

PRIRODOSLOVNI MUZEJ SLOVENIJE



MUSEUM HISTORIAE NATURALIS SLOVENIAE

SCOPOLIA

Revija Prirodoslovnega muzeja Slovenije

Journal of the Slovenian Museum of Natural History

93 | 2018



SCOPOLLA 93 | 2018

SCOPOLIA 93/2018

Glasiło Prirodoslovnega muzeja Slovenije, Ljubljana / *Journal of the Slovenian Museum of Natural History, Ljubljana*

Izdajatelj / *Publisher:*

Prirodoslovni muzej Slovenije, Ljubljana, Slovenija /
Slovenian Museum of Natural History, Ljubljana, Slovenia

Sofinancirata/ *Subsidised by:*

Ministrstvo za kulturo in Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. / *Ministry of Culture and Slovenian Research Agency*

Urednik / *Editor-in-Chief:*

Boris Kryštufek

uredil /*Edited by:*

Janez Gregori

Uredniški odbor / *Editorial Board:*

Breda Činč-Juhant, Igor Daksobler, Janez Gregori, Miloš Kalezić (SB), Mitja Kaligarič, Milorad Mrakovčić (HR), Jane Reed (GB), Ignac SIVEC, Kazimir TARMAN, Nikola TVRTKOVIĆ (HR), Al Vrezec, Jan Zima (ČR)

Naslov uredništva in uprave / *Address of the Editorial Office and Administration:*

Prirodoslovni muzej Slovenije, Prešernova 20, p.p. 290, SI – 1001 Ljubljana, Slovenija /
Slovenian Museum of Natural History, Prešernova 20, P.O.B. 290, SI - 1001 Ljubljana, Slovenia

Račun pri UJP / *Account at UJP:*

01100-6030376931

Lektor za slovenščino in angleščino / *Slovenian and English language editing:*

Henrik Ciglič

Oblikovanje / *Design:*

Boris Jurca

Tisk / *Printed by:*

Schwarz print d.o.o., Ljubljana

Izideta najmanj dve številki letno, naklada po 600 izvodov / *The Journal is published at least twice a year, 600 copies per issue.*

Natisnjeno / *Printed:*

Avgust / *August* 2018

Naslovnica / *Front cover:* Ploščico meteorita Avče, ki je bila izrezana iz meteorita, so spolirali in jedkali, tako da nam sedaj razkriva Neumannove črte ter žgalni rob. Zbirka Prirodoslovnega muzeja na Dunaju. / *The slab which was cut out of the Avce meteorite was polished and etched, revealing Neumann lines and fusion edge. Collection of the Natural History Museum Vienna.*

Foto /*Photo:* Miha Jeršek

Cena posamezne številke / *Price of each issue:* 8,50 €

Revija je v podatkovnih bazah / *Journal is covered by :* COBIB, BIOSIS Previews, Referativnyi Zhurnal, Zoological Record, Abstract of Mycology

Meteoriti in njihovo pojavljanje na Slovenskem

Meteorites and their occurrence in Slovenia

Miloš MILER¹, Mateja GOSAR¹,
Jure ATANACKOV¹, Miha JERŠEK²

Izvleček

Zemlja je stalna tarča meteoritov, ki izvirajo iz različnih delov Osončja. Med seboj se razlikujejo po mineralni in kemijski sestavi. Od nastanka pred približno 4,57 milijarde leti se niso kaj dosti spremenili in prav zato so izjemno pomembni materialni dokazi o nastanku Osončja. Na območju Slovenije so bili odkriti in vpisani v mednarodno bazo meteoritov štirje meteoriti. Prvi (AVCE) je padel leta 1908 v okolici Avč v dolini Soče, drugi (JESENICE) je bil odkrit leta 2009 na Mežakli, tretji (JAVORJE) leta 2009 pri širjenju ceste, četrtega (JEZERSKO) pa je našel planinec v neposredni bližini Česke koče že leta 1992, vendar ga je v določitev prinesel kot zadnjega.

Ključne besede : meteoriti, Avče, Jesenice, Javorje, Jezersko

Abstract

Earth is a constant target of meteorites originating from various parts of the Solar System. They differ from one another by mineral and chemical composition. Since their formation, about 4.57 billion years ago, they have not changed much, and this is why they represent very important material evidence of the formation and evolution of the Solar System. Four meteorites have been discovered in the territory of Slovenia and eventually approved as well as registered in the Meteoritical Bulletin Database. The first (AVCE) fell in 1908 in the Avče area in the Soča valley, the other (JESENICE) was discovered in 2009 on Mt Mežakla, the third (JAVORJE) in 2009 during road construction, while the fourth (JEZERSKO) was found by a mountain hiker in the immediate vicinity of Česka koča already in 1992, but was studied and determined last.

Key words: meteorites, Avce, Jesenice, Javorje, Jezersko

¹ Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

² Prirodoslovni muzej Slovenije, Prešernova 20, 1000 Ljubljana

Vsebina

Uvod	3
Osončje	7
Padec meteorita	12
Vrste meteoritov	16
Impaktiti	31
Meteorit Avče	45
Meteorit Jesenice	48
Meteorit Javorje iz Poljanske doline	79
Meteorit Jezersko	93
Domnevni meteoriti in najpogostejše zamenjave	107
Zaključek	122
Zahvale	122
Povzetek	123
Summary	124
Literatura:	125

Uvod

Ljudje že od nekdaj zremo v nebo. Nekateri imajo zelo radi Sonce, druge vznemirja Luna, tretje očara zvezdnato nebo. Skoraj vsi pa se veselimo nočnega utrinka. Morda mislimo, da utrinki prinašajo srečo, ker se zdijo redki. Toda utrinki niso nič drugega kot padanje drobnih kamenčkov iz vesolja, ki se v ozračju zaradi različnih fizikalnih pojavov začno tako segrevati, da svetijo (sl. 1). Ob tem se majhni kamni iz vesolja lahko dobesedno stalijo in tako sploh ne padejo na površje Zemlje. Utrinki so torej meteorji, in če so dovolj veliki, da padejo na površje nebesnega telesa, jih imenujemo meteoriti. Meteoriti so sestavljeni iz trdnih mineralov, ki izvirajo iz vesolja, preživijo razmere ob padanju skozi ozračje in padejo na površje planeta, lune ali asteroida.

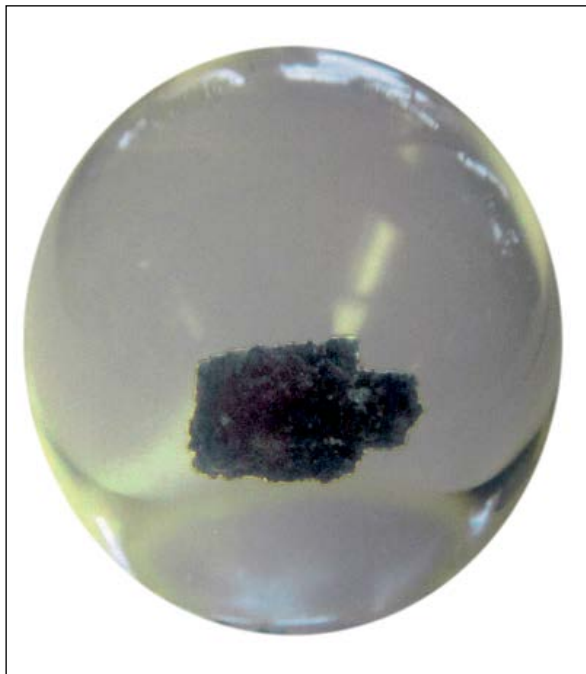
Meteoriti so stari skoraj toliko kot naše Osončje, se pravi okoli 4,57 milijarde let. Od tedaj se niso kaj dosti spremenili in zaradi tega so pomembni materialni dokazi, ki pričajo o razmerah po nastanku Osončja. Med seboj se ločijo po mineralni in kemični sestavi ter dejstvu, da so nastali v različnih starševskih telesih. Zato je prav vsak padec meteorita lahko nekaj posebnega, saj nikoli ne vemo, kaj je dobesedno padlo z neba.

Kako pomemben je material iz vesolja, lahko ponazorimo z dejstvom, da je 90 ameriških znanstvenikov, ki je dobilo samo 2 grama vzorca z Luninega površja od Rusov, napisalo kar 1109 strani znanstvenih razprav (ZEBEC 1985). Rusom je namreč leta 1972 uspelo z avtomatskim vesoljskim plovilom Luna 20 izvrtati 30 gramov kamninskega vzorca in ga v posebni kapsuli poslati na Zemljo. Tudi večina drugih vesoljskih odprav vključuje raziskave kamnin. Vendar so odprave vedno zelo drage, tovor pa omejen in zato so vzorci iz vesolja dragoceni (sl. 2).



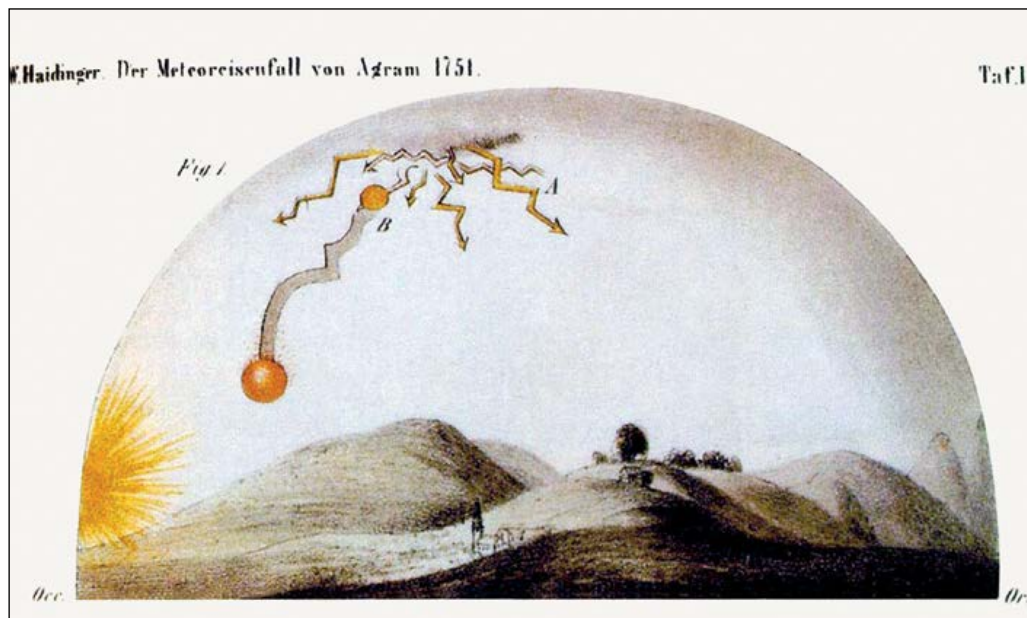
Slika 1. Na nočnem zvezdnem nebu najlaže opazimo utrinek. Foto: Andrej Guštin

Figure 1. A shooting star can be best observed in the night starry sky. Photo: Andrej Guštin



Slika 2. Kos kamnine z Lune. Nekdanji predsednik ZDA, Richard Nixon, je bil leta 1970 na obisku v Kumrovcu pri tedanjem predsedniku Jugoslavije maršalu Josipu Brozu Titu. Iz spoštovanja mu je Nixon izročil kos kamnine z Lune. Jugoslavija je kot članica neuvrščenih imela tedaj pomemben vpliv ne samo na Balkanu, marveč v svetovnem merilu. Dogodek je predstavljen v muzeju Staro selo v Kumrovcu, kjer je Titova rojstna hiša. Foto: Arhiv Marjetke Kardelj

Figure 2. S piece of rock from the Moon. In 1970, the former President of the United States Richard Nixon visited Marshal Josip Broz Tito, then President of Yugoslavia, at Kumrovec, Croatia. As a sign of respect, Nixon handed him a piece of rock from the Moon. At that time Yugoslavia had, as a member of the Non-Aligned Movement, a significant influence not only in the Balkans, but worldwide as well. The event is presented in the Staro selo Museum at Kumrovec, where Tito's house of birth is still standing. Photo: Marjetka Kardelj's Archive



Slika 3: Ilustracija padanja meteorita 26. maja 1751 pri Hrašćini v Zagorju na Hrvaškem (HAJDINGER 1859)

Figure 3: Illustration of the fall of a meteorite on 26 May 1751 near Hrašćina in the Zagorje region in Croatia (HAJDINGER 1859)



Slika 4. Meteorit Hraščina je padel leta 1751 v okolico Zagreba na Hrvaškem. Je prvi meteorit, opažen in najden, in ustanovni meteorit dunajske zbirke meteoritov. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

Figure 4. The meteorite Hraščina hit the ground in 1751 in the vicinity of Zagreb in Croatia. It is the first observed and found meteorite, as well as the founding meteorite in the Vienna collection of meteorites. Collection of the Natural History Museum Vienna. Photo: Archive of the Natural History Museum Vienna

Dostava vesoljskega materiala v obliki meteoritov pa je razmeroma poceni način, da pridemo do vzorcev iz časa nastanka našega Osončja (ATANACKOV et al. 2010). In to še od mnogo dlje kot od naše Lune, saj večina meteoritov izvira iz mesta, kjer bi moral biti peti planet od Sonca, to je med Marsom in Jupitrom.

Meteoriti padajo ves čas. Toda na srečo so asteroidi kot ogromni meteoriti padli zgolj nekajkrat v zgodovini Zemlje. To je bilo pred 4,53, 4,45, 3,73, 2,81 in 1,6 milijarde let ter nato še pred 852, 312, 65 in 27 milijoni let. Meteorit, ki je padel pred 65 milijoni let na mesto današnjega polotoka Jukatan, je ustvaril 100-metrski tsunami s katastrofalnimi posledicami na kontinentih. Zaradi posledic dviga velike količine prahu v Zemljino ozračje in padca temperature naj bi bili po mnenju številnih znanstvenikov zaradi padca tega meteorita dokončno izumrli dinozavri. In prav ta meja pred 65 milijoni let je danes tako pomembna meja, da je to mejnik med Zemljinim srednjim in novim vekom.

Dandanes nas le redko preseneti padec večjega meteorita. Nazadnje je bil tak dogodek zabeležen v Rusiji leta 2012. Meteorit je na nebu ustvaril močno žarečo kroglo, v ozračju je razpadel in posledice tega več kot tono težkega meteorita so bile na srečo zelo lokalne. Kljub temu je bilo poškodovanih več kot 7200 objektov, zaradi razbitega stekla pa je bolniško oskrbo poiskalo več



Slika 5: Pallasit Krasnojarsk v Zoisovi zbirki mineralov je železov meteorit velikosti 8 x 5 cm. Vsebuje zrna olivina. Je del ustanovne zbirke Kranjskega deželnega muzeja (ustanovljen leta 1821). Foto: Miha Jeršek

Figure 5: The Krasnojarsk pallasite in Zois's collection of minerals is an iron meteorite, measuring 8 x 5 cm. It contains a grain of olivine and is part of the founding collection of the Carniolan Provincial Museum (established in 1821). Photo: Miha Jeršek

kot 1500 ljudi. Pri tem je zanimivo, da padca tega meteorita niso mogli napovedati, kar pomeni, da nas podoben dogodek lahko doleti brez opozorila skoraj kadarkoli in predvsem kjerkoli.

Območje današnje Slovenije pri tem ni izjema. Prvi ohranjeni meteorit je padel v dolino Soče že leta 1908. Potem je moralo miniti kar 101 leto, saj so leta 2009 videli, posneli, slišali in našli še drugi meteorit na Mežakli. Istega leta so pri širjenju ceste pri Javorjah odkrili paleometeorit. Zadnji meteorit, ki je bil znanstveno opisan, je iz bližine Češke koče nad Jezerskim. Najditelj ga je našel že leta 1992, vendar ga je v znanstvene preiskave posredoval šele leta 2012. Iz območja Slovenije imamo trenutno štiri meteorite, ki so vpisani v mednarodno bazo meteoritov, in vsaj dva med njimi sta zelo imenitna. Eden je bil šele šesti meteorit svoje vrste v znameniti dunajski zbirki meteoritov, ki je druga na svetu po obsegu, drugemu pa so kot šele enajstemu na svetu astronomi izračunali pot, po kateri je krožil okoli Sonca.

Meteoriti so vselej zelo atraktivni. Poleg znanstvenega pomena (sl. 3 in 4) so pomembni pri interpretacijah naravoslovnih vsebin. Zaradi tega so pogosto razstavljeni (sl. 5). Za namene dotikanja in spoznavanja njihovih fizikalnih lastnosti pa so izdelane replike.

Kako zanimivi so meteoriti, pričajo tudi številne najdbe, ki jih najditelji prinesejo ustreznim ustanovam in so navedene na koncu te publikacije. Žal se največkrat izkaže, da gre samo za meteoritom zelo podobne kamne, ki pa imajo izvor na Zemlji.

Kdaj bo padel naslednji meteorit na območje Slovenije, sicer ne vemo. Vsak, ki opazi padajoči meteor, naj si zapiše čim več informacij, saj je od kakovosti pridobljenih podatkov največkrat odvisno, kako uspešna je iskalna akcija.

V nadaljevanju so bralcem posredovane osnovne značilnosti meteoritov, sledijo predstavitve vseh štirih meteoritov iz območja Slovenije, na koncu pa so predstavljene najbolj zanimive ali najpogostejše zamenjave z meteoriti. Za vse, ki želite o posameznih meteoritih izvedeti še kaj več, pa je dodana najpomembnejša literatura.

Osončje

Naše Osončje je nastalo pred približno 4,57 milijarde leti in je del galaksije Rimska cesta, imenovane tudi Mlečna cesta. Razpršena pretežno trdna snov, ki je bila po prapoku razpršena v vesolju okoli Sonca, se je združevala v večje trdne gmote – planetezimale. Ko so dosegli kilometrske dimenzije, so zaradi svoje mase oziroma nastale gravitacije pritegnili vedno več preostale snovi v Osončju. Nastali so protoplaneti, ki so bili po velikosti že podobni današnjim planetom Sončevega sistema (HERLEC & JERŠEK 2009).

Okoli našega Sonca potuje osem planetov (sl. 6). Prvi štirje, od Sonca navzven, so: Merkur, Venera, Zemlja in Mars. Vsi so kamniti planeti, sestavljeni pretežno iz silikatnih kamnin, železa in niklja. So manjši od zunanjih planetov in brez ali z zelo malo lunami. Zunanji planeti so: Jupiter in Saturn, ki sta plinska velikana, medtem ko sta Uran in Neptun ledena plinska velikana. Zunanji planeti imajo ogromno maso in zato več lun. Sestavljeni so pretežno iz vodika, helija in drugih plinov pa tudi iz ledu (HERLEC & JERŠEK 2009). Med notranjimi in zunanjimi planeti, natančneje med Marsom in Jupitrom, je pas asteroidov (sl. 7). To je območje, kjer se zaradi gravitacije obeh plinskih velikanov snov iz protoplanetarnega diska ni mogla združiti v enoten planet (ATANACKOV et al. 2010). Asteroidi so pretežno kovinske in kamnite sestave. V asteroidnem pasu je tudi pritlikavi planet Ceres. Velika večina meteoritov izvira prav iz tega asteroidnega pasu. Nekatera ledena telesa zunanjega Osončja so še v Kuiper-Edgeworthovem pasu, razpršenem disku in v skrajnih zunanjih delih Osončja notranjega in zunanjega Oortovega oblaka. Ko ta ledena telesa priletijo bliže k Soncu, se zaradi sublimacije razvije komet (ATANACKOV et al. 2010).



Slika 6: Notranji kamniti planeti, asteroidni pas in zunanji plinski planeti velikani ter levo in spodaj relativne velikosti planetov glede na Sonce. Ilustracija: Matjaž Učakar

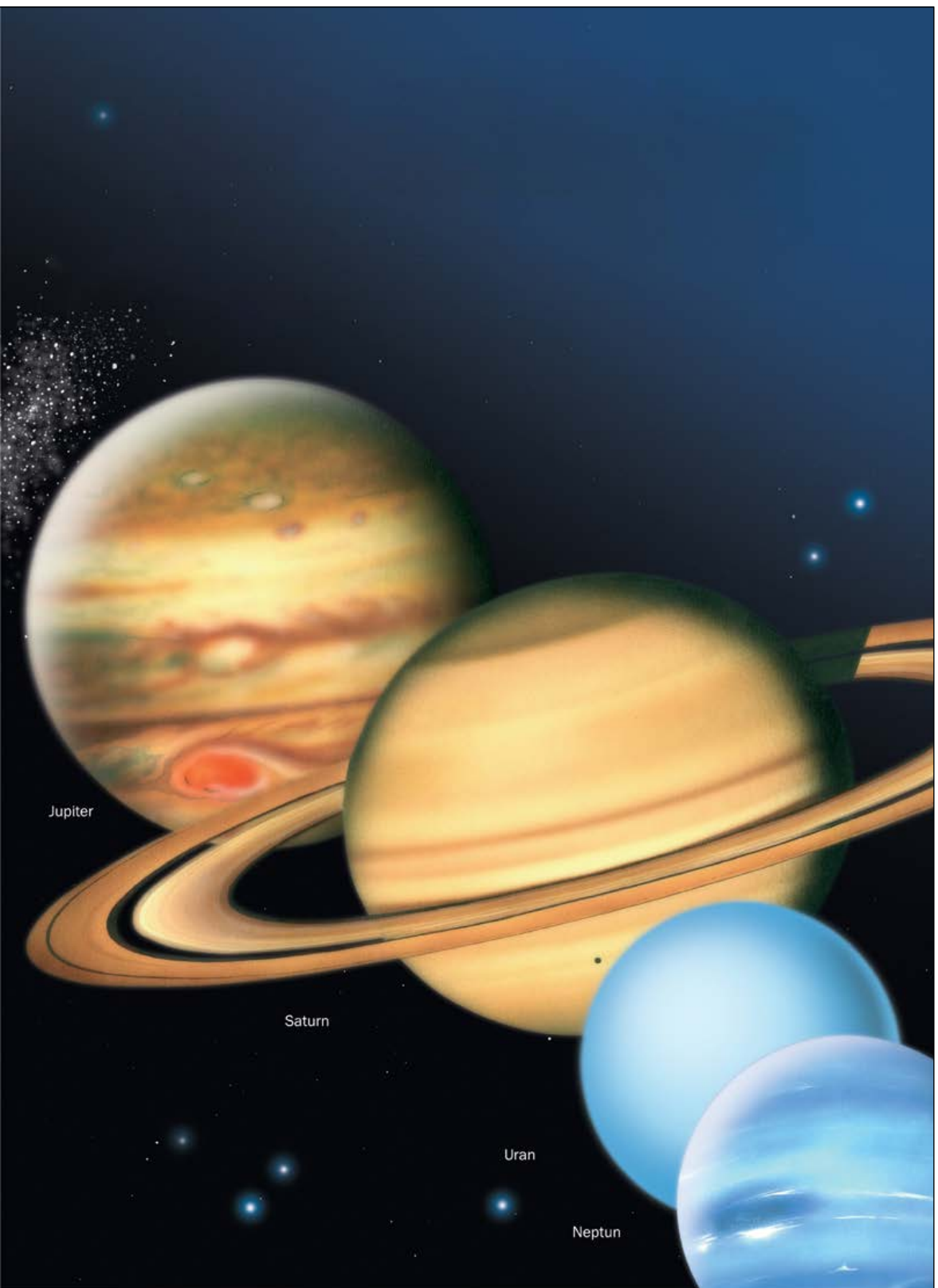
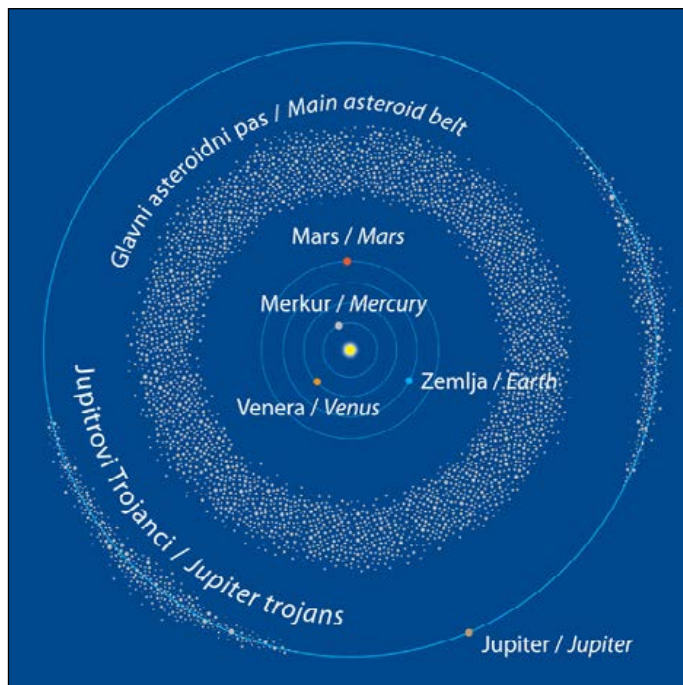


Figure 6. The inner stone planets, the asteroid belt and the outer gas planets-giants and, left and below, the relative sizes of the planets relative to the Sun. Illustration: Matjaž Učakar



Slika 7: Glavni asteroidni pas v Osončju poteka med Marsom in Jupitrom. Po skoraj enaki orbiti kot Jupiter pa okoli Sonca krožijo Trojanski asteroidi. Risba: Matjaž Učakar

Figure 7: The main asteroid belt in the Solar System runs between Mars and Jupiter. Along almost the same orbit as Jupiter, the Trojan asteroids circulate around the Sun. Drawing: Matjaž Učakar

Zemlja in Luna

Zemlja se je izoblikovala postopoma z združevanjem planetezimalov. Pri njihovem združevanju se je njihova kinetična energija pretvorila v toploto. Zaradi tega se je nastajajoča Zemlja segrela in postala tekoča. Svoj delež toplote so prispevali še radioaktivni elementi, ki so pri svojem razpadu del energije oddali kot toploto. Raztaljena Zemlja je bila prvih 800 milijonov let stalna tarča meteoritov. Vanjo je že zelo kmalu, le nekaj 10 milijonov let po njenem nastanku, trčil manjši planet, ki je iz nje izbil velik del raztaljene snovi. Iz nje se je v Zemljini krožnici izoblikovala Luna (sl. 8), ki ima le 0,0123 dela Zemljine mase (HERLEC & JERŠEK 2009).

Asteroid, meteoroid, meteor, meteorit

Beseda meteorit izvira iz grške besede *meteoron*, ki označuje fenomen na nebu. Enak izvor imata tudi besedi meteoroid in meteor. Vendar pa je med njimi določena razlika. Meteoroidi so koščki kometov, asteroidi ali prašni delci, ki potujejo po medplanetarnem prostoru v našem Osončju. Imajo lahko zelo majhno maso, od milijoninke grama, lahko pa dosežejo velikosti tudi do 50 metrov, po nekaterih virih celo do 1 km (ATANACKOV et al. 2010). Asteroid je meteoroid večjih dimenzij. Meteor je meteoroid, ki na svoji poti vdre v Zemljino ozračje. Zanj je značilno, da za seboj pušča belo sled, ki nastaja zaradi segrevanja in zapletenih fizikalnih pojavov ablacije ter izgorovanja snovi v ozračje. Velik in svetel meteor imenujemo bolid ali ognjena krogla. Meteorit



Slika 8: Luna je nastala zaradi trka manjšega planeta, ki je iz Zemlje odtrgal del njene raztaljene notranjosti in v Zemljini krožnici se je izoblikoval edini naravni Zemljin satelit. Na njeni površini so ohranjeni številni udarni kraterji, ki so posledica padcev meteoritov. Foto: Miha Jeršek

Figure 8. The Moon was formed as a result of a smaller planet colliding with Earth, which tore part of its molten interior, causing formation of the only Earth's natural satellite in our planet's orbit. On the Moon's surface, numerous impact craters have been preserved, which are the result of meteorites falling on to it. Photo: Miha Jeršek

pa je meteoroid, ki je preživel popotovanje skozi ozračje in je padel na površino planeta, lune ali asteroida še preden je v celoti izgorel (ATANACKOV et al. 2010). Občasno nas na nebu preseneti pravi meteorski dež. Posamezni drobci v meteorskem dežju priletijo v Zemljino ozračje iz istega dela neba, iz tega ali onega radianta. Leonidi imajo svoj radiant v ozvezdju Leva, perzeidi v ozvezdju Perzeja in podobno. Običajno je najlepše viden roj Perzeidov, ki je najmočnejši 12. avgusta vsako leto. Vsako minuto lahko v povprečju vidimo po en do dva utrinka. Prav tako so lepi in z meteorji še nekoliko bogatejši Geminidi 13. decembra, z dvema do tremi utrinki na minuto, a opazovanja takrat pogosto moti slabše zimsko vreme. Najbolj razkošen pa je meteorski roj z imenom Leonidi. Najbolj veličasten je približno vsakih 33 let. Takrat nastane prava "meteorska nevihta", v kateri lahko vidimo tisoče do sto tisoče meteorjev na uro. Zadnji takšni meteorski nevihti Leonidov sta bili v letih 2001 in 2002. Sicer so Leonidi navadno bolj miren roj s tja do 15 meteorji na uro, občasno tudi nekoliko več (HERLEC & JERŠEK 2009).

Padec meteorita

Meteoroidi potujejo po vesolju s hitrostjo med 10 in 70 kilometri na sekundo. Ko priletijo v Zemljino ozračje, to je že na višini 1200 do 1300 kilometrov, se začne trenje. Na višini med 100 in 120 kilometri je to že tako intenzivno, da se meteoroidi zelo segrejejo in zaradi zapletenih fizikalnih procesov ablacije tudi zasvetijo. Ko dosežejo gostejše plasti ozračja, največkrat povsem izgorijo, pogosto tudi razpadejo. Meteoroid, ki pade na površino planeta, je meteorit. Poleg svetlobe, ki spremlja padec meteorita, je v zadnji fazi padanja zaznan tudi zvok, ki je podoben strelu iz topa ali grmenju (HERLEC & JERŠEK 2009).

Opazovanja padcev meteoritov

Padci meteoritov so izjemno redki dogodki. Na območje velikosti Slovenije pade meteorit velikosti pesti le enkrat ali dvakrat na desetletje. Če upoštevamo, da so vremenske razmere marsikdaj neprimerne zaradi oblakov ali megle, je opazovanje padca meteorita zares zahtevna naloga. Za povečanje možnosti opazovanja zato potrebujemo mrežo opazovalnic. Padce meteoritov lahko opazujemo neposredno ali posredno.

Neposredna opazovanja so večinoma optična, torej opazovanja samega svetlega meteorja oz. bolida, ki spremlja padec meteorita. V ta namen so po svetu, in tudi pri nas, postavili mreže meteorskih ali vsenebnih kamer. Vsenebne kamere opazujejo celotno nebo, so bodisi fotografske (torej naredijo posamezne posnetke neba) ali video kamere (varnostne kamere za razmere z zelo malo svetlobe). V osrednji Evropi že skoraj šest desetletij obratuje *European Fireball Network*, v katerem je 34 kamer, ki so posnеле že večje število padcev meteoritov. V Sloveniji obratuje neformalna slovenska meteorska mreža, v katero so vključili meteorske in vsenebne kamere na observatorijih v Sloveniji in več meteorskih kamer na lokacijah v ljubiteljskih observatorijih in na zasebnih objektih. Razpršenost kamer po Sloveniji – od Pomurja do Obale – zagotavlja največjo možnost za ugodne vremenske razmere na vsaj delu mreže. V več kot desetletju in pol delovanja je mreža posnela dva padca meteoritov, pri katerih so bili meteoriti tudi najdeni: meteorit Jesenice 9. aprila 2009 in meteorit Križevci (na Hrvaškem) 4. februarja 2011. Mreža je posnela tudi več verjetnih padcev meteoritov, pri katerih je bilo bodisi premalo podatkov za uporaben izračun cone padca meteoritov, ali pa so meteoriti padli v Jadransko morje. Tak je bil primer izjemno svetlega bolida 3. septembra 2013 ob 2.12 po lokalnem času (CEST), pri katerem je prišlo do padca meteoritov v Tržaški zaliv oz. severni Jadran.

Pokritost neba oz. zračnega prostora slovenske meteorske mreže se prekriva tudi z meteorskimi mrežami sosednjih držav. Italija, Madžarska in še posebej Hrvaška imajo svoje mreže meteorskih kamer. Tako mreže v sodelovanju lahko zberejo več podatkov, dajo natančnejšo rešitev za meteoritsko polje in tako močno izboljšajo možnosti, da meteorite tudi najdejo.

Video posnetke svetlih meteorjev, morebitno povezanih s padcem meteoritov, analiziramo. Z opazovanji z vsaj dveh široko ločenih lokacij, še bolje pa z večjega števila lokacij, določimo pot meteoroida skozi ozračje. Iz podatkov o hitrosti lahko ocenimo verjetnost preživetja meteoritov (večja ko je vstopna hitrost v ozračje, manjša je verjetnost za padec meteoritov), iz spremembe hitrosti med padcem skozi ozračje pa lahko ocenimo pojemek in na podlagi tega velikost posameznih meteoritov. Ugotovimo tudi konec svetle poti in naprej temno fazo padanja, pri kateri za izračun cone padcev modeliramo različno velike meteorite in vpliv na smer njihovega padanja, ki ga imajo različni vetrovi na različnih višinah. Končni rezultat izračunov je t.i. *meteoritsko polje*, izračunana lega padlih meteoritov na površju glede na njihovo maso. Izračunu meteoritskega polja sledi iskalna akcija.

Neposredna opazovanja padcev meteoritov večinoma obsegajo zaznave zvočnih valov, ki jih meteoroid povzroči med padanjem skozi ozračje, in sicer z infrazvočnimi senzorji in potresnimi opazovalnicami. Zaznave samih padcev oz. udarcev meteoritov v tla iz potresnih opazovalnic so izjemno redke in možne samo pri padcih večjih meteoritov. Meteoroid med potjo skozi ozračje ustvari valjast zvočni val, na mestih, kjer fragmentira, pa podobno eksploziji naredi tudi sferičen val. To je možno le v spodnjih, gostejših delih ozračja, pod višino 40-50 km. Tako globok prodor v ozračje je dober znak padca meteoritov. Ko zvočni val doseže tla, se z njimi sklopi in del njegove energije se prenese naprej v obliki seizmičnih valov, ki jih zaznajo potresne opazovalnice. V primeru, da val opazuje večje število potresnih opazovalnic, je mogoče rekonstruirati pot meteoroida skozi ozračje. Močne zvočne valove so zaznali seizmografi tako pri padcu meteorita Jesenice kot tudi pri padcu meteorita Križevci na Hrvaškem. Obenem so opazovanja potresnih opazovalnic edina zanesljiva opazovanja najsvetlejšega bolida in verjetnega padca meteoritov dne 25. julija 2007. Meteor se je pojavil tik po poldnevu, ko seveda meteorske kamere ne obratujejo. Zvočni val je bil tako močen, da je tresel šipe več kot 80 km daleč. Ocenjena cona padca meteoritov je blizu hrvaškega mesta Delnice, v gozdnatem in težko dostopnem območju Gorskega Kotarja.

Opazovanja padcev meteoritov dajejo cenovno zelo ugodno alternativo misijam za zbiranje vzorcev iz asteroidov. V doslej edini uspešni misiji je japonska sonda Hayabusa vzorčila asteroid 25143 Itokawa. Trenutno potekajoča misija OSIRIS-REx bo vzorčila asteroid 101955 Bennu in prinesla vzorce na Zemljo leta 2023. Tovrstne misije so izjemno zahtevne in drage, njihove cene dosegajo stotine milijonov evrov. V primerjavi s tem je cena postavitve in obratovanja mreže meteorskih kamer, ki spremljajo nebo za padce meteoritov – torej dostavo vzorcev asteroidov pred vrata – praktično zastoj. Zato je po svetu vse večje število mrež kamer, ki vsako leto posnamejo vse več padcev meteoritov, prav tako se večja tudi število najdenih meteoritov pri teh padcih.

Posledice padca meteorita

Zemlja je stalna tarča meteoritov. Največ je drobnih delcev, ki počasi padajo na naš planet in ti tvorijo tako imenovani meteoritski prah. Tako na Zemljo pade tudi do milijon ton snovi na leto, po nekaterih podatkih še mnogo več. Takšen meteoritski prah oz. mikrometeorite lahko ulovimo ob dežju, ki jih izpira iz ozračja in jih nekoliko koncentrirane »dostavlja« na površje Zemlje. Lovimo ga v bele posode, iz katerih voda nato izhlapi, drobni delci iz ozračja pa najdemo, če imamo zelo veliko sreče, na dnu posode, kjer so zaradi barvnega kontrasta dobro vidni.

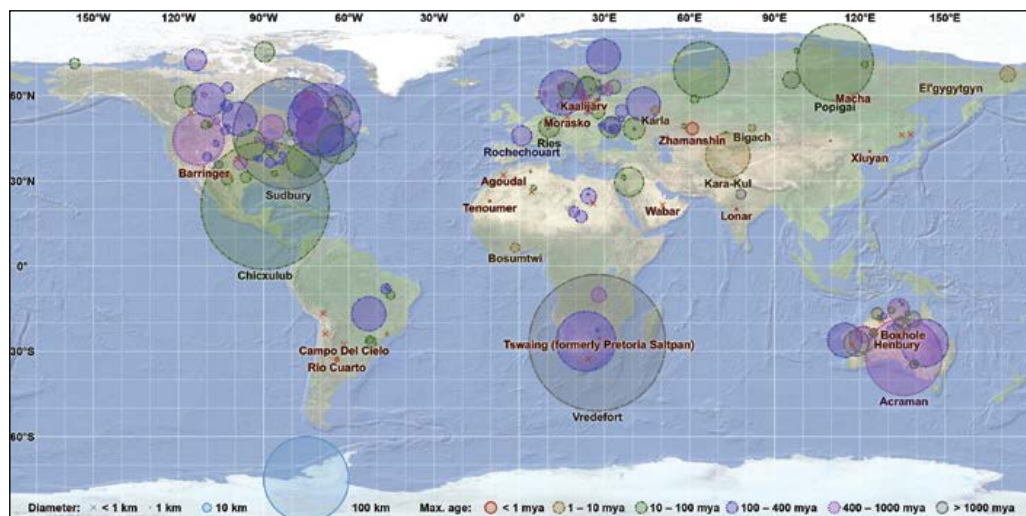
Mnogo bolj zanimivi so padci večjih meteoritov. Poleg zelo svetlega svetlobnega pojava, meteorja oz. bolida, ga tipično spremlja tudi zvočni udar, ki je podoben strelu iz topa ali grmenju. Ob padcu večjega meteorita, navadno s premerom več kot 1 m, pa nastane udarni krater in ob tem se sprosti ogromno energije. Na našem planetu so našli približno 190 večjih udarnih kraterjev. Seveda je to le vrh ledene gore, številni manjši kraterji so skriti pod vegetacijo ali puščavskim peskom, mnoge pa je uničilo na tisoče in milijone let erozije in tektonike.

Večina meteoroidov med padcem skozi ozračje fragmentira. Vzrok za to sta predhodna pretrtnost in razpokanost, ki sta posledica samega nastanka meteoroida – velika večina meteoroidov velikosti od nekaj metrov do nekaj deset metrov je nastala med medsebojnimi trki in razpadi večjih asteroidov. Tak primer je meteorit Chelyabinsk, ki je padel 15. februarja 2013 v Rusiji (sl. 9). Med padcem skozi ozračje je fragmentiral. Na višini skoraj 30 kilometrov je sprostil energijo, ki je bila več kot 30-krat večja od energije jedrske eksplozije, ki je uničila Hirošimo. Udarni val je poškodoval več kot 7200 objektov, zaradi številnih razbitih stekel pa je bolnišnico obiskalo več kot 1500 oseb. Le sreča je obvarovala mesto pred mnogo večjim opustošenjem: meteoroid je v ozračje padel pod zelo majhnim kotom in zato ni prodril tako blizu površja. Če bi padel pod bolj strmim



Slika 9: Meteorit Chelyabinsk je padel na rusko ozemlje 15. februarja 2013. Pripada kamnitim meteoritom hondritom tipa LL5. Predvidevajo, da je ob tem na Zemljo padlo več kot tona fragmentov tega meteorita. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

Figure 9. The Chelyabinsk meteorite fell in the Russian territory of 15 February 2013. It belongs to stone meteorites-chondrites of LL5 type. It is presumed that more than a ton of fragments of this meteorite fell on earth. Collection of the Natural History Museum Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum Vienna



Slika 10: Doslej so na Zemlji odkrili 190 večjih udarnih kraterjev. Interaktivno so dostopni na spletni strani https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Earth_Impact_Database_world_map.svg

Figure 10. To date, more than 190 larger impact craters have been discovered on Earth. They are interactively accessible at https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Earth_Impact_Database_world_map.svg

kotom, bi sama ognjena krogla najverjetneje dosegla površje in povzročila neprimerljivo večje razdejanje. Meteoroid je na začetku imel premer okoli 20 metrov in maso okoli 7700 ton. Večina meteoroida je bila uničena v veliki eksploziji, na površje je padlo verjetno manj kot 1 % njegove mase. Doslej so našli okoli tona fragmentov, s tem, da ima največji kos, ki je padel v jezero, čez 500 kilogramov, hitrost ob vstopu v ozračje pa je bila razmeroma nizka, le okoli 19 kilometrov na sekundo.

Veliki meteoriti na mestu padca ustvarijo udarne kraterje, katerih premer je mnogo večji od njih samih (sl. 10). Kamnine se zdrobijo, včasih tudi stalijo (sl. 11). Kamnine v kraterju kažejo hitre spremembe pritiska – so metamorfozirane, nastanejo pa tudi minerali, ki sicer kristalijo pri visokih pritiskih: coesit, stishovit, diamant. Značilne kamnine v udarnih kraterjih so impaktiti in med njimi še posebno impaktitne breče. Včasih v udarnem kraterju ne najdemo kamnitih fragmentov, tako da je izvor kraterja določen na osnovi nekaterih kemičnih prvin, kot so iridij, osmij in platina. Prav ti elementi so na Zemlji redki, v udarnih kraterjih pa je njihova obilnost 20.000 do 100.000 krat večja (JERŠEK, 2018).



Slika 11: Krater Barringer v Arizoni v ZDA je nastal ob padcu meteorita pred 50.000 leti. Meteorit je imel premer približno 45 metrov, njegova hitrost je bila okoli 12 kilometrov na sekundo. V samo nekaj sekundah se je zdrobilo na milijone ton kamnin. Krater s premerom 1200 metrov se je zelo dobro ohranil, saj je podnebje suho in erozija počasna. Vir: USGS

Figure 11. The Barringer crater in Arizona, USA, was formed upon the fall of a meteorite more than 50,000 years ago. Its diameter measured 45 metres, while its speed was around 12 km per second. In only a few seconds, millions of tons of rocks were crushed. This crater with diameter of 1,200 metres has been very well preserved, thanks to the dry climate and slow erosion. Source: USGS

Padci meteoritov in množična izumrtja

Padec meteorita ima lahko hude posledice za živi svet našega planeta. Manjši meteorit lahko povzroči spremembe v lokalnem smislu in tako uniči samo določen ekosistem v okolici padca. Padec kilometrskega meteorita na naš planet pa prinese globalno spremembo. Ob padcu se pojavijo potresi z magnitudo 13 (po Richtertju), ki jih spremljajo naknadni popotresni sunki. To so nepredstavljivo veliki potresi, stotisočkrat večji od največjega doslej zabeleženega (magnitudo 9,5 leta 1960 v Čilu). V ozračje se sprosti izjemno veliko prahu, kar vpliva na zmanjšanje količine sončnega sevanja, ki doseže površje Zemlje. Prah je v ozračju lahko več mesecev, površje Zemlje pa je v stalni temi. Zato pade temperatura na površju celotnega planeta. Zaradi pomanjkanja sončnega sevanja so prizadeti fotosintetski organizmi, ki so osnova v prehranski verigi številnih ekosistemov. Padec meteorita lahko povzroči tudi požare, ki še dodatno obremenijo ozračje. Kaj pa bi se zgodilo, če bi padel meteorit v ocean? Zaradi izparevanja morske vode bi se v ozračje dvignilo veliko pare in ogljikovega dioksida. V ozračju bi se zadrževala celo dlje kot prah. Tako bi se naš planet najprej ohladil zaradi padca temperature, nato pa bi se zaradi toplogrednih plinov segreval še številna leta po samem padcu. Ob padcu meteorita v ocean bi se pojavili tudi tsunamiji. Znanstveniki so izračunali, da bi padec meteorita s premerom 10 kilometrov povzročil nastanek 1 do 3 kilometre visokega tsunamija. Seveda bi takšen tsunami lahko preplaval celoten kontinent in posledice za življenje bi bile katastrofalne (JERŠEK 2008).

V zgodovini našega planeta so padci meteoritov zaznamovali izumrtja številnih živalskih in rastlinskih vrst. Na izumrtja so poleg padcev meteoritov vplivali tudi obsežnejši vulkanski izbruhi in zniževanje morske gladine. Večja izumrtja so bila na meji med srednjim in novim zemeljskim vekom pred 2,6 milijona leti, konec krede pred 65 milijoni let, konec triasa pred 208 milijoni let, konec perma pred 245 milijoni let, konec devona pred 360 milijoni let, konec ordovicija pred 438 milijoni let in konec kambrija pred 505 milijoni let. Po nekaterih podatkih naj bi konec perma izumrlo kar 96 % živali in rastlin, ob koncu krede pa 50 % (JERŠEK 2008).

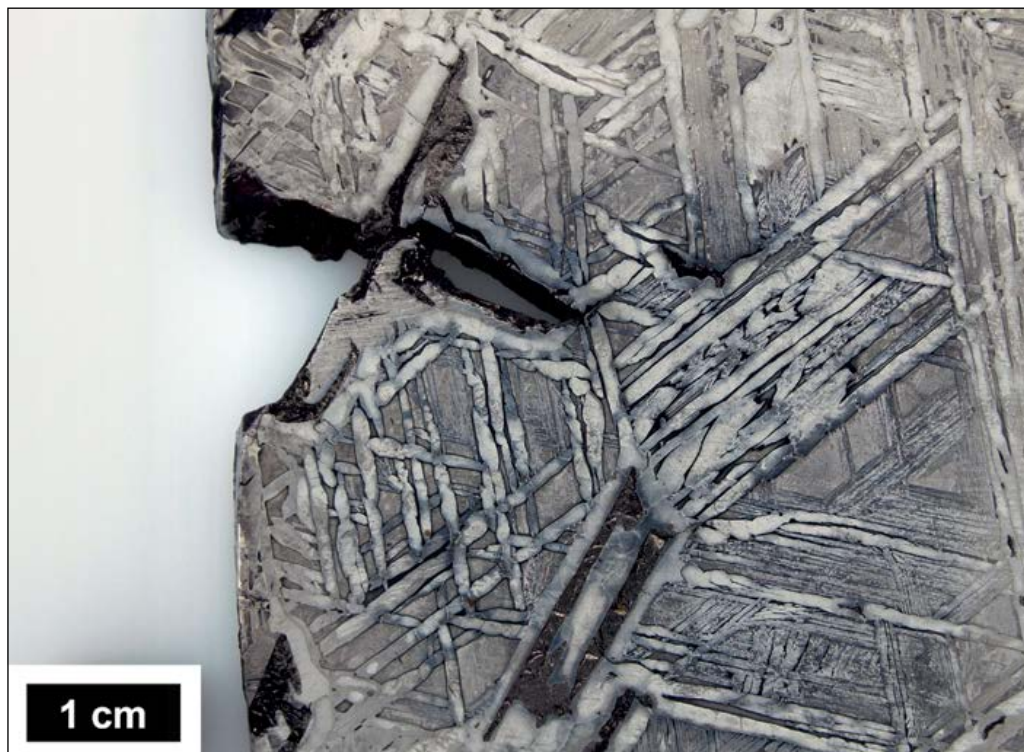
Ob padcu meteorita pred 65 milijoni let, to je na meji med zemeljskim srednjim in mlajšim vekom, je namreč naš planet zajela tema, temperatura je padla in zato so, med drugimi in dokončno, izumrli tudi dinozavri (JERŠEK 2008). Znanstveniki domnevajo, da je krater tega meteorita tako imenovani Chicxulub na mehiškem polotoku Yucatan. V premeru ima meri nič manj kot 250 do 280 kilometrov in kar predstavljamo si lahko, kakšne sile so se sprostile ob nastanku tako velikega kraterja.

Vrste meteoritov

Velika večina meteoritov si je na videz zelo podobna. Prekriva jih namreč temno rjava do skoraj črna žgalna skorja. Prenekateri imajo površino polno vdolbinic. Če so prelomljeni ali jih prežagamo, so znotraj svetli in tik ob robovih odkrijemo, da je žgalna skorja zelo tanka, debela morda le 0,1 mm. Velika večina meteoritov je naravno magnetna. Magnetnost je lastnost snovi, da med seboj delujejo odbojno ali pa se privlačijo. Zato ni presenetljivo, da magnetnost mnogi preizkušajo z magnetom. Pričakovali bi, da večina magnetnih meteoritov magnet privlači tako, da le-ta obstane na površini meteorita. Toda vsebnost naravno magnetnih mineralov je v meteoritih pogosto nizka. Zaradi tega je primernejše, če magnetnost meteoritov in njim podobnih kamnov preizkušamo s kompasom. Igla na kompasu bo zanihala, če bo kamen, ki ga preiskujemo, že šibko magneten. Do sedaj omenjene lastnosti meteoritov so takšne, da jih lahko z nekaj opazovanja in s pomočjo kompasa opravi vsak, ki se želi prepričati, ali je našel meteorit ali ne.

Tradicionalna klasifikacija meteoritov

Klasifikacija meteoritov, ki sloni na omenjenih značilnostih, prepoznavnih že s prostim očesom, se je uveljavila že v 19. stoletju. Poleg splošnega videza je bila pomembna svetla notranjost meteorita. Le-ta ima lahko kovinski sijaj, ali pa sijaj zaradi narave mineralov ni izrazit. Meteoriti, ki imajo kovinski sijaj, pripadajo železovim meteoritom, tisti brez značilnega sijaja pa kamnitim meteoritom. Kot pri kamninah na Zemlji so tudi pri meteoritih prehodni tipi, v katerih so tako kovinski minerali kot silikati, ki so glavni minerali kamnitih meteoritov in se imenujejo železovo kamniti meteoriti. Razvrščanje meteoritov v omenjene tri glavne skupine je še dandanes splošno priljubljeno med ljubitelji, zbiralci in včasih tudi strokovnjaki. Po količini najdenih meteoritov je največ kamnitih, sledijo železovi, najmanj pa je kamnito železovih. Glede na mineralno sestavo in teksturne značilnosti se meteoriti delijo v nekatere podskupine.

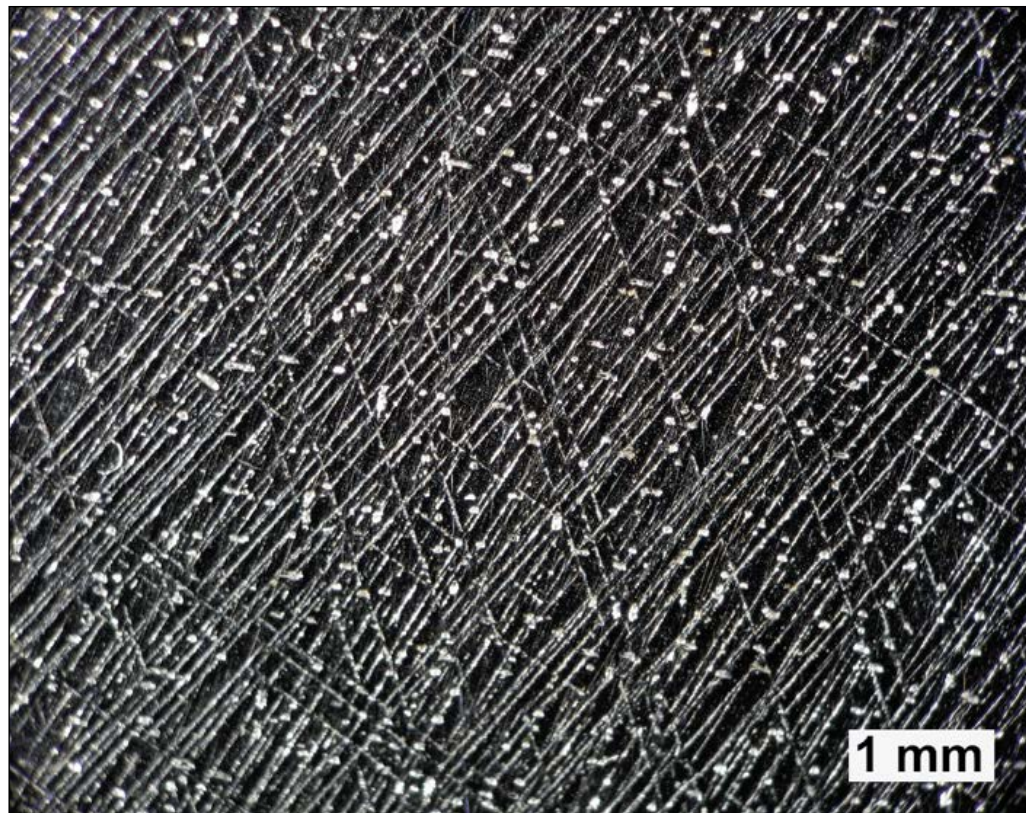


Slika 12: Meteorit Glorietta mountain je pallasit, ki so ga našli leta 1884 v ZDA. Je eden od samo trinajstih pallasitov, ki ima anomalno mineralno oziroma kemijsko sestavo. Na jedkani površini so lepo vidne Widmanstättenove črte. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

Figure 12. The meteorite Glorietta Mountain is a pallasite found in 1884 in the United States. It is one of the thirteen pallasites with anomal mineral (chemical) structure. On the etched surface, Widmanstätten lines can clearly be seen. Collection of the Natural History Museum, Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum, Vienna

Železovi meteoriti

Glavna minerala v železovih meteoritih sta kamacit α -(Fe,Ni) in taenit γ -(Ni,Fe). Kamacit vsebuje 92 mas. % železa in 7 mas. % niklja, medtem ko taenit vsebuje med 25 in 40 mas. % niklja. Oba kristalita sta v kubičnem sistemu. Izločanje taenita iz kamacita je orientirano in vzporedno ploskvam oktaedra. Njuno teksturo najlažje opazimo, če ravno polirano površino meteorita jedkamo z mešanico dušikove kisline in etanola. Nastanejo značilne Widmanstättenove črte, ki so posledica različne topnosti omenjenih mineralov in so pri oktaedritih vzporedne ploskvam oktaedra (sl. 12). Glede na debelino kamacitovih lamel se oktaedriti delijo v več podskupin (tabela 1). Če so meteoriti predvsem iz kamacita, ki razvije forme kocke (heksaedriti), nastanejo pri jedkanju vzporedne, drobne Neumannove črte. Ataksiti pa so vrsta meteoritov, ki so predvsem iz taenita in po jedkanju ne pokažejo nobene teksture. Ataksiti so torej z nikljem bogati meteoriti, ki so med vsemi železovimi najredkejši (sl. 13).



Slika 13: Neumannove črte v avškem meteoritu. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

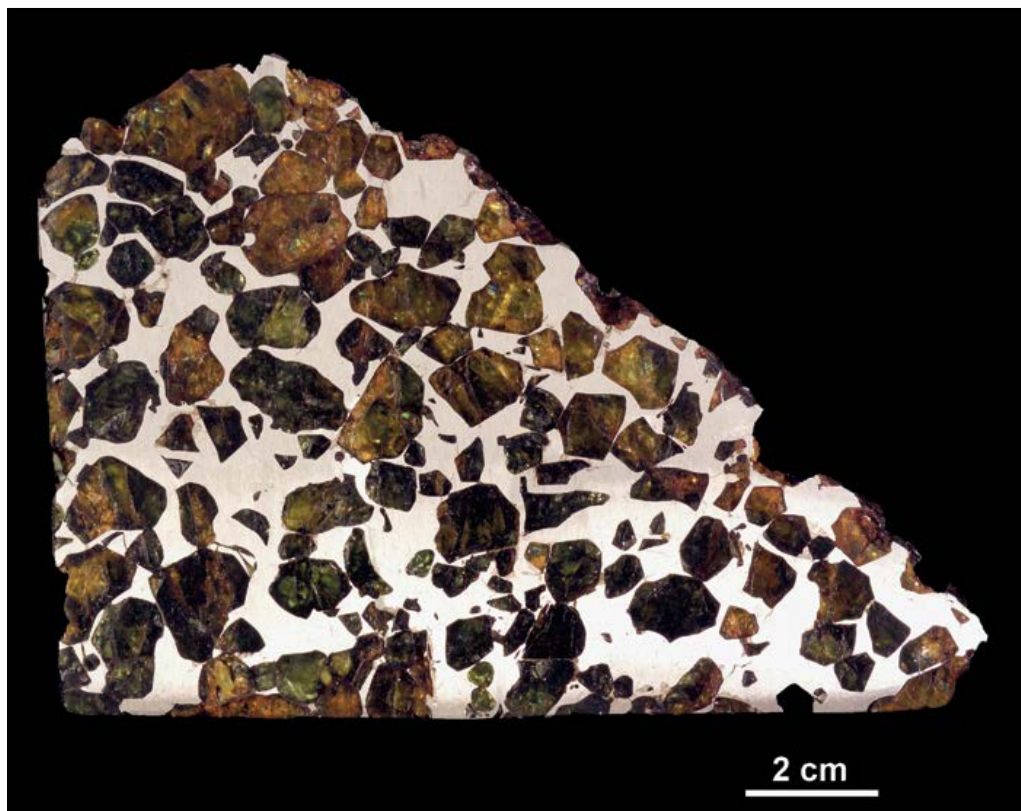
Figure 13. Neumann lines in the Avce meteorite. Collection of the Natural History Museum, Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum, Vienna

Kamniti meteoriti

Glavni minerali v kamnitih meteoritih so silikati. Delimo jih v dve skupini, hondrite in ahondrite. Za hondrite je značilno, da vsebujejo večinoma drobne kroglaste strukture oziroma hondrule, medtem ko jih ahondriti nimajo.

Kamnito železovi meteoriti

Meteoriti imajo lahko tako železovo nikljeve minerale kot silikate. Naprej jih delimo na pallasite in mezosiderite. Pallasiti so izrazita kombinacija kamacita in taenita z bolj ali manj velikimi kristali olivina (sl. 14). Ti so lahko bodisi veliki, prozorni in intenzivno rumeni bodisi rumeno zeleni, da so draguljarske kakovosti. Na jedkani površini kamnito železovih meteoritov



Slika 14: Meteorit Esquel so našli leta 1951 v Argentini. Je značilen predstavnik pallasitov. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

Figure 14: The meteorite Esquel was found in 1951 in Argentina. It is a characteristic representative of pallasites. Collection of the Natural History Museum, Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum, Vienna

so vidne značilne Widmanstättenove črte. Olivin na površju Zemlje mnogo hitreje prepereva od železovo nikljevih mineralov, zato lahko iz pallasita zaradi preperevanja povsem izgine. Pallasiti se naprej delijo še v štiri podskupine. Mezosideriti so po videzu brečasti meteoriti, ki vsebujejo poleg železovo nikljevih mineralov s precej niklja še silikate iz olivinove in piroksenove skupine ter s kalcijem bogate glinence oziroma plagioklaze.

Sodobna klasifikacija meteoritov

Sodobnejša delitev meteoritov je podskupine razvrstila po genetskem kriteriju oziroma glede na starševsko telo (sl. 22, 23 in 24). Le-to je lahko planet, asteroid, Luna ali katerikoli del kakega nebesnega telesa iz Osončja. Meteoriti se tako delijo na diferencirane in nediferencirane. Diferenciacija v tem kontekstu pomeni nastanek lupinaste zgradbe starševskega telesa, iz katerega izvira meteorit. Pri tem gostejša talina tone proti jedru, na površju pa se kopičijo lažji minerali. Zemlja je sestavljena iz jedra, plašča in skorje. Jedro sestavljata predvsem železo in nikelj, kar po sestavi ustreza železovim meteoritom. Plašč in skorja sta sestavljena iz lažjih, silikatnih mineralov, kar ustreza sestavi kamnitih meteoritov. Lupinasto zgradbo v Osončju imajo trdni notranji planeti (Merkur, Venera, Zemlja in Mars), medtem ko so zunanji planeti plinski velikani. Lupinasto zgradbo ima tudi naša Luna in nekatera druga manjša nebesna telesa, kot so oddaljeni Pluton, Ceres, Haumea, Makemake in Eris ter še precej nebesnih teles v Keuperjevem pasu in še dlje. Tudi asteroidi so lahko diferencirani. Tak primer je asteroid 4 Vesta. Diferencirani meteoriti so železovi, kamnito železovi in kamniti meteoriti ahondriti. Nediferencirani meteoriti so kamniti meteoriti hondriti. Posamezne skupine meteoritov se nato delijo na podskupine glede na fizikalne, kemijske, izotopske, petrološke ali mineraloške značilnosti.

Železovi meteoriti

Kemijska klasifikacija diferenciranih železovih meteoritov sloni na razmerju med nikljem in galijem, nikljem in germanijem ter nikljem in iridijem. Razvrščamo jih v naslednje razrede: IAB, IC, IIAB, IIC, IID, IIE, IIF, IIG, IIIAB, IIICD, IIIE, IIIF, IVA, IVB (sl. 15).

Tabela 1. Povezava med teksturno in kemijsko klasifikacijo železovih meteoritov (Vir: www.meteorite.fr)

Table 1: The relationship between textural and chemical classification of iron meteorites (Source: www.meteorite.fr)

Teksturni razred	Simbol	Debelina kamacitove lamele v mm	Vsebnost Ni (mas.%)	Ustrezna kemijska klasifikacija
Heksaedriti	H	> 50	4.5 - 6.5	IIAB, IIG
Zelo debelo laminirani oktaedriti	Ogg	3.3 - 50	6.5 - 7.2	IIAB, IIG
Debelo laminirani oktaedriti	Og	1.3 - 3.3	6.5 - 8.5	IAB, IC, IIE, IIIAB, IIIE
Srednje laminirani oktaedriti	Om	0.5 - 1.3	7.4 - 10	IAB, IID, IIE, IIIAB, IIIF
Drobno laminirani oktaedriti	Of	0.2 - 0.5	7.8 - 13	IID, IIICD, IIIF, IVA
Zelo drobno laminirani oktaedriti	Off	< 0.2	7.8 - 13	IIC, IIICD
Plezitski oktaedriti	Opl	< 0.2	9.2 - 18	IIC, IIF
Ataksiti	D	-	> 16	IIIF, IVB



Slika 15: Meteorit Cabin Creek je padel leta 1886 v ZDA in pripada železovim meteoritom iz skupine IIIAB. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

Figure 15: The meteorite Cabin Creek hit the ground in 1886 in the United States and belongs to iron meteorites from the group IIIAB. Collection of the Natural History Museum, Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum, Vienna

Ahondriti

Ahondriti so kamniti meteoriti brez hondrul. So raznovrstni, čeprav po številu najdb niso med pogostejšimi. Delimo jih na angrite (ANG), aubrite (AUB), ureilite (URE) in HED meteorite domnevno iz asteroida Vesta. V to skupino spadajo tudi lunarni in marsovski meteoriti.

Angriti so vrsta meteoritov, ki predstavljajo porozne bazaltne kamnine starosti 4,55 milijarde let. Sestavlja jih predvsem mineral avgit, poleg tega pa so lahko v njih še olivin, anortit in troilit. Starševska telesa angritov sta asteroida 289 Nenetta in 3819 Robinson, nekateri pa menijo, da bi lahko nastali bazalt izvrigel Merkur. Aubriti so skupina ahondritov, v katerih prevladuje mineral enstatit. Ima značilno brečasto strukturo, starševska telesa pa so asteroidi. Ureiliti imajo do 3 mas. % ogljika v obliki grafit ali diamanta. Slednji naj bi nastali ob trkih med asteroidi. Sicer pa v njegovi sestavi prevladujeta minerala olivin in pigeonit. Meteoriti HED so po mineralni sestavi podobni Zemljinim magmatskim kamninam. Domnevno izvirajo iz asteroida Vesta, delijo pa se glede na prevladujoči mineral v tri podskupine: howardite, eucrite (sl. 16) in diogenite.



Slika 16: Meteorit Dar al Gani 391 je kamnit meteorit ahondrit, ki so ga našli leta 1997 v Libiji. Pripada podskupini eucritov, za katere menijo, da izvirajo iz asteroida Vesta. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

Figure 16: The meteorite Dar al Gani 391 is a stone meteorite ahondrite, which was found in 1997 in Libya. It belongs to the subgroup of eucrites, which are believed to have originated from the Vesta asteroid. Collection of the Natural History Museum, Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum, Vienna

Lunarni meteoriti

Lunarni meteoriti imajo svoj izvor na Luni (sl. 17 in 24). Iz njene površine jih je izbil padec večjega meteorita. Delimo jih na bazaltne breče iz lunarnih morij in anortozitne breče z Luninih višavij. Prvič so jih na Zemlji odkrili leta 1982. Njihov izvor so dokazali na osnovi izotopske sestave kisika.

Marsovski meteoriti

Marsovski meteoriti so nastali na Marsu, iz njegove površine pa jih je izbil padec asteroida ali komete (sl. 18 in 24). Tudi njihov izvor dokazujejo na osnovi izotopske sestave in sestave drugih kemijskih prvin. Delijo se v štiri podskupine: shergotiti, nakhliti, chassigniti in na posebno skupino marsovskih meteoritov.



Slika 17: Lunarni brečasti meteorit. Foto: Miha Jeršek

Figure 17: Lunar breccia meteorite. Photo: Miha Jeršek

Hondriti

Hondriti so kamniti meteoriti, ki vsebujejo hondrule. So nediferencirani meteoriti, izvirajoči iz nediferenciranih starševskih teles, ki pred razpadom niso imela jasne lupinaste zgradbe. Delimo jih v tri glavne skupine: navadne hondrite (OC), enstatitove hondrite (E) in ogljikove hondrite (C).

Navadni hondriti

Navadni hondriti so najpogostejši meteoriti na Zemlji, saj jih je več kot 85 %. Sestavljajo jih minerali olivin, ortopiroksen in določen odstotek železovo nikljevih mineralov. V tej skupini ločimo hondrite z visoko vsebnostjo železa (H hondriti), z nizko vsebnostjo železa (L hondriti) in zelo nizko vsebnostjo železa (LL hondriti). H hondriti vsebujejo med 25 in 31 mas. % železa, ki se večinoma pojavlja v obliki železovo nikljevih zlitin (15 do 19%), zaradi česar privlačijo magnet. Med ortopirokseni je glavni mineral bronicit. L hondriti vsebujejo med 20 in 25 mas. % železa in med 4 in 10 % železovo nikljevih zlitin. Med ortopirokseni je glavni mineral hipersten. LL hondriti vsebujejo med 19 in 22 mas. % železa in samo 1 do 3 % železovo nikljevih zlitin. Podrobneje je značilnosti kamnitih meteoritov hondritov opisal AMBROŽIČ s sodelavci (2012).



Slika 18: Tissint je marsovski meteorit, ki je padel leta 2011 na maroško ozemlje. Istega leta je bil tudi najden in je danes eden od 163 znanih meteoritov z Marsa. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

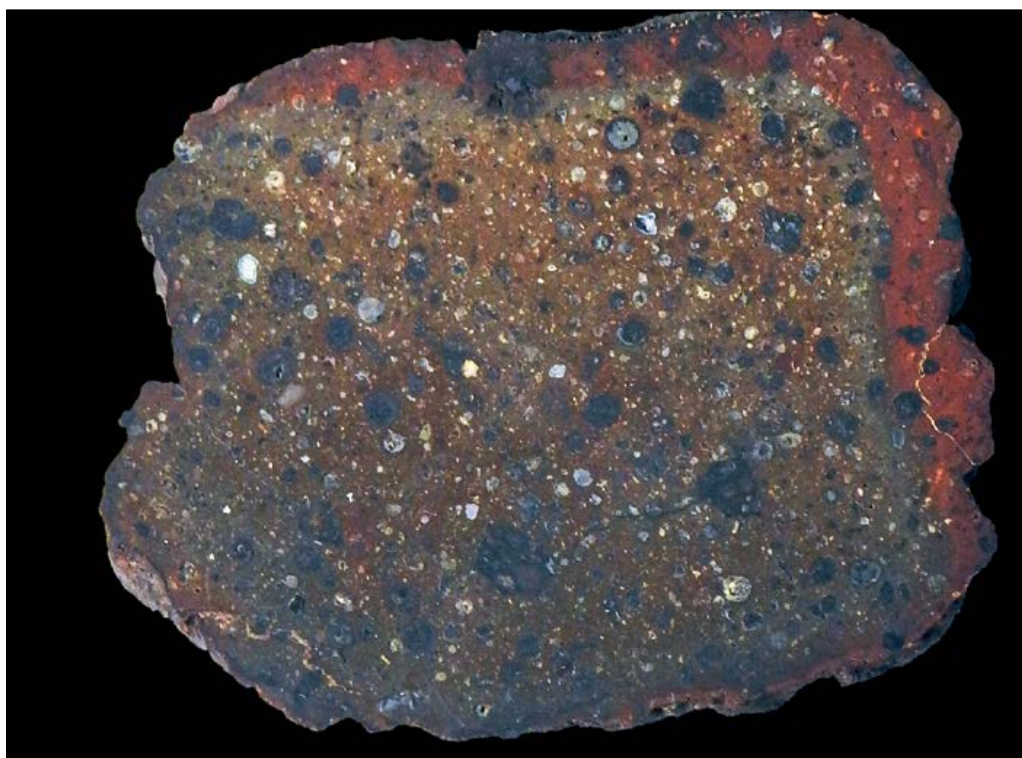
Figure 18: The Tissint is a Martian meteorite, which in 2001 hit the ground in Morocco. It was found in the very same year and is today one of the 163 known meteorites from Mars. Collection of the Natural History Museum, Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum, Vienna

Enstatitovi hondriti

Enstatitovi hondriti se od drugih hondritov ločijo po visoki vsebnosti minerala enstatita. Podobno kot navadni hondriti se enstatitovi delijo glede na vsebnost železa. Enstatitovi hondriti z visoko vsebnostjo železa (EH) imajo poleg skoraj 10 vol. % železa tudi manjše hondrule s premerom do 0,2 mm, medtem ko imajo enstatitovi hondriti z nizko vsebnostjo železa hondrule večje od 0,5 mm.

Ogljikovi hondriti

Ogljikovi hondriti veljajo za ene najbolj zanimivih, saj se njihova kemijska sestava najbolj približa sestavi Sonca (sl. 19 in 20). So nediferencirani meteoriti, ki so nastali v okolju z veliko kisika v delih Osončja, kjer ni bilo kovin niti silikatov, oksidov ali sulfidov (sl. 23). Imajo tudi do nekaj odstotkov kemično vezane vode. Delimo jih v osem skupin (CI, CM, CV, CO, CR, CK, CH in CB).



Slika 19: Ogljikov hondrit vsebuje številne hondrule, ki imajo premer do 1,5 mm. Foto: Miha Jeršek

Figure 19. Carbon chondrite contains numerous chondrules measuring of up to 1.5 mm in diameter. Photo: Miha Jeršek



Slika 20: Meteorit Murchison je padel leta 1969 v Avstraliji in pripada ogljikovim hondritom, podskupini CM2. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Dunaj. Foto: Arhiv Prirodoslovnega muzeja Dunaj

Figure 20. The Murchison meteorite fell to earth in 1969 in Australia and belongs to carbon chondrites, subgroup CM2. Collection of the Natural History Museum, Vienna. Photo: Archives of the Natural History Museum, Vienna

Druge skupine hondritov

Med hondriti so še nekateri meteoriti, ki se razlikujejo od omenjenih in so jih razvrstili v svoje skupine. Omenimo vsaj rumuruti hondrite (R), ki imajo železo v obliki oksidov in sulfidov, kakangari meteorite (K), ki vsebujejo visoko količino kovinskih mineralov in specifično izotopsko sestavo kisika, ter meteorite (F), ki so zanimivi zato, ker so v osnovi ahondriti, a vsebujejo klaste hondritov.

Petrološka klasifikacija hondritov

Hondriti imajo lahko zelo podobno kemijsko sestavo, ki pa je posledica različne mineralne sestave. Zaradi tega jih na osnovi kemijskega ravnovesja delijo v sedem petroloških tipov. Glavni značilnosti za razvrščanje meteoritov med petrološke tipe sta metamorfoza v reakciji z vodo in termična metamorfoza. Petrološki tipi 1, 2 in 3 so meteoriti praktično brez termične metamorfoze, medtem ko imajo tipi 4, 5, 6 in 7 vse bolj izražene značilnosti termične metamorfoze. Meteoriti, ki pripadajo petrološkemu tipu 1 in 2, so bili izpostavljeni metamorfozi ob

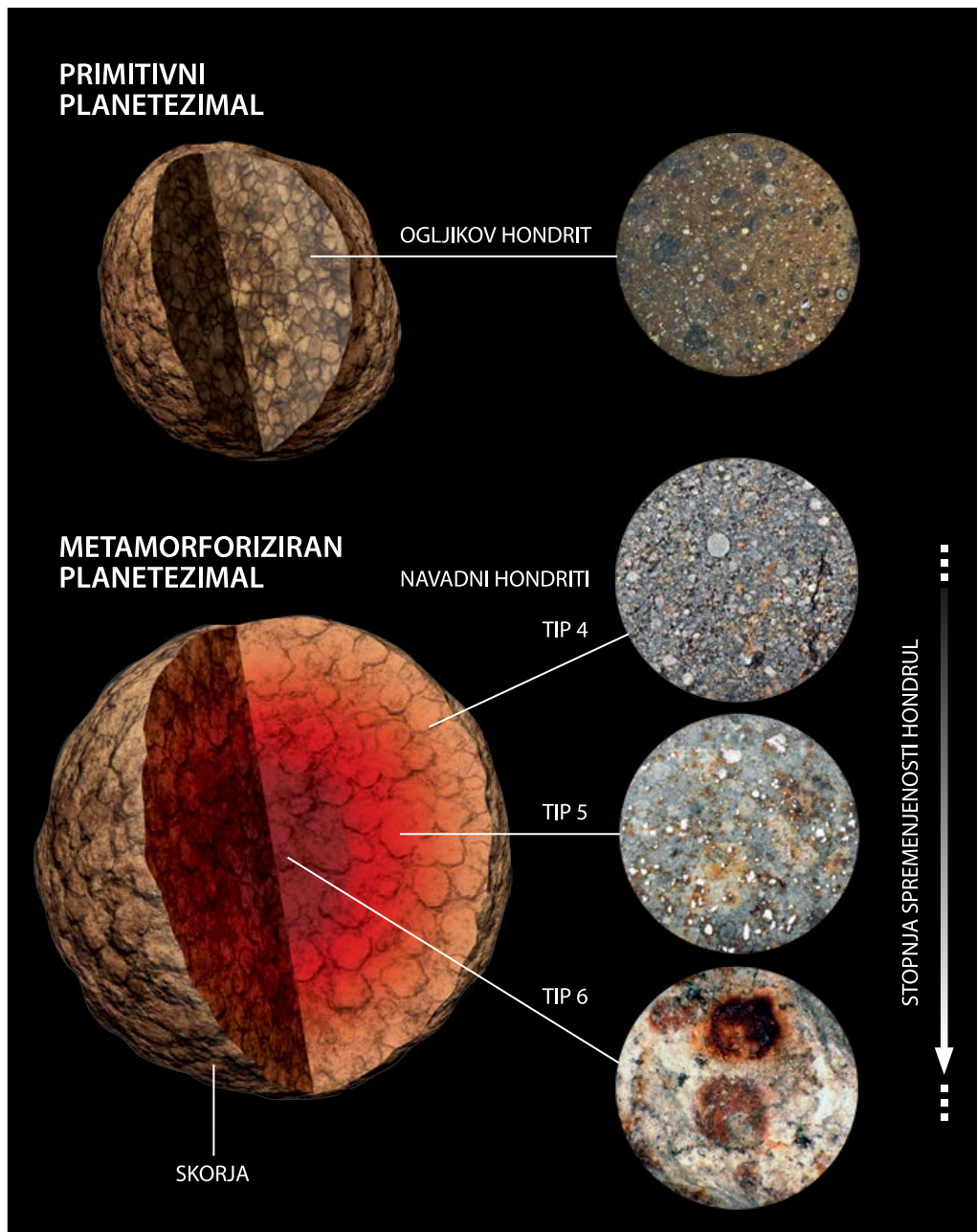


Slika 21. Meteorit Stannern, bolj znan kot meteorit Stonařov, je ahondrit eucrit, ki je padel leta 1808 na Češko. Meri 7 x 5 cm. Zoisova zbirka mineralov, hrani Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 21. The Stannern meteorite, better known as the meteorite Stonařov, is an achondrite eucrite, which fell in 1808 on Bohemia. Its size is 7 x 5 cm. Zois's collection of minerals, kept by the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

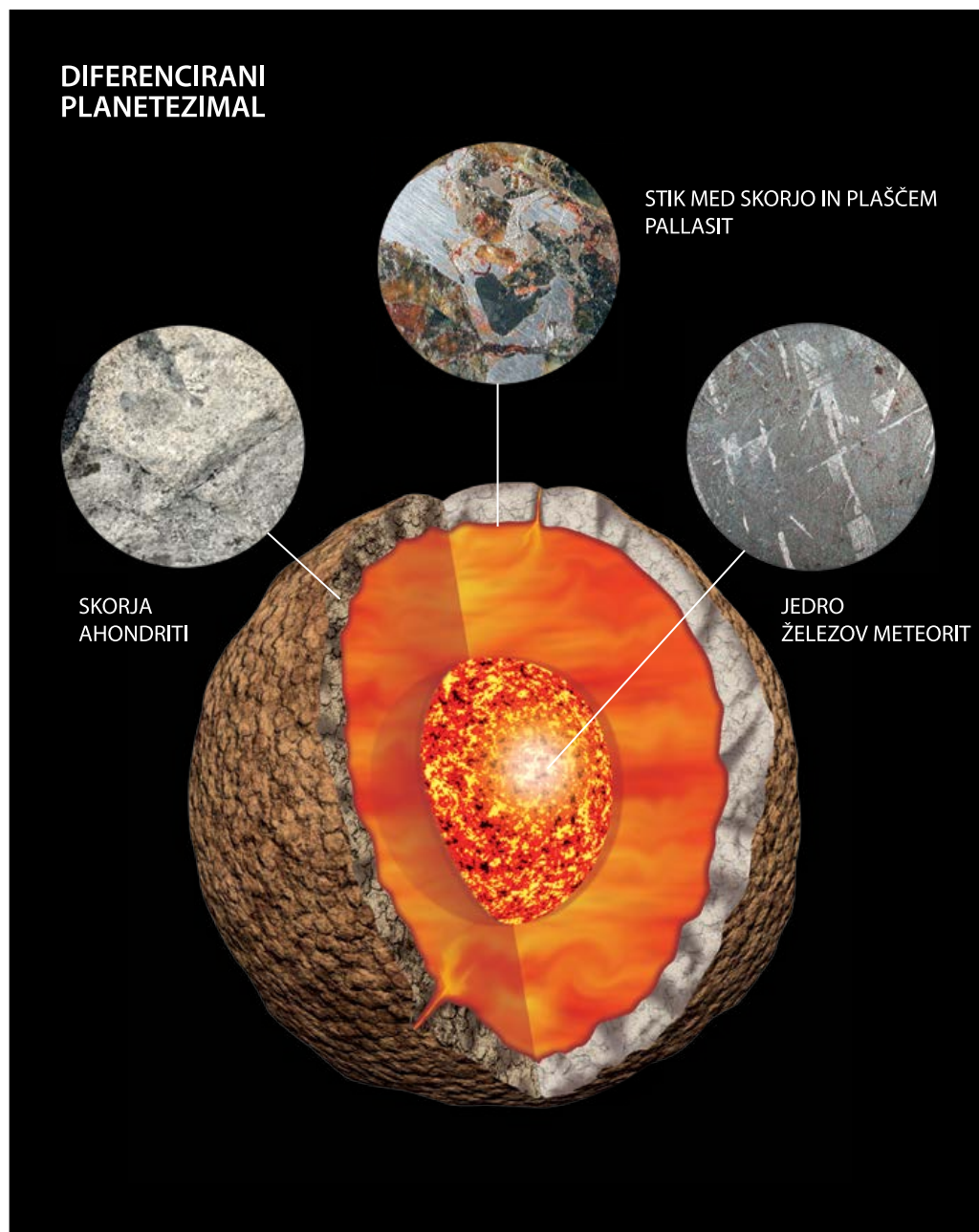
vključenosti vode. Zaradi tega meteoriti petrološkega tipa 1 praktično nimajo več ohranjenih hondrul, meteoriti petrološkega tipa 2 pa imajo le redke hondrule. Meteoriti petrološkega tipa 1 in 2 so po sestavi značilni hondritni meteoriti, po vrsti pa pripadajo ogljikovim hondritom. Meteoriti, ki pripadajo petrološkemu tipu od 3 do 7, so bili izpostavljeni povišani temperaturi, kar pomeni, da so bili izpostavljeni termični metamorfozi. To se kaže pri videzu hondrul. Petrološki tip 3 predstavlja meteorite z jasnimi in številnimi hondrulami. Pri meteoritih petrološkega tipa 4 do 6 so hondrule zaradi vpliva termične metamorfoze in rekristalizacije vse bolj nejasne. Pri tem je pomembno, da se minerali niso stalili. V meteoritih petrološkega tipa 7 so hondrule popolnoma spremenjene. Ti hondriti predstavljajo prehodne meteorite k primitivnim ahondritom. Meteoriti, ki so dosegli višjo stopnjo termične metamorfoze, so bili nekoč bližje središču starševskega telesa, medtem ko so tisti, ki so pretrpeli nižjo stopnjo termične metamorfoze, bili od središča bolj oddaljeni. Povišanje temperature (do 950 °C), ki je povzročilo metamorfozo meteoritov, je povezano z razpadom radioaktivnih prvin v starševskem telesu (^{26}Al , ^{40}K , itd.) (AMBROŽIČ et al. 2012).

Hondritni meteoriti se razlikujejo tudi po stopnji udarne metamorfoze (sl. 22). Le-ta je posledica medsebojnih trkov starševskih teles, največkrat asteroidov. Ob tem so nastale spremembe, predvsem razpoke v osnovi, ki so neposredno povezane s tlaki, nastalih ob trkih.



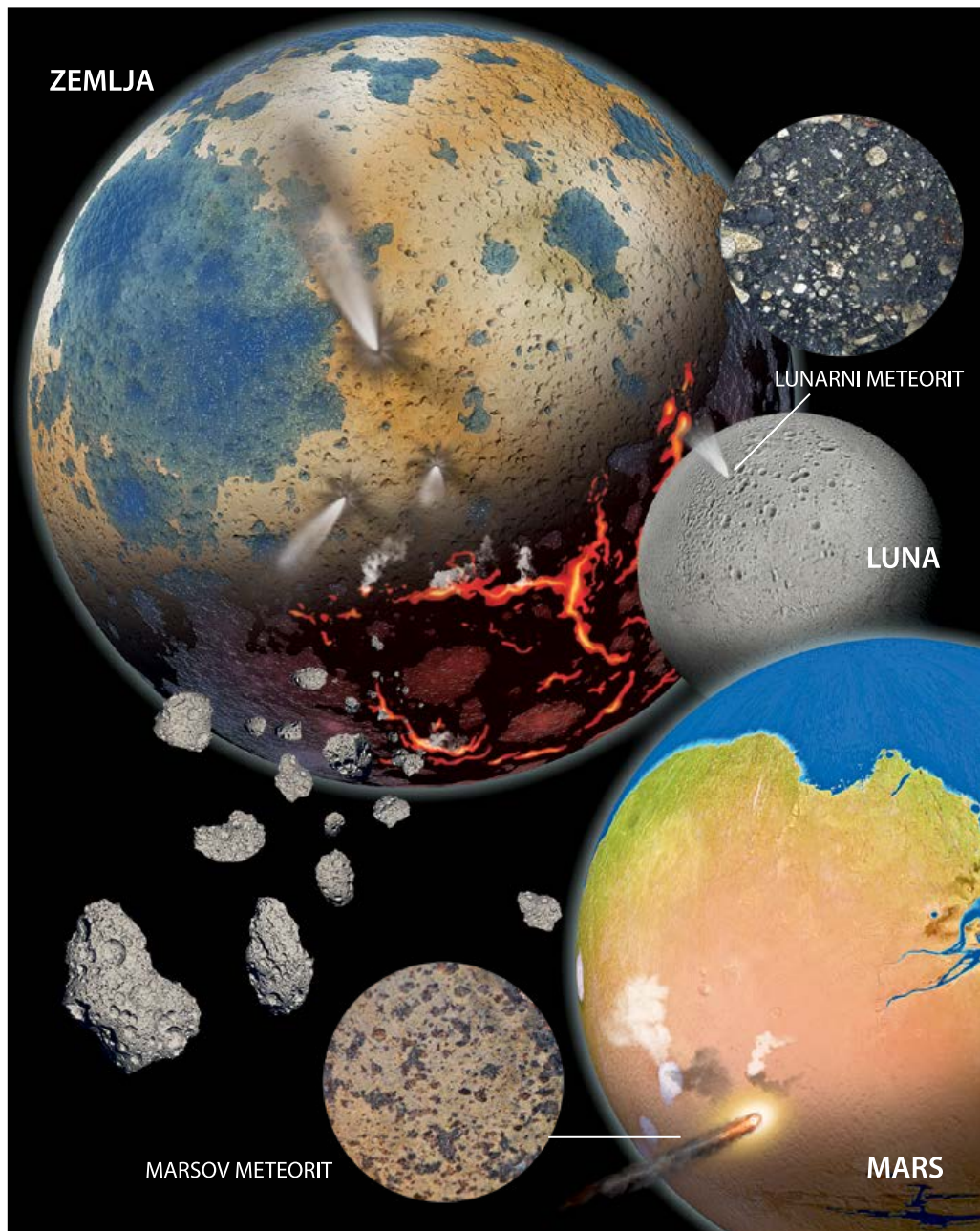
Slika 22. Izvor ogljikovih hondritov povezujemo s primitivnimi planetezimali, medtem ko navadni kamniti hondriti izvirajo iz že nekoliko večjih bolj ali manj metamorfoziranih planetezimalov. Ilustracija: Matjaž Učakar, fotografije meteoritov: Miha Jeršek

Figure 22. The origin of carbon chondrites is correlated with primitive planetesimals, whereas ordinary stone chondrites originate from somewhat larger more or less metamorphosed planetesimals. Illustration: Matjaž Učakar, photos of meteorites: Miha Jeršek



Slika 23. Zgradba večjih planetezimalov je lupinasta z jedrom, plaščem in skorjo. So vir kovinskih železovo nikljevih meteoritov, pallasitov in ahondritov. Ilustracija: Matjaž Učakar, fotografije meteoritov: Miha Jeršek

Figure 23. The structure of larger planetesimals is shell-like with a core, coat and crust. They are the source of metal iron-nickel meteorites, pallasites and achondrites. Illustration: Matjaž Učakar, photos of meteorites: Miha Jeršek



Slika 24. Na Zemlji so našli tudi meteorite, ki so bili zaradi padca drugega meteorita oziroma asteroida izvrženi s površine Marsa, Lune in asteroida Vesta. Risba prikazuje stanje na Zemlji, Luni in Marsu pred okoli 4 milijardami let. Risba: Matjaž Učakar, fotografije meteoritov: Miha Jeršek

Figure 24. On Earth, meteorites that were due to the fall of some other meteorite or asteroid ejected from the surface of Mars, Moon and asteroid Vesta have been found as well. The drawing depicts the conditions on Earth, Moon and Mars some 4 billion years ago. Illustration: Matjaž Učakar, photos of meteorites: Miha Jeršek

Hondritne meteorite delimo glede na stopnjo udarne metamorfoze v šest skupin. V prvi skupini (S1) so meteoriti, ki ne kažejo nobenih sprememb niti s prostim očesom niti pod mikroskopom. To so meteoriti, ki so trčili z drugim nebesnim telesom, pri tem pa so nastali tlaki do 5 GPa. V drugi skupini (S2) so meteoriti, pri katerih opazujemo zelo šibko udarno metamorfozo, navadno skozi mikroskop. Opazimo neenakomerno potemnitev olivina in drobne razpoke. Takšni meteoriti so bili izpostavljeni tlakom med 5 in 10 GPa. Šibko udarno metamorfozirani meteoriti (S3) imajo drobne razpoke v zrnih olivina, ponekod predele raztaljenih mineralov in med seboj nepovezane žile, ki so posledica trkov pri tlakih med 15 in 20 GPa. Srednje udarno metamorfozirani meteoriti (S4) imajo v nasprotju z meteoriti S3 drobne, vendar med seboj vzporedne razpoke v zrnih olivina. Za nastanek takšnih razpok je potreben tlak med 30 in 35 GPa. Močno udarno metamorfozirani meteoriti (S5) imajo zelo jasne vzporedne razpoke v zrnih olivina, plagioklaz je spremenjen v maskelynit, žile raztaljenih mineralov pa so vse bolj izrazite. Ti pojavi nastanejo pri tlakih med 45 in 55 GPa. Zelo močno udarno metamorfozirani meteoriti (S6) imajo rekristalizirana zrna olivina, ki je lahko ponekod spremenjen v mineral ringwoodit, plagioklazi pa so spremenjeni v steklo. Za takšne spremembe je potreben tlak med 75 in 90 GPa (AMBROŽIČ et al. 2012).

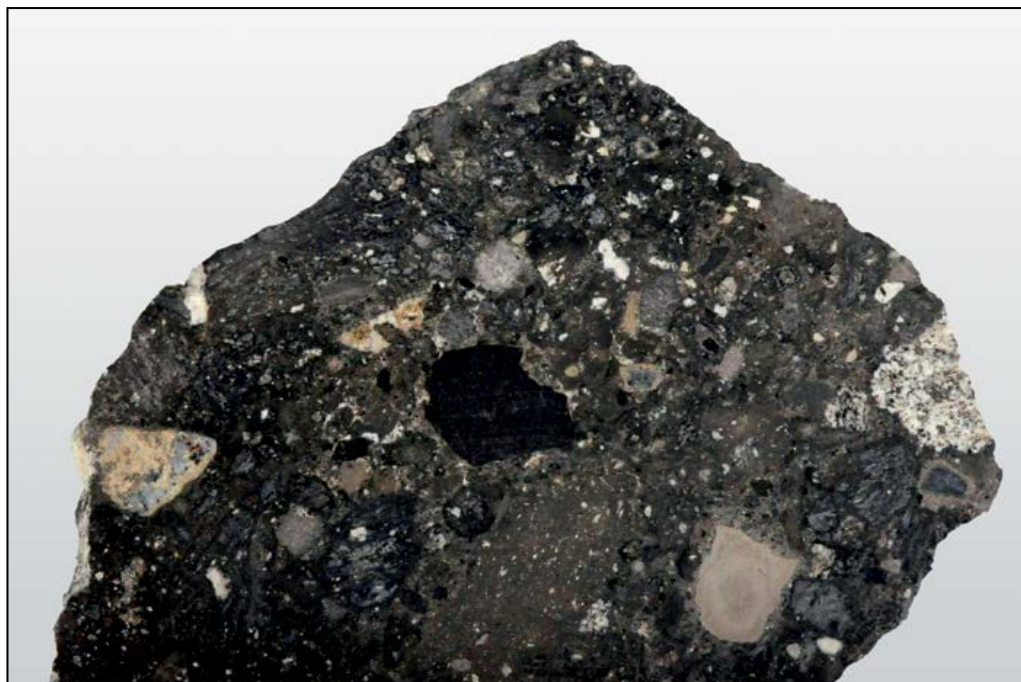
Primitivni ahondriti

Primitivni hondriti so nediferencirani meteoriti (sl. 23), ki so po kemijski in mineralni sestavi podobni hondritom, vendar samih hondrul kot značilne kroglaste oblike ne vsebujejo (sl. 21). Mednje uvrščamo acapulcoite, lodranite, brachinite, winonaite, ureilite in še nekatere.

Impaktiti

Impaktiti so praviloma kamnine, ki so nastale ali se spremenile pri padcu meteorita. Izvorna kamnina zanje je na površju Zemlje, spremenjene kamnine oziroma impaktiti pa so nastali zaradi sprememb ob visokih tlakih in temperaturah pri padcu velikih meteoritov. Impaktiti so zato največkrat hitro metamorfozirane kamnine, taline ali kombinacija obeh. Takšne kamnine imenujemo impaktivne breče ali tudi suevite. Med impaktite štejemo tudi druge kamnine, na primer sedimentne kamnine, ki vsebujejo drobce mineralov, nastale kot posledica padca mineralov, ali pa imajo kamnine samo anomalne vrednosti nekaterih kemijskih prvin, na primer iridija. Impaktiti nastanejo zelo hitro ob padcu meteorita iz kamnin, ki so razgaljene na kraju padca. Saharski pesek se spremeni v steklo, kamnine razpokajo, se stalijo in ponovno povežejo v breče in podobno. Tagamiti so po videzu podobne kamnine kot bazalti na Zemlji. Toda nastale so ob padcu meteorita v Sibiriji (krater Popigai). Ob padcu meteorita se je dvignilo več milijonov ton kamnin. Posamezni ostrorobi kosi kamnin so se po padcu sprijeli v impaktivno brečo (sl. 25). Tlaki ob padcu meteorita so bili tako visoki, da so nastali diamanti, ki so jih potem dolga leta kopali za industrijske potrebe, saj navadno ne presežejo velikosti 2 mm (JERŠEK 2018).

Ob padcu večjih meteoritov lahko iz kamnin na površju Zemlje nastane naravno steklo, ki ga imenujemo tektit ali tudi meteoritsko steklo. So zeleni, redkeje rumeni, pogostejše pa temno zeleni, rjavkasti ali na videz celo črni. Poimenovani so po mestu njihovega najdišča (sl. 26). Doslej so jih na Zemlji našli na petih večjih območjih (sl. 27), posameznih različkov pa je okoli 15 (JERŠEK 2018).



Slika 25. Impaktitna diamantonosna breča iz udarnega kraterja Popigai v Rusiji. Foto: Miha Jeršek

Figure 25. Impactite diamond-bearing breccia from the blast crater Popigai in Russia. Photo: Miha Jeršek



Slika 26. Moldavit je najbolj priljubljen tektit, ker je prosojen do prozoren in zelen ter ima razgibano obliko. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 26. Moldavite is the most popular tektite, since it is transparent, diaphanous and green, with a varied shape. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek



Slika 27. Tektite najdemo samo na določenih mestih, stran od udarnega kraterja velikega meteorita, kjer so se kamnine na površju Zemlje zaradi visokih tlakov in temperature lahko stalile. Na Zemlji je bilo doslej dokazanih pet glavnih polj tektitov. Risba: Matjaž Učakar

Figure 27. Tektites can be found only in certain places, away from blast crater of a large meteorite, where rocks could have melted on the Earth's surface owing to the high pressures and temperatures. To date, five main tectite fields have been confirmed on our planet. Drawing: Matjaž Učakar

Oblike tektitov

Tektiti so različnih osnovnih oblik: od kroglaste, pahljačaste, kapljičaste, konkavne ali konveksne, gumbašte, diskaste ali nepravilne. To je odvisno od tega, v koliko smereh se talina na svoji poti vrti. Če se vrti okoli treh osi v prostoru, bodo nastali kroglasti tektiti. Če se vrti okoli dveh osi, bo tektit podoben ročki za dvigovanje uteži (sl. 28). Hitrejša kot bo vrtenje, izrazi-tejši bosta kroglasti ročki, vse dokler nastajajoči tektit ne bo zaradi prehitrega vrtenja razpadel v kapljičasta tektita. Če se nastajajoči tektit vrti okoli ene same osi, bodo nastali diskasti tektiti, ki so lahko na robovih debelejši kot v osrednjem delu (sl. 28). Sama površina tektitov je lahko motna ali sijajna, gladka ali pa hrapava (sl. 29). Pri nekaterih vrstah je zaradi kemičnega raz-tapljanja vse polno bolj ali manj podolgovatih struktur oziroma brazd, ki imajo v prečnem preseku obliko črke V (sl. 30) ali U (sl. 33). Te brazde so navadno sijajne, medtem ko je preostala površina nesijajna, motna. Na površini tektita se lahko tvorijo poligonalne oblike. Včasih so te sijajne strukture kroglaste in jih imenujemo popki (sl. 31 in 32). Radialne strukture v obliki bolj ali manj izrazitih kanalov so redkejša in naj bi nastale ob padcu tektita nazaj na površje Zemlje (JERŠEK 2018).



Slika 28. Tektita iz Vietnama razkrivata značilni obliki glede na smer vrtenja v ozračju. Spodnji diskasti tektit se je ohlajal ob vrtenju okoli ene osi, medtem ko se je zgornji tektit, v obliki telovadne ročke, vrtel okoli dveh osi. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije, darovalec Jani Pintarič. Foto: Miha Jeršek

Figure 28. These two tektites from Vietnam reveal the characteristic forms relative to the direction of turning in the atmosphere. The lower disk-shaped tektite was cooling while turning around one axis, whereas the upper tektite shaped like a dumbbell was turning around two axes. The collection of the Slovenian Museum of Natural History, donated by Jani Pintarič. Photo: Miha Jeršek



Sliki 29 in 30. Prvotne oblike tektitov ne vsebujejo sledov preperevanja, medtem ko imajo drugotne oblike številne znake kemijskega raztapljanja v obliki brazd in popkov, nekatere vrste tektitov pa imajo površino zglajeno zaradi vetrne erozije. Na sliki (levo) je češki tektit brez večjih sledi raztapljanja, poleg (desno) pa takšen s številnimi brazdami v obliki črke V, ki so še posebej značilne za tektite iz Češke. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figures 29 and 30. The original forms of tektites do not contain traces of weathering, while the secondary forms have numerous marks of chemical dissolution in the shape of grooves and navels; some types of tektites have their surface smooth owing to wind erosion. On the picture (left) is a Czech tektite with no major traces of dissolution; the one next to it (right) is a tektite with numerous V-shaped grooves, which are particularly characteristic of Czech tektites. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek



Sliki 31 in 32. Popki so kroglaste razjede, ki jih najdemo tako v čeških tektitih (levo) kot tistih s Filipinov (desno). Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figures 31 and 32. Navels are spherical abrasions that can be found both in Czech tektites (left) and tektites from Philippines (right). Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek



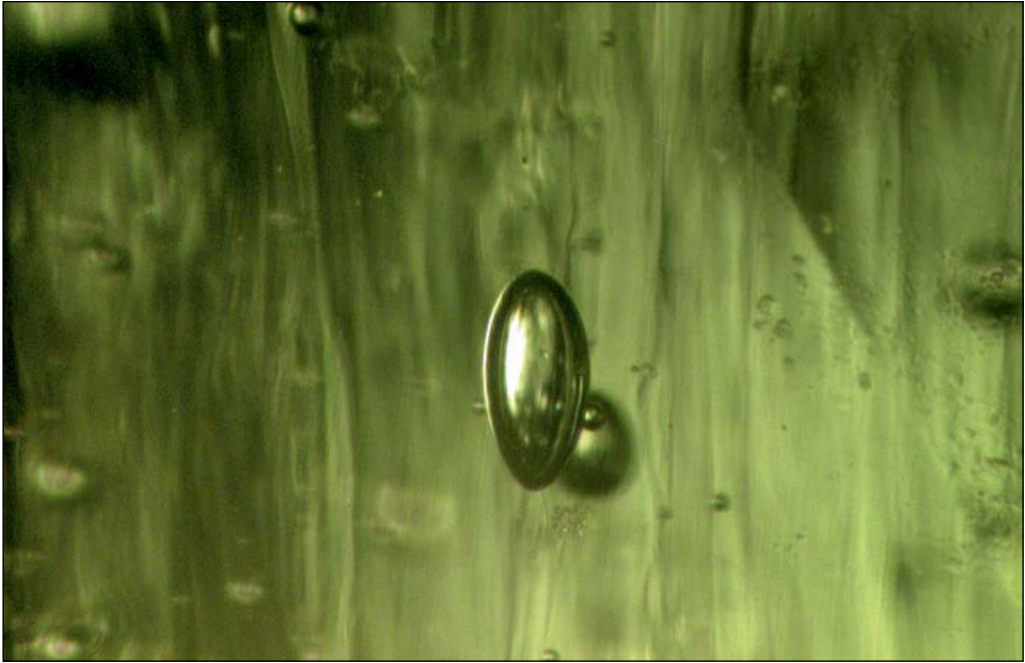
Slika 33. Brazde v obliki črke U so še posebej značilne za filipinite. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 33. U-shaped grooves are particularly characteristic of philippinites. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek

Vrste tektitov

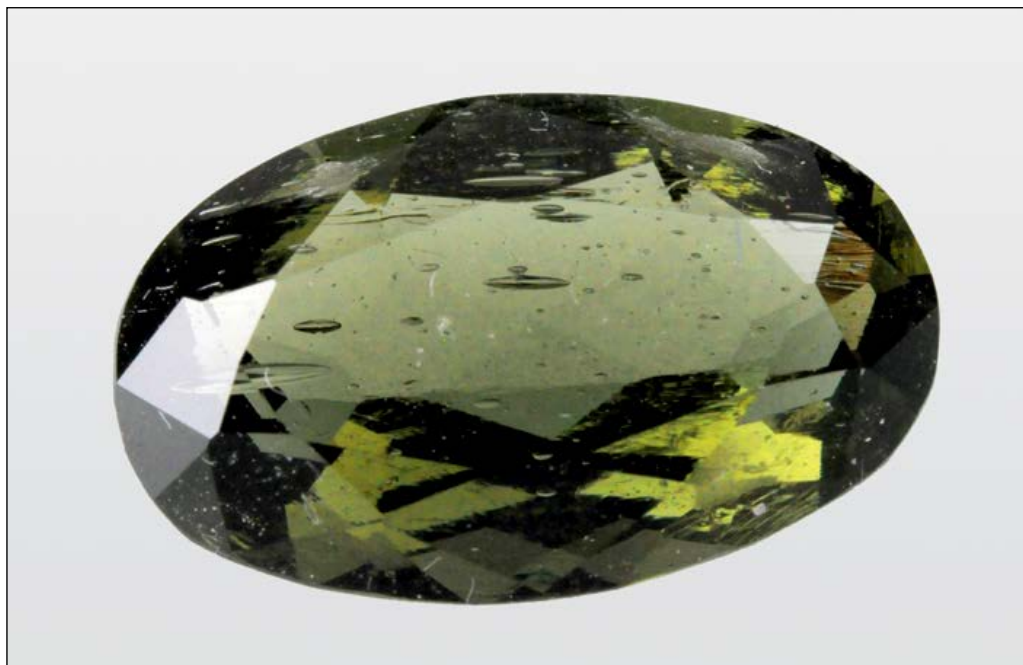
Moldaviti

Sloveniji najbližji tektiti so moldaviti. Nastali so ob padcu meteorita pred 14,7 milijona leti na območje današnje Nemčije, kjer se je izoblikoval krater Nördlinger Ries. Prvotno (okoli leta 1786) so jih imenovali krizoliti (chrysolites) zaradi zelene barve, kasneje (1788) pa vltavin ali vltavit (po mestih Vltavou in Týn). To ime se je ponekod ohranilo še do danes. Izraz moldavit je danes splošno priznan, uvedli pa so ga leta 1836 po mestu Moldauthein (nemški izraz za prej omenjeni mesti) oziroma po reki Moldau. Moldavite so doslej našli predvsem na več mestih na Češkem, nekaj, manj kot 1 %, pa tudi v Nemčiji in Avstriji. Običajno so zaradi vsebnosti dvovaleutnega železa (Fe^{2+}) zelene barve, so prosojni do prozorni (sl. 36). Vsebujejo vključke zračnih mehurčkov in sledove vrtnčastega toka stekla (sl. 34). Imajo značilne vključke lechatelierita – amorfne oblike kremenice, ki je v bolj ali manj zavrtih oblikah (sl. 35). Površina je pogosto vse polna brazd v obliki črke V. Skupna količina moldavitov naj bi bila okoli 275 ton (JERŠEK 2018).



Sliki 34 in 35. Med značilnimi vključki tektitov so plinski mehurčki (levo) in vključki amorfne kremenice lechatelierita (desno). Foto: Miha Jeršek

Figures 34 and 35. Among the characteristic inclusions of tektites are gas bubbles (left) and inclusions of amorphous silica of lechatelierite (right). Photo Miha Jeršek



Slika 36. Moldaviti so cenjeni plemeniti kamni. Že s prostim očesom lahko zaznamo, da vsebujejo številne vključke. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 36. Moldavites are valued precious stones. By the naked eye alone we can detect that they contain numerous inclusions. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek

Avstralsko-azijsko polje tektitov

Avstralsko-azijsko polje tektitov je daleč največje polje s številnimi nahajališči, saj prekriva skoraj 30 % površja Zemlje. Strokovnjaki si še vedno niso enotni, kateri krater je dal tako številne najdbe tektitov, enotni pa so si v tem, da je moral biti padec velikega meteorita izjemen in pod blagim kotom. Na osnovi številnih najdb tektitov v Aziji, Indoneziji in v Avstraliji so strokovnjaki predvideli, da je udarni krater nastal v zalivu Tonkin, ki leži v severnem delu Kitajskega morja ob severnem Vietnamu in južni Kitajski. Meteorit naj bi bil padel pred 790.000 leti, ko je bil nivo morja nižji in zato to ozemlje kopno oziroma prekrito s plitvim morjem. Meteoritsko steklo je poletelo več kot 7000 kilometrov visoko in popadalo na območje, veliko skoraj 150 milijonov km². Polje se razteza od jugovzhodne Azije (Tajska, Laos, Vietnam, Kambodža in južna Kitajska) prek Filipinov, Indonezije, Malezije, Jave vse do zahodnega dela Indijskega oceana, na jugu pa do Avstralije in celo do Tasmanije, najdlje pa so jih našli v vzhodni Afriki in na Tibetu. Skladno z oddaljenostjo od udarnega kraterja se spreminjajo morfološke značilnosti tektitov. Prav na mestu kraterja tektitov ni. Tisti, ki so nastali najprej ob udarcu meteorita, ob njegovi največji sproščeni energiji, so leteli najvišje in najdlje. To so avstraliti. Nazadnje pa so nastali tektiti pri nekoliko nižjih energijah, obenem pa pri nižjih hitrostih, kar pomeni, da so imeli tudi manj časa za ohlajanje, vse dokler jih gravitacija ni pritegnila nazaj na površje. Takšni so indokiniti, za katere je značilno, da imajo ohranjene primarne oblike: okrogle, valjaste, v obliki telovadnih ročk. Nekateri



Sliki 37 in 38. Filipiniti anda s Filipinov so temno rjavi do črni in imajo na površini navadno veliko razjed. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figures 37 and 38. Philippinites Anda from Philippines are dark brown to black and usually with several abrasions on their surface. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek

so se pri vračanju skozi ozračje delno natalili in spremenili svojo obliko v kapljice, sploščene diskaste oblike in »čebulam« podobne oblike. Indokiniti nimajo površinskih struktur v obliki črke U ali V, imajo pa radialne brazde, ki so lahko tudi koncentrično razporejene. Včasih indokiniti razpadejo in pokažeta se zdravo kompaktno jedro in tanjša lupina. Na območju Indokitajske so našli še posebne tektite tipa Muong Nong. Gre za impaktite, ki so bliže udarnemu kraterju, s poligonalno obliko in značilno lupinasto zgradbo. Filipiniti so nastali nekoliko dlje kot tektiti tipa Muong Nong in indokiniti. Njihova primarna oblika se je izoblikovala v ozračju in po petih minutah naj bi se bili vrnili izoblikovani v trdni obliki nazaj na območje današnjih Filipinov. Zaradi segrevanja meteoritskega stekla na poti nazaj je del zunanje lupine lahko razpokal in celo odpadel. Nastali so okrogli in piškotom podobni tektiti z bolj ali manj ohranjeno lupino in kompaktnim jedrom. Ob padcu na površje so bili večinoma že povsem trdni, zato imajo le redki koncentrične brazde, ki so nastale ob padcu deloma še plastičnega tektita. Tektiti na površju so bili izpostavljeni kemijskemu preperevanju. Podzemne vode, obogatene s kisljinami, so skozi stoletja in tisočletja kemijsko raztapljale drobne razpoke, ki so nastale pri ohlajanju tektita v ozračju. Nastale so brazde in strukture v obliki črke U (sl. 37, 38 in 39). Kjer vode niso bile dovolj agresivne, je teh struktur manj. Billitoniti so podobni filipinitom, le da izvirajo še nekoliko dlje od kraterja, iz Jave pa so znani javaiti. Avstraliti so leteli najdlje. Ob vrnitvi na Zemljo so bili v trdnem stanju in okrogle oblike. Zaradi trenja in ablacije so se nekoliko natalili. Nastala je zunanja lupina, ki se je ločila od jedra. Nastali so gumbom podobni tektiti z bolj ali manj izrazito zunanjo plastjo/lupino. Za zbiratelje so tektiti tega tipa med najbolj zaželenimi. Zelo daleč od mesta padca meteorita so potovali tudi mikro tektiti, ki predstavljajo steklasti prah (JERŠEK 2018).



Slika 39. Filipinitni bicol so med redkejšimi filipinitmi. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 39. Philippinites Bicol are among the rarer philippinites. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek

Darwinovo steklo

Darwinovo steklo je nastalo ob padcu meteorita pred 816.000 leti na Tasmanijo. Nastal je krater Darwin, ki je zasut z 230 metrov debelo plastjo impaktitov iz sedimentov in breče. Padec 20 do 50 metrov velikega meteorita je ustvaril krater s premerom 1,2 kilometra in ob tem sprostil energijo 20 megaton. Darwinovo steklo (sl. 40) je temno zeleno do belo ali temno zeleno do črno (JERŠEK 2018).

Tektiti iz Slonokoščene obale

Tektiti iz Slonokoščene obale so nastali ob padcu meteorita pred 1,3 milijona leti, ki je ustvaril krater Bosumtwi v sosednji Gani. Nahajališča tektitov so torej oddaljena okoli 400 kilometrov od kraterja. Po videzu spominjajo na indokinite (JERŠEK 2018).

Severnoameriški tektiti

Severnoameriški tektiti so nastali ob padcu meteorita pred 35 milijoni let. Nastal je krater Chesapeake. Glede na nahajališče ločimo georgiaite iz države Georgia, ki ležijo 700 kilometrov



Slika 40. Darwinovo steklo s Tasmanije je poleg moldavitov edino lahko prosojno in zelene barve. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 40. Apart from moldavites, only Darwin glass from Tasmania can possibly be translucent and green. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek

od udarnega kraterja. Tektiti so razmeroma redki in so tipa Muong Nong, redkeje pa so steklasti in sivo zelenkasti. Bediasite so našli v državi Texas. Tektiti so podobni moldavitom in bikolitnemu tipu filipinitov s Filipinov (JERŠEK 2018).

Libijsko steklo

Libijsko steklo je nastalo pred 26 milijoni let. Udarnega kraterja do sedaj še niso našli, sama nahajališča pa so v puščavi v Egiptu in Libiji. Ima značilno rumeno do rumeno zelenkasto barvo, je prosojen do prozoren (sl. 41). Zaradi vetrne erozije je njihova površina pogosto površinsko spremenjena (JERŠEK, 2018).

Drugi tektiti

Posameznih nahajališč tektitov je še nekaj in odkrivajo se še novi. Tako so leta 2014 odkrili tektite v puščavi Atacama in jih poimenovali atacamiti. Irghiziti izvirajo iz Kazahstana (sl. 42). Nekaj posebnega so še kolumbijaniti (sl. 43) in saforditi (sl. 44). Njihov zemeljski izvor je zelo dvomljiv (JERŠEK 2018).



Slika 41. Libijsko steklo je rumeno ter prosojno do prozorno in edino med tektiti, ki ga še niso povezali z nobenim udarnim kraterjem. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 41. Libyan glass is yellow, translucent to transparent and the only tektite that has not been associated with any blast crater as yet. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek



Slika 42. Irgizit je tektit iz Kazahstana. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 42. Irgizite is a tektite from Kazakhstan. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek



Slika 43. Kolumbijanit je prosojno do prozorno in svetlorjavkasto naravno steklo, za katero nekateri menijo, da gre za obsidian, drugi pa, da gre za tektit. Zbirka Društva Moldavit. Foto: Miha Jeršek

Figure 43. Columbianite is translucent to transparent and light brown natural glass, which is by some believed to be an obsidian, while others are convinced that it is in fact a tektite. Collection of the Moldavite Society. Photo: Miha Jeršek



Slika 44. Safordit je vrsta naravnega stekla, vendar njegov izvor še ni povsem jassen. Nekateri menijo, da gre za obsidian, drugi pa, da je priletel na Zemljo od drugod. Zbirka Društva Moldavit. Bipiramido je zbrusil Jaka Modic, študent Višje strokovne šole iz Sežane. Foto: Miha Jeršek

Figure 44. Saffordite is a type of natural glass, but its origin is still not utterly clear. Some believe that it is an obsidian, while others think that it reached our planet from elsewhere. Collection of the Moldavite Society. The bipyramid was polished by Jaka Modic, student of the Vocational Faculty Sežana. Photo: Miha Jeršek

Meteorit Avče

Meteorit Avče je bil prvi, ki je padel na območje današnje Slovenije in so ga tudi našli ter raziskali. To je bilo leta 1908. Po spletu okoliščin in zaradi dejstva, da je bilo območje padca pod avstro-ogrsko oblastjo, je končal v dunajski naravoslovni zbirki, tedaj kot šele šesti popoln železov meteorit. Ob stoti obletnici padca so ga domačini iz Avč prebudili iz skorajšnje pozabe. Organizirali so razstave in objavljali različne prispevke. Na obletnico je prišel sam kustos dunajskega Prirodoslovnega muzeja, kjer hranijo v Evropi največjo zbirko meteoritov, ki je obenem druga največja na svetu. Zanimanje za meteorite se je v Sloveniji zelo povečalo, saj od tedaj različne ustanove nenehno dobivajo obvestila o najdbah domnevnih meteoritov.

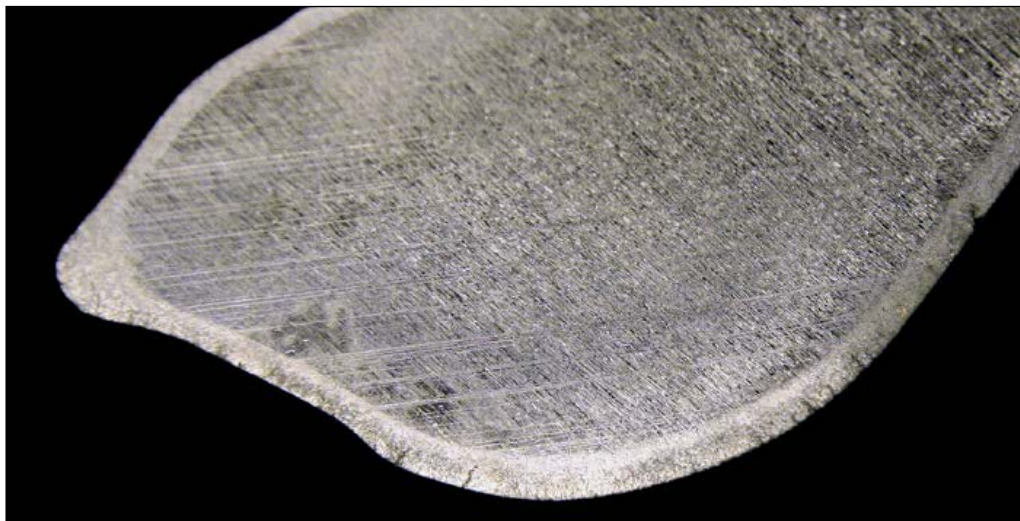
Okoliščine najdbe

Bilo je 31. marca 1908 ob okoli 8.45, nedaleč od vasi Avče v dolini Soče, ko je domačin Janez Kolenc, ki je ob tem času kmetoval, zaslišal nekakšen pok v zraku. Po več kot dveh minutah se je



Slika 45. Meteorit Avče je železov meteorit iz skupine IIAB, masa 1230 gramov. Zgornji gladki del meteorita je bil v smeri padca, medtem ko je zadnja stran meteorita konkavna s posameznimi poglobitvami. Zbirka Prirodoslovnega muzeja na Dunaju. Foto: Darko Juhant

Figure 45. The Avce meteorite is an iron meteorite from the group IIAB, mass 1,230 g. The upper smooth part of the meteorite was lying in the direction of the fall, while its back side was concave with individual recesses. Collection of the Natural History Museum Vienna. Photo: Darko Juhant



Slika 46. Ploščico meteorita Avče, ki je bila izrezana iz meteorita, so spolirali in jedkali, tako da nam sedaj razkriva Neumannove črte ter žgalni rob. Zbirka Prirodoslovnega muzeja na Dunaju. Foto: Darko Juhant

Figure 46. The slab which was cut out of the Avce meteorite was polished and etched, revealing Neumann lines and fusion edge. Collection of the Natural History Museum Vienna. Photo: Darko Juhant

v njegovi bližini odlomila več kot 5 cm debela veja jablane, pod njo pa se je pojavil oblaček prsti. Janez Kolenc se je s sinom Alojzom vrnil domov. Na mesto padca do tedaj še neznanega predmeta se je vrnil v spremstvu Matije Šuligoja. Pod jablano sta v manjši udarni jami, globoki 30 cm, našla več kot kilogram težak kos železa. Kolenc ga je v prepričanju, da gre za del topovske krogle, izročil orožnikom v Ročinju (Božič, M. 2008).

Lokalni časopisi so se o najdbi topovske krogle razpisali v obliki številnih krajših novic (Božič, Z. 2008). Zanimivo je, da so ga slišali tudi na Gorenjskem, v Radovljici in Kropi. Profesor Ferdinand Seidl, pomemben naravoslovec in pisatelj, ki se je ukvarjal z mineralogijo, geologijo in seizmologijo, je o padcu »topovske krogle« obvestil kustosa dunajskega naravoslovnega muzeja Martina Berwertha. Omenil mu je, da topovska krogla utegne biti tudi meteorit. Ta je tako našla pot na Dunaj, kjer se je kmalu dejansko izkazalo, da gre za meteorit (Božič, D., 2008). Zanimivo je, da so meteorit nato odkupili. Najditelju Janezu Kolencu so dali tretjino zneska (20 kron), lastniku zemljišča, kamor je padel meteorit, Movrnovega boršta nad Dolenjim Avškom, Martinu Križaniču, pa dve tretjini kupnine (40 K) (Božič, M. 2008).

Morfološke in kemijske značilnosti

Meteorit Avče je velik 11 x 8,5 x 5 cm in ima maso 1230 gramov (Božič, D. 2008). Je ledvičaste oblike (sl. 45) in s štirih strani precej gladek, na eni strani pa ima več značilnih jamičastih poglobitev. Njegova površina je zaradi tanke žgalne skorje, debele od 0,05 do 0,8 mm (BUCHWALD 1975), značilno rjava do črna, na odlomljenih delih pa je meteorit srebrnkasto siv.

V času najdbe je bil avški meteorit zelo zanimiv za raziskave in zato ne preseneča, da so ga prerezali in izžagali 5 mm debelo ploščico. Ko so jo spolirali in zjedkali, so se pokazale značilne Neumannove črte (sl. 46), zaradi česar ga uvrščamo med heksaedrite. Na prerezu je lepo vidno okoli 2 mm debelo žgalno območje, ki je med žgalno skorjo in osrednjim delom meteorita. V tem delu meteorita zaradi visokih temperatur omenjenih črt ni (BUCHWALD 1975).

Kemijska sestava razkriva pretežni del 95,17 % železa, 5,5 % niklja, 0,36 % kobalta, 0,12 % silicija ter prvine, kot so krom, baker, galij, germanij, volfram, renij, iridij, fosfor, arzen, platina in zlato (WASSON et al. 2007).

Meteorit Avče je na osnovi kemijske in mineraloške analize uvrščen med železove meteorite v skupino IIAB. V tej skupini je trenutno samo 131 meteoritov s celega sveta, kar ga uvršča med razmeroma redke meteorite.

Na ogled v dunajskem muzeju

Meteorit Avče je bil slišan, viden in najden. Je prvi meteorit z območja današnje Slovenije, ki je bil znanstveno opisan in vpisan v mednarodno bazo najdenih meteoritov. V času najdbe je bilo območje najdbe del Avstro-ogrske, tako da je meteorit ostal v dunajskem prirodoslovnem muzeju, kjer je še danes na ogled v eni največjih zbirk meteoritov na svetu. Prav verjetno pa je, da je nekje v dolini Soče, v radiju 40 kilometrov, še kakšen fragment meteorita Avče, saj naj bi v ozračju razpadel. Uradno ime meteorita Avče je brez šumnika in se glasi AVCE. Takšen je tudi uradni zapis osnovnih podatkov v podatkovni zbirki meteoritov (<http://www.lpi.usra.edu/meteor/>) mednarodnega Meteoritskega društva.

Meteorit Jesenice

Meteorit Jesenice je eden tistih, ki sodi v sam vrh svetovne naravoslovne dediščine in v vrh kulturne dediščine Slovenije, saj je pritegnil širšo evropsko in svetovno strokovno javnost. S tem ko je postal del mineraloških zbirk Prirodoslovnega muzeja Slovenije, je pridobil status spomenika državnega pomena. Vpisan je v mednarodno bazo meteoritov z veliko večino tipskega gradiva, ki ga hrani Prirodoslovni muzej Slovenije. Bil je viden, slišan, posnet in najden.

Okoliščine najdbe

Dne 9. aprila 2009 ob treh zjutraj je prenekatero prebivalce avstrijske Koroške in Zgornjesavske doline predramilo strašljivo bobnenje. Gasilci, ki so ob tej zgodnji uri po požaru dežurali nad Jesenicami, so na nebu nad Karavankami opazili svetlo sled, ki se je nato izgubila za Mežaklo. Med njimi je bil Peter Popovič s Hrušice, ki je za radio Triglav povedal, da se je za dve sekundi naredil dan in da je zatem še štirikrat počilo (RABIČ 2010). Planinca, ki sta bivakirala v Julijskih Alpah, sta slišala bobnenje. Dogajanje na nebu sredi noči so na avstrijski strani Karavank slišali bolje in zato je bilo pričevanj in zapisov v tujini toliko (Božič 2010), da se je Thomas Grau,



Slika 47. Doslej še vedno edina dokumentirana udarna jama (fragmenta BOJO meteorita Jesenice) kateregakoli meteorita, ki je padel na območje Slovenije. V njej je lepo viden del okrušene kamnite podlage. Premer okoli 22 cm. Foto: Miha Jeršek

Figure 47. So far the only documented impact cavity (BOJO fragments of the Jesenice meteorite) of any meteorite hitting the ground in the territory of Slovenia. In it, part of broken stone substratum can clearly be seen. Diameter around 22 cm. Photo: Miha Jeršek

iskalec meteoritov iz Nemčije, odločil, da pride raziskat teren. Sočasno so slovenski ljubiteljski astronomi, med njimi geolog Jure Atanackov, obdelovali svoje podatke iz vsenebnih kamer iz Slovenije in tujine, pridobili pa so tudi prenekatera obvestila očitkov in očitidcev.

Novico o domnevnem meteoritu in obisku Thomasa Graua je sredi maja objavil novinar Andraž Sodja v brezplačnem dnevniku. Nekateri domačini so se dobro spominjali dogodkov v noči 9. aprila. Med njimi je pričevanje gospe Alenke Omerzel, ki je slišala bobnenje vsaj 5 sekund in ga je tedaj pripisala potresu.

Dva dni po tem, ko je bil v tedniku objavljen prispevek o padcu domnevnega meteorita, se je 17. maja 2009 Jožef Pretnar, domačin iz Spodnjih Gorij, ki je bil članek mimogrede prebral, s prijateljico Bojano Krajnc odpravil na pohodniški izlet na Mežaklo. Med vzpenjanjem proti vrhu Planskega vrha je na poti med podrtimi drevesi iskal najbolj primeren prehod. Nenadoma je zagledal kamen, ki je bil drugačen od drugih. Rekel si je: "To je meteorit!" Kos odlomljenega kamna, zunaj črn, znotraj sivobel, je bil nekoliko zarit v zemljo. Okrog njega je bilo še več enakih kosov, torej je kamen očitno treščil ob trdo podlago in se razletel. Jožef Pretnar je vzel trinajst največjih kosov in jih odnesel domov.

Naslednji dan je s sodelavcem Klemnom Markežem povabil Thomasa Graua, ki je še vedno iskal domnevni meteorit, na ogled vzorcev. Grau je takoj potrdil, da je to res meteorit, in tako je Jožef Pretnar po 101 letu od padca meteorita v okolico Avč v dolini Soče leta 1908, postal najditelj drugega meteorita, padlega na ozemlje Slovenije. Klemen Markež je novico posredoval



Slika 48. Največji kos meteorita z Mežakle, ki sta ga našla Jožef Pretnar in Bojana Krajnc 17. maja 2009 ima 996,8 gramov. Poimenovala sta ga BOJO. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 48. The largest piece of meteorite from Mt Mežakla, found by Jožef Pretnar and Bojana Krajnc on 17 May 2006, weighs 996.8 grams. They named it BOJO. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

Prirodoslovnemu muzeju Slovenije, ki je mesto padca v spremstvu najditelja takoj evidentiral. Najdba meteorita je prinesla tudi prvo udarno jamo, ki smo jo evidentirali v Sloveniji (sl. 47). Velika je bila približno 18 x 12 cm, globoka pa med 2 in 6 cm. Na dnu in malo ob strani udarne jame je bila podlaga iz apnenca, kjer so bile ohranjene sledi udarca. Nad apnenčasto podlago je bilo nekaj cm prsti in ne več kot 2 cm listja. Meteorit se je ob padcu zaril skozi sneg, listje in prst in trčil v apnenčasto podlago. Zaradi tega se je razletel. Razbil se je na deset večjih kosov in več kot 40 drobnih fragmentov.

Astronomski podatki so narekovali, da najdba Jožefa Pretnarja ne more biti osamljena. Nekatere priče so povedale, da se je svetla sled, preden je na nebu izginila, razdelila. To je pomenilo, da je meteorit pred padcem fragmentiral.

Sledile so organizirane iskalne akcije, vendar teren na Mežakli ni dovoljeval dostopa do vseh možnih mest padca. Poleg tega je teren marsikje že preraščala dokaj bujna podrast. Sredi poletja so v Prirodoslovnem muzeju Slovenije dobili klic Danijela Repeta. Izkazalo se je, da je na sprehodu našel kos meteorita. Miha Jeršek in Jure Atanackov sta evidentirala mesto najdbe, ki pa je bilo morda le nekaj metrov stran od kraja, kjer se je končala zadnja organizirana iskalna akcija.



Slika 49. Mesto udarca fragmenta BOJO je dobro vidno na površini, saj je meteorit udaril v kamnito podlago. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 49. The spot of impact of the BOJO fragment is well visible on the surface, as the meteorite hit stony substratum. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

Za tretji kos meteorita smo izvedeli iz tujine. Ralph Sporn in Martin Neuhofer sta 21. junija 2009 na Mežakli našla še en kos meteorita Jesenice. Prirodoslovnemu muzeju Slovenije sta posredovala fotografijo najdbe, kasneje pa še odlitek tega kosa meteorita (ATANACKOV et al. 2010).

Skupna masa treh najdenih kosov meteorita Jesenice je približno 3,667 kg. Največji fragment sta našla Jožef Pretnar in Bojana Krajnc z maso 2,35 kg, Repetova najdba ima maso 956 gramov, medtem ko ima tretji kos maso 361 gramov.

Iskalne akcije

Nedvomno je bilo na Mežakli veliko iskalcev meteoritov, ki pa so bili bodisi neuspešni bodisi svojih najdb niso posredovali ustreznim institucijam. Ena večjih iskalnih akcij je potekala 18. julija 2009. Zbrali so se ljubiteljski astronomi, nekateri člani Društva prijateljev mineralov in fosilov Slovenije iz Tržiča ter njihove prijateljice in prijatelji. S strani Prirodoslovnega muzeja Slovenije je akcijo dokumentiral Ciril Mlinar Cic. Poletne razmere na Mežakli, razgibani



Slika 50. Presek največjega fragmenta meteorita BOJO kaže tanko, v povprečju 0,01 mm debelo žgalno skorjo ter številne razpoke, ki so posledica udarca meteorita v kamninsko podlago. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 50. Cross-section of the largest fragment of the BOJO meteorite shows a thin and on average 0.01 mm thick fusion crust and numerous fissures, which were the result of the meteorite hitting stony substratum. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

teren, v smeri proti Jesenicam že tudi prepaden, ponekod gosto poraščen, so bili velik izziv za vse sodelujoče. Razvrščeni v nekaj metrskem razmiku so prečesali razmeroma velik del terena, ki so ga poprej astronomi določili kot potencialnega. Dan se je zaključil neuspešno, vendar pa spomini na prvo organizirano akcijo iskanja meteorita ostajajo.

Morfološki opis

Največji kos meteorita Jesenice sta najditelja poimenovala po začetnicah svojih imen **Bojana** Krajnc in **Jožef** Pretnar – **BOJO** (sl. 48). Njegova skupna masa je 2,35 kg. Kot smo omenili, se je ob padcu v udarni jami razletel (sl. 70, 71), a je na srečo v celoti ostal v njej. Med večjimi kosi ima največji maso 996,8 grama. Masa vseh večjih kosov meteorita je podana v tabeli 2 (sl. 48, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69).



Slika 51. Na prelomljeni površini meteorita BOJO so lepo vidni siva drobnazrnata osnova iz silikatnih mineralov, deli sivih kovinskih železovo nikljevih mineralov, rjavkaste lise, ki so posledica preperevanja železovih mineralov, tanka žgalna skorja in na njej bele sledi, ki so posledica udarca meteorita v apnenčasto podlago. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 51. The broken surface of the BOJO meteorite exhibits finely grained basis of silicate minerals, parts of grey metal iron nickel minerals, brownish spots that resulted from weathering of iron minerals, thin fusion crust and white traces on it, which are the result of the meteorite hitting limestone substratum. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

Tabela 2. Mase desetih največjih kosov meteorita Jesenice, fragmenta BOJO in njihove dimenzije

Table 2. Masses of the ten biggest pieces of the Jesenice meteorite, fragment BOJO and their dimensions

Evidenčna številka	Masa (v gramih)	Velikost (d x š x g) (v mm)
1	996,8	126,55 x 77,23 x 80,12
2	239,1	73,55 x 64,66 x 48,54
3	193,2	85,87 x 52,26 x 38,61
4	145,1	84,13 x 57,22 x 31,51
5	61,1	47,95 x 36,55 x 27,52
6	54,8	60,61 x 35,14 x 23,75
7	53,8	53,19 x 29,89 x 23,28
8	45,8	41,20 x 32,79 x 23,01
9	38,9	36,34 x 30,90 x 18,60
10	33,3	31,37 x 32,22 x 27,09



Slika 52. Izurjeno oko bo že brez optičnih pripomočkov našlo drobne hondrule. Ena nekoliko večja hondrula leži ob desnem robu odlomka meteorita. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 52. A trained eye will find tiny chondrules even without the aid of any optical appliance. One slightly bigger chondrule is situated on the right edge of the meteorite's fragment. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 53 in 54. Drugi fragment meteorita BOJO ima maso 239,1 grama ter zelo temno rjavo, skoraj črno žgalno skorjo. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 53 and 54. Second fragment of the BOJO meteorite has the mass of 239.1 grams and very dark brown and almost black fusion crust. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 55 in 56. Tretji fragment meteorita BOJO z maso 193,2 grama ima prepoznavne zajede, ki so sicer značilne za meteorite. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 55 and 56. Third fragment of the BOJO meteorite with the mass of 193.2 grams has recognizable indentations, which are otherwise characteristic of meteorites. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 57 in 58. Na četrtem fragmentu po velikosti, z maso 145,1 grama, lahko na žgalni skorji opazimo zapolnjene poligonalne razpoke. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 57 and 58. On the fourth fragment (by size) with the mass of 145.1 grams, filled polygonal fissures can be seen on the fusion crust. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 59 in 60. Peti fragment po velikosti z maso 61,1 grama. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 59 and 60. Fifth fragment with the mass of 61.1 grams. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 61 in 62. Razpoke v šestem fragmentu po velikosti z maso 54,8 grama so vidne tako v notranjosti kot na sami žgalni skorji, kjer so razpoke širše in poligonalne. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 61 and 62. Fissures in the sixth fragment with the mas of 54.8 grams are visible both in its interior as well as on its fusion crust, where the fissures are wider and polygonal. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 63. Sedmi fragment po velikosti z maso 53,8 grama. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 63. Seventh fragment with the mass of 53.8 grams. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 64 in 65. Osmi fragment po velikosti z maso 45,8 gramov. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 64 and 65. Eighth fragment with the mass of 45.8 grams. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 66 in 67. Deveti fragment po velikosti z maso 38,9 gramov. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije.
Foto: Miha Jeršek

Figures 66 and 67. Ninth fragment with the mass of 38.9 grams. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Sliki 68 in 69. Deseti in zadnji med večjimi fragmenti prvo najdenega meteorita Jesenice z maso 33,3 gramov. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 68 and 69. Tenth and the last fragment among the larger fragments of the first-found Jesenice meteorite with the mass of 33.3 grams. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 70. Manjši kosi fragmenta BOJO. Zbirka Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 70. Smaller fragments of the BOJO meteorite. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 71. Meteorit BOJO se je v udarni jami razletel na veliko zelo drobnih fragmentov s skupno maso okoli 256 gramov. Foto: Miha Jeršek

Figure 71. The BOJO meteorite disintegrated in the impact cavity into numerous tiny fragments with the total mass of 265 grams. Photo: Miha Jeršek

Žgalna skorja je temno rjava, ponekod skoraj črna. Debela je večinoma okoli 0,02 milimetra (0,01 do 0,03 mm) (sl. 50). Površina meteorita je večinoma gladka in le na vzorcih 2, 3 in 6 lahko opazimo luknjaste zajede. Na žgalni skorji lahko opazimo dele steklaste faze in drobne poligonalne razpoke, velike v premeru do 5 mm. Razpoke so zapolnjene s steklasto fazo in so nekoliko izrazitejše v reliefu glede na preostalo žgalno skorjo.

Prelomljeni deli so ostri, kar potrjuje, da je fragment razpadel v udarni jami (sl. 49). V osnovi prevladuje siva drobnozrnata silikatna osnova, v kateri so hondrule (sl. 52), tu in tam pa lahko zasledimo tudi minerale s kovinskim sijajem. Ti na nekaterih fragmentih (na primer 2, 3 in 4) prekrivajo praktično celotno površino prelomljenega dela fragmenta. To daje slutiti, da so bili ti kovinski minerali v meteoritu izločeni vzdolž razpoke. Ob udarcu meteorita v apnenčasto podlago v udarni jami so bila ta mesta očitno mesta z manjšo trdnostjo in so zato meteoriti po teh razpokah, vsaj deloma, tudi razpadli.

Kljub temu, da je meteorit v udarni jami na Planskem vrhu ležal le 38 dni, smo na prelomljenih površinah opazili rjave lise, ki so posledica limonitizacije železovih mineralov. S prostim očesom lahko prepoznamo zelo drobne hondrule. Ponekod jih razkrivajo temni kovinski minerali, ki so na samem obrobju hondrul. Hondrule so večinoma majhne, velike do 2 mm, in težko prepoznavne. Le izjemoma so hondrule velike tudi do 4 mm (ATANACKOV et al. 2010).

Zaradi velikega zanimanja iskalcev meteoritov za meteorit Jesenice je Zavod za varstvo narave, OE Kranj, poskrbel za začasno zavarovanje. Morda smo tudi zaradi tega za drugi kos meteorita Jesenice izvedeli iz tujine. Našla sta ga pred samim uradnim zavarovanjem Ralph Sporn in Martin Neuhofer in nam posredovala fotografije (sl. 72), kasneje pa še odlično izdelani odlitek (ATANACKOV et al. 2010). Ima maso 361 gramov, njegova površina je na eni strani bolj razgibana, pri padcu se ni razletel in ima zato v celoti ohranjeno žgalno skorjo (sl. 73, 74, 75).



Slika 72. Drugi kos meteorita Jesenice na Mežakli. Foto: Ralph Sporn

Figure 72. Second piece of the Jesenice meteorite on Mt Mežakla. Photo: Ralph Sporn



Slike 73, 74 in 75. Drugi kos meteorita Jesenice ima dokaj izrazite regmaglipte oziroma vdolbinice. Slike ga prikazujejo iz treh strani. Foto: Dieter Heinlein

Figures 73, 74 and 75. Second piece of the Jesenice meteorite has fairly pronounced regmaglypts. Pictures present it from three different sides. Photo: Dieter Heinlein



Slika 76. Tretji kos meteorita, ki ga je našel Danijel Repe, se ni zaril tako globoko, da bi ob udarcu v kamnito podlago razpadel. Ima maso 956,4 grama. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 76. The third piece of the meteorite, which was found by Danijel Repe, embedded itself not so deep to disintegrate on the impact with stony substratum. Its mass is 956.4 grams. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 77. Razmeroma gladka površina meteorita ima nekaj značilnih zajed, celotna površina pa je prekrita s temno rjavo žgalno skorjo. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 77. The relatively smooth surface of the meteorite has some characteristic incisions; the entire surface is covered by dark brown fusion crust. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 78. Sledi preperevanja so vidne že na površini meteorita. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 78. Traces of weathering are visible already on the meteorite's surface. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 79. Tretji kos meteorita z Mežakle se je delno razletel, še preden je padel na tla. Na to kažejo svetli deli meteorita, na katerih lahko vidimo enako strukturo kot pri fragmentu BOJO. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 79. Third piece of the meteorite from Mt Mežakla partially disintegrated even before hitting the ground. This is indicated by the light parts of the meteorite, on which the same structure as in the BOJO fragment can be seen. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



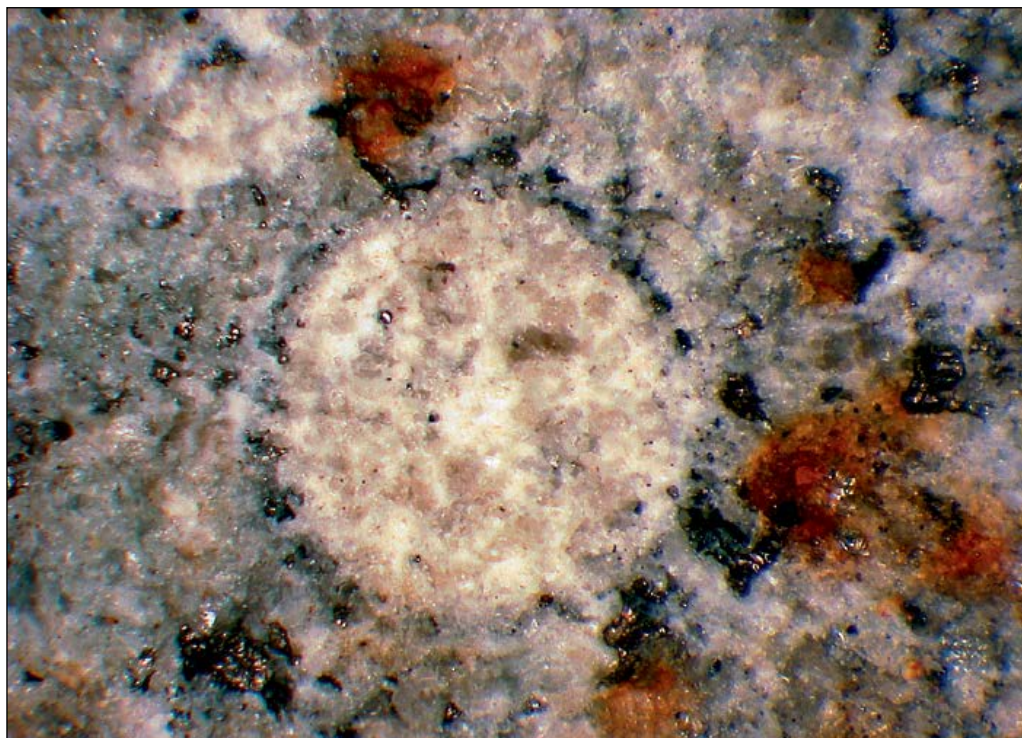
Slika 80. Največja prelomljena površina meri približno 30 x 30 mm. V nasprotju s fragmenti pri meteoritu BOJO je rob prelomljene površine z žgalno skorjo zaobljen, kar je dokaz, da se je fragment razletel v ozračju. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 80. The largest broken surface measures approximately 30 x 30 cm. In contrast to the fragments of the BOJO meteorite, the edge of the broken surface with fusion crust is rounded, which proves that the fragment disintegrated in the atmosphere. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

Tretji kos meteorita ima maso 956,4 grama. V nasprotju s prvim ta ob padcu ni razpadel (sl. 76). Po besedah najditelja Danijela Repeta je sicer bil nekoliko zarit v prsti, vendar o tako izraziti udarni jami kot v primeru fragmenta BOJO ne moremo govoriti. Prekriva ga temno rjava do črna žgalna skorja (sl. 77). Ponekod so bile že takoj ob najdbi vidne sledi preperevanja (sl. 78). Na treh mestih je kos meteorita nekoliko odbit, tako da je brez temnorjave površine žgalne skorje, vendar se še vedno prepozna značilni svetli videz (sl. 80). Največja odlomljena površina meri približno 30 x 30 mm (sl. 80). Stik odlomljene površine s preostalim delom meteorita, predvsem z žgalno skorjo, ki prekriva preostali del fragmenta, je zaobljen. To pomeni, da je fragment razpadel že v ozračju, vendar je bila njegova hitrost že dovolj nizka, da nova žgalna skorja ni več nastala (ATANACKOV et al. 2010).

Mineraloške značilnosti

Meteorit Jesenice sestavljajo predvsem minerali iz skupine piroksenov, olivinov in plagioklazov, najdena sta bila klorapatit in whitlockit, med sulfidnimi, kovinskimi in oksidnimi minerali so troilit, kamacit, taenit, kromit in ilmenit (ATANACKOV et al. 2010). Glavna značilnost, ki jo

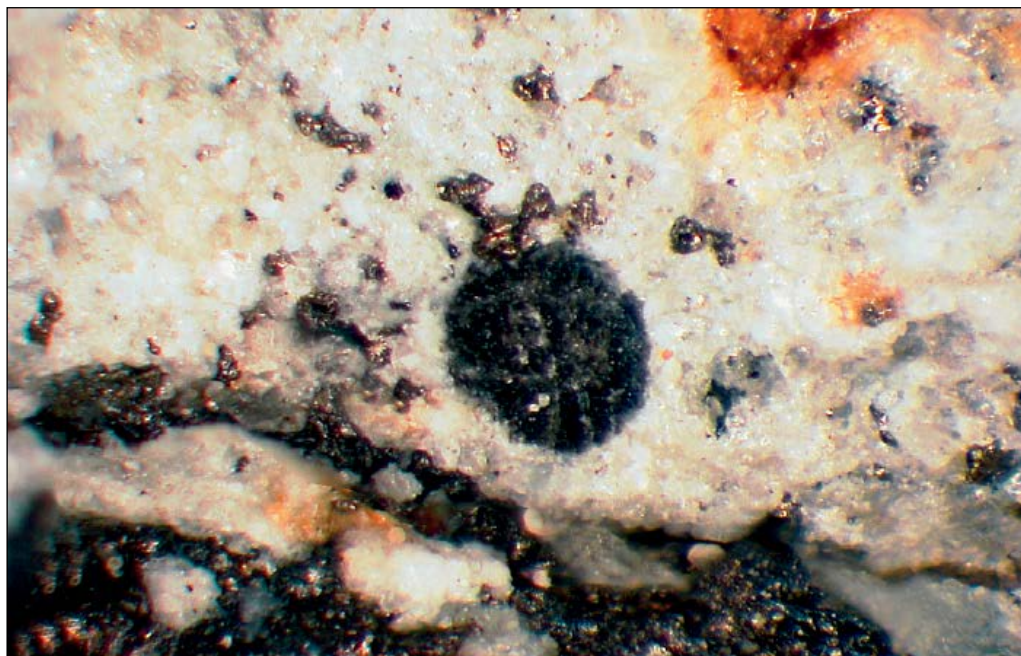


Slika 81. Silikatna hondrula s premerom 2 mm je obkrožena z železovo nikljevimi minerali. Foto: Miha Jeršek

Figure 81. Silicate chondrule with diameter of 2 mm is surrounded with iron nickel minerals. Photo: Miha Jeršek

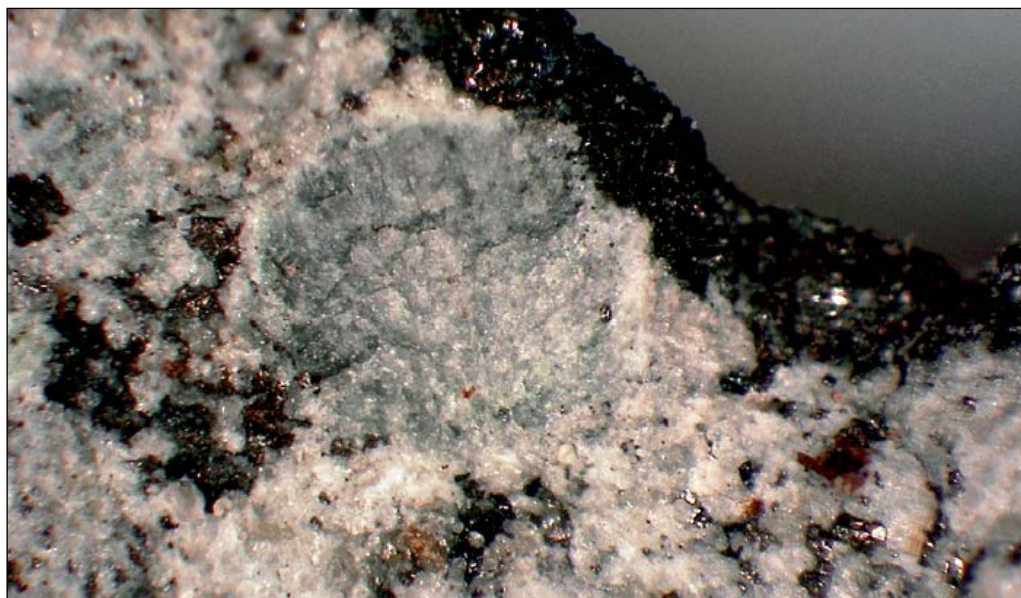
prepoznamo že s prostim očesom ali lupo 10-x povečave, so hondrule (sl. 81, 82, 83). Te so velike večinoma do 2 mm v premeru, redko do 4 mm. Na osnovi pregleda mikroskopskih preparatov z optičnim mikroskopom (sl. 84) in EDS-analizo je Bischoff s sodelavci (2011) ugotovil, da je v vzorcu meteorita Jesenice največ mineralov iz olivinove skupine. Vsebnost železa v 60-ih analiziranih vzorcih se giblje med 23,9 in 25,8 mol. % s povprečno vrednostjo 25,1 mol. % ($\pm 0,4$). Zrna olivinov v hondrulah so relativno velika, pravilnih izometričnih oblik z debeložrnato strukturo (Sl. 85, 86, 87), kar pomeni, da so kristalila počasi (ATANACKOV et al. 2010, AMBROŽIČ ET AL., 2013). Po količini analiziranih in določenih mineralov sledijo minerali iz piroksenove skupine. Piroksenove hondrule (Sl. 88) vsebujejo drobno do kriptokristalen piroksen, kar pomeni, da je kristalizacija potekala hitro. Poleg tega so zaradi enosmernega temperaturnega gradienta kristali piroksenov podolgovati in imajo pahljačasto strukturo (ATANACKOV et al. 2010; AMBROŽIČ et al. 2013). Podrobnejša kemijska analiza piroksenov je pokazala, da so v njih tako kalcijevi pirokseni kot pirokseni z nizko vsebnostjo kalcija (BISCHOFF et al. 2011; AMBROŽIČ et al. 2013). Analiza 41 vzorcev piroksenov z nizko vsebnostjo kalcija je pokazala, da vsebujejo med 20,2 in 21,8 mol. % Fs (Fs je oznaka za železov piroksen ferosilit), medtem ko je kalcijev piroksen enovitejši glede kemijske sestave (BISCHOFF ET al. 2011).

Piroksene in olivine v hondrulo pogosto povezujejo plagioklazi (ATANACKOV ET AL., 2010). Ti so debeložrnati in včasih precej veliki, saj dosežejo do 100 μm . Po sestavi vsebujejo med 9,8 in 12,0 mol. % An (An je oznaka za anortit - končni člen trdne raztopine plagioklazov, ki vsebuje kalcij) (BISCHOFF et al. 2011).



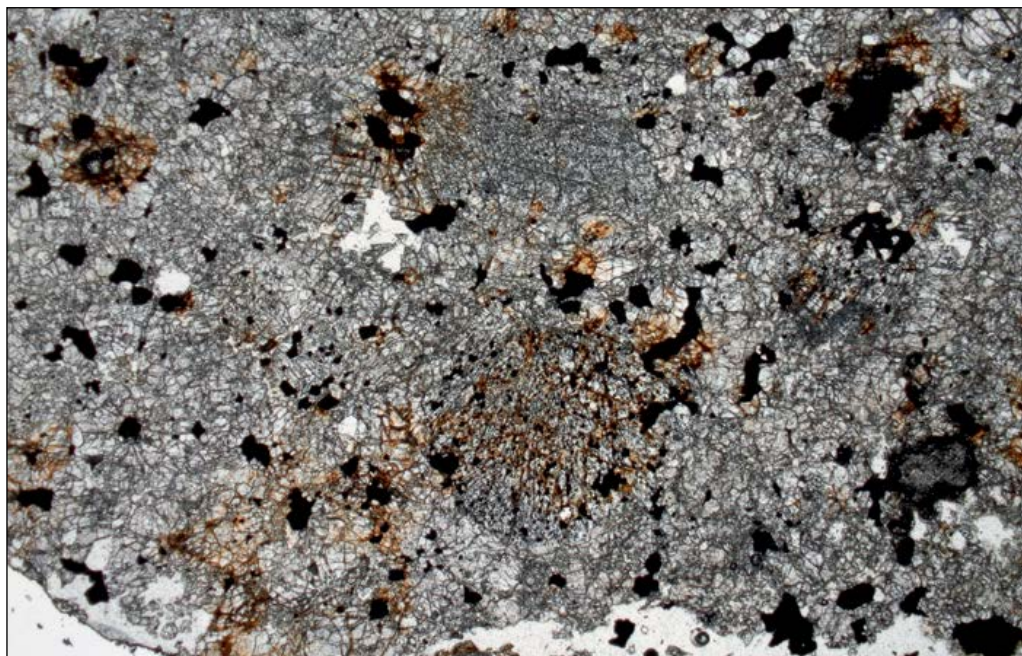
Slika 82. Povsem črne hondrule so med najredkejšimi, 1 mm. Foto: Miha Jeršek

Figure 82. Completely black chondrules are amongst the rarest chondrules. Photo: Miha Jeršek



Slika 83. Hondrula iz silikatnih mineralov tik ob žgalni skorji, 2 mm. Foto: Miha Jeršek

Figure 83. Chondrule composed of silicate minerals next to the fusion crust, 2 mm. Photo: Miha Jeršek



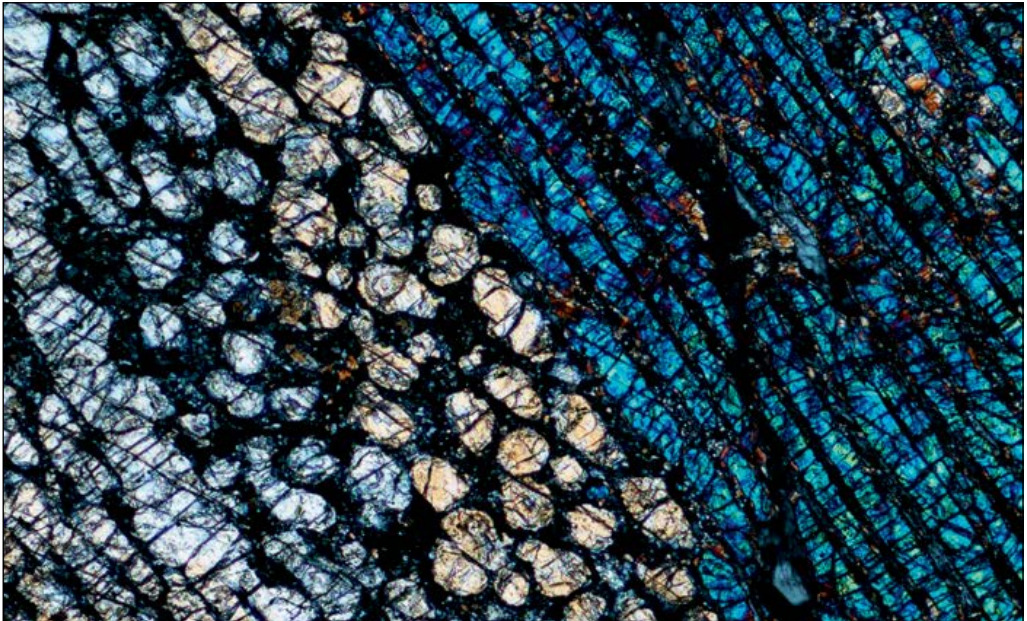
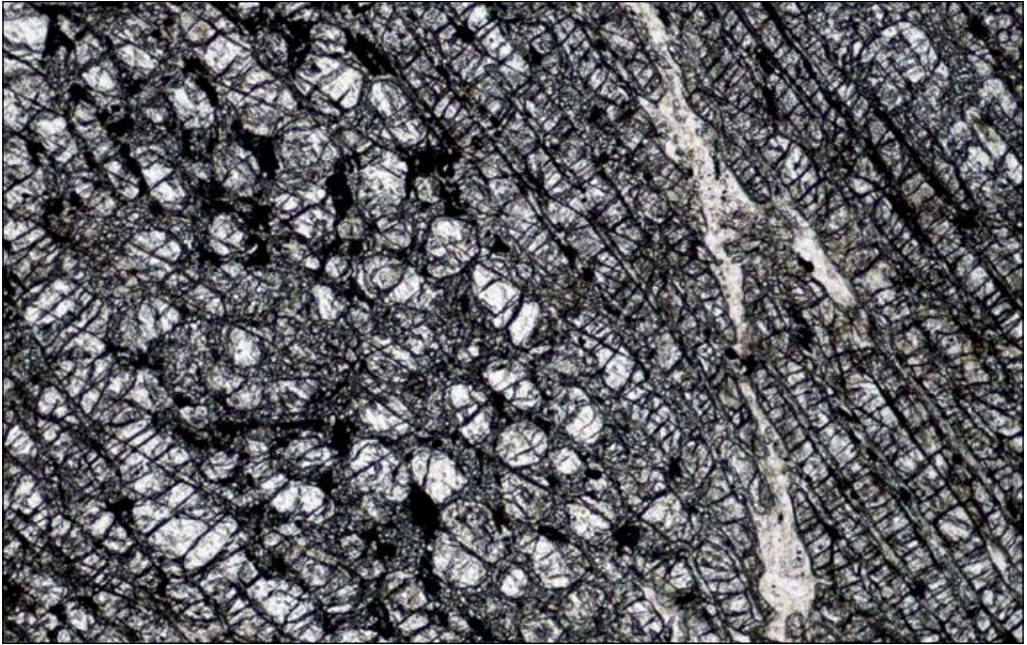
Slika 84. V presevni svetlobi optičnega mikroskopa je prepoznavna hondrula, ki je kristalila iz taline. Dolžina slike: 5 mm. Foto: Breda Mirtič

Figure 84. In translucent light of the optical microscope the chondrule that crystallized from the melt is recognized. Picture length: 5 mm. Photo: Breda Mirtič

Kovinski minerali in sulfidi so v drobnih zrnih enakomerno porazdeljeni v meteoritu Jesenice (BISCHOFF et al. 2011). Tu in tam pa lahko najdemo predele, kjer so omenjeni minerali v nekoliko večjih agregatih, velikih tudi cm in več. Bischoff je s sodelavci (2011) ugotovil, da vsebuje kamacit povprečno 5,95 mas. % niklja, medtem ko ima taenit spremenljivejšo sestavo, saj vsebuje med 23 in 53 mas. % niklja s povprečno vsebnostjo okoli 30 mas. %. Troilit, ki je prav tako enakomerno porazdeljen v meteoritu, vsebuje poleg žvepla in železa še kobalt, nikelj in silicij (BISCHOFF et al. 2011).

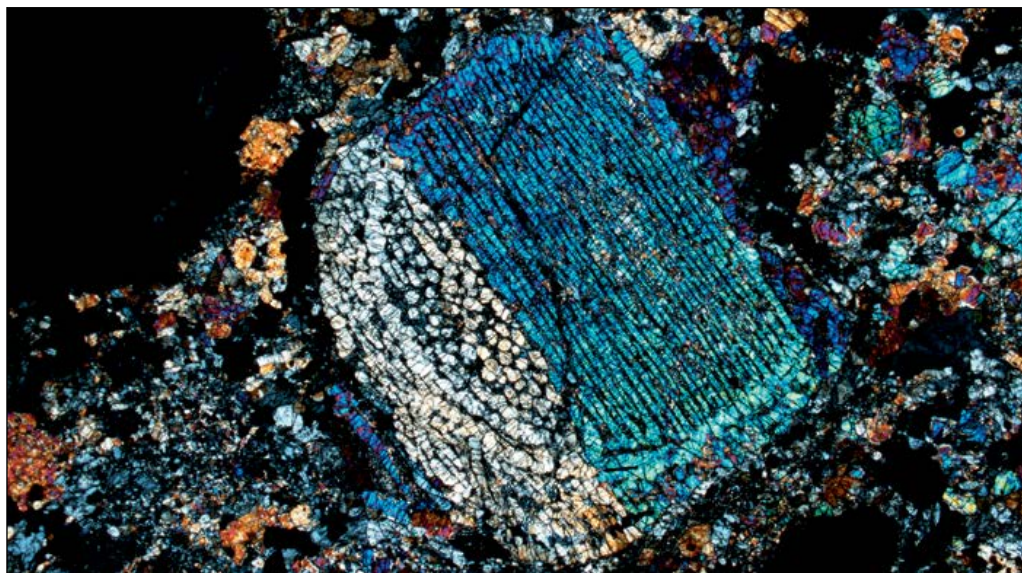
Drugi minerali, kromit in ilmenit, so redkejši, zanimiv pa je še fosfat whitlockit, ki je zrasel več kot 0,5 cm v dolžino, kar BISCHOFF s sodelavci (2011) ocenjuje kot precej nenavadno.

Med padanjem meteorita se je njegova površina tako ogrela, da so se kovinski minerali stalili in se skoncentrirali tik pod površino meteorita in zapolnili pore (sl. 89). Ko so se ohladili, so kristalili in nastala je temno rjava do črna žgalna skorja. Sestavljena je iz taline kamacita, ki zapolnjuje tudi pore med zrnji olivina in piroksena. Podrobnejše analize žgalne skorje so pokazale, da jo glede na stopnjo strukturnih sprememb lahko razdelimo na tri plasti (LENART et al. 2010). Za zunanjo plast so značilni precipitanti, ki so obogateni z železom in nikljem, poleg pa so silikatni minerali, ki so deloma nataljeni. V drugi plasti so žile, ki so zapolnjene s talino precej heterogene sestave. Najgloblje je tretja plast žgalne skorje, ki pa ne kaže nobenih strukturnih sprememb. Raziskovalci so na osnovi teh spoznanj zaključili, da so strukturne spremembe posledica kratkotrajne izpostavljenosti visokim tlakom in temperaturam, višjim od 1500 °C, kar pripisujejo padanju meteorita skozi ozračje Zemlje (LENART et al. 2010). Tudi nekovinski minerali so zaradi tlaka in povišane temperature precej razpokani (ATANACKOV et al. 2010).



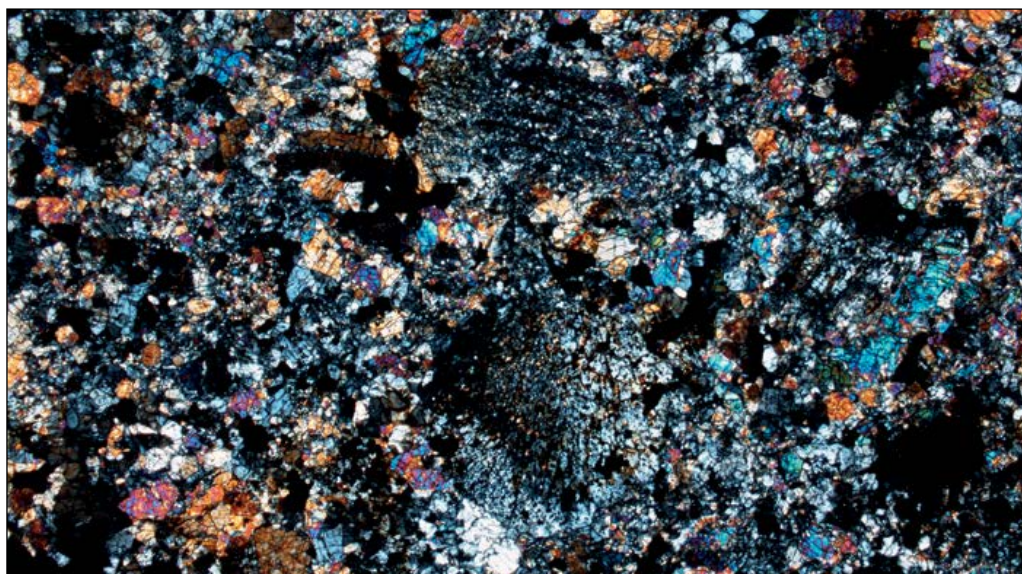
Sliki 85 in 86. V presevni svetlobi (levo), in enak detajl pod navzkrižnimi nikoli (desno), optičnega mikroskopa so bile določene hondrule iz kristalov olivina, ki imajo v tem primeru različno optično orientacijo. Dolžina slike: 1 mm. Foto: Breda Mirtič

Figures 85 and 86: In translucent light (left), and the same detail under crossed nicols (right), of the optical microscope, chondrules composed of olivine crystals were determined, which in this case have different optical orientation. Picture length: 1 mm. Photo: Breda Mirtič



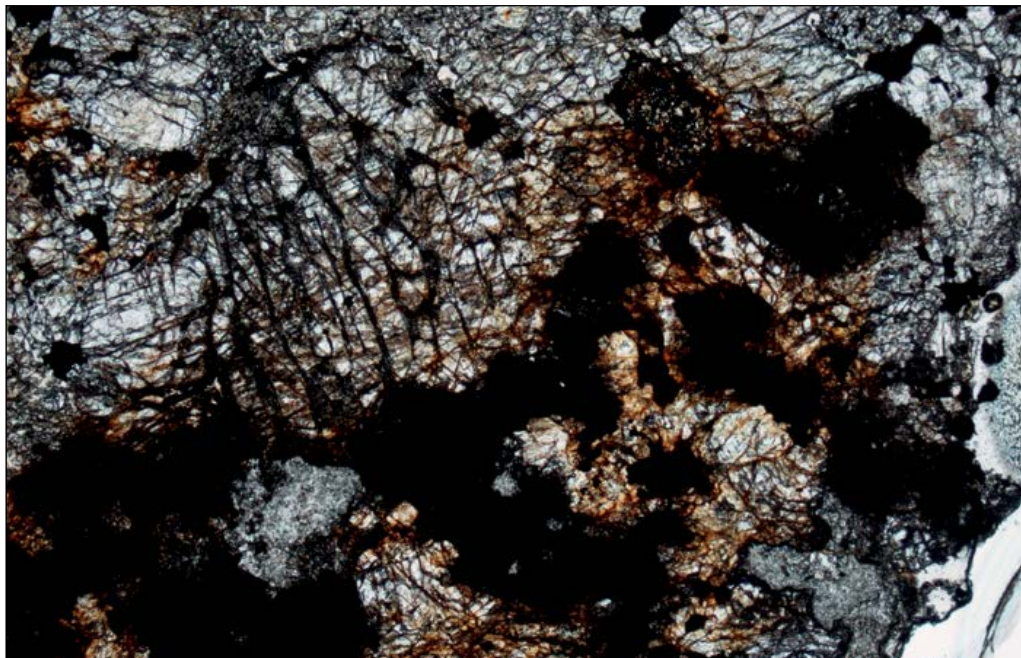
Slika 87. Olivinova hondrula kot na sliki 94 in 95, vendar pod manjšo povečavo, navzkrižni nikoli. Dolžina slike: 5 mm. Foto: Breda Mirtič

Figure 87. Olivine chondrules as on Figures 94 and 95, but under smaller magnification, crossed nicols. Picture length: 5 mm. Photo: Breda Mirtič



Slika 88. Pod navzkrižnimi nikoli optičnega mikroskopa sta v presevni svetlobi vidni hondruli, ki ju sestavlja piroksen, ki tvori pahljačasto strukturo. Dolžina slike: 5 mm. Foto: Breda Mirtič

Figure 88. Under crossed nicols of the optical microscope two chondrules are visible in translucent light. They are composed of pyroxene which creates fan-like structure. Picture length: 5 mm. Photo: Breda Mirtič



Slika 89. Detajl žgalne skorje meteorita, ki je zalita s talino kamacita, v presevni svetlobi. Kovinski minerali so v presevni svetlobi skozi optični mikroskop navadno videti temni in neprozorni. Dolžina slike: 3 mm.

Foto: Breda Mirtič

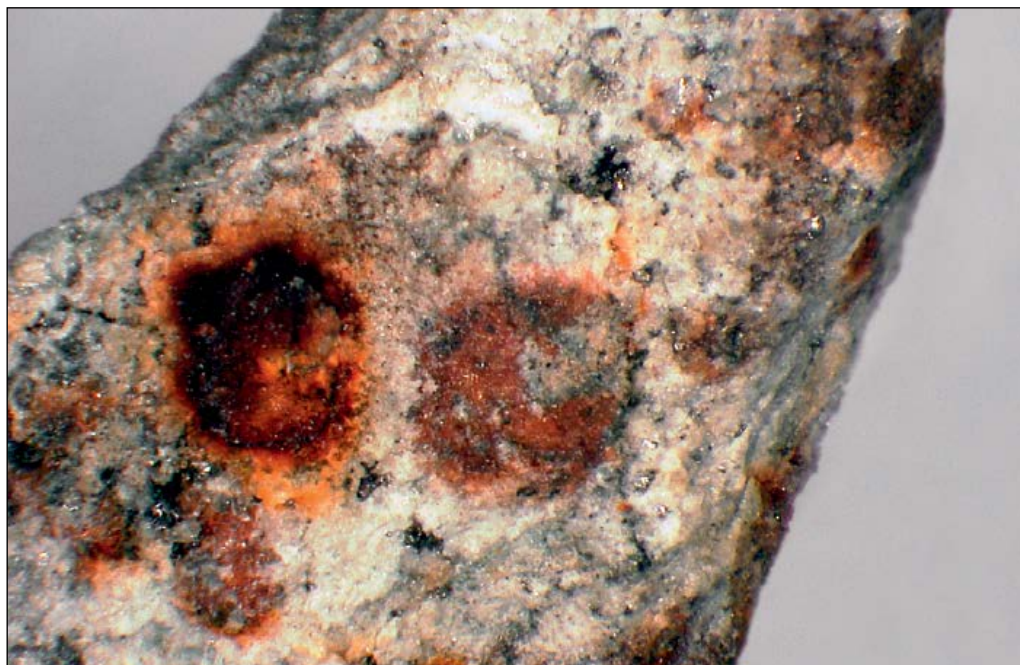
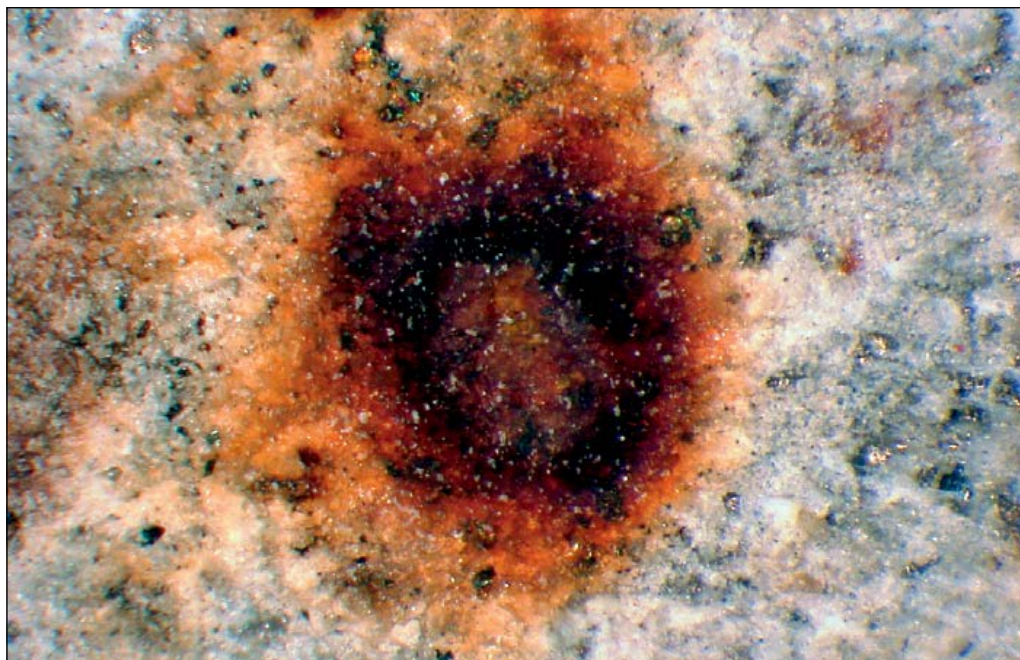
Figure 89. Detail of the meteorite's fusion crust, which is covered with the kamacite melt, in translucent light. Through the optical microscope, metal minerals usually look dark and nontransparent in translucent light. Picture length: 3 mm. Photo: Breda Mirtič

Udarne metamorfoza

BISCHOFF je s sodelavci (2011) v mikroskopskih zbruskih pri pregledu vzorcev pod navzkrižnimi nikoli opazil več udarnih žil in valovito potemnitev v olivinu in plagioklazih ter vzdolžne planarne razpoke pri olivinu. Na osnovi teh spoznanj je umestil meteorit Jesenice kot slabo metamorfoziran meteorit S3.

Stopnja preperelosti

Meteorit Jesenice je bil najden 40 dni po padcu. V tem času je bil izpostavljen atmosferskim razmeram, okoli njega se je talil sneg. Zaradi tega je predvsem prvi najdeni kos meteorita BOJO, ki je v udarni jami razpadel, začel preperevati. Že s prostim očesom so vidne sledi limonitizacije v obliki tankih rjavkastih prevlek (sl. 90, 91). S stereolupo so bila prepoznavna zrna kovinskih mineralov, ki so začela oksidirati v sekundarne železove minerale. BISCHOFF s sodelavci (2011) je umestil meteorit Jesenice v skupino W0/1, za katero so značilni prvi znaki preperevanja. Meteorit Jesenice smo zaradi tega do leta 2016 hranili v vakuumu (sl. 92) in tako preprečevali hitrejšo oksidacijo železovih mineralov.



Sliki 90 in 91. Zaradi preperevanja so hondrule v bližini železovih mineralov prekrte z limonitom, levo premer 4 mm, desno detajl 20 x 10 mm. Foto: Miha Jeršek

Figures 90 and 91. Owing to weathering, the chondrules close to iron minerals are covered with limonite; on the left diameter 4 mm, on the right detail 20 x 10 mm. Photo: Miha Jeršek



Slika 92. Zaradi vlage in kisika v ozračju so minerali v meteoritu Jesenice začeli preperevati. Za potrebe znanstvenih raziskav so bili shranjeni v vakuumu. Na sliki so kosi prvega in tretjega fragmenta meteorita Jesenice. Foto: Miha Jeršek

Figure 92. Owing to moisture and oxygen, the minerals in the Jesenice meteorite began weathering. For the purpose of scientific research, they were kept in vacuum. Presented on the picture are pieces of the first and third fragments of the Jesenice meteorite. Photo: Miha Jeršek

Žlahtni plini

O času potovanja meteorita v vesolju nam lahko povedo nekateri žlahtni plini, ugotovljeni v njem. Temelji na predpostavki, da je bil meteorit nekoč del bolj ali manj diferenciranega planeta (asteroida), kjer je bil zaščiteno pred kozmičnimi žarki. V trenutku, ko se je nekdanji planet razletel, so bili vsi fragmenti planeta izpostavljeni kozmičnim žarkom in to vse dokler kot meteoroidi niso vstopili v Zemljino ozračje in pristali kot meteoriti na površju Zemlje. Zemljino ozračje jih od tedaj ponovno varuje pred kozmičnimi žarki.

V meteoritu Jesenice so bili med žlahtnimi plini določeni argon, neon, kripton, ksenon in helij. BISCHOFF s sodelavci (2011) je ugotovil, da vzorci meteorita Jesenice pred analizo niso bili občutno kontaminirani z žlahtnimi plini zemeljskega izvora. Čas izpostavljenosti kozmičnim žarkom so s pomočjo izotopa ^{21}Ne določili na med 4,06 in 3,95 milijarde let, medtem ko je starost določena z izotopom ^3He nekoliko nižja in znaša med 3,57 in 3,53 milijarde let, kar avtorji raziskave povezujejo z izgubo helija. Vsebnost argona je bolj variabilna zaradi neenovitosti v porazdelitvi železovih mineralov v preiskovanih vzorcih, vendar so raziskovalci kljub temu ocenili kozmično starost na okoli 3,6 milijarde let glede na vsebnost argona.

Kemijska sestava

BISCHOF s sodelavci (2011) je analiziral 1 gram vzorca meteorita Jesenice in ugotovil naslednjo povprečno elementno sestavo (v mas.%): železo (23,9), silicij (18,6), magnezij (14,8), nikelj (1,41), kalcij (1,36) in aluminij (1,14). Kisika z metodo, s katero so vzorec analizirali, ni bilo mogoče določiti. Preostali določeni elementi so skandij, titan, vanadij, krom, mangan, kobalt, cink, selen, lantan, cerij, samarij, evropij, hafnij in iridij, najmanj pa je broma, rubidija, antimona, cezija, barija, tantal, torija in urana. Kemijska sestava meteorita Jesenice se dobro ujema s povprečnimi vsebnostmi kemijskih elementov v navadnih hondritih tipa L6. Pri nekaterih elementih so delni odkloni, kar je povezano z dejstvom, da so hondriti v splošnem nehomogeni, saj jih sestavljajo hondrule, osnova in kovinsko sulfidni del. Generalno pa BISCHOFF s sodelavci (2011) ugotavlja, da kemijska sestava meteorita Jesenice, ki je uvrščen v skupino navadnih hondritov L6, nima kakšnih posebnih anomalij v elementni sestavi v primerjavi z drugimi meteoriti te vrste.

Radionuklidi

Koncentracijo kozmogennih radionuklidov oziroma nestabilnih radioaktivnih jeder posameznih izotopov v meteoritu Jesenice so merili v podzemnem laboratoriju v Gran Sassu v Italiji pod vodstvom Matthiasa Laubensteina in v Heidelbergu v Nemčiji. Vzorce so dobili 103 dni po padcu meteorita na Mežaklo, kar je pomenilo, da so še lahko izmerili kratkožive radionuklide (BISCHOFF et al. 2011). Te meritve so pomembne zaradi dveh razlogov: ugotovljeni kratkoživi radionuklidi potrjujejo, da gre za novo najdbo, saj jih v nasprotnem primeru v vzorcih meteorita ni. Poleg tega pa z analizo kratkoživih radionuklidov dokazujejo čas izpostavljenosti meteorita kozmičnim žarkom v času, ko je krožil v Osončju. BISCHOFF je s sodelavci (2011) določil številne kratkožive radionuklide in poudaril, da so izmerjene koncentracije ^7Be , ^{57}Co , ^{46}Sc in ^{54}Mn dokaz, da je meteorit Jesenice zagotovo padel pred kratkim, torej tri mesece pred meritvijo, in da koncentracija kratkoživih radionuklidov kaže na to, da je imel meteorit Jesenice pred vstopom v ozračje manj kot 20 centimetrov v premeru.

Pomemben v svetovnem merilu

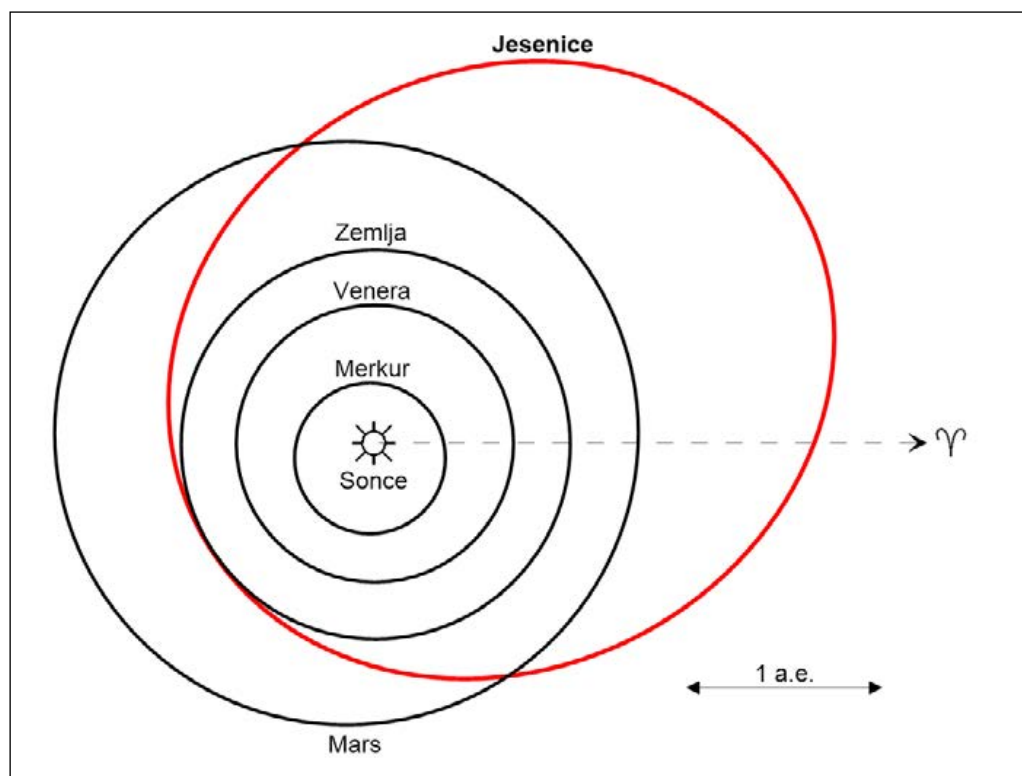
Meteorit Jesenice je vzbudil veliko zanimanja tako v strokovni kot laični javnosti. Za namene popularizacije naravoslovja so bili večkrat predstavljeni javnosti. V ta namen so bili izdelani odlitki, ki so ohranili njihovo prvotno obliko, pa tudi takšni, ki so se približali njihovi masi. Nekatere raziskave so lahko dolgotrajne ali pa se nanje lahko čaka več let. Trije drobni fragmenti meteorita Jesenice so bili poslani na takšno analizo v ZDA. Po osmih letih še ni rezultatov. Razloga sta vsaj dva: gre za izjemno drage raziskave na eni strani, na drugi pa je dostopnost tako specializiranega laboratorija za analize, ki niso plačljive, ohranjena.

Meteorit Jesenice je šele 11. meteorit, pri katerem so astronomi in drugi strokovnjaki natančno določili orbito, po kateri je krožil okoli Sonca (ATANACKOV et al. 2010). To so lahko ugotovili, ker so imeli dovolj vstopnih podatkov iz različnih vsenebnih kamer. Meteoroid je v ozračje vstopil 9. aprila 2009 ob 02:59:43 po srednjeevropskem času. Ob tem je imel hitrost 14 km/s. Meteorske kamere so ga zaznale na višini 80 kilometrov, 1,4 kilometra SZ od Hrušice je na višini 1,4 kilometra nastala terminalna eksplozija, zaradi katere je meteor razpadel. Skupina fragmentov je potovala še kak kilometer in nato zaradi upočasnjene padanja ugasnila ter nato popadala na Mežaklo in po mnenju astronomov tudi v samo Zgornjesavsko dolino (ATANACKOV et al. 2010). Od prvotne

vpadne mase je ognjeno pot skozi ozračje najverjetneje preživel okoli 10 kg meteoritov, z najbolj optimistično oceno celo okoli 35 kg. V vsakem primeru je na območju Mežakle in Zgornjesavske doline na tleh verjetno še kar nekaj meteoritov, ki jih doslej še nihče ni našel.

Meteorit Jesenice je pred padcem krožil okoli Sonca v razpotegnjeni eliptični orbiti, ki ga je nesla od tik znotraj Zemljine orbite (0,99 astronomske enote od Sonca) za Marsovo orbito v notranji del asteroidnega pasu (sl. 93). Sonce je obkrožil vsakih 2,32 leta.

Meteorit Jesenice spada med navadne hondrite v skupino L6 glede znakov preperevanja v skupino W0/1, za katero so značilni prvi znaki preperevanja, glede stopnje metamorfoze v skupino S3, za katero so značilni šibke udarne spremembe, glede na petrološki tip pa ga uvrščamo v petrološki tip 6. Do enakih zaključkov je prišel AMBROŽIČ s sodelavci (2012), ki je podrobneje analiziral hondrule in svoja dognanja povezal s klasifikacijo kamnitih meteoritov hondritov.



Slika 93. Orbita meteorita Jesenice pred padcem na Zemljo (povzeto po ATANACKOV et al. 2010)

Figure 93. The Jesenice meteorite's orbit prior to its fall on Earth (as defined by ATANACKOV et al. 2010)

Meteorit Javorje iz Poljanske doline

Okoliščine najdbe

Meteorit je povsem po naključju odkril Vladimir Štibelj 5. novembra 2009 v bližini Javorij nad Poljansko dolino, zahodno od Škofje Loke. Pri graditvi gozdne ceste je pozornost najditelja v novo skopanem cestnem useku pritegnila nenavadna gmota, ki se je po svojem videzu razlikovala od kamnine in tal, v kateri je ležala. Ko jo je vzel v roke, je ugotovil, da je nenavadno težka. V trenutku je bil prepričan, da je našel izjemno najdbo, in domneval, da je najdeni predmet meteorit. Domnevni meteorit je skrbno shranil ter o najdbi obvestil v Poljanski dolini dobro znanega geologa, nekdanjega sodelavca Rudnika urana Žirovski vrh, Pavla A. Florjančiča. Skupaj sta ugotovila, da je kos kovinski in da močno privlači magnet. Seveda pa tudi Pavle A. Florjančič ni mogel brez analiz potrditi, da je najdba res meteorit. Zato sta za pomoč prosila raziskovalce Geološkega zavoda Slovenije. Raziskave domnevnega meteorita so bile velik raziskovalni izziv, saj se do takrat z materialom iz vesolja še nismo srečali. Preliminarne analize z vrstičnim elektronskim mikroskopom v kombinaciji z energijsko disperzijskim spektrometrom (SEM/EDS) so pokazale, da gre res za železov meteorit, zato smo se poglobljeno lotili raziskav. Kraj najdbe si je leta 2010 skupaj z najditeljem ogledala ekipa geologov Geološkega zavoda Slovenije in ugotovila, da je meteorit ležal na globini 65 - 70 cm (sl. 94) v spodnjem talnem



Slika 94. Kraj najdbe meteorita leta 2010. Meteorit je ležal na globini 65 - 70 cm v preperini klastičnih kamnin zgornjekarbonske do spodnjep permske starosti. Foto: Miloš Miler

Figure 94. The site where the meteorite was found in 2010. It lay at a depth of 65 - 70 cm among weathered clastic rocks of the Early Carbon to Early Permian age. Photo: Miloš Miler

horizontu v preperini klastičnih kamnin zgornjekarbonske do spodnjeperske starosti (okoli 300 mio let), ki jih večinoma sestavljajo slabo sortirani ostrorobi klasti sljudno kremenovih peščenjakov in konglomeratov v osnovi iz sivih drobnozrnatih skrilavih glinavcev in laporovcev (GRAD & FERJANČIČ 1976). Na kraju najdbe pa ni bilo opaznih znakov sprememb v strukturi prikamnine ali oblikovanosti površja, ki bi nakazovali padec meteorita.

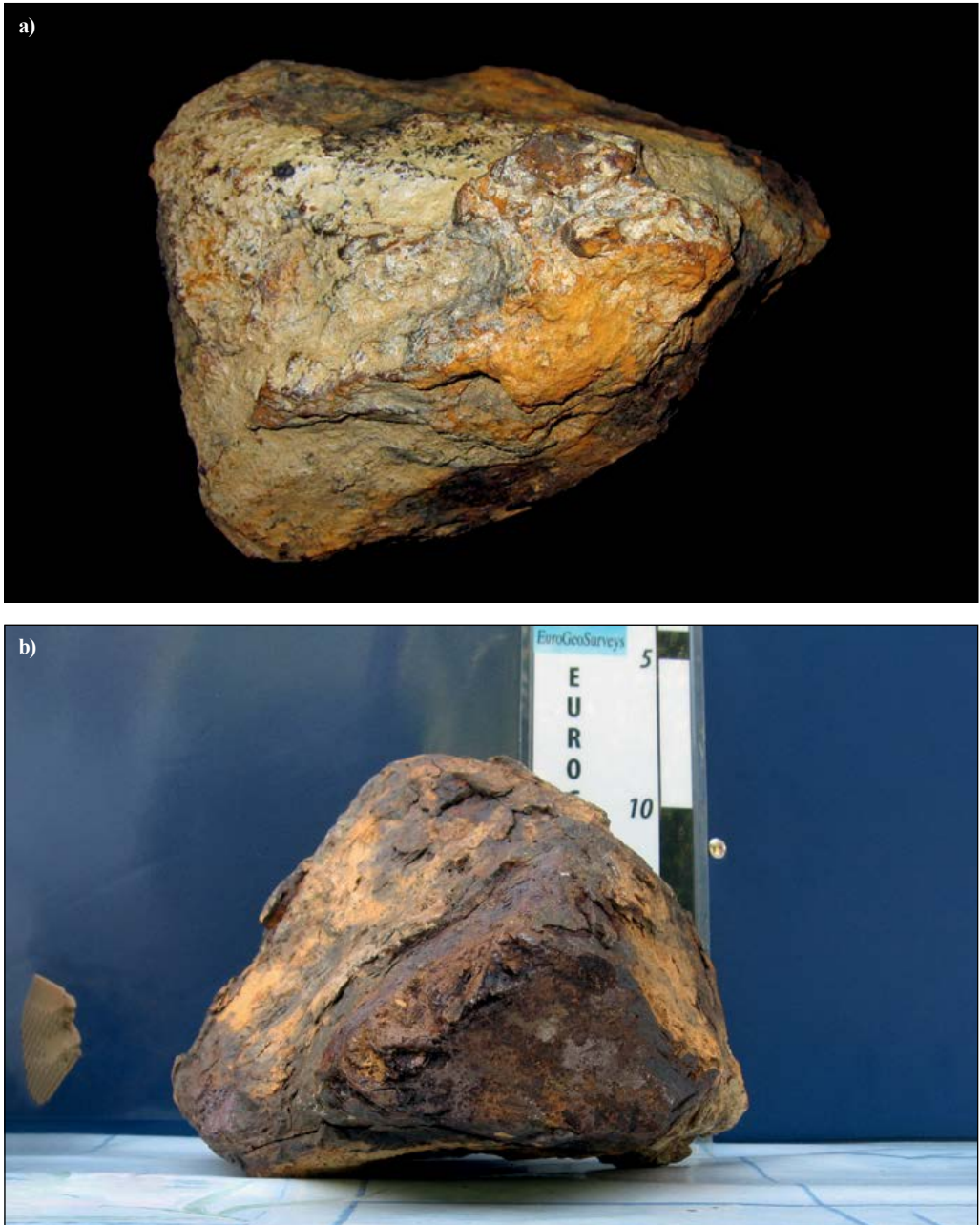
Sledile so natančne kemijske analize glavnih in slednih prvin ter določitev mineralne sestave in strukture, ki so potrebne za opredelitev in potrditev meteorita. Zbrane podatke smo januarja 2011 posredovali mednarodnemu Meteoritskemu društvu (The Meteoritical Society; <http://www.meteoriticalsociety.org/>), ki ureja podatkovno zbirko meteoritov in izdaja Meteoritski bilten (Meteoritical Bulletin, <http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>). Obravnavani predmet je bil kot meteorit Javorje uvrščen v meteoritsko podatkovno zbirko 22. februarja 2011. V tej zbirki (<http://www.lpi.usra.edu/meteor/>), ki ima prost dostop, si je mogoče ogledati osnovne podatke o vseh preiskanih meteoritih, tudi meteoritu Javorje. Podrobneje so značilnosti meteorita Javorje opisane v znanstvenih člankih, objavljenih v revijah Meteoritics & Planetary Science (MILER & GOSAR 2011) in Geologija (MILER & GOSAR 2012), v nadaljevanju tega prispevka pa povzemamo glavna dognanja.

Morfološki opis

Velikost celotnega meteorita je $15 \times 12,5 \times 11$ cm, njegova teža pa 4920 g, zaradi česar je to največji in najtežji meteorit izmed doslej najdenih na ozemlju Slovenije. Meteorit je podolgovat in trikotne oblike ter ima zaobljene robove (sl. 95, 96). Njegova površina je precej krhka ter prekrita z debelo temnorjavo in rumeno do rdečerjavo skorjo (sl. 97, 98) produktov oksidacije železovo-nikljevih mineralov, kar nakazuje dolgotrajno izpostavljenost meteorita različnim procesom preperevanja. Zaradi intenzivnega preperevanja so bile zabrisane tudi značilne vdolbinice oziroma regmaglipti in tanka žgalna skorja nataljene kovine, ki običajno nastanejo na površini meteorita kot posledica taljenja in ablacije pri visokih temperaturah med njegovo potjo skozi ozračje. Po drugi strani pa je ta skorja preperelega materiala zaščitila notranjost meteorita pred nadaljnjo oksidacijo. Na nekaterih mestih, kjer je skorja preperelega materiala odpadla, površinske strukture jasno nakazujejo razkolnost po oktaedru (sl. 96, ki ustreza orientaciji kamacitovih kristalov oziroma Widmanstättenovim vzorcem (MILER & GOSAR 2011).

Raziskave

Za potrebe analiz je bila od celotnega primerka meteorita odrezana 120,8 g težka ploščica dimenzije $6,7 \times 4,1 \times 0,9$ cm in mase 120,8 g (sl. 99 a-d). Obe strani ploščice sta bili zbrušeni s karborundom in spolirani z diamantno suspenzijo do zrcalnega sijaja. Ena stran polirane ploščice je bila jedkana s 5% raztopino nital (mešanica koncentrirane dušikove kisline in brezvodnega etanola) po delno spremenjenem postopku po NORTONU (2002). Na nejedkani strani pa je bila določena sestava mineralov z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM) JEOL JSM 6490LV z energijsko disperzijskim spektrometrom (EDS) Oxford Instruments INCA Energy v laboratoriju Geološkega zavoda Slovenije. Kemična sestava meteorita je bila določena na vzorcu teže 11 g v laboratoriju ActLabs v Kanadi.



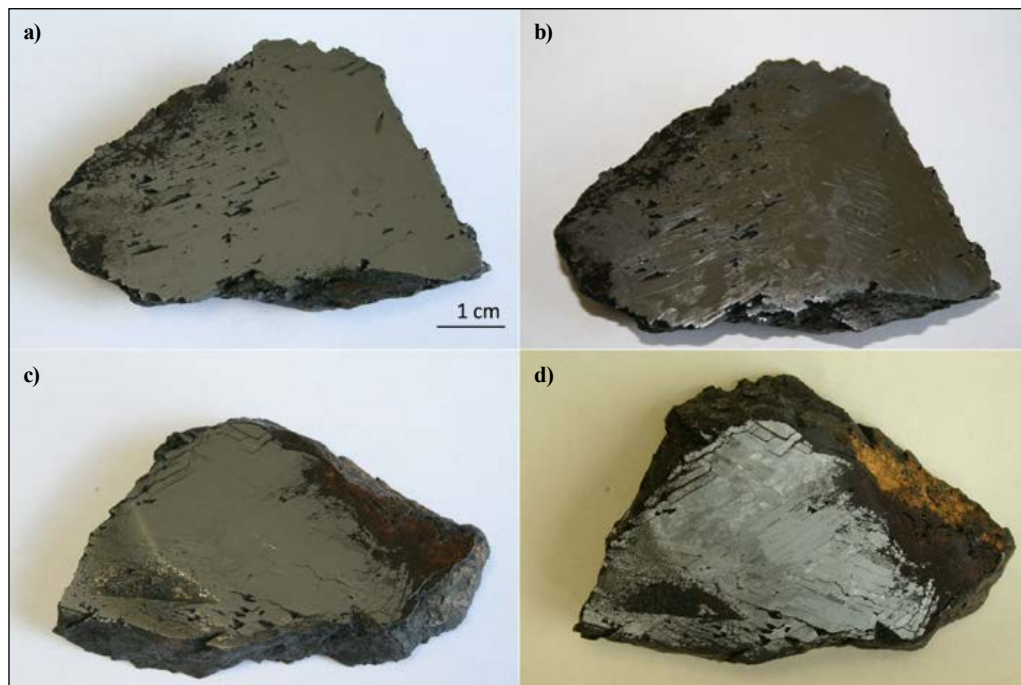
Sliki 95 in 96. Meteorit Javorje je podolgovat in trikotne oblike ter ima zaobljene robove (a - 118), na nekaterih mestih površinske strukture nakazujejo razkolnost po oktaedru (b -119). Zbirka najditelja. Foto: Mateja Gosar in Miloš Miler

Figures 95 and 96. The Javorje meteorite is elongated and triangular shaped with rounded edges (a – 118); at same places the surface structures indicate octahedral cleavage (b - 119). Collection of the finder. Photo: Mateja Gosar and Miloš Miler



Sliki 97 in 98. Površina meteorita je dokaj krhka in prekrita z debelo temnorjavo in rumeno do rdečerjavo skorjo preperine. Zbirka najditelja. Foto: Mateja Gosar in Miloš Miler

Figures 97 and 98: The meteorite's surface is fairly fragile and covered with a thick dark brown and yellow to reddish yellow crust of weathered rocks. Collection of the finder. Photo: Matora Goslar and Miloš Miler

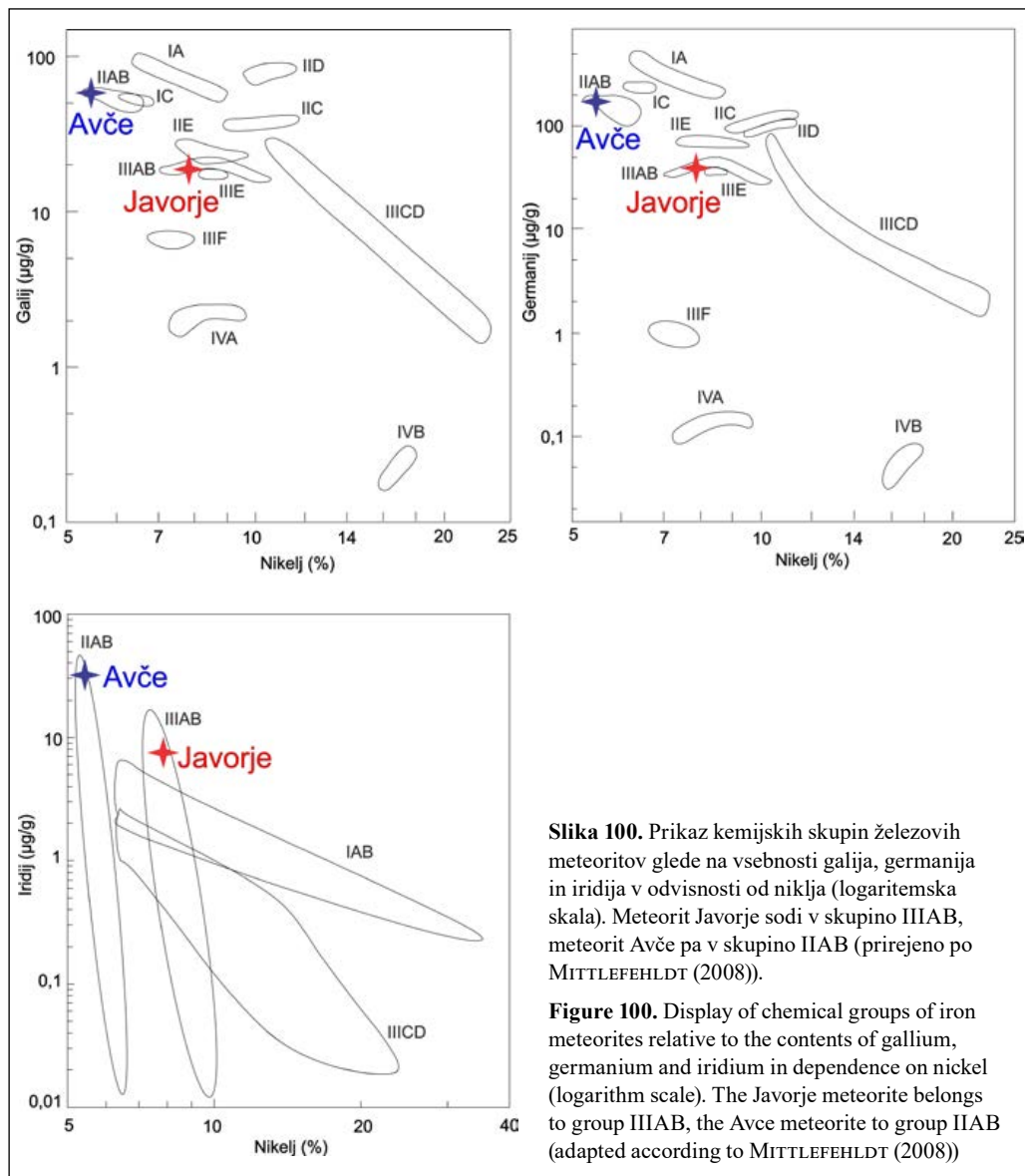


Slika 99. Površina notranjega dela polirane ploščice (a,b) in površina zunanjega dela polirane ploščice (c) pred jedkanjem in (d) po njem. Po jedkanju so jasno vidni Widmanstättenovi vzorci. Foto: Mateja Gosar in Miloš Miler

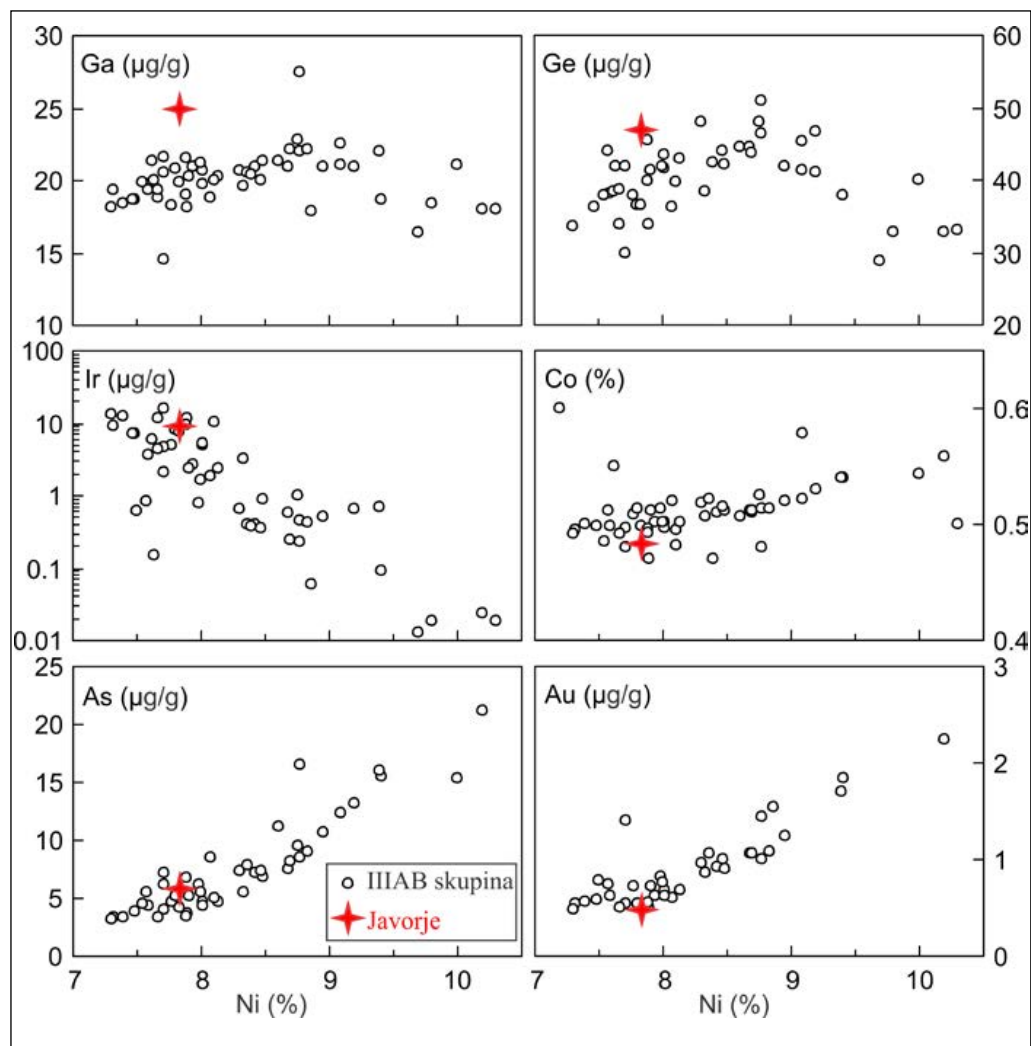
Figure 99. Surface of the inner part of the polished slab (a, b) and surface of the outer part of the polished slab (c) prior to etching and (d) after it. After etching, Widmanstätten patterns were clearly seen. Photo: Mateja Goslar and Miloš Miler

Kemijska sestava

Po kemijski sestavi se železovi meteoriti združujejo v 14 kemijskih skupin na podlagi vsebnosti niklja ter lahkih siderofilnih in siderofilnih slednih prvin galija, germanija in iridija. Meteoriti s podobno kemijsko sestavo najverjetneje izvirajo iz istega matičnega telesa, zato vsaka kemijska skupina ustreza posameznemu matičnemu telesu. Kemijska sestava meteorita Javorje je bila določena z namenom klasifikacije meteorita v kemijsko skupino. Vsebnosti glavnih diagnostičnih elementov v meteoritu Javorje so 7,83 mas % Ni, 25 µg/g Ga, 47 µg/g



Ge, 7,6 $\mu\text{g/g}$ Ir, 4800 $\mu\text{g/g}$ Co, 5,8 $\mu\text{g/g}$ As, 0,47 $\mu\text{g/g}$ Au in 13,4 $\mu\text{g/g}$ Pt (MILER & GOSAR 2011). Glede na kemijsko klasifikacijo HUTCHISONA (2004) in MITTLEFEHLDTA (2008) ter vsebnosti diagnostičnih elementov sodi meteorit Javorje med železove meteorite magmatske skupine IIIAB (sl. 100, 101). Visoke vsebnosti Ga in Ge ter nizka vsebnost Ni nakazujejo, da meteorit glede na podatke v literaturi (SCOTT & WASSON 1975) pripada IIIA delu kemijske skupine IIIAB. Glede na visoke vsebnosti Ir in Pt ter nizke vsebnosti As, Au in Co pa lahko sklepamo, da je meteorit nastal zgodaj v procesu strjevanja železovega jedra matičnega telesa, iz katerega izvirajo meteoriti skupine IIIAB (SCOTT 1972).

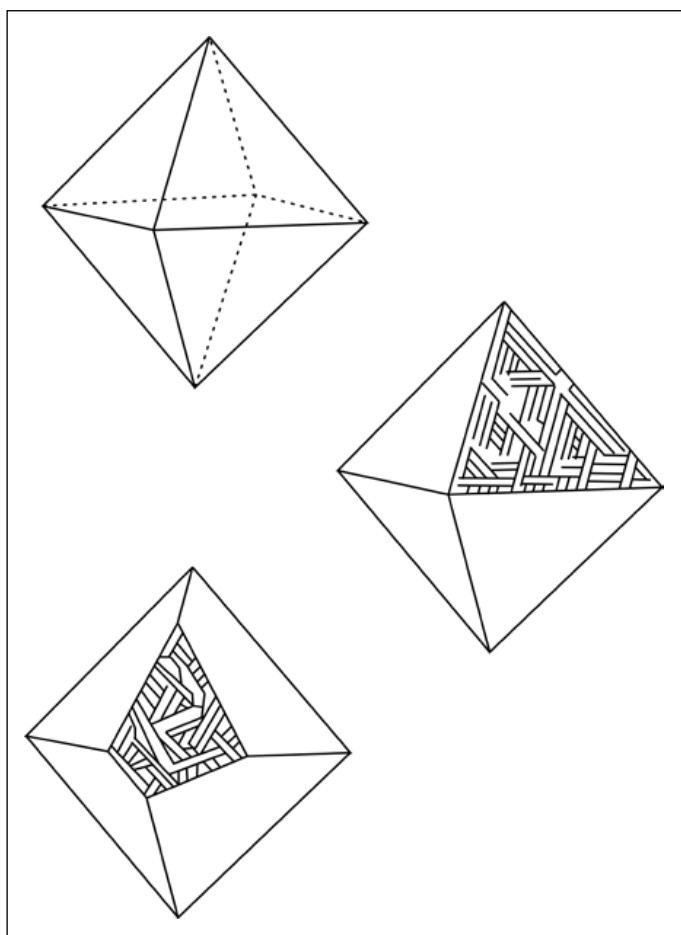


Slika 101. Vsebnosti izbranih slednih elementov glede na vsebnosti niklja v meteoritu Javorje in meteoritih iz skupine IIIAB (MILER & GOSAR 2011)

Figure 101. Contents of the selected trace elements relative to nickel contents in the Javorje meteorite and meteorites belonging to group IIIAB (MILER & GOSAR 2011)

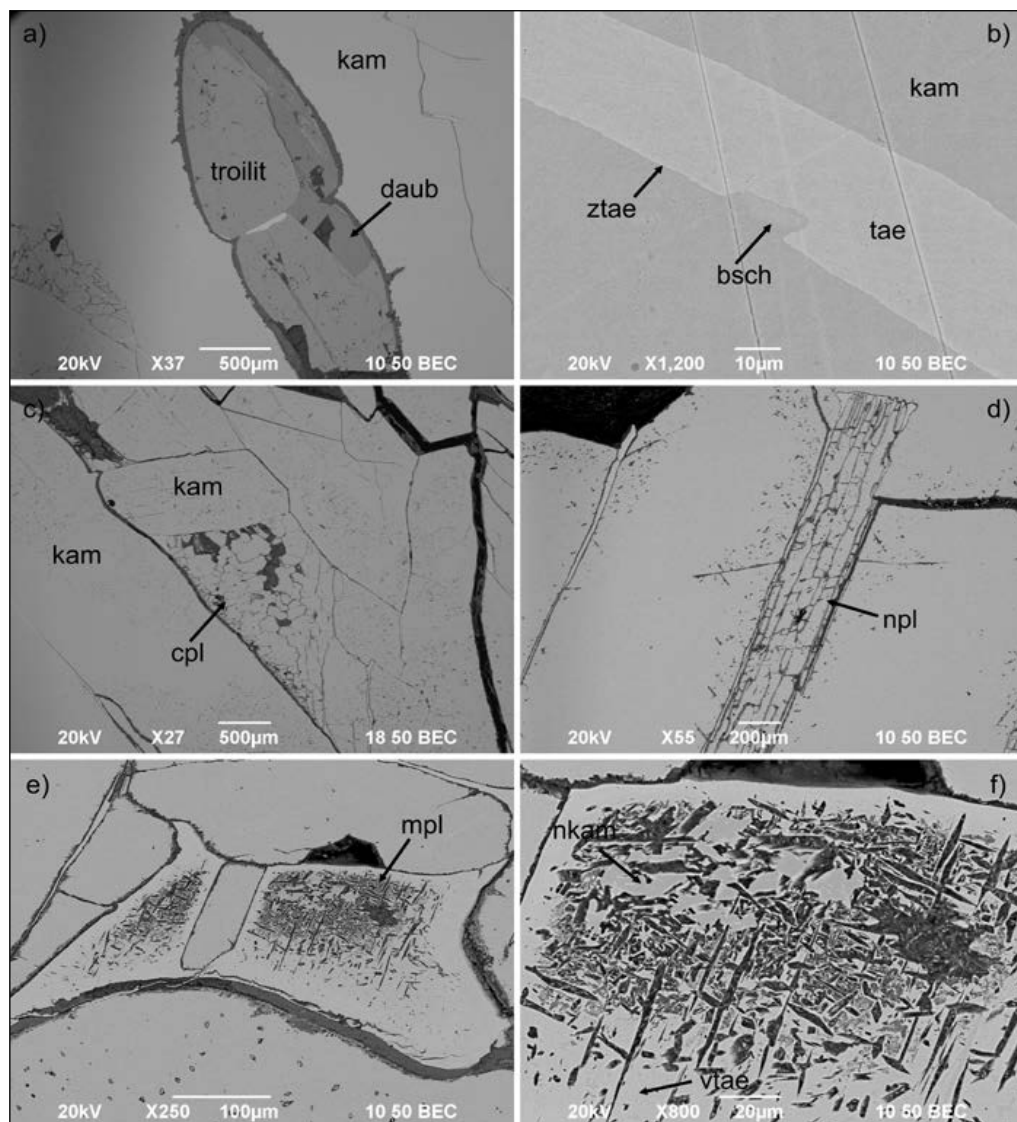
Struktura in mineralna sestava

Podobno kot minerali v kamninah nastalih na Zemlji nam tudi minerali v meteoritih veliko povedo o načinu in pogojih nastanka njihovega matičnega telesa. Glavna minerala, ki sestavljata meteorit, sta železovo-nikljevi zlitini kamacit in taenit. Pojavljata se v obliki izmeničnih pasov kristalov kamacita z ravnimi ali rahlo ukrivljenimi robovi, prostorsko urejenih v obliki oktaedra, in tankih letvic taenita. Skupaj tvorijo t.i. Widmanstättenove vzorce, ki so orientirani v treh različnih smereh (sl. 99 d). Oblika in usmerjenost Widmanstättenovih vzorcev je odvisna od orientacije preseka meteorita (sl. 102). Povprečna širina pasov kamacita znaša $0,85 \pm 0,26$ mm (MILER & GOSAR 2011), na podlagi katere meteorit Javorje uvrščamo v strukturno skupino srednjih oktaedritov. Pasovi kamacita vsebujejo povprečno $7,1 \pm 0,4$ mas % niklja, nastali pa so pri temperaturi okrog $610\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $620\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MILER & GOSAR 2011). Ponekod kamacit v obliki homogenih polj obdaja vključke sulfidnih mineralov (sl. 103 a), ki delujejo kot kristalizacijska jedra. Letvice taenita so široke povprečno $23\text{ }\mu\text{m}$ in vsebujejo $30,1 \pm 2,8$ mas % niklja v osrednjem delu letvice. Zunanje robove letvic taenita na stiku s kamacitom gradijo okrog $0,6\text{ }\mu\text{m}$ debele prevleke t.i. zunanjih taenitnih obrob (sl. 103 b) s povprečno vsebnostjo niklja $43,9 \pm 1,4$ mas %. V prostorih



Slika 102. Prikaz strukture oktaedritov. Pasovi kamacita in letvice taenita so urejeni v obliki oktaedra in tvorijo Widmanstättenove vzorce, orientirane v treh smereh. Njihova oblika in usmerjenost sta odvisni od orientacije preseka meteorita (prirejeno po BUCHWALD (1975)).

Figure 102. Display of octahedrites' structure. The bands of kamacite and taenite bars are arranged in the shape of octahedron, creating Widmanstätten patterns oriented in three directions. Their shape and orientation depend on orientation of the meteorite's cross-section (adapted according to BUCHWALD (1975)).

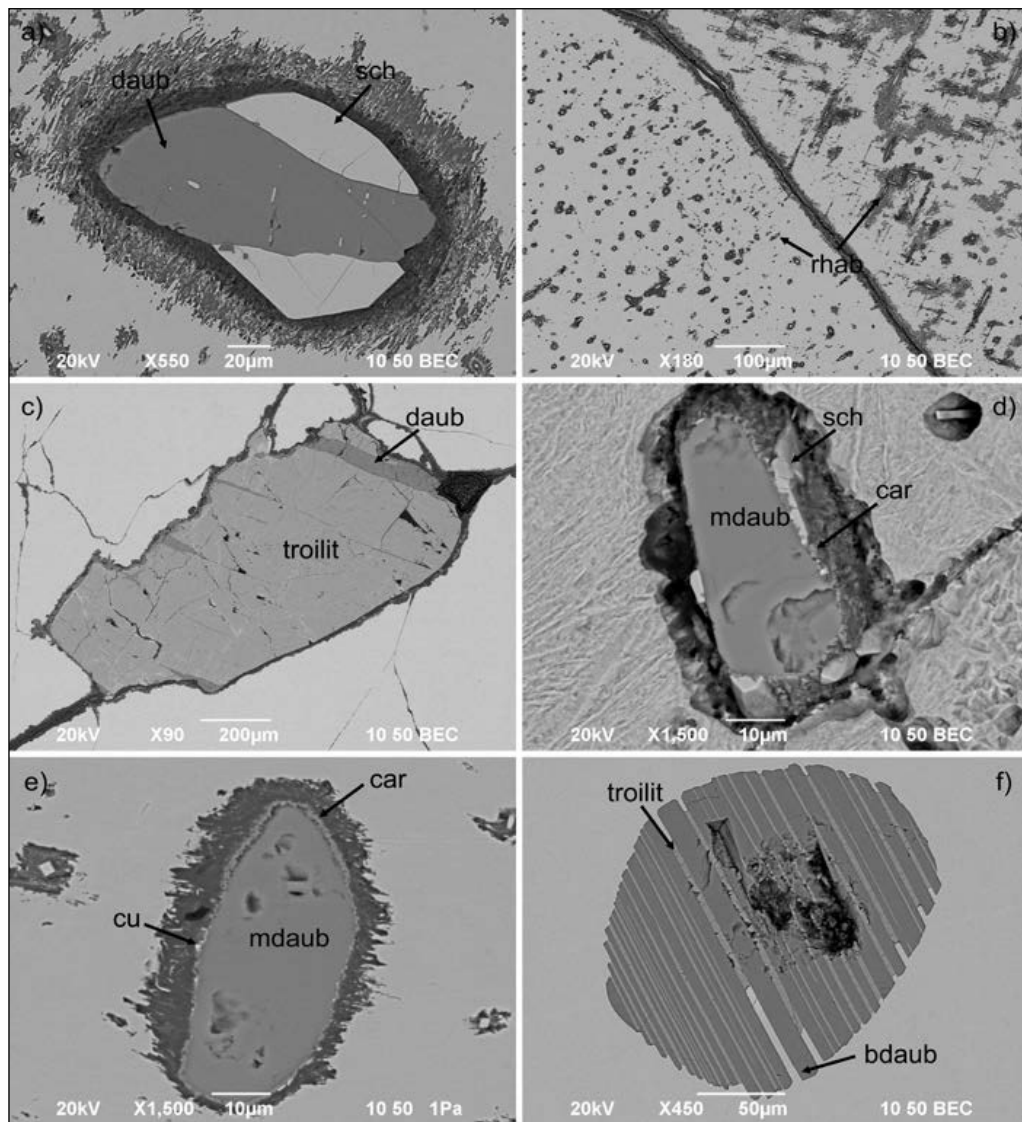


Slika 103. SEM-posnetki glavnih mineralov in tekstur v meteoritu Javorje: a) veliko zrno troilita z daubrélitom (daub), obdano s homogenim kamacitom (kam) (a); letvica taenita (tae) z zunanjimi taenitnimi obroboami (ztae) in schreibersitom (bsch) na meji s kamacitom (kam) (b); prostori med kristali kamacita (kam) so zapolnjeni s celičnim plezitom (cpl) (c); mrežasti plezit (npl) je med pogostejšimi teksturnimi različicami plezita (d); martenzitni plezit (mpl) (e) je sestavljen iz kamacita z zelo nizko vsebnostjo niklja (nkam) in taenita z zelo visoko vsebnostjo niklja (vtae) (f). SEM-posnetki: Miloš Miler

Figure 103. SEM shots of the main minerals and textures in the Javorje meteorite; a) large troilite grain with daubréelite (daub), surrounded by homogeneous kamacite (kam) (a); taenite (tae) bar with external taenite trimmings (ztae) and schreibersite (bsch) on the border with kamacite (kam) (b); spaces between kamacite (kam) crystals are filled with cellular plessite (cpl) (c); net plessite (npl) is among the commonest textural versions of plessite (d); martensitic plessite (mpl) (e) is composed of kamacite with very low nickel content (nkam) in taenite with very high nickel content (vtae) (f). SEM shots: Miloš Miler

med pasovi kristalov kamacita se v obliki velikih polj s povprečno velikostjo 4,3 mm pojavlja mešanica kamacita in taenita oziroma drobnozrnata osnova plezit (sl. 103 c). Plezit nastopa v štirih teksturnih različicah. Najpogostejša sta satasti in mrežasti plezit (sl. 103 d), medtem ko sta manj pogosta celični plezit (sl. 103 c) ter martenzitni plezit (sl. 103 e), sestavljen iz nizko-Ni kamacita (2 mas % Ni) in visoko-Ni taenita (> 50 mas % Ni) (sl. 103 f) (MILER & GOSAR 2011).

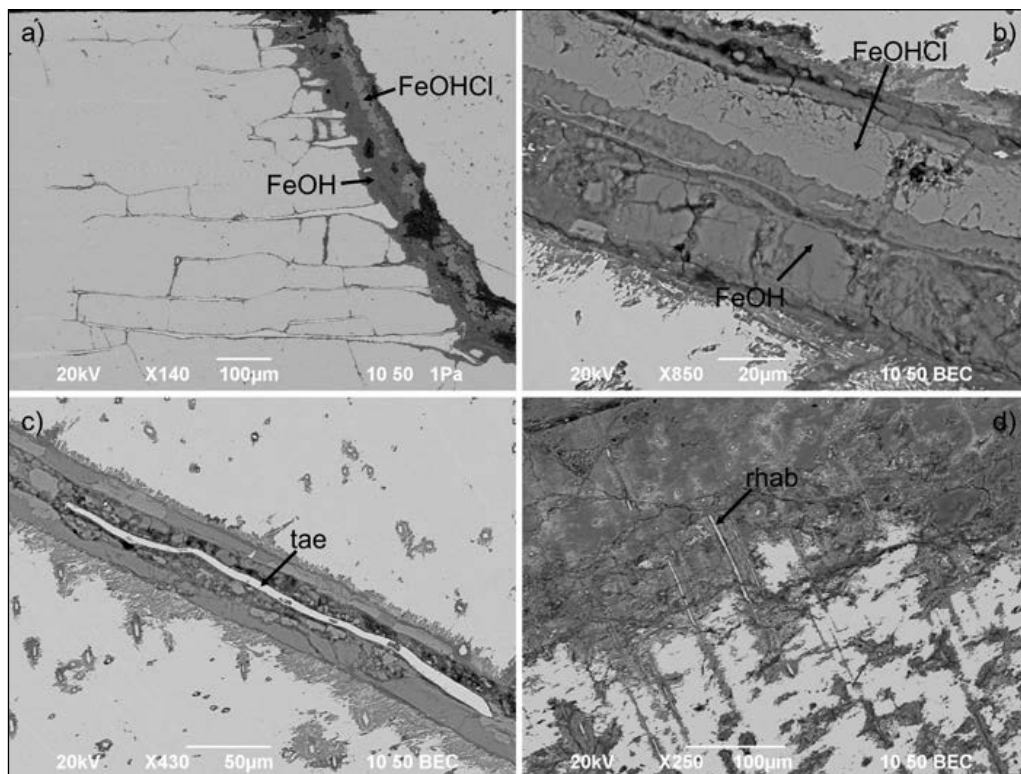
Poleg glavnih mineralov so za meteorit Javorje značilni še akcesorni minerali, med katerimi so najpogostejši železovo-nikljevi fosfidi (schreibersit (sl. 104a) in rhabdit (sl. 104b)), železov sulfid (troilit) (sl. 103 a, 104 c), železovo-kromov sulfid (daubréelit) (sl. 103 a, 104 a, 104 c-f), kromov nitrid (carlsbergit) (sl. 104 d,f) in železovo-kromov oksid (kromit). Schreibersit se navadno pojavlja v združbi z daubréelitom (sl. 104 a,d) in troilitom, pogosto pa je tudi na mejah med kamacitom in taenitom (sl. 103 b) ter redko kot posamezna velika masivna zrna. Schreibersit na mejah med kamacitom in taenitom vsebuje največ niklja (50 mas %) od vseh železovo-nikljevih fosfidov. Kristali rhabdita so v obliki dolgih prizmatičnih in igličastih kristalov pravokotnih drug na drugega in tvorijo mrežasto teksturo v kamacitu (sl. 104 b), ki je vzporedna kristalografskim osem kamacita. Glede na velikost kristalov pa gre najverjetneje za mikrorhabdit (MILER & GOSAR 2011). Vse te oblike železovo-nikljevih fosfidov so nastale v različnih fazah ohlajanja jedra matičnega telesa. Masivna zrna schreibersita, razpršena v meteoritu Javorje, so najverjetneje nastala s heterogeno nukleacijo zaradi lokalnega prenasíčenja taenita s fosforjem pri temperaturah nad 850 °C. Ostali železovo-nikljevi fosfidi so se izločili po nastanku Widmanstättenovih vzorcev. Tako se je heterogena nukleacija schreibersita na mejah med kamacitom in taenitom pričela pri okoli 500 °C in se nadaljevala z ohlajanjem zaradi difuzije med zrní. Orientacija kristalov mikrorhabdita v kamacitu pa nakazuje, da so nastali s homogeno nukleacijo v kamacitu pri temperaturi okrog 400 °C kot posledica nasičenja kamacita s fosforjem (CLARKE & GOLDSTEIN 1978; YANG & GOLDSTEIN 2005). Daubréelit se v meteoritu Javorje pojavlja v treh različnih oblikah. Prevladujejo samostojna evhedralna masivna zrna (Sl. 105a,d,e), pojavlja pa se tudi kot progasti daubréelit z izločinami tankih letvic troilita (sl. 104 f) ter kot nepravilne letvice in žilice v zrnih troilita (sl. 104 c), ki so se izločile pri razpadu trdne raztopine železovega in kromovega sulfida. Masivni in progasti daubréelit sta pogosto v združbi s schreibersitom (sl. 104 a,d) pa tudi s kromitom. Nekatera zrna masivnega daubréelita vsebujejo tudi manjše vsebnosti cinka (2,5 mas. %), ki delno nadomešča železo v kristalni rešetki. Na mejah med kamacitom in daubréelitom so ponekod zaradi oksidacije in preperevanja nastali majhni subhedralni kristali iz kobalta, niklja in žvepla, najverjetneje sulfida siegenit ali willamaninit, ter kovinski baker (sl. 104 e). Troilit ni pogost in nastopa v obliki velikih podolgovatih vključkov, obdanih s homogenim kamacitom (sl. 103 a), kot posamezna zrna na mejah med pasovi kamacita (sl. 104 c) in kot tanke izločnine v obliki letvic znotraj progastega daubréelita (sl. 104 f). Troilit vsebuje tudi manjše vsebnosti kroma (0,3 mas %) zaradi nepopolnega izločanja daubréelita iz trdne raztopine železovega in kromovega sulfida (MILER & GOSAR, 2011). Vključki troilita so najverjetneje nastali v trdnem stanju pri temperaturi, višji od nukleacijske temperature kamacita in so rabili kot jedra za rast homogenega kamacita, ki obdaja zrna troilita. Carlsbergit je redek v meteoritu Javorje in tvori submikronske evhedralne kristale, ki obdajajo zrna masivnega daubréelita (sl. 104 d,e). Ker se pojavlja pod schreibersitom in nad daubréelitom, je najverjetneje nastal po nastanku daubréelita, vendar pred nastankom schreibersita. Kromit se pojavlja v velikem vključku, sestavljenem iz vzporednih in zaporednih plasti troilita, kromita in daubréelita. Ta združba mineralov je najverjetneje nastala z oksidacijo daubréelita ob preostanku taline, ki se je obogatila s kisikom med kristalizacijo jedra (KRACHER, 1983; OLSEN et al. 1999). Pri tem so nastali kromit in troilit in ostanki prvotnega daubréelita.



Slika 104. SEM-posnetki akcesornih mineralov v meteoritu Javorje: masivni daubréelit (mdaub) v združbi s schreibersitom (sch) (a); prizmatični in igličasti kristali rhabdita (rhab) tvorijo mrežasto teksturo v kamacitu (b); troilit z izločninami daubréelita (daub) (c); masivni daubréelit (mdaub), obdan z drobnimi evhedralnimi kristali carlsbergita (car), ki ga prerašča schreibersit (sch) (d); masivni daubréelit (mdaub), obdan s carlsbergitom (car) in izločninami kovinskega bakra (cu) (e); progasti daubréelit (bdaub) z letvicami troilita (f). SEM-posnetki: Miloš Miler

Figure 104. SEM shots of accessory minerals in the Javorje meteorite: massive daubréelite (mdaub) in community with schreibersite (sch) (a); prismatic and needle-shaped crystals of rhabdite (rhab) compose net texture in kamacite (b); troilite with daubréelite excrements (daub) (c); massive daubréelite (mdaub), surrounded with tiny euhedral crystals of carlsbergite (car), which is overgrown by schreibersite (sch) (d); massive daubréelite (mdaub), surrounded by carlsbergite (car) and excrements of metallic copper (cu) (e); barred daubréelite (bdaub) with troilite bars (f). SEM shots: Miloš Miler

Procesi preperevanja meteorita v atmosferskih pogojih so močno spremenili njegovo zunanost in povzročili nastanek debele skorje sekundarnih produktov preperevanja. Vzdolž razpok (sl. 105 a,b), med kamacitnimi pasovi in taenitnimi letvicami (sl. 105 c) ter vzdolž kristalov rhabdita (sl. 105 d) sta kamacit in taenit oksidirala v železove oksihidrokside z manjšo vsebnostjo niklja 2 do 3 cm pod površino meteorita (MILER & GOSAR 2011). Ti produkti preperevanja so večinoma goethit, lepidokrokrit ter s klorom bogati mineral akaganéit. Prvi produkt oksidacije kamacita in taenita je akaganéit, ki se pojavlja na čelu korozije kot kriptokristalne zapolnitve razpok v kamacitu in na mejah med kamacitom in zrni rhabdita ter daubrélita. Klor v strukturi železovih oksihidroksidov izvira iz talne vode (BUCHWALD & CLARKE 1989). Z oddaljenostjo od čela korozije akaganéit postopoma prehaja v goethit in/ali lepidokrokrit. Slednja minerala sta kot končna produkta oksidacije večinoma v sredini razpok ter v debeli skorji preperine, ki prekriva meteorit.



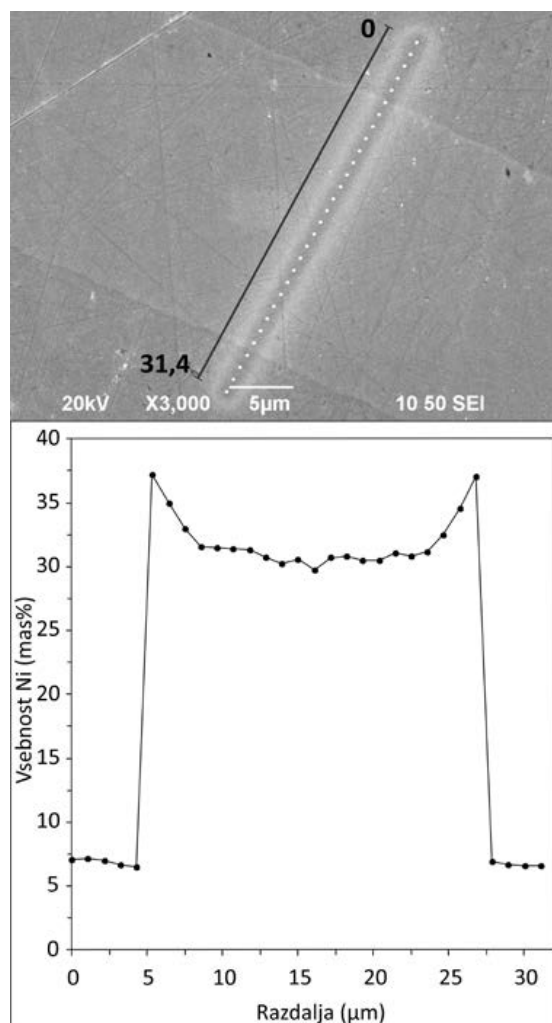
Slika 105. SEM-posnetki sekundarnih produktov preperevanja v meteoritu Javorje. Vzdolž razpok sta kamacit in taenit oksidirala v železove oksihidrokside s klorom (akaganéit) (FeOHCl) in železove oksihidrokside (goethit, lepidokrokrit) (FeOH) (a, b); kamacit je močno oksidiran tudi vzdolž kamacitnih pasov in letvic taenita (tae) (c) ter vzdolž kristalov rhabdita (rhab) (d). SEM-posnetki: Miloš Miler

Figure 105. SEM shots of the secondary products of weathering in the Javorje meteorite. Along the fissures, kamacite and taenite oxidized into iron oxyhydroxides with chlorine (akaganéite) (FeOHCl) and iron oxyhydroxides (goethite, lepidokrokite) (FeOH) (a, b); kamacite is highly oxidized also along kamacite bands and taenite bars (tae) (c) and along rhabdite crystals (rhab) (d). SEM shots: Miloš Miler

Geneza

Hitrost ohlajanja meteorita Javorje

Pomembne informacije o izvoru in nastanku matičnega telesa meteoritov lahko posredno razberemo iz hitrosti ohlajanja železovih meteoritov oziroma njihove termične zgodovine. Le-ta omogoča tudi oceno velikosti (NORTON 2002) in zgradbe matičnega telesa (YANG & GOLDSTEIN 2006; GOLDSTEIN et al. 2009). Na podlagi hitrosti ohlajanja posameznega meteorita je torej možno oceniti, v katerem delu jedra matičnega telesa je le-ta nastal. Zunanji deli kovinskih jeder se namreč praviloma ohlajajo hitreje kot notranji deli jeder (MOSKOVITZ & WALKER 2011). Zaradi trkov velikih diferenciranih matičnih teles z drugimi večjimi telesi, pri čemer so prvotna matična telesa razpadla na več manjših, ki so se različno hitro ohlajala (YANG et al. 2008; GOLDSTEIN et al. 2009; YANG et al. 2010), lahko meteoriti iz istega matičnega telesa kažejo velike razpone v hitrosti ohlajanja.



Slika 106. SEM-posnetek letvice taenita po opravljenih 30 točkovnih EDS-meritvah prečno na letvico. V spodnjem diagramu vsebnosti niklja v odvisnosti od razdalje je vidna razlika v vsebnosti niklja med robovi in centralnim delom letvice, ki je relativno majhna zaradi visoke stopnje difuzije niklja v taenitu (MILER & GOSAR 2012).

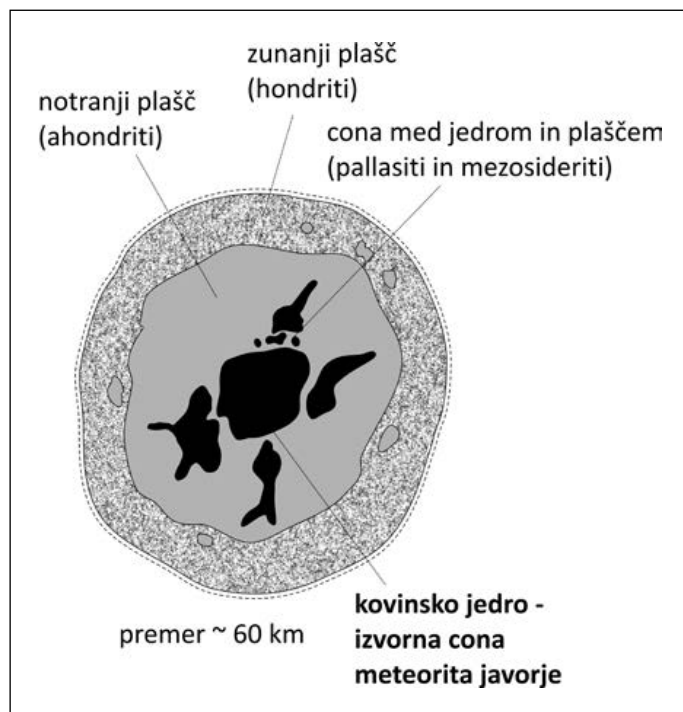
Figure 106. SEM shot of taenite bar after 30 EDS point measurements transversally on the bar. In the diagram (below) of nickel content in dependence of the distance we can see the difference in nickel content between trimmings and central part of the bar, which is relatively small owing to the high level of nickel diffusion in taenite (MILER & GOSAR 2012).

Hitrost ohlajanja železovih meteoritov je možno oceniti iz korelacije med vsebnostjo Ni, izmerjene v sredini letvice taenita, in polovično širino letvice, pri kateri je upoštevana korekcija zaradi orientacije preseka po FROSTU (1965). V primeru meteorita Javorje je povprečna centralna vsebnost Ni v petih izmerjenih letvicah taenita znašala 29,4 mas %, povprečna polovična širina letvice pa je znašala 9,8 μm . Pri oceni hitrosti ohlajanja sta bili upoštevani tudi celokupni vsebnosti Ni (7,83 mas %) in P (0,12 mas %) v meteoritu. S primerjavo rezultatov meritev na meteoritu Javorje z izračunanimi hitrostmi ohlajanja železovih meteoritov iz skupine IIIAB s podobnimi vsebnostmi Ni in P, ki sta jih dobila YANG & GOLDSTEIN (2006), je bila ocenjena povprečna hitrost ohlajanja meteorita Javorje 116 $^{\circ}\text{C}/\text{mio let}$ z razponom med 50 in 180 $^{\circ}\text{C}/\text{mio let}$ (MILER & GOSAR 2011, 2012). Ocenjena hitrost ohlajanja meteorita Javorje je znotraj razpona, značilnega za železove meteorite iz kemične skupine IIIAB, ki se giblje med 56 – 338 $^{\circ}\text{C}/\text{mio let}$ (YANG & GOLDSTEIN 2006).

V letvicah taenita je bila opazna tudi razlika v vsebnosti Ni med robovi in centralnim delom letvic taenita (sl. 106). Ta nehomogena porazdelitev Ni v letvicah taenita je posledica različne stopnje difuzije Ni v kamacitu in taenitu, na katero vpliva hitrost ohlajanja (NORTON 2002). Glede na izmerjene širine letvic taenita je razlika v vsebnosti Ni med robovi in centralnim delom letvic relativno majhna in v skladu z visoko stopnjo difuzije Ni v taenitu. To pomeni, da je bila hitrost ohlajanja relativno nizka (MILER & GOSAR 2011, 2012).

Nastanek in izvor meteorita Javorje

Meteorit Javorje izvira iz jedra diferenciranega asteroida s premerom med 40 in 60 km (sl. 107) tako kot drugi železovi oktaedriti iz skupine IIIAB (HAACK ET AL. 1990). Glede na



Slika 107. Shematski prikaz matičnega telesa železovih oktaedritov iz skupine IIIAB. Meteorit Javorje najverjetneje izvira iz jedra diferenciranega asteroida (<http://lasp.colorado.edu/~bagenal/3750/ClassNotes/Class23/Class23.html>).

Figure 107. Schematic synopsis of the parent body of iron octahedrites from group IIIAB. The Javorje meteorite most probably originates from the core of a differentiated asteroid (<http://lasp.colorado.edu/~bagenal/3750/ClassNotes/Class23/Class23.html>).

relativno visoke vsebnosti siderofilnih elementov z višjim tališčem od Fe, kot je Ir, in nizke vsebnosti elementov z nižjim tališčem od Fe, kot je Ni, ter ocenjeno hitrost ohlajanja je meteorit Javorje najverjetneje nastal zgodaj v procesu kristalizacije jedra v njegovem zunanem delu, ki se je ohlajal kar okrog 10 milijonov let, saj je bilo jedro obdano z ovojem kamnitega plašča. Pri ohlajanju jedra je iz taline železa in niklja najprej nastal z nikljem bogat mineral taenit, ki je pri nižji temperaturi postal nestabilen in zato prekrystalil v mineral kamacit z nizko vsebnostjo niklja. Zaradi počasnega ohlajanja je kamacit tvoril skoraj 1 cm široke kristale, prostorsko urejene v obliki oktaedra, t. i. Widmanstättenove vzorce.

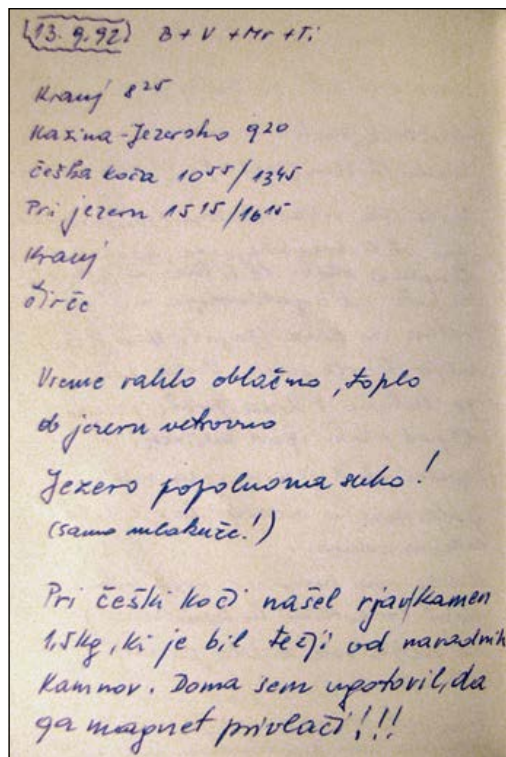
Matično telo, oziroma diferenciran asteroid, je v glavnem asteroidnem pasu med orbitama Marsa in Jupitra krožilo v stabilni orbiti okrog Sonca. Pri tem je verjetno večkrat trčilo z večjimi telesi, pri čemer se mu je na nekaterih delih velikost povečala zaradi dodajanja novega materiala na površini, na drugih delih pa je bil odstranjen večji del plašča in skorje. Po katastrofalnem trku z večjim telesom pa je asteroid razpadel na manjše dele oz. meteoroidne, ki so v večji meri deli kamnitega plašča, v manjši meri pa deli kovinskega jedra. Enemu izmed takih kovinskih fragmentov se je orbita tako spremenila, da je pričel sekati Zemljino orbito in je naposled tudi trčil v Zemljino ozračje. Na poti skozi ozračje je meteoroid delno izgorel, vendar je pot preživel in padel na površje Zemlje kot meteorit, ki je po odkritju dobil uradno ime meteorit Javorje.

Meteorit Jezersko

Okoliščine najdbe

Božidar Jernej Malovrh je planinec in poznavalec gob, ki je z družino pogosto obiskoval hribe in gore. Med najljubšimi izleti so bili obiski priljubljene izletniške točke v Sloveniji - Češke koče, ki leži dobro uro hoda z Zgornjega Jezerskega. Prvič jo je obiskal z bodočo ženo še pred poroko, avgusta leta 1970, ko sta se pri njej ustavila na poti od Kranjske koče na Ledinah proti Jezerskemu. Med izletom proti Češki koči, 13. 9. 1992, je Božidar Jernej Malovrh kakih 50 metrov od koče med ruševjem ponovno iskal primeren prostor za počitek. Na zeleni podlagi alpskega rastlinja je opazil nenavaden rjav kamen. Ko ga je pobral, sta bila mah in trava, ki sta bila pod njim, obledela. Pomislil je, da se je kamen prikotalil s pobočja, saj je opazil, da so kamnine okoli mesta najdbe precej svetle, sive do bele. Zaradi zaobljenosti kamna in jamic je najditelj pomislil, da je našel ostanek taline, ki je padel iz talilnega lonca. Območje je namreč znano po nahajališčih železove rude. Kamen je Božidar Jernej Malovrh spravil v nahrbtnik, podatke o izletu in najdbi pa zabeležil v planinski dnevnik (sl. 108) in tudi na sam kamen. Doma je kamen preizkusil z magnetom in ugotovil, da se privlači. Kamen je najditelj najprej shranil v omaro v dnevni sobi, nato pa ga je prenesel v klet. Ščasoma so podatki o najdbi na kamnu zbledeli, ob pospravljanju pa ga je najditelj še večkrat opazoval.

Po več kot dvajsetih letih od najdbe je kamen pokazal nekdanjemu sodelavcu Davorinu Preisingerju, ki ga pozna tudi kot planinca, jamarja ter poznavalca mineralov in fosilov, pri njemu pa se je oglasil, da bi določila neko gobo. Tudi njemu se je kamen zdel nenavaden in predlagal je, da ga posreduje Prirodoslovnemu muzeju Slovenije (sl. 109). Tam so ga na robu zbrusili in ugotovili, da gre za meteorit (sl. 110).



Slika 108. Terenski zapiski Božidarja Jerneja Malovrha o najdbi meteorita Jezersko. Vir: Božidar Jernej Malovrh

Figure 108. Božidar Jernej Malovrh's field record of his discovery of the Jezersko meteorite. Source: Božidar Jernej Malovrh



Slika 109. Še zadnji stik najditelja Božidarja Jerneja Malovrha z meteoritom, preden je meteorit odstopil v raziskave. Foto: Miha Jeršek

Figure 109. The very last contact of the finder Božidar Jernej Malovrh with the meteorite, before passing it on for scientific research. Photo: Miha Jeršek



Slika 110. V Prirodoslovnem muzeju Slovenije so na robu najdenega kamna rahlo zbrusili žgalno skorjo. Pokazale so se svetla površina in prve hondrule. Po več kot dvajsetih letih je bil »kamen« določen kot nov meteorit na ozemlju Slovenije. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 110. At the Slovenian Museum of Natural History, experts gently polished the fusion crust on the edge of the found stone. Light surface and first chondrules were revealed. After more than twenty years, the »stone« was finally determined as a new meteorite for the territory of Slovenia. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo Miha Jeršek

Makroskopski opis

Meteorit Jezersko smo najprej raziskali makroskopsko. Prvotna masa meteorita je bila 1380 gramov, njegova dimenzija pa 13 x 8 x 7 cm (širina x višina x globina). Meteorit je podolgovate, prizmatične oblike s kvadratnim presekom. Del meteorita ima zaobljeno in razmeroma gladko površino, medtem ko je preostali del neraven in deloma jamičast (sl. 111,112). Jamice oziroma regmaglipti so sorazmerno plitve (največ do 4 mm, večinoma do 2 mm) in večinoma velike med 0,5 in 2,2 cm. Na splošno so robovi meteorita zaobljeni. Pred padcem so odleteli manjši deli skorje - največje polje meri približno 2 cm². Na meteoritu je več manjših ter dve večji razpoki. Del meteorita v velikosti 75 x 35 mm je precej ostrorob in neraven. Lahko je nastal ob padcu, saj je to del, iz katerega izhaja največja razpoka. Površina meteorita je enakomerno temno rjava, tu in tam pa je zaradi preperevanja nekoliko svetlejše rjavkasta do rahlo rdečkasta. S hidrostatskično tehtnico je Zoran Milič iz Narodnega muzeja Slovenije ugotovil, da ima meteorit gostoto 3,3 g/cm³.

Pred nadaljnjimi raziskavami je Borut Tome izdelal odlitek (sl. 113, 114, 115). S tem se je ohranila prvotna oblika meteorita, ki je bila v naslednjih letih večkrat uporabljena na razstavah.

Meteorit Jezersko smo razrezali tako, da smo zagotovili čim manj preperle vzorce za nadaljnje analize, še vedno pa smo želeli ohraniti dovolj velik del meteorita. Meteorit so prerezali na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (sl. 116). Prvi vtisi na prerezanih kosih meteorita so razkrili značilnosti hondritnih meteoritov (sl. 117). Žgalna skorja je



Slika 111. Meteorit Jezersko ima temno rjavo žgalno skorjo in na površini več bolj ali manj izrazitih vdolbinic, lepo pa je vidna tudi razpoka skoraj po sredini meteorita, 13 x 8 x 7 cm. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 111. The Jezersko meteorite has dark brown fusion crust and, on the surface, several more or less prominent little cavities. The crack almost in the middle of the meteorite of the size 13 x 8 x 7 cm is well visible as well. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo Miha Jeršek



Slika 112. Dokaj enotna površina meteorita Jezersko. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

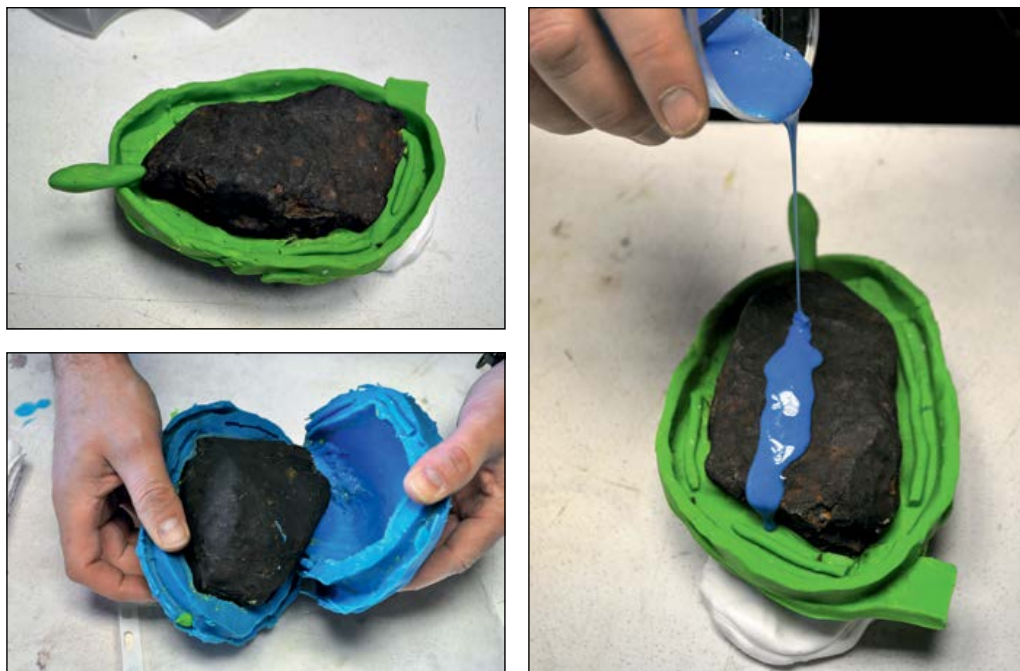
Figure 112. The fairly uniform surface of the Jezersko meteorite. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo Miha Jeršek

dokaj dobro ohranjena in je v povprečju debela okrog 0,3 mm (sl. 118). Dobro vidna in opazna je velika razpoka, ki je na nasprotnem delu kot prej opisane razpoke. Dolga je 7 cm in se razlamlja v več stranskih razpok. Na videz bodeta v oči dve večji beli hondruli, od katerih večja meri 5 mm v premeru, manjša 3,5 mm, preostali del meteorita pa daje videz dokaj enakomerne strukture z enakomerno porazdelitvijo kovinskih in nekovinskih mineralov.

Sledile so natančne kemijske analize glavnih in slednih prvin ter določitev mineralne sestave in strukture, ki so potrebne za opredelitev in potrditev meteorita. Meteorit Jezersko je bil 14. januarja 2014 uvrščen v meteoritsko podatkovno zbirko. Značilnosti meteorita Jezersko v nadaljevanju povzemamo po znanstvenem članku, objavljenem v reviji *Meteoritics & Planetary Science* (MILER et al. 2014), kjer so podrobno opisane mineraloške in petrografske značilnosti meteorita Jezersko, njegova kemijska sestava, stopnja preperelosti, udarna metamorfoza, termična zgodovina ter njegova klasifikacija.

Raziskave

Od celotnega meteorita je bilo odrezano okrog 100 g materiala, iz katerega je bilo izdelanih 6 petrografskih zbruskov in poliran obrus ter določena kemična sestava. Preparati so bili najprej analizirani v odsevni in presevni svetlobi z optičnim polarizacijskim mikroskopom Zeiss Axio Z1 na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete, nato pa še z vrstično elektronsko mikro-



Slika 113, 114 in 115. Izdelavo kalupa in nato odlitka meteorita Jezersko je prevzel Borut Tome iz Prirodoslovnega muzeja Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figures 113, 114 and 115. Making of the mould and eventually of the cast of the Jezersko meteorite was taken care of by Borut Tome from the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 116. Meteorit Jezersko so na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete razrezali za potrebe znanstvenih raziskav. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 116. The Jezersko meteorite was cut up at the Department of Geology of the Faculty of Natural Sciences and Engineering for the needs of scientific research. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo Miha Jeršek



Slika 117. Že makroskopsko opazne hondrule v čisto pred kratkim razrezanem meteoritu Jezersko. Foto: Ciril Mlinar Cic

Figure 117. The already macroscopically visible chondrules in just cut up Jezersko meteorite. Photo: Ciril Mlinar Cic



Slika 118. Na prerezanem delu meteorita Jezersko je lepo vidna debelina žgalne skorje, ki v povprečju ne presega 0,3 mm. Foto: Ciril Mlinar Cic

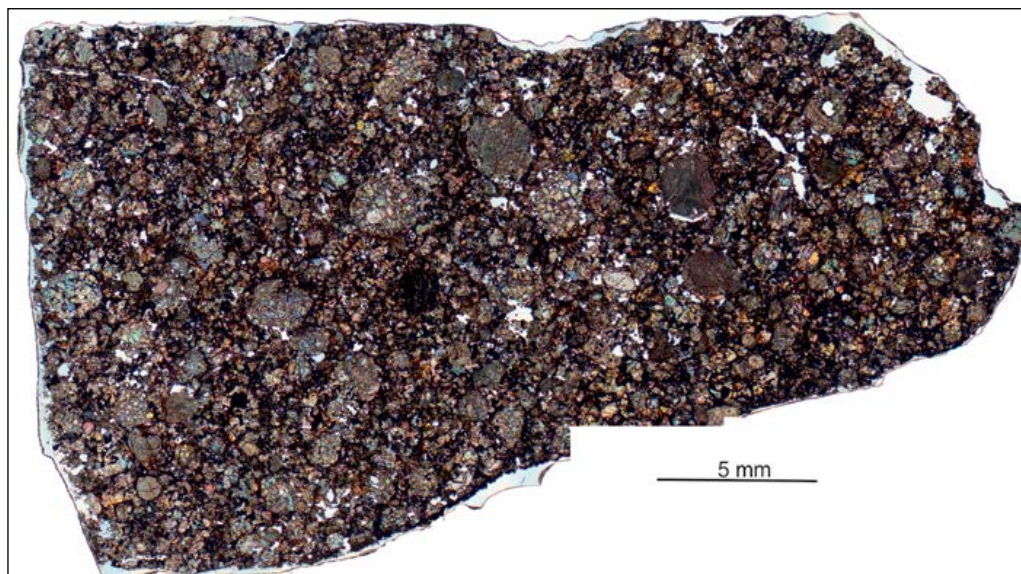
Figure 118. On the cut part of the Jezersko meteorite, the width of the fusion crust, which does not exceed 0.3 mm on average, can well be seen. Photo: Ciril Mlinar Cic

skopijo z energijsko disperzijsko spektroskopijo (SEM/EDS). Sestava silikatov je bila določena z JEOL JSM 5800 SEM in Oxford Instruments ISIS EDS na Oddelku za nanostrukturne materiale Instituta Jožef Stefan, nesilikatni minerali pa so bili analizirani z JEOL JSM 6490LV SEM Oxford Instruments INCA Energy EDS na Geološkem zavodu Slovenije. Modalna sestava ortopiroksenov ter visoko in nizko kalcijevih klinopiroksenov je bila določena s kvantitativno rentgensko praškovno difrakcijo (Philips PW 3710) na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete. Kemična sestava je bila določena v laboratoriju ActLabs v Kanadi.

Petrografske značilnosti

Meteorit Jezersko je kamnit meteorit, ki sodi v skupino H hondritov, saj skoraj 70 % meteorita sestavljajo srednje sortirane in dobro definirane hondrule s premerom od 0,1 do 2,5 mm (MILER et al. 2014). Hondrule v meteoritu Jezersko so precej večje od hondrul v H hondritih (SCOTT & KROT 2003; WEISBERG et al. 2006), kar kaže, da je bilo matično telo meteorita sestavljeno iz večjih in nehomogeno porazdeljenih hondrul.

Za meteorit Jezersko je značilna delno prekristaljena porfirska struktura (sl. 119). Hondrule v meteoritu Jezersko so večinoma (80-odstotno) porfirske olivinovo-piroksenove in olivinove (MILER et al. 2014). Velika večina le-teh je sestavljena iz idiomorfnih kristalov olivina in ksenomorfnih zrn piroksena (sl. 120 a) v osnovi iz plagioklaza in drobnih skeletnih kristalov olivina, nastalih zaradi ponovnega segrevanja in taljenja obstoječih večjih olivinovitih zrn, ki



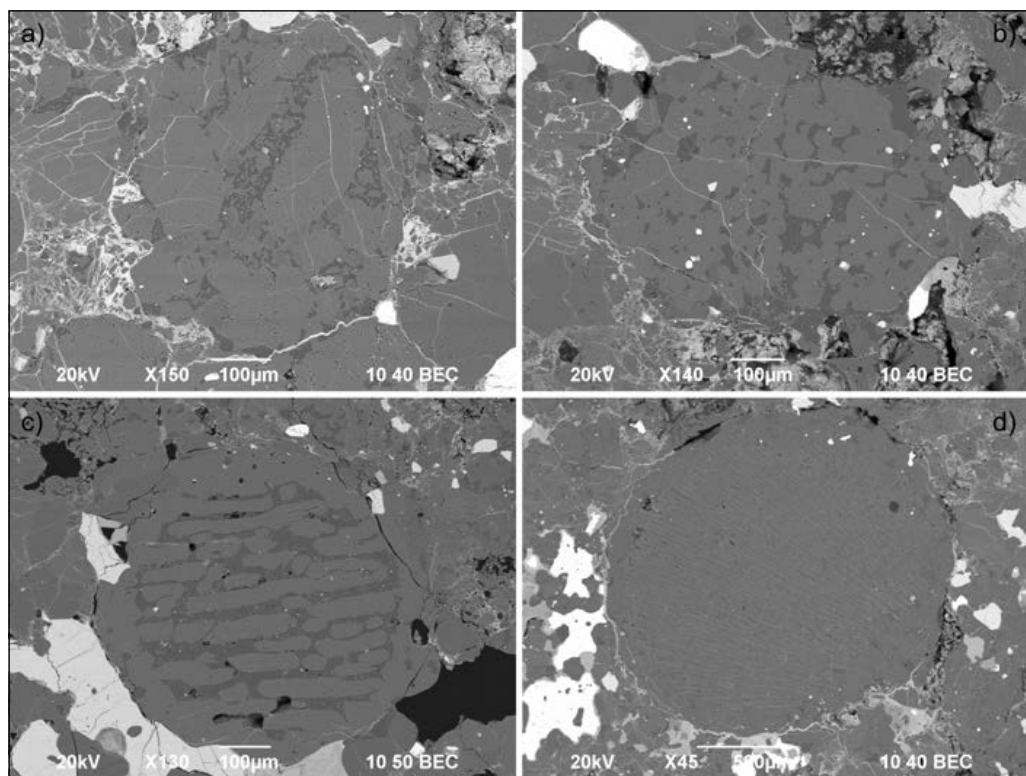
Slika 119. V prerezu meteorita Jezersko v presevni svetlobi pod optičnim polarizacijskim mikroskopom so vidne številne hondrule in drobci hondrul. Struktura meteorita je delno prekristaljena porfirska struktura. Foto: Bojan Ambrožič

Figure 119. In cross-section of the Jezersko meteorite, numerous chondrules and chondrule fragments are visible in translucent light under optical polarized microscope. The meteorite's structure is partially a precrystallized porphyritic structure. Photo: Bojan Ambrožič

mu je sledilo hitro ohlajanje s hitrostjo okrog 80 °C na uro (DONALDSON, 1976). Druga vrsta porfirskih hondrul, ki niso bile izpostavljene visokim temperaturam in ponovnemu taljenju, je skoraj brez osnove in jo gradijo velika evhedralna zrna olivina in piroksena z ravnimi mejami med zrn (sl. 120 b) .

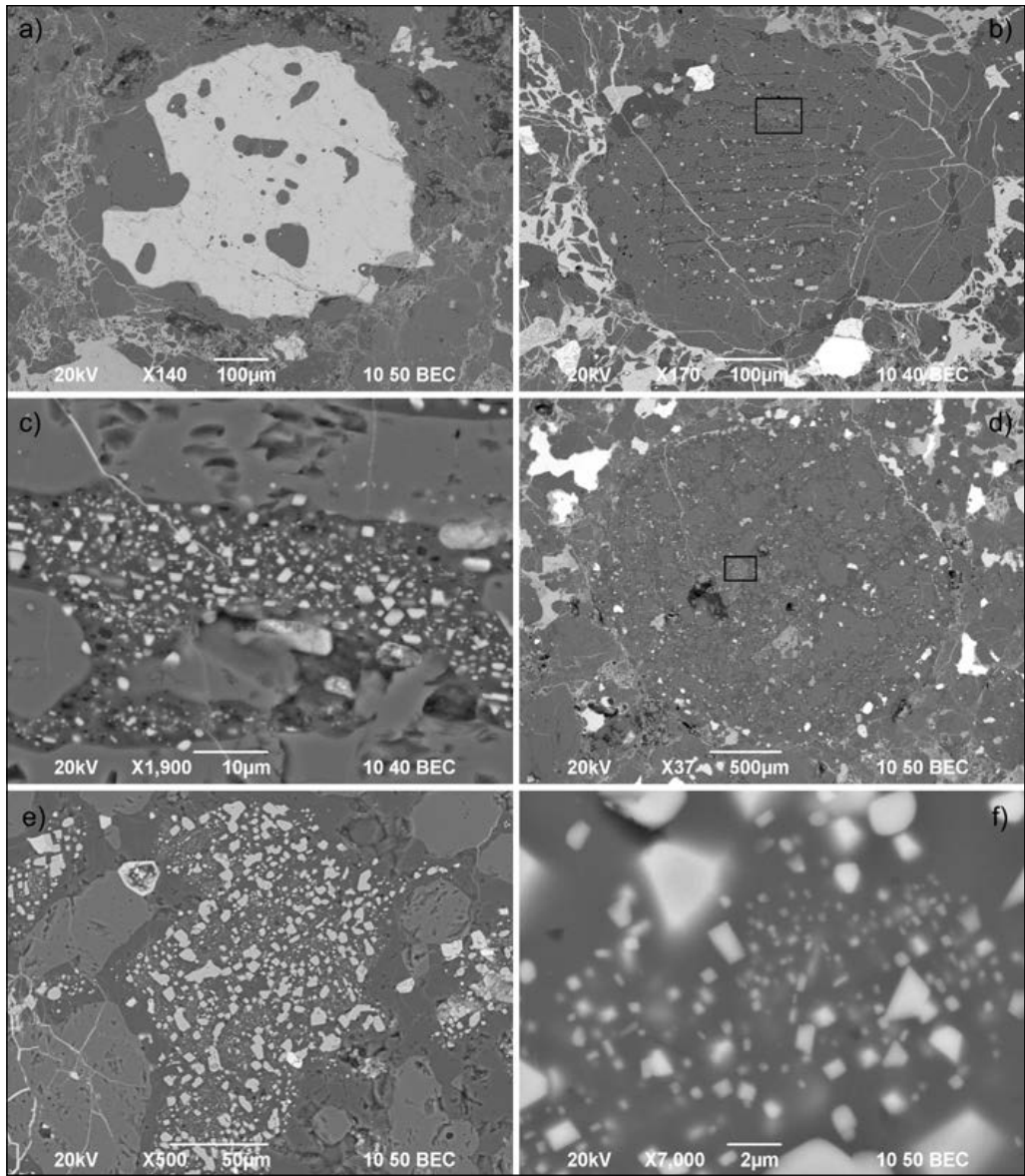
Okrog 20% hondrul sestavljajo neporfirske hondrule, med katerimi so najpogostejše polisomatske lamelarne olivinove hondrule (sl. 120 c) pa tudi pahljačaste piroksenove hondrule (sl. 120 d). Razširjene so tudi kovinske hondrule, sestavljene iz enega samega velikega zrna kovinskih mineralov (kamacit, troilit), obdanega z grobozrnatim robom olivina (sl. 121a) (MILER et al. 2014).

V nekaterih lamelarnih in porfirskih olivinovo-piroksenovih hondrulah se pojavljajo radialno razporejeni igličasti kristali kromita, in sicer v plagioklazni osnovi hondrul (kromitno-plagioklazne združbe) (sl. 121 b-f) pa tudi v kristalih piroksena in olivina (MILER et al. 2014).



Slika 120. SEM-posnetki različnih tipov hondrul v meteoritu Jezersko. Večina hondrul je porfirskih olivinovo-piroksenovih in olivinovih, sestavljenih iz idiomorfnih kristalov olivina in ksenomorfnih zrn piroksena v osnovi (a), druge pa gradijo velika evhedralna zrna olivina in piroksena in so skoraj brez osnove. Manj pogoste so neporfirske hondrule, med katerimi stopajo v ospredje polisomatske lamelarne olivinove (c) pa tudi pahljačaste piroksenove (d) hondrule. SEM-posnetki: Miloš Miler

Figure 120. SEM shots of various types of chondrules in the Jezersko meteorite. The majority of chondrules are porphyritic olivine-pyroxene and olivine, composed of idiomorphic crystals of olivine and xenomorphic grains of pyroxene in the base (a), while others form large euhedral grains of olivine and pyroxene and are almost baseless. Less common are nonporphyritic chondrules, among which polysomatic lamellar olivine (c) as well as fan-shaped pyroxene (d) chondrules stand out. SEM shots: Miloš Miler



Slika 121 . SEM-posnetki hondrul v meteoritu Jezersko. Kovinska hondrula je sestavljena iz troilita (a) (MILER et al. 2014); v plagioklazni osnovi nekaterih lamelarnih (b, c; c-podrobnost iz b) in porfirskih olivinovo-piroksenovih hondrul (d-f; e, f-podrobnosti iz d) se pojavljajo igličasti kristali kromita (c, e, f). SEM posnetki: Miloš Miler

Figure 121. SEM shots of chondrules in the Jezersko meteorite. A metal chondrule is composed of troilite (a) (MILER et al. 2014); in plagioclasic base of some lamellar (b, c; c-details from b) and porphyritic olivine-pyroxene chondrules (d-f; e, f-details from d), needle-shaped chromite crystals occur (c, e, f). SEM shots: Miloš Miler

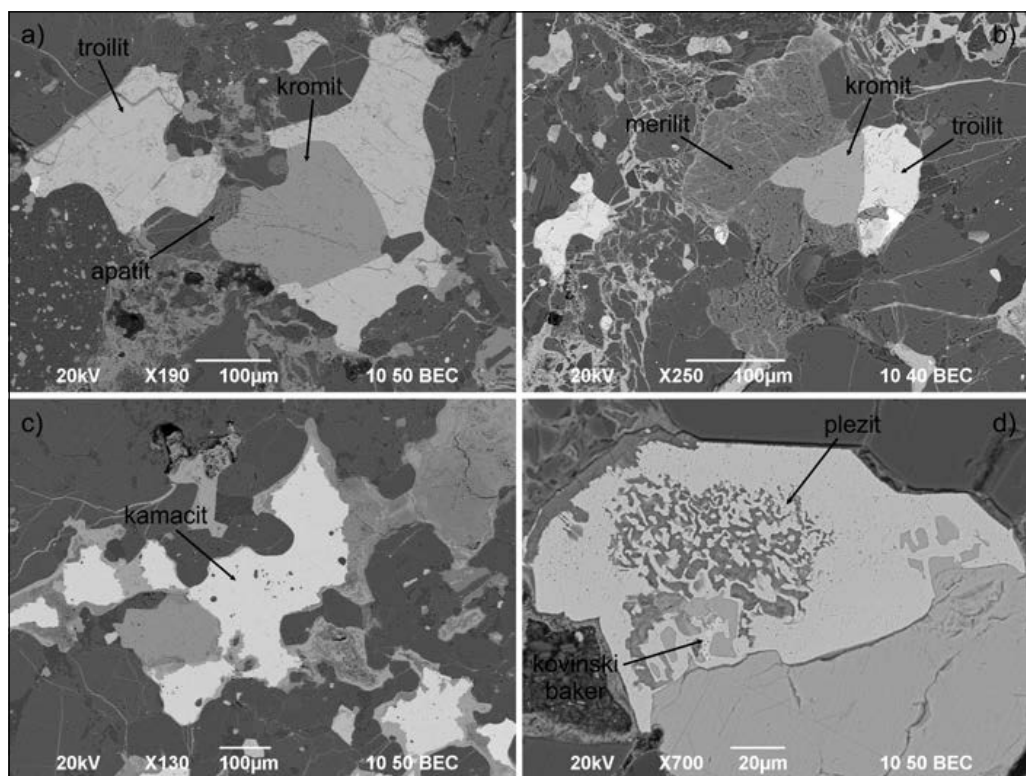
Hondrule, bogate s kromitom, so nastale kot posledica udarne metamorfoze oziroma dogodka, pri katerem se je sprostil zelo veliko energije, najverjetneje trka, zaradi česar je prišlo do taljenja zrn kromita in silikatov, ki mu je sledila hitra kristalizacija (RUBIN 2003).

Osnove v meteoritu, ki zapolnjuje prostore med hondrulami, je okrog 15 %. Večinoma je brečizirana in prepletena z udarnimi žilami. Sestavljajo jo steklo in mikrokristalni silikatni minerali, kot so olivin, pirokseni in plagioklazi (sl. 119).

Vseh nesilikatnih mineralov (troilit, železovo-nikljeve zlitine, kromit in fosfati) je skupaj manj kot 20 %.

Mineralna sestava

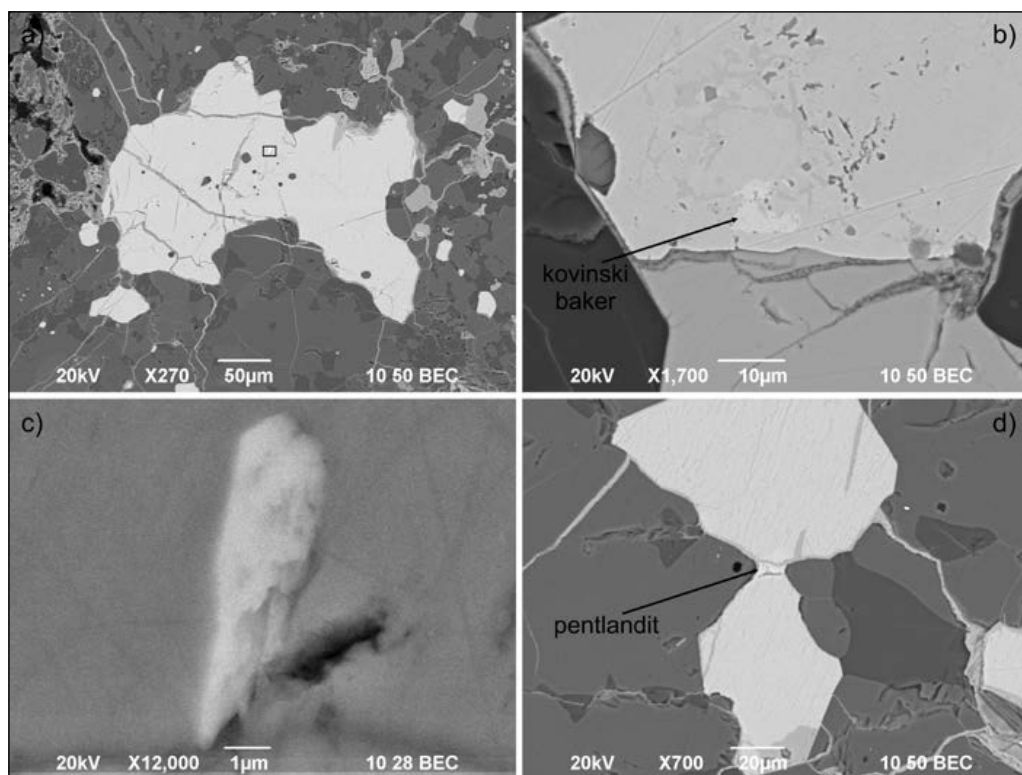
Najpogostejši mineral v meteoritu Jezersko je olivin z večjim deležem forsterita (magnezi-jevega silikata) in manjšim deležem fajalita (železovega silikata), ki je tako v osnovi meteorita



Slika 122. SEM-posnetki akcesornih mineralov v meteoritu Jezersko. Fosfati so zastopani s klorapatitom (a) in merilitom (b) v združbi s kromitom in troilitom (a, b); kamacit se pojavlja v osnovi meteorita (c), v conarnem taenitu pa so tudi večja polja plezita (d), ki na meji s troilitom vsebujejo kovinski baker. SEM-posnetki: Miloš Miler

Figure 122. SEM shots of accessory minerals in the Jezersko meteorite. Phosphates are represented by chlorapatite (a) and merillite (b) in community with chromite and troilite (a, b); kamacite occurs in the basis of the meteorite (c), while in zonal taenite larger fields of plessite can be seen as well (d), which on the border with troilite contain metal copper. SEM shots: Miloš Miler

kot tudi v hondrulah (MILER et al. 2014). Med pirokseni prevladujejo nizko kalcijevi pirokseni (predvsem enstatit in v manjši meri klintoenstatit), medtem ko so kalcijevi pirokseni (večinoma diopsid) predvsem v porfirskih in lamelarnih olivinovo-piroksenovih hondrulah. Na podlagi izračunanih razmerij med železovim oksidom in manganovim oksidom v olivinu, nizko kalcijevih in kalcijevih piroksenih so pokazala ujemanje z razmerji, tipičnimi za hondrite z visoko vsebnostjo železa oziroma H hondrite (BUNCH & WITKE 2012). Plagioklazi s sestavo med albitom in oligoklazom so večinoma v osnovi hondrul, zapolnjujejo pa tudi praznine med olivinom in piroksenom v osnovi meteorita. Fosfati so zastopani s klorapatitom (sl. 122 a) in merilitom (sl. 122 b), ki tvorita velika in močno razpokana polja v združbi s kromitom in troilitom v osnovi meteorita in v osnovi hondrul. Kromit je tako v osnovi meteorita, kjer nastopa v obliki večjih zrn v združbi s conarnim taenitom, troilitom in merilitom ter manjših vključkov v piroksenu, kot tudi v nekaterih lamelarnih in porfirskih olivinovo-piroksenovih hondrulah. V hondrulah je kromit večinoma v plagioklazni osnovi (sl. 121 c, e, f), tudi v nekaterih kristalih olivina in piroksena, v obliki orientiranih snopov igličastih kristalov pa tudi posameznih idiomorfni



Slika 123. SEM-posnetki akcesornih mineralov v meteoritu Jezersko. Nepravilna zrna troilita v osnovi meteorita (a); kovinski baker v conarnem taenitu na meji s troilitom (b); letvast vključek molibdenita (c) v troilitu iz slike (a); idiomorfen vključek pentlandita na meji med dvema zrnoma troilita (d). SEM-posnetki: Miloš Miler

Figure 123. SEM shots of accessory minerals in the Jezersko meteorite. The irregular grains of troilite in the base of the meteorite (a); metal copper in zonal taenite on the border with troilite (b); bar-like inclusion of molybdenite (c) in troilite from the picture (a); idiomorphic inclusion of pentlandite on the border between two grains of troilite (d). SEM shots: Miloš Miler

kristalov. Kemična sestava kromita v meteoritu Jezersko se dobro ujema s sestavo kromita v H hondritih petrološkega tipa 4 (WLOTZKA 2005). Kamacit, železovo-nikljeva zlitina z nizko vsebnostjo niklja, se večinoma pojavlja v obliki velikih nepravilnih polj v osnovi meteorita (sl. 122 c). Taenit, železovo-nikljeva zlitina z visoko vsebnostjo niklja, tvori velika polja nepravilnih oblik v osnovi meteorita, ki vsebujejo vključke troilita in silikatov, v hondrulah pa je taenit kroglastih oblik. Ponekod so v taenitu večja nepravilna polja plezita (sl. 122 d). Troilit se pojavlja v obliki nepravilnih polj in razpokanih zrn predvsem v osnovi meteorita (sl. 123 a) in kot vključki v kamacitu in taenitu, ki so obdani s conarnim taenitom in plezitom (sl. 122 d). Conarni taenit, ki obdaja troilit, je nastal po nastanku troilita kot posledica difuzije niklja iz troilita (SCOTT et al. 2010). V hondrulah so zrna troilita majhna in nastopajo v plagioklazni osnovi hondrul ali med kristali olivina (MILER et al. 2014).

V troilitu pa tudi na mejah med posameznimi zrni troilita in na mejah med troilitom in taenitom smo našli sulfidne in kovinske minerale, ki so zelo redki v meteoritih iz skupine navadnih hondritov. Ti minerali so kovinski baker, molibdenov sulfid molibdenit in železovo-nikljev sulfid pentlandit (MILER et al. 2014). Kovinski baker se pojavlja v obliki podolgovatih izločin in v conarnem taenitu na mejah s troilitom (sl. 123 b). Te izločnine so najverjetneje nastale z izločanjem kovinskega bakra iz taenita kot posledica taljenja združb troilita in železovo-nikljevih zlitin zaradi visokih temperatur pri udarni metamorfozi (RUBIN 2004; TOMKINS 2009). Pri molibdenitu gre za prvo najdbo tega minerala v navadnih hondritih (MILER et al. 2014), saj so ga doslej našli le v ogljikovih hondritih. V meteoritu Jezersko nastopa kot vključek letvaste oblike v velikem polju troilita (sl. 123 a, c). Molibdenit je najverjetneje nastal s pretvorbo metastabilnega molibdenovega (III) sulfida Mo_2S_3 , ki izvira iz meglice in je predstavljal kristalizacijska jedra za nastanek metastabilnega troilita (FUCHS & BLANDER 1977) okrog Mo_2S_3 . Ko se je temperatura dovolj znižala, se je Mo_2S_3 zaradi reakcije s troilitom pretvoril v molibdenit. Pentlandit nastopa kot idiomorfen vključek na meji med dvema zrnoma troilita (sl. 123 d). Nastanek pentlandita v navadnih hondritih je zelo verjetno podoben nastanku pentlandita v ogljikovih hondritih (LAURETTA et al. 1997) in ga lahko razložimo tako, da je v meglici najprej prišlo do reakcije površine železovo-nikljevih zlitin (talín) z žveplom v plinih, obstoječih v meglici, pri čemer je nastala plast troilita. Sledila je difuzija železa in niklja iz notranjosti železovo-nikljevih zlitin (talín) prek plasti troilita do stika med troilitom in z žveplom bogatimi plini v meglici. Ker je difuzija niklja hitrejša od difuzije železa, se je nikelj na zunanji površini troilita obogatil do te mere, da je nastal stabilen pentlandit (MILER et al. 2014).

Udarne metamorfoza

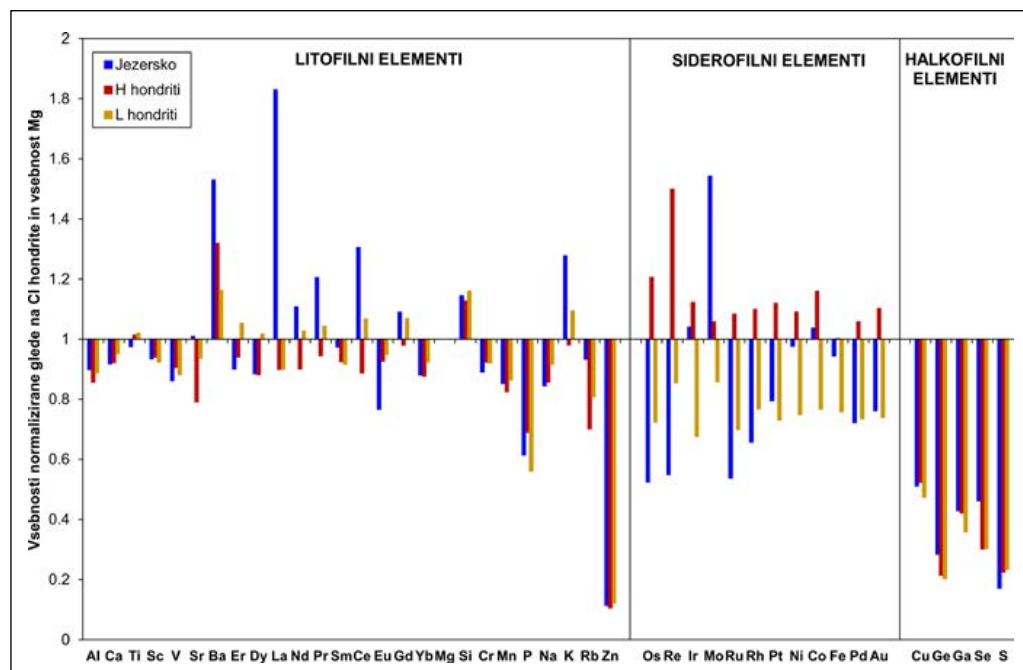
Stopnja udarne metamorfoze nam pove, kakšnim fizičnim dogodkom, predvsem trkom z drugimi večjimi telesi, je bilo izpostavljeno matično telo meteorita v času od njegovega nastanka do končnega razpada na manjša telesa (meteoroidi). Stopnjo udarne metamorfoze lahko ocenimo glede na strukturo meteorita pa tudi mehanske, fazne in morfološke spremembe mineralov v meteoritu. Močno razpokane in razdrobljene hondrule v meteoritu Jezersko ter brečizirana osnova meteorita, preprejena z udarnimi žilami in žepi oksidirane kovine, kažejo na šibko stopnjo udarne metamorfoze (S3) (MILER et al. 2014). To potrjujejo tudi kromitno-plagioklazne združbe, nepravilni vključki troilita v železovo-nikljevih zlitinah, žile, zapolnjene z železovo-nikljevimi zlitinami, in kovinski baker, ki po BENNETT in MCSWEENU (1996) ter RUBINU (2004) veljajo za kazalce udarne metamorfoze. Spremembe manjšega števila zrn minerala olivina, kot so valovito potemnevanje in izrazite planarne razpoke, pa kažejo na zelo šibko stopnjo udarne metamorfoze (S2) po lestvici stopnje udarne metamorfoze (STÖFFLER et al. 1991).

Stopnja preperelosti

Točna zemeljska starost meteorita Jezersko, oziroma čas njegovega padca na Zemljo, ni znana. Je pa stopnja preperelosti dober kazalec izpostavljenosti atmosferskim pogojem. Procesi preperevanja so delno spremenili meteorit Jezersko. Predvsem gre za oksidacijo žgalne skorje, ki se kaže v spremembi barve iz rjavkaste v oranžno rumeno, ter pojavljanje žil sekundarnih železovih oksidov in hidroksidov v notranjosti meteorita, ki nadomeščajo okrog 30 % železovo-nikljevih zlitin. Vsi ti znaki kažejo, da je meteorit Jezersko zmerno preperel s stopnjo preperevanja W2 (WLOTZKA 1993) in je bil najverjetneje odkrit kako leto po njegovem padcu na Zemljo (MILER et al. 2014).

Kemijska sestava

Podobno kot pri železovih meteoritih je tudi pri kamnitih meteoritih kemijska sestava pomembna za določitev meteorita. Normalizacija vsebnosti elementov v meteoritu Jezersko glede na vsebnost magnezija in sestavo prvobitnih ogljikovih hondritov iz skupine CI je pokazala, da se litofilni elementi v meteoritu Jezersko večinoma ujemajo s povprečno sestavo H hondritov z izjemo večine lantanidov, katerih vsebnosti so precej višje od vsebnosti v H in L hondritih (sl. 124). Tudi vsebnosti siderofilnih elementov se nekoliko razlikujejo od sestave H hondritov,



Slika 124. Primerjava vsebnosti litofilnih, siderofilnih in halkofilnih elementov, normaliziranih glede na vsebnost magnezija in sestavo CI hondritov v meteoritu Jezersko, H hondritih in L hondritih.

Figure 124. A comparison of the content of lithophilic, siderophilic and chalcophilic elements, normalized in consideration of the magnesium content and structure of CI chondrites in the Jezersko meteorite, H chondrites and L chondrites.

medtem ko so vsebnosti halkofilnih elementov večinoma podobne kot v H hondritih (MILER et al. 2014). Vsebnost molibdena je precej višja od vsebnosti v H in L hondritih, kar nakazuje tudi zastopanost minerala molibdenita. Vsebnosti elementov renija, rutenija, rodija in osmija pa so precej nižje od vsebnosti v H in L hondritih, kar bi lahko nakazovalo, da je bilo matično telo meteorita Jezersko oksidirano, saj so ti elementi dovzетnejši za oksidacijo in bolj mobilni (MILER et al. 2014). Da je bilo matično telo oksidirano, kažejo tudi nizka razmerja med siderofilnimi in litofilnimi elementi ter nizka razmerja med refraktornimi in lahko hlapnimi siderofilnimi elementi (npr. razmerja med iridijem in galijem ter platino in galijem). Odkloni v vsebnostih kemijskih elementov v meteoritu Jezersko od povprečne kemične sestave H hondritov bi lahko bili posledica nehomogenosti v matičnem telesu (MILER et al. 2014).

Klasifikacija meteorita Jezersko

Podrobnejša razvrstitev kamnitih meteoritov hondritov temelji na različnih klasifikacijskih kriterijih, ki odsevajo lastnosti meteorita in njegovega matičnega telesa ter procese, ki jim je bil izpostavljen od nastanka do padca na Zemljo. Ti kriteriji so mineralna in kemična sestava, kemična sestava mineralov, mehanske spremembe mineralov in struktura meteorita.

Glede na mineralno in modalno sestavo ter kemično sestavo glavnih mineralov olivina in piroksenov sodi meteorit Jezersko med hondrite iz skupine H hondritov. To potrjujejo tudi vsebnosti litofilnih kemičnih elementov. Glede na delno prekristaljeno strukturo z dobro definiranimi hondrulami in zelo homogeno sestavo olivina in piroksenov v hondrulah in osnovi meteorita sklepamo, da je bil meteorit Jezersko zmerno termično metamorfoziran (petrolski tip 4). Količina nizko kalcijevih klinopiroksenov in sestava kromita to potrjujeta (MILER et al. 2014).

Redka zrna olivina z valovitim potemnevanjem in planarnimi razpokami kažejo, da je matično telo meteorita doživelo zelo šibko stopnjo udarne metamorfoze (S2). Nekateri drugi znaki, kot so brečizirana osnova meteorita, močno razpokane hondrule, veliki žepi železovo-nikljevih zlitin, kromitno-plagioklazne združbe in conarno spreminjanje vsebnosti niklja v zrnih taenita, pa nakazujejo šibko stopnjo udarne metamorfoze (S3). Meteorit Jezersko torej uvrščamo med H4 S2(3) navadne hondrite (MILER et al. 2014).

Kljub temu pa se nekatere fizikalne in kemične lastnosti meteorita Jezersko, kot sta velik premer hondrul in visoke vsebnosti lantanidov, bolje ujemajo z meteoriti iz skupine L hondritov.

Termična zgodovina meteorita Jezersko

Termična zgodovina meteorita nam omogoča razvozlati zgodovino nastanka matičnega telesa. Pri tem nam pomagajo tako imenovani geotermometri. To so združbe oziroma pari mineralov v meteoritu, ki so nastali pri določenih pogojih (temperaturi in tlaku) in so v medsebojnem kemičnem ravnotežju. To pomeni, da je v določenem času prišlo do izmenjave elementov med sosednjima mineraloma v združbi in sprememb v njuni kemični sestavi, ki je odvisna od temperature in tlaka nastanka mineralov. Na podlagi kemične sestave mineralov v meteoritu in razmerja med kemičnimi elementi v mineralnih združbah je torej možno oceniti temperaturo kristalizacije mineralov oziroma termično zgodovino meteorita in matičnega telesa.

Pri določanju termične zgodovine meteorita Jezersko smo si pomagali z različnimi geotermometri, kot so ortopiroksen/klinopiroksen (GANGULY et al. 2013), olivin/kromit (WLOTZKA 2005) in olivin/ortopiroksen (REISNER ET AL. 2006), in hitrostjo ohlajanja, ocenjeno iz sestave taenita (WILLIS & GOLDSTEIN 1981). Z geotermometrom ortopiroksen/klinopiroksen smo določili

najvišjo temperaturo metamorfoze, to je med 784 °C in 92 2°C (povprečno 854 °C) (MILER et al. 2014). Na podlagi kemične sestave mineralov olivina in kromita v združbi olivin/kromit smo določili povprečno temperaturo uravnovešenja meteorita Jezersko, in sicer med 737 °C in 787 °C. Iz sestave olivina in ortopiroksena (združba olivin/ortopiroksen) pa smo ocenili končno temperaturo uravnovešenja, to je okrog 750 °C. Hitrost ohlajanja meteorita Jezersko v temperaturnem območju med 600 °C in 450 °C smo ocenili iz korelacije med vsebnostjo Ni v sredini zrn taenita in polovično širino zrn taenita (MILER et al. 2014). Ocenjena hitrost ohlajanja znaša 10 °C/mio let, kar je na spodnji meji razpona, značilnega za uravnovežene H hondrite (SCOTT et al 2013, 2014).

Iz homogene sestave olivina in piroksenov ter izračunane visoke temperature metamorfoze lahko razberemo, da je bil meteorit Jezersko lociran razmeroma globoko v matičnem telesu, kjer je pri temperaturi okrog 850 °C doživel termično metamorfozo, ki je uravnovežila kemično sestavo silikatov v njem. Homogena sestava piroksenov oziroma izostanek conarnosti v piroksenih nakazuje, da je prišlo po uravnoveženju do relativno hitrega ohlajanja v temperaturnem območju nad 700 °C. Hitro ohlajanje je najverjetneje posledica razpada matičnega telesa zaradi močnega trka z drugim telesom. Nizka hitrost ohlajanja v temperaturnem območju pod 600 °C, ocenjena iz sestave taenita, kaže, da je kmalu po razpadu matičnega telesa prišlo do ponovnega združevanja materiala v novo telo, preden se je material ohladil na 600 °C, ter da je material, iz katerega je nastal meteorit Jezersko, ležal globlje v novo nastalem telesu (MILER et al. 2014).

Domnevni meteoriti in najpogostejše zamenjave

Meteoriti imajo nekaj čarobnega v sebi. Na Zemljo so prišli od zelo daleč, iz vesolja, in se vse od svojega nastanka niso kaj dosti spremenili. Po videzu jih lahko zamenjamo z nekaterimi minerali in rudami. Zgodilo se je celo, da so prebivalci določenega kraja videli padanje meteorja v obliki bleščečega utrinka in kasneje na predvidenem mestu tudi našli kamen, ki je bil drugačen od drugih in po videzu podoben meteoritu. Najditelji domnevnih meteoritov redno prinašajo vzorce v ustanove, da bi strokovnjaki potrdili njihove domneve. Med vzorci se znajdejo premogi, steklo, žlindra, železove rude in še marsikaj. Nekatero znamenite domnevne »meteorite« in najpogostejše zamenjave predstavljamo v nadaljevanju.

Ajdovski "meteorit"

Po besednem izročilu naj bi bili prebivalci Ajdovščine maja leta 1876 opazovali padanje meteorja. Najdene vzorce so prinesli Antonu Bianchiju, manj znanemu slovenskemu naravoslovcu, ki si je v Ajdovščini uredil zbirko mineralov, fosilov in kamnin. Med prvo in drugo svetovno vojno je približno polovico primerkov podaril Prirodoslovnemu muzeju Slovenije v Ljubljani. Zbirka je po drugi svetovni vojni postala del starejših geoloških zbirk, ki so se hranile v depozu. Kar nekaj desetletij je veljalo, da ima Bianchijeva zbirka vzorce meteorita, ki naj bi bil padel leta 1876 na Fužine (Fusine) v okolici Ajdovščine (Ajdussina) (FEIGL 1961).

V zbirki so res kosci z inventarnima lističema 12 in 22 (sl. 125), in na enem od njiju je celo naveden mesec padca: maj 1876. Že bežen pregled vzorcev pa nam razkrije, da ne gre za meteorite, ampak za žlindro. Vzorci so namreč zelo lahki, brez žgalne skorje in niso magnetni. Tudi samo ime Fusine nam razkriva mesto najdbe, ki je več kot očitno povezano s taljenjem rude (sl. 126) (KRIŽNAR & JERŠEK 2012). Seveda pa ostaja vprašanje meteorita še vedno nerešeno. Domačini naj bi bili tedaj opazovali padanje meteorja, a ga do danes v obliki meteorita še niso našli. Nas čaka kje v okolici Ajdovščine?



Slika 125. Ajdovski »meteorit« z originalnima evidenčnima listkoma Bianchijske zbirke. Hrani Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 125. Ajdovščina »meteorite« with two original labels of Bianchi's collection. Held by the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 126. Ajdovski »meteorit« iz leta 1876 je žlindra. Zbirka A. Bianchi, hrani Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 126. Ajdovščina »meteorite« from 1876 is in fact a piece of scoria. A. Bianchi's collection, held by the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

"Meteorit" s Kobilnika

Okoli leta 1885 naj bi bili pastirji s kmetije Mažarevc doživeli prav poseben dogodek. Ob svetlobnem blisku in močnem udarcu naj bi se jim bila prikazala devica Marija. Vse do prve svetovne vojne so zato organizirali romanja vernikov na Kobilnik. Več tisočglave množice vernikov so romale celo iz Furlanije. Na mestu prikazovanja device Marije stoji litoželezni križ, ki so ga pripeljali s samega Dunaja. Gospod Tilio iz Tolmina je bil zbiralec predmetov iz prve svetovne vojne in je imel detektor kovin. V bližini predvidenega padca meteorita je poleg številnih drugih kovinskih predmetov našel tudi delno zaobljeno in rahlo luknjičavo kovinsko gmoto. Takoj so jo vzeli za meteorit. Analizirali naj bi jo bili na Institutu Jožef Stefan in v nekem muzeju v Frankfurtu, vendar dokazov o teh dveh preiskavah ni. Uroš Herlec je imel priložnost sodelovati s sinom gospoda Tilia, ki je še imel shranjeno rezino tega domnevnega meteorita. Takoj je ugotovil, da je vzorec kovinski baker (sl. 127) s prevleko zelenega volka oziroma malahita. Na izdelek izpod človeških rok je kazala tudi delno ukrivljena oblika, ki je kazala, da je bil kovinski predmet ulit v posodo (JERŠEK & HERLEC 2006).



Slika 127. »Meteorit« s Kobilnika nad sotočjem Tolminke in Zadlaščice je polizdelek iz kovinskega bakra in zelo verjetno izvira iz bronaste dobe. Foto: Uroš Herlec

Figure 127. The Kobilnik »meteorite« from above the confluence of the Tolminka and Zadlaščica Rivers is a semi-finished product from metal copper and most probably originates from the Bronze Age. Photo: Uroš Herlec

»Meteorit« iz zgornje Tuhinjske doline

Leta 1923 so nad Kamnikom opazovali padanje meteorja. Gospod Ivan Tomc, ki je pojav **videl** iz astro-observatorija v Ljubljani, je domačine prosil, naj ga iščejo na južnih pobočjih zgornje Tuhinjske doline. Domačini kmetje so dobro poznali svoje posesti in kmalu so gospodu Tomcu prinesli dva domnevna meteorita. Enega so mu kmalu ukradli, večjega pa je skoraj dvajset let za domnevnim padcem, natančno 16. februarja 1946, prinesel v Prirodoslovni muzej Slovenije. Leta 2005 je bil domnevni meteorit pri reinventarizaciji starih mineraloških zbirk Prirodoslovnega muzeja Slovenije »ponovno odkrit« (JERŠEK & HERLEC 2006). Toda kmalu se je izkazalo, da gre za limonitiziran skupek piritovih kristalov, ki s svojim izvorom v vesolju nima prav nič skupnega (sl. 128). Ostal pa je zapis, ki priča o tem, kako svetel je bil utrinek. Zelo zanimivo je tudi to, da so kmetje domačini našli kamen, ki je bil po videzu drugačen od kamnin v zgornji Tuhinjski dolini. Žal nikoli ne bomo izvedeli, kakšen je bil tisti drugi kos domnevnega meteorita, ki je bil ukraden iz pisarne gospoda Tomca. Morda pa nas tisti čisto pravi meteorit še čaka v zgornji Tuhinjski dolini.



Slika 128. Domnevni meteorit iz zgornje Tuhinjske doline je v resnici limonitiziran skupek piritovih kristalov. Hrani Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 128. The alleged meteorite from the Upper Tuhinj Valley is in fact a cluster of pyrite crystals. Held by the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek

"Meteorit" iz Trbovelj

Leta 1947 so pri drobljenju prikamnine iz dnevnega kopa premoga v Trbovljah našli domneven meteorit. Celoten primerek je predtem najverjetneje razpadel na dva manjša dela (sl. 129). Oba dela te najdbe sta shranjena v mineraloški zbirki Rudnika Trbovlje, katere skrbnica, geologinja Branka Bravec, je del najdbe odstopila raziskovalcem Geološkega zavoda Slovenije za raziskavo (MILER et al. 2011). Na podlagi makroskopskih značilnosti in fizikalnih lastnosti, kot so zunanja oblika, magnetnost in gostota, ter reakcije na razredčeno HCl, je bilo ugotovljeno, da primerek ni meteorit, ampak konkrecija, ki vsebuje kalcit. SEM/EDS-analiza je pokazala, da je preiskani material po kemijski in mineralni sestavi homogen. Sestavljajo ga predvsem kalcit, sadra in železov sulfid. Kalcit je prevladujoči mineral, ki nastopa v obliki nepravilnih zrn. Železov sulfid nastopa v obliki pirita (ali markazita), ki se pojavlja kot tanke prevleke okrog zrn kalcita, sadra pa se pojavlja v obliki tankih prehodnih plasti med zrni kalcita in skorjami pirita ali markazita kot posledica reakcije med produkti oksidacije železovega sulfida in kalcitom. Vezivo med zrni je večinoma sestavljeno iz zelo drobnnozrnate mešanice kalcita, železovega sulfida, sadre in produktov oksidacije železovega sulfida, ponekod pa ga nadomešča čista sadra. Sestava konkrecije kaže, da gre za piritno-markazitno karbonatno konkrecijo, morda premogovo kroglo, ki je najverjetneje nastala z mineralizacijo znotraj šote v zgodnji fazi nastanka premoga v trboveljski formaciji (MILER et al. 2011).



Slika 129. Oba dela domnevnega meteorita iz Trbovelj. Raziskan je bil manjši del primerka (dolžina črtice je 1 cm). Mineraloška zbirka Rudnika Trbovlje. Foto: Mateja Gosar

Figure 129. Both parts of the alleged Trbovlje meteorite. Only the smaller part of the specimen was studied (length of line is 1 cm). Mineralogical collection of the Trbovlje Mine. Photo: Mateja Gosar

"Meteorit" iz Novega sveta pri Hotedrščici

Leta 1999 je učiteljica Slavka Sark prinesla v Prirodoslovni muzej Slovenije nenavaden kamen, ki ga je bila dobila od svojega učenca (sl. 130, 131). Njemu ga je dal njegov oče, ki je kamen našel med kopanjem vodnjaka leta 1986 v Novem svetu pri Hotedrščici. Štirje fragmenti istega vzorca so bili skupaj veliki približno 20 x 15 cm. Za svojo velikost je bil precej težak, na temno rjavi površini je imel polno vdolbinic, na odlomljenem delu se je srebrnkasto belo bleščal in je imel kovinski sijaj. Kompasova igla je v njegovi bližini povsem zanihala. Veselje ob najdbi tako prepričljivega vzorca je bilo veliko. Analize kemijske sestave, ki so jo opravili na Institutu Jožef Stefan pod vodstvom dr. Petra Kumpa in dr. Marjana Nečemra, so razkrile, da gre za vzorec z zelo veliko kroma in železa. Krom pa je kemijska prvina, ki je v takšnih količinah v meteoritih ni. Da gre za kromovo-železovo rudo, je kasneje potrdil tudi prof. dr. Jakob Lamut z Naravoslovnotehniške fakultete (JERŠEK & HERLEC 2006).



Sliki 130 in 131. Domnevni meteorit iz Novega sveta pri Hotedrščici je magnetna kromovo-železova ruda. Ruda je zelo votlikava, močno magnetna, njena notranjost pa srebrnkasto bela s kovinskim sijajem. Foto: Miha Jeršek

Figures 130 and 131. The alleged meteorite from Novi svet near Hotedrščica is a magnetic chrome-iron ore. It is full of hollows and highly magnetic. Its interior is silvery white with metal shine. Photo: Miha Jeršek

Feromangan kot imitacija meteorita

Kos domnevnega meteorita je našel Sandi Stopar na cesti 2. etaže v kamnolomu Brezovica v Pečeh pri Kropi na Gorenjskem. Površina domnevnega meteorita je bila temno rjava (sl. 132), na obrušenem delu pa se je pokazala bleščeča in kovinska notranjost. Debelina temno rjave skorje je bila na odlomljenem delu 0,2 mm. Kompasova igla je lepo zanihala. Vzorec je bil velik 9 x 7 x 7 cm in je imel maso 1608,78 grama. Njegova gostota je bila 6,8 grama/cm³, kar se ujema z gostoto nekaterih vrst kovinskih meteoritov. Nenavadna je bila zunanja oblikovanost domnevnega meteorita, saj je v osnovi kocka, presekana s ploskvami oktaedra. Na prvi pogled je spominjala na videz orientiranih meteoritov. Z rentgensko fluorescenčno analizo se je razkrila njegova kemijska sestava. Okoli 70 % je mangana, preostalo pa je železo, kar je značilno za železovo zlitino feromangan. V tem primeru se je feromangan izkazal kot zelo dobra imitacija kovinskega meteorita. Zelo verjetno izvira iz jeseniške železarne (JERŠEK & MILIĆ 2012).



Slika 132. Feromangan iz jeseniške železarne je izvrstna imitacija kovinskega meteorita. Foto: Miha Jeršek

Figure 132. This ferromanganese from the Jesenice Ironworks is a perfect imitation of metal meteorite. Photo: Miha Jeršek

Žlindra

Rudni minerali, iz katerih s taljenjem pridobivajo železo, baker, svinec in druge kovine, so pri taljenju izpostavljeni visokim temperaturam. Nečistoče se kot primesi ločijo od staljene kovine in odstranijo. To je žlindra. Žlindra je torej večinoma stranski produkt taljenja kovinskih rudnih mineralov. Navadno je sestavljena iz kovin oziroma kovinskih oksidov, redkeje sulfidnih mineralov in steklaste faze iz silicijevega oksida. V Sloveniji je precej žlinder (sl. 133), ki vsebuje železo. Zaradi tega je na površini temno rjava, notranjost pa je svetla. Običajno je magnetna in zato kompasova igla lepo zaniha. Če je v žlindri precej steklaste faze, bomo zlahka prepoznali vključke plinskih mehurčkov. Teh meteoriti nimajo.



Slika 133. V okolici nekdanjih in današnjih obratov za predelavo kovin lahko najdemo ostanke žlinder. Primerek na fotografiji je iz muzejskega dvorišča na Jesenicah. Kroglaste vdolbinice bi nas lahko zavedle ali spomnile na hondrule. Foto: Miha Jeršek

Figure 133. In the surrounding area of the former and still functioning metal processing plants, remains of scoriae can be found. The specimen on the photo is from the Museum Yard at Jesenice. The spherical pits could mislead us or remind us of chondrules. Photo: Miha Jeršek

"Meteoriti" s Pohorja

Pohorje je v geološkem smislu precej drugačno od preostalega dela Slovenije. Sestavljajo ga predvsem magmatske in metamorfne kamnine. Kljub gosti poraščenosti pobočij, pa se občasno najdejo tudi takšni »kamni«, ki imajo nekatere lastnosti enake lastnostim meteoritov. Na Pohorju so na več krajih kopali železovo rudo. Sestavlja jo predvsem mineral magnetit, ki je naravno magneten (sl. 134). Na površini oksidira in ima zato svetlo do temno rjavo barvo. Kosi magnetitne rude s Pohorja so običajno ostrorobi, saj gre za odlomljene razkolke sicer dokaj masivne rude. Zaradi tega njihova oblika niti malo ne spominja na morfološke značilnosti meteoritov. Pravzaprav nas magnetitna ruda s Pohorja zavaja samo zaradi svoje teže in magnetnosti.



Slika 134. Magnetitna ruda s Pohorja je zaradi svoje teže in naravne magnetnosti večkrat zamenjana z železovo nikljevimi meteoriti. Foto: Miha Jeršek

Figure 134. Owing to its weight and natural magnetism, the magnetite ore from Pohorje is quite often confused with iron nickel meteorites. Photo: Miha Jeršek

Železove limonitne rude in meteoriti

Skorjaste limonitne rude (sl. 135) in bobovci (sl. 136) so verjetno najpogostejše zamenjave z meteoriti v Sloveniji (JERŠEK 2008). Običajno so temno rjavi, njihova površina pa gladka in nekoliko svetleča. Dajejo občutek, da so gosti, težki – če jih primerjamo z drugimi kamninami, na primer z apnenci. Toda oblika in temno rjava barva še nista dovolj, da bi kos kamna lahko postal meteorit. Limonitna skorjasta ruda in bobovci nimajo svetle notranjosti in tudi niso magnetni. Limonit kot zmes železovih oksidov in hidroksidov je lahko tudi masiven ali pa tvori psevdomorfozo po kristalih pirita. Njegovi skupki so lahko tudi precej veliki, vse tja do metrskih dimenzij. Včasih imajo na površini nahukle mavrične barve (sl. 137), ki so posledica oksidacije železovih mineralov. Limonitne rude so v Sloveniji zelo pogoste. Najdemo jih skoraj povsod; na Gorenjskem, Dolenjskem, Primorskem, Notranjskem, na Pohorju in še kje. Zaradi tega ni presenetljivo, da so tako pogosti tudi kot domnevni »meteoriti«.



Slika 135. Skorjasta limonitna ruda. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Miha Jeršek

Figure 135. Crusty limonite ore. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Miha Jeršek



Slika 136. Bobovci so vrsta limonitne rude. Zbirka Prirodoslovni muzej Slovenije. Foto: Ciril Mlinar Cic

Figure 136. Ironstones are type of limonite ore. Collection of the Slovenian Museum of Natural History. Photo: Ciril Mlinar Cic



Slika 137. Nahukle barve na limonitu so posledica preperevanja železove rude. Poleg tega meteoriti niso tako luknjičavi kot primerek na sliki. Foto: Miha Jeršek

Figure 137. Iridescent colours on the limonite are the result of iron ore weathering. Furthermore, meteorites are not as porous as the specimen of the picture. Photo: Miha Jeršek

Nočno bobnenje med Šoštanjem in Mozirjem ter "meteorit" z Uršlje gore

Ljubitelj mineralov gospod Edo Kladnik iz Ljubljane je od starejše gospe izvedel, da je aprila leta 2011, približno ob 4.00 uri zjutraj, zaslišala močno bobnenje oziroma pok, ki so ga slišali krajani med Šoštanjem in Mozirjem. Njen sin, ki je prejšnji dan cepil češnje, je naslednjega dne na ogledu proti gozdu opazil na sveže narita tla in to povezal s pričevanjem njegove mame o nočnem dogodku. Gospod Kladnik je domnevno mesto padca obiskal, vendar ni našel nobenega kamnitega kosa. Izvedel pa je, da je teren raziskoval tudi neki iskalec meteoritov iz Nemčije.

Če pri tej zgodbi ni bilo nobenega materialnega dokaza, pa je bilo drugače z vzorcem domnevnega meteorita, ki ga je gospodu Kladniku prinesel znanec z izleta z Uršlje gore. Ta je dejal, da je bil med vsemi belimi kamni ta edini temen (sl. 138). Gospod Kladnik ga je prinesel v Prirodoslovni muzej Slovenije, da bi preverili njegov izvor. Vzorec je raziskal Bojan Ambrožič z Institua Jožef Stefan in ugotovil, da gre za žlindro kot ostankom taljenja svinčevo cinkove rude (AMBROŽIČ 2014).



Slika 138. Žlindra z Uršlje gore, 6 x 5 x 3 cm. Foto: Miha Jeršek

Figure 138. Scoria from Uršlja gora, 6 x 5 x 3 cm. Photo: Miha Jeršek

Nenavadni "meteorit" iz okolice Škofje Loke

V Prirodoslovni muzej Slovenije so aprila 2014 prinesli nenavaden okrogel kamen s premerom približno 18 cm in rjavo, vendar nekoliko neenovito površino (sl. 139). Prvi vtis ni bil prepričljiv, saj okroglih meteoritov praviloma ni. Je bil pa kamen težak in vsekakor dovolj zanimiv za nadaljnjo raziskavo. Profesorica dr. Breda Mirtič z Oddelka za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani je hitro našla odgovor in ga posredovala Prirodoslovnemu muzeju Slovenije: To je kalup (negativni del) - model, v katerem so ulivali kovinske (železne) ulitke. Maso za tak kalup sestavljata vezivo (organsko, ki po oblikovanju kalupa otrdi – polimerizira) in agregat, ki mora biti čim bolj temperaturno obstojen. V tem primeru je bil agregat iz korunda, silicijevega karbida in predvidoma tudi nekaj kremena. Ko so naredili odlitek, je smola bolj ali manj zgorela. Tam, kjer je zgorela v celoti, je kalup svetel in v tem primeru je svetla najbolj zunanja plast, debela kakšen cm. To je tista plast, ki je bila v stiku s kovino – ulitkom. V notranjosti kalupa je bila temperatura nižja, zato smola ni popolnoma zgorela. Zaradi pomanjkanja kisika je tudi črno obarvana, agregat pa je svetel in ni videti, da bi se talil (MIRTIČ 2014).



Slika 139. Domnevni nenavadno okrogli meteorit je kalup za ulivanje železnih ulitkov. Foto: Miha Jeršek

Figure 139. The alleged unusually spherical meteorite is in fact an iron casting mould. Photo Miha Jeršek

Domnevni lunarni meteorit iz Mehike

Domačin iz Mehike je leta 2015 našel kamen (sl. 140), za katerega je posumil, da gre za meteorit. Kamen je po besedah najditelja ležal v kraterju in je tehtal 28 kg. Našel je še več podobnih kosov in jih nekaj dal prijatelju iz Slovenije, ki jih je prinesel V Prirodoslovni muzej Slovenije z domnevo, da gre za lunarni meteorit. Značilnost lunarnih meteoritov je v tem, da gre za kamnine s površja Lune in ne za običajne kamnite meteorite, na primer takšne s hondrulami. Primerki domnevnega lunarnega meteorita z Lune niso imeli ohranjene žgalne skorje in so bili zelo nepravilnih oblik. Zato brez resnih analiz ni bila mogoča opredelitev izvora vzorcev. Na Oddelku za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani so leta 2016 prevzeli vzorce v analizo (sl. 141). Profesorja dr. Matej Dolenc in dr. Uroš Herlec sta se z najditeljem in njegovim slovenskim prijateljem večkrat srečala in iz prve roke izvedela, kakšen je teren oziroma kakšne so bile okoliščine najdbe. Domnevni lunarni meteorit je bil na zunaj nekoliko preperel, v notranjosti pa enovit, temen in sestavljen iz različnih zrn. Nedvomno je bilo videti, da je kamnina magmatskega nastanka. Na osnovi petroloških analiz so ugotovili, da gre za magmatsko kamnino gabbro-norit, ki verjetno nima z izvorom na Luni nič skupnega (Božič, D. 2018). Primer je zanimiv zato, ker so vzorci prišli od nekje daleč in so najditelji prepoznavanje lunarnega meteorita zaupali slovenskim strokovnjakom. Kamnino raziskujejo naprej, saj gre za različek, ki ga v Sloveniji ni. Raziskave opravlja študent Dominik Božič pod mentorstvom izrednega profesorja dr. Mateja Dolenca.



Slika 140. Domnevni lunarni meteorit z nahajališča Puerto Angel Oaxaca v Mehiki. Zbirka najditelja.
Foto: Arhiv najditelja

Figure 140. The reputed Lunar meteorite from the site Puerto Angel Oaxaca in Mexico. The finders' collection.
Photo: The finder's archive



Slika 141. Dominik Božič, študent geologije v Ljubljani, je pod mentorstvom izrednega profesorja dr. Mateja Dolenca opravil petrološke analize. Ugotovila sta, da je domnevni meteorit z Lune magmatska kamnina gabbro-norit, ki nima nobene povezave z izvorom kamnin na Luni.
Foto: Dominik Božič

Figure 141. Under the mentorship of the Assoc Prof Dr Matej Dolenc, the geology student Dominik Božič carried out petrological analyses of the alleged Lunar meteorite. They ascertained, however, that the object under consideration was in fact a magmatic gabbro-norite rock, which had nothing to do with the origin of rocks on the Moon.
Photo: Dominik Božič

Imitacije tektitov

Tektiti so zaradi povsem steklastega videza pogosto zamenjani z umetnim steklom, včasih pa tudi z naravnim v obliki obsidiana. V Sloveniji je bilo v preteklosti precej glažut. To so kraji mesta v naravi, kjer so pridobivali steklo. Zanje je običajno značilno, da so sredi gozda in da je v bližini tudi glavna sestavina za steklo - kremen. Tako so na Pohorju našli oranžno rdečkaste steklene fragmente, pri Trebuši modrikaste, v okolici Cerknice brezbarvne z rdečimi vzorci, iz širše okolice Krškega so izkopali večji prozoren zelen del stekla. Vse najdbe takšnih in podobnih steklenih fragmentov pričajo o nekdanjih glažutah ali modernih steklarnah in jih nikakor ne moremo povezati s tektiti. Nam najbližje polje tektitov je na Češkem, vendar pa so tamkajšnji tektiti moldaviti precej drugačni od fragmentov stekla iz slovenskih glažut. Tektiti in umetno steklo imajo vse polno zračnih mehurčkov. Ti so pri tektitih praviloma razpotegnjeni, medtem ko so v umetnem steklu bolj pravilni, torej kroglasti. Poleg tega tektiti vsebujejo vključke lechatelie-rita. To je amorfna oblika silicijevega dioksida, ki je v umetnem steklu ni (JERŠEK 2018).

Zamenjav je še veliko

Med predmeti oziroma vzorci, ki so bili domnevni meteoriti, so bili tudi premogi, drobci jeklene vrtalne krone, brečasti skupki kamnin in podobno. Bili so celo primeri, ko je zbiralec mineralov in fosilov slišal, da je nekaj padlo na streho in je potem domnevni drobec meteorita celo našel v žlebu. Ne glede na to, da so nekateri vzorci res precej »vsakdanji«, pa je spodbudno, da ljudje opazujejo naravo, da svoje najdbe zaupajo strokovnjakom, saj se včasih vendarle izkaže, da je najdeni vzorec prišel na Zemljo od zelo daleč.

Zaključek

Na območju Slovenije so bili doslej najdeni in opisani štirje meteoriti. Vsak od njih ima svojo zgodbo, ki je pomembna v znanstvenem pomenu ali pa kot družbeni fenomen, saj so atraktivni in medijsko zanimivi. Astronomi in ljubiteljski astronomi vseskozi opazujejo nebo in beležijo svetleče padce meteorjev. Podatki iz vsenebnih kamer so nadvse koristni pri iskanju morebitnega meteorita, obenem pa strokovnjakom omogočajo interpretacijo meteorske poti. Pri iskanju meteoritov so koristni podatki očitni. Zato je pomembno, da si zapomnimo čim bolj natančno smer utrinka. Ko se nekaj na nebu močno zasveti, dobro opazujte, kaj se bo s svetlobno sledjo dogajalo. Včasih razpade, kar pomeni, da utegne pasti več kosov meteoritov. Ko svetlobna sled na nebu ugasne, si zabeležite, kje ste pojav opazovali, opisu dodajte kakšne znane točke iz okolice in narišite smer padanja ognjene krogle. Čas padanja se nam ob takšnih pojavih zdi zelo dolg, vendar ga vseeno poskušajte oceniti. Podatke posredujte ustreznim ustanovam, ki se bodo znale odzvati, povezati med seboj več opazovanj istega nebesnega pojava in morda boste postali ključni pri najdbi novega meteorita. Njegovo ime bo po uveljavljeni tradiciji najbližji kraj od mesta padca.

Opazovanja izjemno svetlečih utrinkov, ki jih lahko spremlja bobnenje ali pa jim sledijo najdbe meteoritov in kosov kamnin, za katere menite, da so lahko meteoriti, sporočite eni od naslednjih dveh ustanov:

Prirodoslovni muzej Slovenije
Prešernova 20
1000 Ljubljana

Geološki zavod Slovenije
Dimičeva 14
1000 Ljubljana

Zahvale

Avtorji prispevka se zahvaljujemo vsem, ki so odstopili fotografije za objavo v tem prispevku, še posebno pa dr. Franzu Brandstätterju iz dunajskega Prirodoslovnega muzeja, mag. Maji Plaskan, Marjetki Kardelj, Darku Juhantu, mag. Matiji Križnarju in Pavlu A. Florjančiču. Zahvaljujemo se tudi prof. dr. Draganu Božiču za posredovanje pri arhivskih fotografijah meteorita Avče.

Raziskave meteorita Javorje so bile opravljene v okviru raziskovalnega programa Podzemne vode in geokemija (P1-0020), ki ga financira Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS). Avtorji se zahvaljujemo dr. Hassanu Neinavaiu za koristne nasvete in tehničnemu sodelavcu GeoZS Mladenu Štumbergarju za pomoč pri izdelavi poliranega obrusa.

Del raziskav meteorita Jezersko je bil opravljen v okviru raziskovalnih programov Podzemne vode in geokemija (P1-0020) ter Mineralne surovine (P1-0025), ki ju financira Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS). Avtorji se zahvaljujemo tehničnima sodelavcema Miranu Udovču (NTF) in Mladenu Štumbergarju (GeoZS) za pomoč pri izdelavi preparatov.

Povzetek

Leta 2008 je preteklo 100 let od padca meteorita Avče v dolino Soče. To je bila priložnost, ki so jo domačini izkoristili tako za promocijo kraja kot za obuditev dogodkov pred stoletjem. Samo eno leto po močno povečanem zanimanju tako laične kot strokovne javnosti je 9. aprila malo pred 3. uro ponoči številne prebivalce avstrijske Koroške in Zgornjesavske doline predramil pok. Podatki iz vsenebnih kamer in številni očitvidci so obetali najdbo meteorita. Sreča se je namenila Jožefu Pretnarju in Bojani Krajnc, ki sta 17. maja našla prvi fragment meteorita Jesenice in ga pozneje poimenovala BOJO. Dne 21. junija 2009 sta drugi fragment našla Ralph Sporn in Martin Neuhofer, medtem ko je tretji fragment našel Danijel Repe avgusta 2009. Meteorit Jesenice spada med navadne hondrite v skupino L, po preperelosti v skupino W0/1, za katero so značilni prvi znaki preperevanja, po stopnji udarne metamorfoze v skupino S3, za katero so značilne šibke udarne spremembe, po stopnji termične metamorfoze pa ga uvrščamo v petrološki tip 6. Meteorit Jesenice je izjemen po tem, da je šele enajsti meteorit, ki so mu določili orbito, po kateri je krožil okoli Sonca.

Meteorit Javorje je tretji meteorit, ki so ga našli na območju Slovenije in je vpisan v mednarodno bazo meteoritov. Naključno ga je odkril Vladimir Štibelj 5. novembra 2009 ob širjenju gozdne ceste v bližini Javorij nad Poljansko dolino, zahodno od Škofje Loke. Meteorit je ležal v globini 65 - 70 cm v preperini klastičnih kamnin zgornjekarbonske do spodnjepermske starosti. Zaradi tega ga lahko uvrstimo med paleometeorite. Meteorit Javorje izvira iz jedra diferenciranega asteroida s premerom med 40 in 60 km, tako kot drugi železovi oktaedriti iz skupine IIIAB. Najverjetneje je nastal zgodaj v procesu kristalizacije jedra v njegovem zunanjem delu, ki se je ohlajal kar okrog 10 milijonov let, saj je bilo jedro obdano z ovojem kamnitega plašča. Pri ohlajanju jedra je iz taline železa in niklja najprej nastal z nikljem bogat mineral taenit, ki je pri nižji temperaturi postal nestabilen in je zato prekrystalil v mineral kamacit z nizko vsebnostjo niklja. Zaradi počasnega ohlajanja je kamacit tvoril skoraj 1 cm široke kristale, prostorsko urejene v obliki oktaedra, t. i. Widmanstättenove vzorce.

Meteorit Jezersko je našel planinec Božidar Jernej Malovrh že 13. septembra 1992 nedaleč od Česke koče, vendar ga ja v raziskave posredoval šele leta 2012. Zapise o nenavadnem kamnu je ohranil v planinskem dnevniku. Glede na mineralno in modalno sestavo ter kemično sestavo glavnih mineralov olivina in piroksenov sodi meteorit Jezersko med H hondrite, ki so bili zmerno termično metamorfozirani (petrološki tip 4) in šibko udarno metamorfozirani (S2(3)). Raziskave so pokazale, da je meteorit zmerno preperel s stopnjo preperevanja W2 in da je bil najverjetneje odkrit kako leto po njegovem padcu na Zemljo.

Meteoriti AVCE, JESENICE, JAVORJE in JEZERSKO so vpisani v mednarodno bazo meteoritov, ki je javno dostopna in vsem zainteresiranim omogoča vpogled v znanstveno obdelane in dokazane meteorite (<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>).

Meteoriti so postali v Sloveniji zelo popularni. K temu prispevajo tudi številne poljudne objave in razstave. Številni najditelji sporočajo ustanovam morebitne nove najdbe. Zato so v prispevku opisane tudi najpogostejše zamenjave, kot so žlindre, železove rude in steklo.

Summary

In 2008, a century had passed since the fall of the Avce meteorite into the Soča Valley. This was an opportunity for the locals to promote their valley as well as to resuscitate the events that took place 100 years ago. Only a year after the greatly increased interest by both laic and professional public, numerous inhabitants of the Austrian Carinthia and the Upper Sava Valley were awakened by a bang just before 3 o'clock in the morning on April 9th. The data from all-sky cameras and several eyewitnesses quickly raised expectations of a meteorite being found. The most fortunate were Jožef Pretnar and Bojana Krajnc who found, on May 17th, the first fragment of the Jesenice meteorite, eventually named BOJO. On June 21, 2009, the second fragment was found by Ralph Sporn and Martin Neuhofer, whereas the third fragment was discovered by Danijel Repe in August 2009. The Jesenice meteorite is an ordinary chondrite belonging to group L. In terms of its weathering it is classified into group WO/1, which is characterized by the first signs of weathering, in terms of collision metamorphism to group S3, which is characterised by weak collision changes, while in terms of thermal metamorphism it belongs to petrologic type 6. The Jesenice meteorite is exceptional for being only the eleventh meteorite, the orbit along which it travelled around the Sun was determined.

The Javorje meteorite is the third meteorite found in the territory of Slovenia and registered in the Meteoritical Bulletin Database. It was found on November 5th, 2009, by Vladimir Štibelj during widening of a forest road in the vicinity of Javorje above the Poljanska Valley, west of Škofja Loka. The meteorite lay at a depth of 65 to 70 cm in the mould of clastic rocks of the Early Carbon to Early Permian age. Hence, it could have been classified among paleometeorites. The Javorje meteorite originates from the core of a differentiated asteroid with the diameter between 40 and 60 cm, the same as other iron octahedrites from group IIIAB. It most likely sprang up early in the process of crystallization of the core in its outer part, which was cooling for no less than ten million years, considering that the core was surrounded by stony coating. During the cooling, a nickel rich mineral taenite was initially formed from melt of iron and nickel, which became unstable at lower temperature and, as a result, crystallized into mineral kamacite with low nickel content. Owing to the slow cooling, the kamacite formed 1 cm wide crystals, spatially arranged in the shape of octahedron, the so-called Widmanstätten patterns.

The Jezersko meteorite was found as early as on September 13th, 1992, by the mountaineer Božidar Jernej Malovrh close to Češka koča, but passed it on for research purposes only in 2012. He kept the records about this unusual stone in his mountain diary. Considering the mineral and modal structures as well as chemical structure of the main minerals of olivine and pyroxenes, the Jezersko meteorite was classified into H chondrites, which were moderately thermally metamorphosed (petrologic type 6) and weakly collision metamorphosed (S2(3)). The research has shown that the meteorite was moderately weathered with the rate of W2 and that it was most probably found a year after falling on Earth.

The AVCE, JESENICE, JAVORJE and JEZERSKO meteorites are registered in the Meteoritical Bulletin Database, which is accessible to the public, enabling an insight into the scientifically processed and proven meteorites (<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>).

Meteorites have become highly popular in Slovenia. This has been further contributed by numerous popular publications and exhibitions. Many finders are glad to report to different institutions on potential new finds. This is why the paper also describes the commonest confusions for meteorites, such as scoria, iron ores and glass.

Literatura:

- AMBROŽIČ, B., ŠTURM, S., JERŠEK, M., MIRTIC, B., 2012: Klasifikacija kamnitih meteoritov in hondrul - primer meteorita Jesenice = Classification of stony meteorites and chondrules - the case of meteorite Jesenice. *Geologija*, ISSN 0016-7789., 55, št. 2, 163-179.
- AMBROŽIČ, B., ŠTURM, S., JERŠEK, M., MIRTIC, B., 2013: Structure of the chondrules and the chemical composition of olivine in meteorite Jesenice = Tekstura hondrul in kemijska sestava olivina v meteoritu Jesenice. *Geologija*, ISSN 0016-7789. 56, št. 1, 19-28.
- AMBROŽIČ, B., 2014: osebna korespondenca
- ATANACKOV, J., JERŠEK, M., KAC, J., Kladnik, G., MIRTIC, B., 2010: Meteorit z Mežakle. V: KONOBELJ, T. (ur.), *Meteorit z Mežakle*. Ministrstvo RS za kulturo; Občina Jesenice; Občina Gorje, 7-14.
- ATANACKOV, J., JERŠEK, M., KAC, J., Kladnik, G., MIRTIC, B., 2010: *Slovarček izrazov*. V: Konobelj, T. (ur.), *Meteorit z Mežakle*. Ministrstvo RS za kulturo; Občina Jesenice; Občina Gorje, 55.
- BENNETT, M. E. III & H. Y. MCSWEEN JR., 1996: Shock features in iron-nickel metal and troilite of L-group ordinary chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 31: 255-264.
- BOŽIČ, D., 2008: *Meteorit iz Avč*, V: Meteorit iz Avč v dolini Soče, V: Božič, D. (ur.), *Meteorit iz Avč v dolini Soče : 1908-2008*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije; Avče: Športno-kulturno-turistično društvo , 17 – 18.
- BOŽIČ, D., 2008: *Ferdinand Martin Berwerth in meteorit iz Avč*, V: Meteorit iz Avč v dolini Soče, V: Božič, D. (ur.), *Meteorit iz Avč v dolini Soče : 1908-2008*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije; Avče: Športno-kulturno-turistično društvo , 19 – 21.
- BOŽIČ, D., 2018: *Značilnosti magmatske kamnine iz Mehike*, diplomsko delo, (v tisku)
- BOŽIČ, M., 2008: Movrnov boršt nad Dolenjim Avščakom 31. marca 1908, V: Meteorit iz Avč v dolini Soče, V: Božič, D. (ur.), *Meteorit iz Avč v dolini Soče : 1908-2008*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije; Avče: Športno-kulturno-turistično društvo , 15 – 17.
- BOŽIČ, Z., 2008: Znanstvena uporabnost časopisnih vesti, V: Meteorit iz Avč v dolini Soče, V: Božič, D. (ur.), *Meteorit iz Avč v dolini Soče : 1908-2008*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije; Avče: Športno-kulturno-turistično društvo , 12 – 15.
- BISCHOFF, A., JERŠEK, M., GRAU, T., MIRTIC, B., OTT, U., KUČERA, J., HORSTMANN, M., LAUBENSTEIN, M., HERRMANN, S., RANDA, Z., WEBER, M., HEUSSER, G., 2011: Jesenice-A new meteorite fall from Slovenia. *Meteoritics & planetary science*, ISSN 1086-9379, 2011, vol. 46, no. 6, 793-804.
- BUCHWALD, V. F., 1975: *Handbook of Iron Meteorites, I-III*. University of California Press, Berkeley, 1418 pp.
- BUCHWALD, V.F., 1975: *Handbook of iron meteorites: their history, distribution, composition and structure*. Vol. 2, Iron meteorites: Abakan-Mejillones. Berkely, Los Angeles, London: University of California Press, 589 pp.
- BUCHWALD, V. F. & R. S. CLARKE, Jr., 1989: Corrosion of Fe-Ni alloys by Cl-containing akaganeite (FeO(OH,Cl)): The Antarctic meteorite case. *American Mineralogist*, 74: 656-667.
- BUNCH, T. E. & J. H. WITKE, 2012: *Classification handbook: Ordinary chondrites*. [<http://www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/OrdChondrites.html>].
- CLARKE, R. S. Jr. & J. I. GOLDSTEIN, 1978: Schreibersite growth and its influence on the metallography of coarse-structured iron meteorites. *Smithsonian Contributions to the Earth, Sciences*, vol. 21. Smithsonian Institution Press, Washington, 79pp.
- DONALDSON, C. H., 1976: An experimental investigation of olivine morphology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 57: 187-195.

- FEIGEL, M., 1961: Meteoriti v okolici Ajdovščine. *Proteus*, 24 (1): 17-20.
- FROST, M. T., 1965: Kamacite plate width estimation in octahedrites. *Mineralogical Magazine*, 35: 640-642.
- FUCHS, L. H. & M. BLANDER, 1977: Molybdenite in calcium-aluminum-rich inclusions in the Allende meteorite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41: 1170-1175.
- GANGULY, J., M. TIRONE, S. CHAKRABORTY & K. DOMANIK, 2013: H-chondrite parent asteroid: A multistage cooling, fragmentation and re-accretion history constrained by thermometric studies, diffusion kinetic modeling and geochronological data. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 105: 206-220.
- GOLDSTEIN, J. I., E. R. D. SCOTT, & N. L. CHABOT, 2009: Iron meteorites: Crystallization, thermal history, parent bodies, and origin. *Chemie der Erde*, 69: 293-325.
- HAACK, H., K. L. RASMUSSEN & P. H. WARREN, 1990: Effects of regolith/megaregolith insulation on the cooling histories of differentiated asteroids. *Journal of Geophysical Research*, 95, 5111-5124.
- HUTCHISON, R., 2004: *Meteorites: A petrologic, chemical and isotopic synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, 520 pp.
- HAIDINGER, W., 1859: Der meteorisenfall Von Hraschina bei Agram am 26. Mai 1751, V: *Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch naturwissenschaftliche Classe*, XXXV. Band, 11, Dunaj (Vienna)
- HERLEC, U., JERŠEK, M., 2009: *Nastanek in značilnosti planeta Zemlja* : v: JERŠEK, M. (ur.), *Evolucija Zemlje in geološke značilnosti Slovenije*. Prirodoslovni muzej Slovenije, Ljubljana, 9-63.
- JERŠEK, M & HERLEC, U. 2006: *Utrinek za zbirko*. V: JERŠEK, M. (ur.). *Mineralna bogastva Slovenije, (Scopolia, Supplementum, 3)*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije., 480-485.
- JERŠEK, M., 2008: *Pogostnost in posledice padcev meteoritov*. V: Božič, D. (ur.), *Meteorit iz Avč v dolini Soče : 1908-2008*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije; Avče: Športno-kulturno-turistično društvo. 7-9.
- JERŠEK, M., 2008: *Meteoriti v Sloveniji*, V: Meteorit iz Avč v dolini Soče, V: Božič, D. (ur.), *Meteorit iz Avč v dolini Soče : 1908-2008*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije; Avče: Športno-kulturno-turistično društvo , 30-32.
- JERŠEK, M & MILIČ, Z., 2012: Feromangan - izvrstna imitacija kovinskega meteorita = Ferromanganese - an excellent imitation of metallic meteorite. *Geologija*, 55, št. 2, 275-278.
- JERŠEK, M, 2018: *Tektiti – meteoritsko steklo*. Življenje in tehnika, Tehniška založba Slovenije, 36 – 45.
- KRACHER, A., 1983: Notes on the evolution of the IIIAB/pallasite parent body (abstract). *Lunar and Planetary Science XIV*: 405-406.
- KRIŽNAR, M. & JERŠEK, M., 2012: Anton Bianchi in njegova zbirka fosilov, mineralov in kamnin. *Scopolia*, 76. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije, 63 pp.
- LAURETTA D. S., K. LODDERS, B. FEGLEY JR. & D. T. KREMSER, 1997: *The origin of Ni-bearing sulfides in CI carbonaceous chondrites*. Proceedings, 28th Lunar and Planetary Science Conference. Str. 783-784.
- LENART, A., JERŠEK, M., MIRTIC, B., ŠTURM, S., 2010: Meteorite Jesenice: mineral and chemical composition of the fusion crust of ordinary chondrite = Meteorit Jesenice: Mineralno-kemijska sestava žgalne skorje navadnega hondrita. *Geologija*, 53, št. 2, 139-146.
- MILER, M., M. GOSAR, & M. MARKIČ, 2011: Opredeletitev domnevnega meteorita iz Trbovelj. *Geologija*, 54/2: 161-168, doi:10.5474/geologija.2011.012.
- MILER, M. & M. GOSAR, 2011: Mineral and chemical composition of the new iron meteorite Javorje from Slovenia. *Meteoritics & Planetary Science*, 46(12): 1939-1946, doi: 10.1111/j.1945-5100.2011.01291.x.

- MILER, M. & M. GOSAR, 2012: *Dve leti raziskav meteorita Javorje. Geologija*, 55(1): 5-16, doi: doi:10.5474/geologija.2012.001.
- MILER, M., B. AMBROŽIČ, B. MIRTIC, M. GOSAR, S. ŠTURM, M. DOLENEC & M. JERŠEK, 2014: Mineral and chemical composition of the Jezersko meteorite - a new chondrite from Slovenia. *Meteoritics & Planetary Science*, 49(10): 1875-1887, doi: 10.1007/s10347-015-0430-z
- MIRTIC, B., 2014: osebna korespondenca
- MITTFELDELT, D. W., 2008: *Appendix: Meteorites-A brief tutorial*. V: MacPherson, G. J., Mittlefehldt, D. W. & Jones, J. H. (ur.): *Oxygen in the solar system. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 68. Mineralogical Society of America, Chantilly. 571-590.
- MOSKOVITZ, N. A. & R. J. WALKER, 2011: Size of the group IVA iron meteorite core: Constraints from the age and composition of Muonionalusta. *Earth and Planetary Science Letters*, 308: 410-416, doi:10.1016/j.epsl.2011.06.010.
- NORTON O. R., 2002: *The Cambridge encyclopedia of meteorites*. Cambridge University Press, Cambridge, 354 pp.
- OLSEN, E. J., A. KRACHER, A. M. DAVIS, I. M. STEELE, I. D. HUTCHEON & T. E. BUNCH, 1999: The phosphates of IIIAB iron meteorites. *Meteoritics & Planetary Science*, 34: 285-300.
- REISENER R. J., J. I. GOLDSTEIN & M. I. PETAEV, 2006: Olivine zoning and retrograde olivine-orthopyroxene-metal equilibration in H5 and H6 chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, 41: 1839-1852.
- RUBIN, A. E., 2003: Chromite-Plagioclase assemblages as a new shock indicator; implications for the shock and thermal histories of ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67: 2695-2709.
- RUBIN, A. E., 2004: Postshock annealing and postannealing shock in equilibrated ordinary chondrites: Implications for the thermal and shock histories of chondritic asteroids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68: 673-689.
- SCOTT, E. R. D., 1972: Chemical fractionation in iron meteorites and its interpretation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36: 1205-1236.
- SCOTT, E. R. D. & J. T. WASSON, 1975: Classification and properties of iron meteorites. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 13: 527-546.
- SCOTT, E. R. D. & A. N. KROT, 2003: *Chondrites and their components*. V: Holland, H. D. & Turekian, K. K. (ur.): *Treatise on Geochemistry*, vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 143-200.
- SCOTT, E. R. D., J. I. GOLDSTEIN & J. YANG, 2010: Early impact history of ordinary chondrite parent bodies inferred from troilite-metal intergrowths (abstract #5031). *Meteoritics & Planetary Science*, 45: A184.
- Scott, E. R. D., T. V. Krot & J. I. Goldstein, 2013: *Thermal and impact histories of ordinary chondrites and their parent bodies: Constraints from metallic Fe-Ni in type 3 chondrites (abstract #1826)*. 44th Lunar and Planetary Science Conference. CD-ROM.
- SCOTT, E. R. D., T. V. KROT, J. I. GOLDSTEIN & S. WAKITA, 2014: Thermal and impact history of the H chondrite parent asteroid during metamorphism: Constraints from metallic Fe-Ni. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 136: 13-37.
- STÖFFLER, D., K. KEIL & E. R. D. SCOTT, 1991: Shock metamorphism of ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 3845-3867.
- TOMKINS, A. G., 2009: What metal-troilite textures can tell us about post-impact metamorphism in chondrite meteorites. *Meteoritics & Planetary Science*, 44: 1133-1149.
- WASSON, J.T., HUBER, H., & MALVIN, D.J., 2007: Formation of IIAB iron meteorites: V: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 760 – 781.

- WEISBERG, M. K., T. J. MCCOY & A. N. KROT, 2006: *Systematics and evaluation of meteorite classification*. V: Lauretta, D. S., & McSween, H. Y. Jr. (ur.): *Meteorites and the early solar system II*. The University of Arizona Press, Tucson. 19-52.
- WILLIS, J. & J. I. GOLDSTEIN, 1981: *A revision of metallographic cooling rate curves for chondrites*. Proceedings, 12th Lunar and Planetary Science Conference. 1135-1143.
- WLOTZKA, F. A., 1993: Weathering scale for the ordinary chondrites. *Meteoritics*, 28: 460-460.
- WLOTZKA, F. A., 2005: Cr spinel and chromite as petrogenetic indicators in ordinary chondrites: Equilibration temperatures of petrologic types 3.7 to 6. *Meteoritics & Planetary Science*, 40: 1673-1702.
- YANG, J. & J. I. GOLDSTEIN, 2005: *The formation of the Widmanstätten structure in meteorites*. *Meteoritics & Planetary Science*, 40: 239-253.
- YANG, J. & J. I. GOLDSTEIN, 2006: Metallographic cooling rates of the IIIAB iron meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: 3197-3215, doi:10.1016/j.gca.2006.04.007.
- YANG, J., J. I. GOLDSTEIN & E. R. D. SCOTT, 2008: Metallographic cooling rates and origin of IVA iron meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 3043-3061, doi:10.1016/j.gca.2008.04.009.
- YANG, J., J. I. GOLDSTEIN, & E. R. D. SCOTT, 2010: Main-group pallasites: Thermal history, relationship to IIIAB irons, and origin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74: 4471-4492, doi:10.1016/j.gca.2010.04.016.
- ZEBEC, V., 1985: *Uz izložbu »Pojave izvanzemaljske materije na Zemlji« u Mineraloško-petrografskom muzeju u Zagrebu*, Kučna tiskara Nacionalne i sveučilišne biblioteke, Prirodoslovni muzej Zagreb, Zagreb, 27 pp.

Spletni viri, dostopni 29.3.2018:

lasp.colorado.edu/~bagenal/3750/ClassNotes/Class23/Class23.html
upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Earth_Impact_Database_world_map.svg
www.lpi.usra.edu/meteor
www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php
www.meteorite.fr
www.meteoriticalsociety.org/
www.nasa.gov
www.usgs.gov

Fotografije: Bojan Ambrožič, Dominik Božič, Mateja Gosar, Andrej Guštin, Uroš Herlec, Miha Jeršek, Darko Juhant, Matija Križnar, Miloš Miler, Breda Mirtič, Ciril Mlinar Cic, Ralph Sporn

SEM-posnetki: Miloš Miler

Ilustracije: Matjaž Učakar

Risbe: Matjaž Učakar

Arhivsko gradivo: Marjetka Kardelj, Prirodoslovni muzej Dunaj

Prevod izvlečka: Miloš Miler

Prevod povzetka in besedil pod slikami: Henrik Ciglič

Vsebina / Contents:

Miloš MILER, Mateja GOSAR, Jure ATANACKOV, Miha JERŠEK:

Meteoriti in njihovo pojavljanje na Slovenskem

Meteorites and their occurrence in Slovenia

