorytów / Cutting the meteorites




Cięcie „Rudego" na dwie części w zakładach kamieniarskich w Szczecinie (fot. I. Grzechowiak)
Cutting of "Rudy" into two parts in stone works in Szczecin (photo I. Grzechowiak).






Cięcie meteorytu 56 kg w zakładach metalowych w Poznaniu (fot. A. Muszyński)
Cutting a 56 kg meteorite in metal works in Poznań (photo A. Muszyński).

Szlifowanie i trawienie meteorytów / Polishing and etching of meteorites



Meteoryt przecięty przed szlifowaniem
(fot. A. Muszyński)

Cut meteorite before grinding
(photo A. Muszyński).



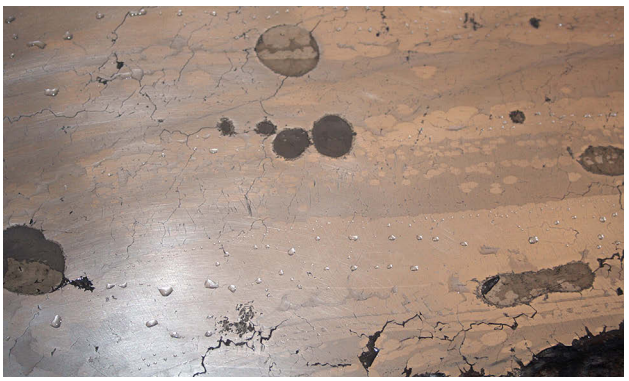
Szlifowanie meteorytu przy pomocy proszków szlifierskich (fot. A. Muszyński)

Grinding the meteorite with abrasive dust
(photo A. Muszyński).



Polerowanie przy pomocy tarczy diamentowej
(fot. A. Muszyński)

Polishing with diamond plate
(photo A. Muszyński).



Fragment wypolerowanej powierzchni przed trawieniem (fot. M. Makowska)

Fragment of a polished plate before etching
(photo M. Makowska).



Meteoryt przygotowany do wytrawienia
(fot. A. Muszyński)

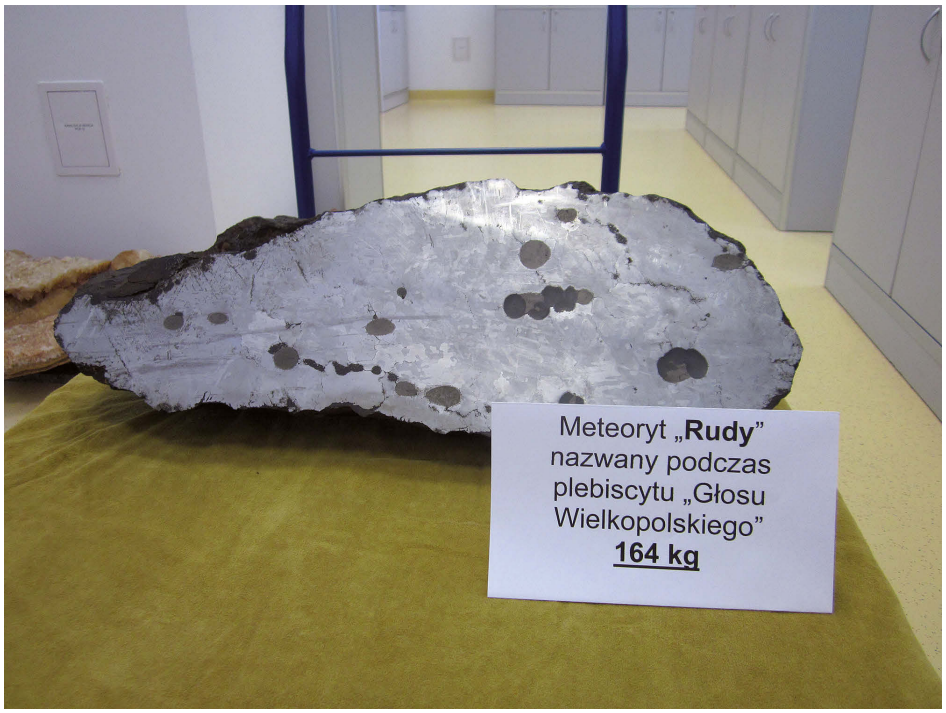
Meteorite before etching
(photo A. Muszyński).



Wytrawiony fragment meteorytu
(fot. A. Muszyński)

Etched fragment of meteorite
(photo A. Muszyński).

Rekordowe okazy / Main masses – the record discovery



Meteoryt „Rudy” – rekordowy meteoryt Polski do roku 2012 (fot. J. Muszyńska)
“Rudy” meteorite – the record meteorite in Poland till 2012 (photo J. Muszyńska).



Meteoryt „Memorss” – nowy rekordowy meteoryt w Polsce (fot. J. Muszyńska)
“Memorss” meteorite – a new record meteorite in Poland (photo J. Muszyńska).

Oglądanie meteorytów / Demonstration of meteorites



Prof. W. Stankowski prezentuje „Rudego" fizykom z UAM i PAN

Prof. W. Stankowski presents the meteorite "Rudy" to physicists of the AMU and PAS.



„Rudy" podczas Pikniku Fizyków w Starym Browarze 23 stycznia 2007 roku

"Rudy" during "Physicists' Picknic" in the "Old Brewery" in Poznań, January 23rd, 2007.



Zainteresowanie mediów „Memorssem" podczas konferencji prasowej 31 października 2012 roku

Mass media interest in "Memorss" during a press conference on October 31st, 2012.



Uczniowie z gimnazjum słuchają wykładu prof. A. Muszyńskiego o meteorytach

Secondary school students listen to a lecture on meteorites by Prof. A. Muszyński.



Przedstawiciele Polskiego Towarzystwa Meteorytowego i astronomowie z UAM wraz z „Memorssem".

Members of the Polish Meteoritic Society and astronomers of the AMU with "Memorss".



Pięciolatki z International School of Poznań przy „Memorssie"

Five-year old children from the International School of Poznań, with "Memorss".





Bogucki
WYDAWNICTWO
NAUKOWE

ISBN 978-83-63400-50-7