

# Meteoritkráter-tanulmányok

## *Impact crater studies*

DON GYÖRGY, SOLT PÉTER

Magyar Állami Földtani Intézet, H-1143 Budapest, Stefánia út 14.

Tárgyszavak: meteoritkráter, sferula-szintek, Magyarmecske-anomália

### Összefoglalás

Korábbi kutatásainkban különböző korú (perm-triász, késő-eocén, pleisztocén stb.) földtani képződményekben mutattunk ki kozmikus mikroszferula-dúsulásokat és meteorithullás-rekonstrukciót végeztünk a szórási mező sferula-eloszlása alapján. Jelen tanulmányban röviden tárgyaljuk a meteoritkráterek geomorfológiai, kőzettani, ásványtani és geofizikai jellemzőit. A hazai impakt kráterek kutatásának története a kezdetektől napjainkig. Eddig a feltételezett meteoritkráterek közül csak a magyarmecskei, geofizikai anomáliával kimutatott földtani szerkezet kozmikus eredete valószínű. A földtörténet során képződött nagyobb kráterek kiszórt anyaga a magyarországi földtani képződményekben is megtalálható. Végül bemutatunk néhány észtországi, németországi és ukrainai meteoritkrátert, melyeknél terepbejárás során összehasonlítható kőzetmintákat gyűjtöttünk.

Key words: impact crater, spherule-horizons, Magyarmecske-anomaly

### Abstract

Former studies of the authors focused on cosmic spherule occurrences in the geological record, and meteorite fall reconstructions.

We introduce the characteristic features (geomorphology, petrography, mineralogy, geophysics) and short description of impact cratering events. History of impact crater research in Hungary, buried crater in Magyarmecske detected by geophysical method. From the large impact events fallout materials and impact spherules were found in the geological sediments in Hungary. Fieldwork studies and sample collecting in some impact craters of Estonia, Germany and Ukraine.

### Bevezetés

A kozmikus események kutatása során eddigi munkáinkban elsősorban kozmikus por, meteoritaprózódás- és szórásmező-vizsgálatokra koncentráltunk (DETRE 1994; DETRE et al. 2000, 2002; DON 1996; MARSÍ et al. 2004; DOSZTÁLY 1994; KÁKAY SZABÓ 1997; GÁL-SOLYOS, DON 2004; SIEGL-FARKAS, WAGREICH 1995; SOLT 1996; SOLT et al. 2003), ugyanakkor nem hagyhatjuk figyelmen kívül az impakt események tanulmányozását sem. Az intenzív, sokszerű hőhatásokra (kozmosz porütöközések, meteoritaprózódás, légkörbe való belépés hősokkjá stb.) olvadékfázi-

son átment és gömb alakú különféle kozmikus eredetű sferulákhoz sokban hasonlítanak az impakt hatásra létrejött mikrotektitek (GLASS 1990). Az impakt eseményekből származó anyagok globális (a kréta/tercier határon), regionális (Kelet-ázsiai-tektitmező, eocén/oligocén mikrotektit horizont, Ries-moldavitok, Bosumtwi-kráter kiszórt anyaga stb.) és lokális (Macha-kráter, Kaali-kráter stb.) vezetősínteket alkotnak. Vizsgálatainkat részben a fenti okok miatt kiterjesztettük a meteoritkráterek kutatására is. Beszámolunk a hazai meteoritkráter-kutatások kezdeteiről és jelenlegi állásáról (cáfolt: Magyarpolány, Szilvágy, Kishajmás, Meggyespuszta, valószínű: Magyarmecske). A nagyobb meteorit-

kráterek visszahullott anyaga, mikrotektonikái a hazai üledékes kőzetekben is megtalálhatók. Földrajzi közelségük miatt és a létrejött nemzetközi kutatási együttműködéseknek köszönhetően terepi megfigyeléseket és összehasonlító kőzetmintagyűjtést végeztünk észtországi (Kaali, Ilumetsa), németországi (Ries, Steinheim) és ukrainai (Boltis, Ilinyec) meteoritkrátereknél. Az 1. ábra a tárgyalt meteoritkráterek földrajzi elhelyezkedését mutatja.



1. ábra. A meteoritkráterek földrajzi elhelyezkedése  
 1 – Magyaramecskei feltételezett kráter, 2 – Ilumetsa, 3 – Kaali, 4 – Ries,  
 5 – Steinheim, 6 – Boltis, 7 – Ilinyec

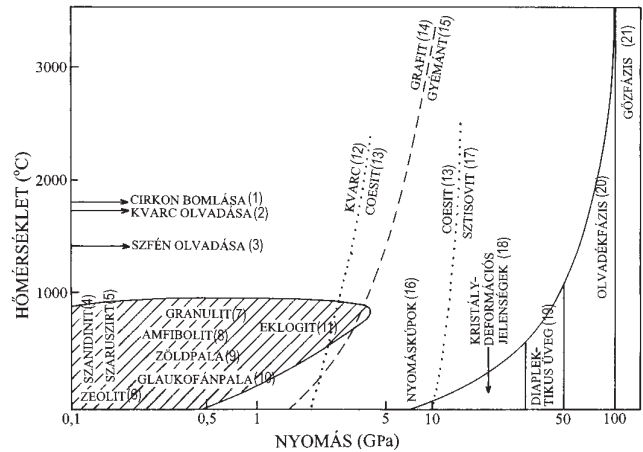
Figure 1. Geographical setting of the meteorite craters  
 1 – Magyaramecske possible buried crater, 2 – Ilumetsa, 3 – Kaali, 4 – Ries,  
 5 – Steinheim, 6 – Boltish, 7 – Ilyinets

**Meteoritkráterre utaló jelenségek**

A becsapódásos szerkezetekre utaló jelenségek közül (VON ENGELHARDT 1990, GLASS 1990, BOUSKA 1994, FRENCH 1998 stb.), felsorolásszerűen bemutatunk néhányat az alábbiakban. A kozmikus test becsapódásakor fellépő sokkhatás hőmérséklet és nyomásdiagramját a 2. ábrán mutatjuk be.

*Szerkezeti kép:*

— A meteoritkráterekre gyűrűs szerkezet jellemző. A becsapódó test méretétől, összetételétől és a cél- (target-rock), vagy befogadó kőzettől függően kisebb (egyszerű) vagy nagyobb (összetett) kráterforma jön létre, utóbbinál belső gyűrű (*inner ring*) és/vagy kiemelkedő központi kúp



2. ábra. Az endogén és sokkmetamorfózis P-T mezőinek összehasonlítása (KOEBERL 1997 és GRIEVE 1987 után)

Az ábra a sokkhatáskor fellépő irreverzibilis szerkezeti átalakulásokat mutatja a nyomás és a hőmérséklet függvényében, gránitos célkőzet esetén. A sraffozott terület az endogén zóna

Figure 2. Comparison of pressure–temperature fields of endogenic and shock metamorphism (after KOEBERL 1997 and GRIEVE 1987) Indicated are the onset pressures various irreversible structural changes in the rocks due to the shock metamorphism. The diagram shows the relation between pressure and post-shock temperature for shock metamorphism of granitic rocks. The hatched area is the endogene zone. (1) zircon decomposes, (2) quartz melting, (3) sphene melting, (4) sanidine, (5) hornfels, (6) zeolites, (7) granulite, (8) amphibolite, (9) greenschist, (10) glaucophane schist, (11) eclogite, (12) quartz, (13) coesite, (14) graphite, (15) diamond, (16) shatter cones, (17) stishovite, (18) planar deformation features (PDF), (19) diaplectic glasses, (20) melting, (21) vaporization

(*central uplift*) is megjelenik. Szekunder kráter alakulhat ki a föllázított kőzettömegek utólagos tömörödése következtében létrejövő kráterbeszakadás során. Távérzékelési módszerekkel a környezetükből kiemelkedő gyűrű- és körformák, valamint a bemélyedő tál alakú mélyedések lehetnek figyelemreméltóak.

*Kőzettani jellemzők:*

- A becsapódás után föllépő robbanás és szívó hatás által kibillentett alapkőzet.
- Fölszagattott és visszahullott megablokkok.
- A hirtelen nagy nyomáson egymásba préselődött kőzettömegekből képződött nyomás- vagy lökésűpök (*shatter cone*), melyek jellegzetes ék alakú, minden oldalukon egy csúcs felé mutató rovátkákkal barázdáltak. Méreteik alapján a pár centiméteres kőztdaraboktól pár méteres szikláig terjedhetnek.
- Szökőár jelenségek nyomai, óriásunami hatására kialakult jellegzetes rétegek, sokkhatásra összeütődött „kráteres” kavicsok.
- Többszörösen összekeveredett (*polymict*) breccsásodott kőzetek (amelyek a befogadó kőzetek és a becsapódó kozmikus anyag törmelékes és megolvadt részecskéit egyaránt tartalmazzák). Hirtelen magas hőmérsékleten megolvadt, visszahullott törmelék és gyorsan lehűlt üveges anyagok, suevit képződése.
- Vulkanói bombákhoz hasonló aerodinamikus formák.
- Összetoredezett, breccsásodott célkőzet.
- Lazább, üledékes eredetű befogadó kőzetek (pl. homok, márga) esetében plasztikus deformáció.

*Ásványtani jellemzők:*

— Ásványszemcséken tapasztalható kristálydeformációs jelenségek. Ezek kizárólag pillanatszerű, nagy nyomásnövekedés hatására jönnek létre, pl. PDF (*Planar Deformation Features*) struktúra (a párhuzamos kristálysíkcsoportok jellemzően 30–60 fokos szögben érintkeznek egymással) főként a kvarckristályokban (I. tábla, 1. fénykép), de más ásványszemcsékben (pl. földpát, amfibol, piroxén) is.

— Diaplektikus üveg, stishovit, coesit.

— Kristályszerkezeti síkok mentén összetört biotitok, szétkülönült cirkonok.

— Karbonátos üledékekben a széntartalomtól képződött mikroszkopikus grafit, gyémánt.

*Visszahullot anyag:*

— A becsapódáskor keletkezett hó által megolvastott földi kőzetek Si-tartalmú olvadékai, cseppek, szilánkok, aerodinamikusan bombák, melyek esetenként nagy területeket borítanak be és tektitmezőket alkotnak. Elnevezésük az előfordulási helyük szerint változik (moldavit, vietnamit, indochinit, zhamanshinit, irghizit, Darwin-üveg, Elgigitgin-üveg, Íbriai sivatagi üveg stb.). A száz mikrontól pár milliméterig terjedő mérettartományban a gömb alakú olvadékok mikrotektit-horizontokat (GLASS 1990) alkotnak, melyek kiválóan alkalmasak földtani korrelációra.

*Kozmikus test maradványai:*

— Kisebbségi meteoritok és kis kráterek esetében a leolvadás során képződött meteorit eredetű szferulák találhatóak, nagyobb kráterek képződésekor a kozmikus test darabjai is föllelhetők.

— Vasmeteoritok esetében vas- és nikkeltartalmú magnetoszferulák vannak a szórásmezőn.

— Cr–Ni-spinellek, iridium-anomália, meteoritokra jellemző elemarányok, geokémiai anomáliák.

*Elpusztult növényzet maradványai:*

— A becsapódás okozta tűzfelhőben elégett növényzetből korom és fullerének képződése.

*Utólagos hatások:*

— Utólagos posztimpakt vulkanizmus, jellegzetes Sudbury-típusú ércesedés, posztimpakt hidrotermák után lassan hűlő tó üledékei a kráterben.

— A becsapódáskor összetöredett, föllazult kőzet-tömegek a visszahullott anyaggal együtt fokozatosan újra tömörödnek, melynek következtében a kráter területe sok esetben lezökken, hasonlóan a beszakadásos kalderákhoz.

*Eltemetett kráterek geofizikai jellemzői:*

- gravitáció: kis értékű negatív gravitációs anomália,
- geoelektromosság: sokszor jelentős, akár nagyságrendnyi pozitív vezetőképesség-anomália,
- szeizmika: negatív szeizmikus sebesség-anomália,
- mágnesség: nem ad jellemző képet.

**Kráterkutatás Magyarországon**

A meteoritkráterek földi előfordulását kezdetben sokan kétkedéssel fogadták, majd az egyértelmű bizonyítékok

után hirtelen számos helyen meteoritbecsapódásokat vételek felefedezni. Jó néhányra az ürfelvételek hívták föl a figyelmet. GRAHAM (1985) kráterkatalógusa 332 szerkezetet sorol föl bolygónkon, jelezve az elfogadottság mértékét (24 elfogadott, 266 kérdéses és 42 cáfolt). Az internetes Earth Impact Database 2007-ben már 174-et tartott egyértelműen bizonyítottnak, de ezek közül egyetlen sem volt a Kárpát-medencében.

JAKUCS (1975) elevenítette föl KALJUVEE (1933) elméletét, miszerint a nagy asztroblémák mintájára a Kárpát-medence is egy óriási meteoritbecsapódás következtében jött volna létre. Az eredeti teóriát már HEIDE (1957) is cáfolta, az elképzelés ma már csak tudománytörténeti érdekesség.

Később többen fölfigyeltek körkörös szerkezetekre, ám ezekről mihamar megbizonyosodott, hogy nem impakt eredetűek.

MÉSZÁROS (1985) és MOLDAVAY (1987) a Bakony térsége során Magyarpolány térségében tételezett föl meteoritkrátert, és a becsapódás következményének tulajdonították az általuk talált, „belőt”-nek vélt kavicsokat. Az elméletet és főként a föltételezett kráter körvonalait már a kezdetben is sokan megkérdőjelezték, míg végül SZEDERKÉNYI (1996) cáfolta a kör alakú szerkezet létezését. Szerinte az ábrázolt „belőt” kavicsban lévő lyuk kevésbé ellenálló kőzetzárvány kioldódásának a következménye. Itt kell viszont megemlítenünk, hogy az Azuara-impakt eseményhez kapcsolható óriás szökőár sokkhatására összeütközött jellegzetes „kráteres kavicsokat” figyelt meg ERNSTON et al. (2001) az északkelet-spanyolországi tarka homokkő konglomerátumban. Az itt talált kavicsok felületén sajátosság, gyűrű alakú bemélyedések látszanak. A kérdéses magyarpolányi területet bejárva, az előfordulási helyen található kavicsokon látható mélyedések, az előbb említettektől viszont merőben eltérőek. A kerek, ovális, ujjnyomszerű, sekély bemélyedéseket (I. tábla, 2. fénykép) megvizsgálva a nyomokat nyomásos oldódás eredményének tartjuk. VÉGH (1959) az Északi-Bakony miocén (helvétii) képződményeiben általa talált benyomatos kavicsokon észlelt kerek és sekély benyomódásokat is meteoritbecsapódás következményének tartotta, ám ezek is nyomásos oldódást szenvedett kavicsok.

Kalafut Miklós a Mecsek kutatása során légifényképen figyelt föl a „Kishajmási körre”. Noha az 1:10 000-es térkép topográfiaja alapján az impakt eredet kizárható volt, terepen is megvizsgáltuk a területet. A kiemelt helyzetű Soma-tetőt kör alakban övezik a lefutó völgyek, a tető északnyugati pereméről induló Pusztavölgy a magyarpolányihoz hasonló nyomásos oldódást szenvedett kavicsokat tár föl. Meteoritbecsapódásra utaló morfológia és kőzettípus a helyszínen nem található.

Szilvágy határában (Zala megye), repülőről megfigyelt „Szilvágyi patkó” esetleges impakt eredete is fölmerült (ARDAI et al. 1999), ám a terepbejárás során völgyfőrogyásnak bizonyult. Az általunk végzett sekélyfúrások anyagában nem volt meteoritbecsapódásra utaló kőzetanyag.

Mindezeknél „kör” formákra figyeltek föl, ugyanakkor a meteoritkráterek inkább „gyűrű” alakban rajzolódhatnak ki

környezetükből, az ettől ellenállóbb anyagú, eltérő kőzetösszetételű és ezért kiemelkedő kráterperem miatt.

NÉGYESI (2006) hadtörténész légifényképek kiértékelése során Szentkirályszabadja határában (Meggyespuszta) egy világos színű, kb. 800 m átmérőjű gyűrűformára lett figyelmes, mellyel kapcsolatban fölvetette egy hajdani meteorit becsapódásának lehetőségét is. A terepen viszont nem gyűrű alakú perem mutatkozik, hanem egy fokozatosan mélyülő és csak közel kör alakú depressziós térszín, melyet észak–déli irányból a széleken keskeny árok is megnyit. Ez a forma nem becsapódásos szerkezet, hiszen egy 800 m átmérőjű kráter peremének ellenálló kőzetébe nem vágódhatna bele a fiatal erózió, mint jelen esetben. A Balatonfelvidék földtani térképezése során (1985–1990) a MÁFI geológusainak már föltűnt a Kasza-völgyben a felszínen lévő kerek forma és két fúrás is mélyítették szerkezetének tanulmányozására. Északon a középső- és felső-triász dolomitra, délen pedig a középső-triász mészkőre és tufára 2 m vastag miocén bauxittörmelékcs agyag települ, melyet 2 m pleisztocén lösz, majd vékony holocén talaj fed be (BUDAI, CSILLAG 2007). Veszprém és Várpalota között több hasonló karsztos töbrökítőltés is ismert. A „Meggyespusztai gyűrű” kozmikus eredete tehát ugyancsak valószínűtlen. A légifényképen látható gyűrű a lejtőn kipreparálódott világosabb tónusú agyagos kőzetanyag.

Az eddig vizsgált hazai meteoritbecsapódásra utaló nyomok közül jelenleg legérettebb az a geofizikai mérésekkel kimutatott ~6 km átmérőjű szerkezet, melyre BODOKY et al. (2004) figyelt föl Magyarországi térségében. Itt 300 m mélységben a felső-karbon homokkőösszetletben meteoritkráterekre jellemző gravitációs anomália rajzolódik ki. Föltehető, hogy ennek az impakt eseménynek a lokális szórásmezőjéből származó és impakt hatásra képződött jellegzetes anyagát (coesit, szferulák) találták meg (GYURICZA 2001) az áthalmozott üledékek maradványaiban, az üveghutai fúrások legalsó rétegeiben a pleisztocén alatt, a gránit fölötti szintben is?

## Meteoritkráterek kiszórt anyagának előfordulása Magyarországon

Az impaktok egyre pontosabb kormeghatározásának köszönhetően a nagy becsapódások során a sztratoszférába jutott, majd visszahullott és mindent beborító mikroanyagok fontos korjelzők, és rétegtani korrelációt is lehetővé tesznek. Azaz, a kozmikus esemény méretétől függően lokális-, regionális- és globális eseményekhez kapcsolódó, pillanatszerű eseményt jelző szinteket alkotnak. Mivel az eddig elfogadott nagyobb meteoritkráterek közül nem kevés viszonylag közel van a Kárpát-medencéhez, illetve közel volt a becsapódáskor a földtörténet során azóta idősodródott közettömegekhez, joggal föltelezhető, hogy a kiszórt és visszahullott mikroszkopikus anyaguk megtalálható az eredeti időhorizont rétegében, vagy éppen áthalmozottan Magyarországon is (1. táblázat).

A cseh- és morvaországi moldavitok a Ries-kráterből származnak, a Popigai-kráterhez kapcsolható felső-eocén mikrotektitszint Olaszországban is megtalálható (CLYMER et al. 1995), a Chicxulub-kráter anyaga a Föld valamennyi (SMIT 1999) kréta/tercier határszélvénnyében kimutatható, a kanadai Manicouagan-kráter kiszórt mikroszferula anyagát megtalálták Dél-Angliában (WALKDEN et al. 2002).

A szferulakutatások során számos esetben bukkantak hazai rétegekben és fúrásmintákban is olyan üveges szferulákra, melyek regionális hatású impakt jelenségekkel hozhatók összefüggésbe.

A csővári triász-júra határszélvénnyel való földolgozása során PÁLFY (2003) kitért a korszak közeli nagy impakt eseményeire is (Puzsecs Katunki, Manicouagan), de a csővári rétegsorban nem talált impakt anyagot.

SZARKA (1991) fölvetette, hogy a Magyarpolány M<sub>p</sub>-42-es fúrás felső-kréta rétegeiben talált üveges, mágneses összetételű, kozmikus eredetű szferulák (SIEGL-FARKAS, WAGREICH 1995; BODROGI et al. 1996; SZARKA 1996) egy távolabbi becsapódási kráterből származhatnak.

1. táblázat. Nagy szórásmezőjű meteoritkráterek, melyek kihullott mikroanyaga lehetséges a Kárpát-medence üledékeiben

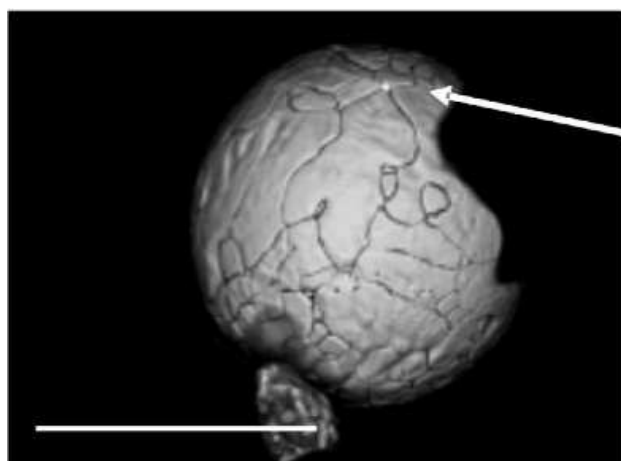
Table 1. Possible micro-sized fallout material from big impacts in the sediments of the Carpathian Basin

Kráter* Crater	Kor* Age	Átmérő* Diameter	Szórásmező feltételezett átmérője Supposed diameter of the strewn field	A kráter mai távolsága a Kárpát-medencétől Present crater distance from the Carpathian Basin
	millió év – My	km		
Obolon	169±7	20	2 000	1 000
Rochechouart	214±8	23	2 300	1 400
Ries	15,1±0,1	24	2 400	800
Boltis	65,17±0,64	24	2 400	700
Azuara	40	30	3 000	2 000
Kara	70,3±2,2	65	6 000	4 000
Puzsecs Katunki	167±3	80	8 000	8 000
Chesapeake Bay	35,5±0,3	90	9 000	7 000
Popigaj	35,7±0,2	100	10 000**	8 000
Manicouagan	214±1	100	10 000***	8 000
Chicxulub	64,98±0,05	170	Globális****	11 000

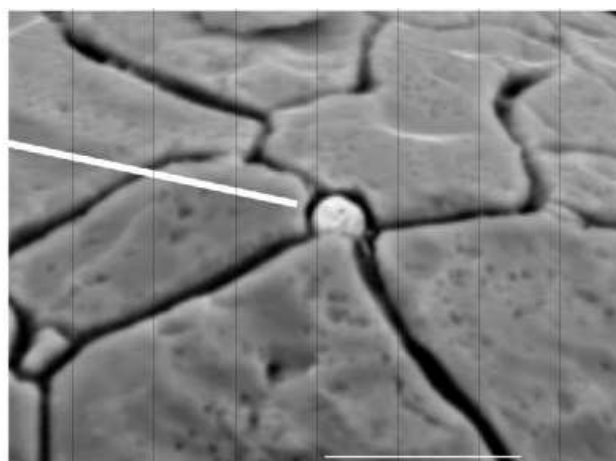
A szórásmezők feltételezett átmérőit a Popigaj-, a Manicouagan- és a Chicxulub-kráterek adatai alapján számoltuk ki

The supposed diameters of the strewn fields by the data of Popigai, Manicouagan and Chicxulub craters

\* Earth Impact Database, \*\* CLYMER et al. 1995, \*\*\* WALKDEN et al. 2002, \*\*\*\* SMIT, J. 1999.



100  $\mu\text{m}$



10  $\mu\text{m}$

**1. fénykép.** III. típusú, Fe–Ni-szferula, melyben a platinacsoport elemei is megjelennek kis szemcsék formájában (L1 Lösshorizont, Bátaapáti)  
**Photo 1.** III-type (Fe–Ni) spherule with PTG nugget (L1 Loess Horizon, Bátaapáti, Hungary)

A Nagylózs Nlt–1-es fúrás miocén korú rétegeiben talált kozmikus eredetű szferulákat SZÖÖR et al. (1995) publikálta.

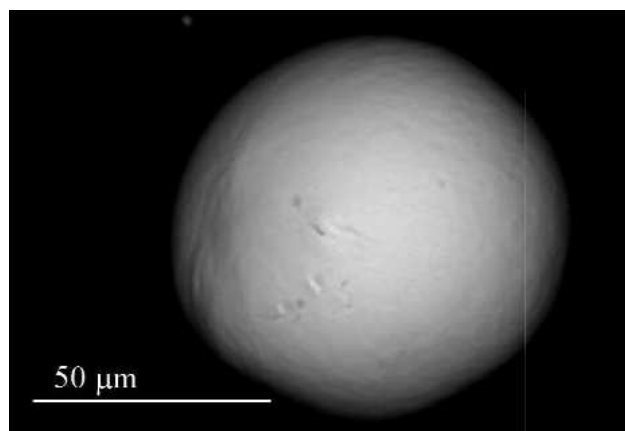
Ugyancsak figyelemre méltóak az Üveghuta Űh–5-ös fúrásban (GYURICZA 2001), a Paksi I. és II. szint, idős löszében talált coesitek, és moissonitok. Coesitet találtak többek között a Barringer (Meteor)-kráterben CHAO et al. (1962) és a Ries-kráterben LENZ et al. (1995) is. Ugyanakkor coesitet írt le JINGBO et al. (2001) ultramagas nyomású (UHP) gránitgneiszben talált cirkonokban, valamint TRELOAR et al. (2003) a pakisztáni Himalájából ultramagas nyomású eklogitokban is megfigyelte ezt az ásványt. Moissonitokat a természetben először az arizonai Barringer-meteoritkráterből írtak le. Megemlítendő, hogy a szintetikus moissonit, a „karborundum” gyémánthoz közeli keménységének (9,25) köszönhetően fűrőfejekben is használható, ezért meg kellene vizsgálni, hogy teljesen kizárható-e a fűrőfejből kipattant szennyeződés. SZÖÖR et al. (2001) az üveghutai térségben (Űh–5 fúrás 54,6–54,8 m közötti szakaszában) leírt üveges összetételű szferulákat impakt eredetűeknek tartja.

A Mórággyi-rög ÉK-i részének negyedidőszaki üledékeiből (MARSI et al. 2004), réteggörrelációra is alkalmas markerként is fölhasználható, különféle genetikájú (vulkáni és kozmikus) szferulákat mutattunk ki az Űh–37-es fúrásból, valamint egy közel teljes löszszelvényből (Bátaapáti). Az L1. löszhorizontban talált III. típusú (1. fénykép), kozmikus Fe–Ni-szferulákhoz hasonlókat írt le DONG et al. (1993) Kanadából, hasonló korú képződményekből. Az L7-es löszhorizontból, a Brunhes–Matuyama paleomágneses váltás fölött talált I. típusú (csak Fe-tartalmú) szferulákkal (2. fénykép) azonosakat találtak a kínai mikrotektitszintben (LI-CHUN et al. 1993) is. Mindkét esetben fölmerül, hogy ezeket a szferulákat egy-egy globális hatású kozmikus esemény hozta létre.

A Bükk hegységben (Bálvány, Gerennavár és Kemesnye-hegy), a perm/triász határon általunk talált szferulák

(DETRE et al. 2000, SOLT et al. 2003) hasonlóan MIONO (1995, 1998) által a japán és kínai perm/triász határon találtakhoz, kozmikus por eredetűek. Mindezek a NASA magas légkörben gyűjtött kozmikus eredetű (C-típusú) vastartalmú mikroszferuláival (NASA 1982, 1991, 1992) egyeznek. Itt kell megemlítenünk BECKER et al. (2001) által több perm/triász határon talált fullerénekre alapozott és sok vitát kiváltó (BRAUN et al. 2001) impakt hipotézisét. A paleozoikum/mezozoikum határáról eddig egyetlen bizonyított és alaposan megkutatott meteoritkráter ismert, a braziliai Araguainha (HAMMERSCHMIDT 1995), melynek visztona átmérője (40 km) miatt nem lehetett globális következménye, hatása csak kisebb regionális területre terjedt ki.

A hazai kutatók közül BÉRCZI (2000, 2003) a Holdon és a bolygókon lévő meteoritkráterek közettanával foglalkozik, GUCSIK et al. (1998) az elefántcsontparti Bosumtwi-kráteret tanulmányozta, újabban pedig az impakt ásványok szerkezetének katódlumineszcenciás vizsgálatait GUCSIK et al. (2004) végzi.



50  $\mu\text{m}$

**2. fénykép.** I. típusú, Fe-szferula (L7 Lösshorizont, Bátaapáti)  
**Photo 2.** I-type (Fe) spherule (L7 Loess Horizon, Bátaapáti, Hungary)

## Meteoritkráterek Észtorszáiban

Észtország területén máig hat meteoritkráter, illetve -krátercsoport ismert (Illumetsa, Kaali, Kardla, Neugrund, Simuna, Tosörikme). Részt vettünk Észtországban az 1997. évi „Impact and extraterrestrial spherules: New tools for global correlation” konferencián, melyen számos előadás hangzott el a legújabb kutatási eredményekről és fölkerestünk több meteoritkrátert is.

### *Illumetsa kráterek*

Észtország délkeleti részén, a szórásmezőn három nagyobb (80, 50 és 19 m átmérőjű) és két kisebb kráter látható nyírral vegyes fenyőerdőben a felszínen, a legnagyobb 15–20 m a legkisebb 5–8 m mély. A célkőzet középső-devon homokkő és aleurolit, amelyet mindössze 2–6 m vastag holocén talaj és pleisztocén homokos kavics fed. A meteorit valószínűleg keleti irányból érkezett, mert a fölszakított és megemelt kráterperem keleti ívére borult rá a kilökődött anyag is, ezért ez a magasabb. A kráterek közelében a kvarter fedőüledékek szelvényezése során megtalálták a becsapódáskor megolvadt földi kőzetekből képződött üveges szferulákat („mikroimpaktitokat”) is. Az 5,6–5,7 méter mélyen húzódó szferulaszint (RAUKAS et al. 2001) kora a radiokarbon adatok alapján 6600 év.

### *Kaali kráterek*

A messze földön híres Kaali-meteoritkráterek (TIIRMAA 1994, képtábla: I–XVII.) Saaremaa szigetén található, valójában egy nagy és öt kisebb kráterből álló szórásmezőt alkotva.

A szabályos, kerek mélyedések keletkezésére régebben (1827–1928) számos elképzelés született (vulkáni kráter, karsztos berogyás, só- és gipsztektonika, mocsárgázrobbanás, emberek által kivájt kút stb.). IVAN REINWALD bányamérnök só- és gipszkutatást végzett a területen, és ő volt az első, aki jóval a földi meteoritkráterek fölismerése előtt a mélyedések meteoritikus eredetét bebizonyította (REINWALD, LUHA 1933). Harminc darab Fe- és Ni-tartalmú vasmeteorit-töredéket talált, melyekben számos vasmeteoritra jellemző ásványt (schreibersit, kamacit, taenit stb.) azonosított. A célkőzet felső-szilur dolomit, a becsapódó test sokszerű lökeshulláma nyomáskúpokat hozott létre a főkráter kőzetében (AALOE 1958), amelyek kizárólag a meteoritkráterekre jellemző képződmények. A legnagyobb kráter (I. tábla, 3. fénykép) átmérője 110 m, mélysége 15,5 m, a becsapódás utáni szívóhatás által fölemelt kőzetpadokból álló (I. tábla, 4. fénykép), gyűrű alakú perem övezi. A kráter alján kis tó van, melynek vizét a vizsgálatok időtartamára kiszivattyúzták, így láthatóvá vált az összetöredezett dolomitbreccsa és a becsapódó test által ütött kör alakú mélyedés, valamint a sziklafelszínen sugárirányban szétfutó repedéshálózat. A környéken a szilur dolomitot 2 m vastag pleisztocén és holocén kavicsos, homokos, agyagos üledék fedi. A szórásmezőn végzett talajfúrások (RAUKAS 1997,

RAUKAS et al. 1995), a <sup>14</sup>C-izotóp-vizsgálatokkal 7500 évesnek határozott rétegben harántolták a becsapódási szintet. A szint anyaga vastartalmú olvadékokat, mikrotektiteket, mikroimpaktitokat és vasszferulákat tartalmazott (hasonló vasszferulákat találtak a Szihote Alin vasmeteorit-zápor területén, a jakutföldi Macha-kráternél, az arizonai Barringer-kráter közelében az Ördög-kanyonban, Szaúd-Arábiában a Wabar-kráter mellett is). Mindezek a légkörbe való belépés során a sokszerű fékezés következtében fel-lépő aprózódás, a hőhatás miatti leolvadás, valamint a becsapódásos robbanások maradványai. Az IA csoportba tartozó vasmeteorit POKROVSKIJ (1963) vizsgálatai szerint 4,8 méter átmérőjű, 450 tonna tömegű lehetett és 21 km/sec sebességgel csapódott a felszínbe.

Saaremaa szigete már a bronzkorban is viszonylag sűrűn lakott vidék volt, a becsapódás látványos és ijesztő, katasztrofászerű eseménye minden bizonnyal megrázó hatással volt az itt élőkre és kihatott az északi népek mitológiájára (Edda, Kalevala) is. A nagy krátert a vaskorban kultikus célokra is használták, ugyanakkor a kiemelt sáncszerű perem védelmi szerepet is betölthetett. A Kaali-meteoritkráterek területe 1959 óta földtani természetvédelmi terület.

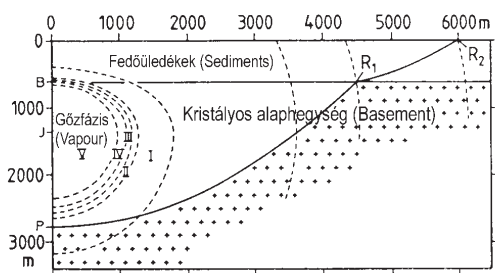
## Meteoritkráterek Németországban

Németország területén két meteoritkráter ismert a Ries és a Steinheim. Mindkettőt vulkáni eredetűnek vélték egészen addig, amíg 1961-ben olyan SiO<sub>2</sub>-módosulatokat mutattak ki a Ries-kráter kőzeteiben (SHOEMAKER, CHAO 1961), amelyek kizárólag pillanatszerű sokkhatás következtében keletkeznek. Ezzel bizonyították, hogy a krátert nem vulkáni működés, hanem meteoritbecsapódás hozta létre. A két kráter jelenlegi ismereteink szerint két közvetlen egymást követő becsapódás hatására jött létre.

### *Ries-kráter*

A 24 km átmérőjű Ries-kráternek központi kúpja és belső gyűrűje is kifejlődött, ezért a komplex kráterek közé sorolható. A külső kráterperem 80–230 m magasságban emelkedik a krátert kitöltő üledékek jelenlegi felszíne fölé, gyűrű alakú dombsor formájában (I. tábla, 5. fénykép). A gyűrű magassága nem egyenletes, északon alacsonyabb, délen magasabb. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a becsapódás (mint általában) nem függőlegesen, hanem meredek szögben történt. Erre utalhat a hasonló korúnak tekintett csehországi, morvaországi és ausztriai tektitek elterjedése is. A becsapódás kora 13,9–14,9 millió év (miocén, badeni), a felszíni befogadó kőzet 650 m vastag triász és jura homokkő, aleurolit, mészkő és márga, melynek fekéjében a kristályos alaphegység permnél idősebb magmás és metamorf képződményei települnek (gneisz, gránit, amfibolit). A kráter kialakulása után a mélyedést víz töltötte ki, amelyből 100 méter vastag tavi üledék rakódott le, közvetlenül a becsapódás során

megemelkedett alaphegységi kristályos kőzetblokkokra. A belső és külső gyűrű közötti területet megablokkzónának nevezték el. Ebben a zónában részben a megemelkedett kőzettestek, részben a kilöködött és visszahullott anyag helyezkedik el. A kidobódott anyag jóval túlterjed a kráter külső peremén. A kráter középpontjától 42 km távolságig mutatható ki általános elterjedése, de a morvaországi tektonikák mérete alapján jóval nagyobb távolságra is eljuthatott a nagyobb szemcseméretű anyag, a mikroszkopikus méretű szemcsék pedig feltehetően regionálisan kimutathatóak az adott korú üledékekben. A kráterképződés folyamatát és a kráterből kilöködött anyagmennyiséget szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra. A Ries-kráter kialakulásának modellje (VON ENGELHARDT, GRAUP 1984 nyomán)

A becsapódó test 650 m vastag mezozoos fedőüledéket (B pont) és 750 m vastag kristályos kőzetreteget ütött át, majd a J pontban felrobbant. A vaporizált belső szféra körül a kőzetek I-IV fokú metamorf átalakulást szenvedtek. A P-R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> vonal fölötti teljes kőzetmennyiség kidobódott

**Figure 3.** Deep burst model for the formation of the Ries impact crater (after VON ENGELHARDT, GRAUP 1984)

The projectile penetrated 650 m of Mesozoic sediments (B) and 750 m of crystalline rocks before it exploded at (J). Around the inner vapour sphere the rock was transformed into the metamorphic shock stages IV to I. All material ejected above the P-R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> line

A kráteren belüli impakt képződmények:

**Megablokkok:** többé-kevésbé breccásodott, 25 méternél nagyobb kőzettestek, a befogadó kőzet valamennyi sztratigráfiai egységének anyagából. A megablokkok képződésekor fellépő nyomás: 5–10 GPa.

„Bunte breccsa”: „többszínű” polimikt breccsa (HÖRZ et al. 1983), a befogadó kőzet valamennyi sztratigráfiai egységének anyagából (II. tábla, 1. fénykép). A szemcseméret nagyon változó, mikronos mérettől 25 m nagyságrendig. A Bunte breccsa képződésekor fellépő nyomás: ~35 GPa.

**Polimikt, kristályos breccsa:** összetett kőzetanyagú breccsa, kristályos kőzettörmelék. A képződésekor fellépő nyomás: ~35 GPa.

**Telérbreccsa:** többnyire a kristályos alapkőzet megablokkjaiban előforduló, a befogadó kőzettől eltérő anyagú olvadákból kikristályosodott szemcséket tartalmazó breccsa. A képződésekor fellépő nyomás: ~35 GPa.

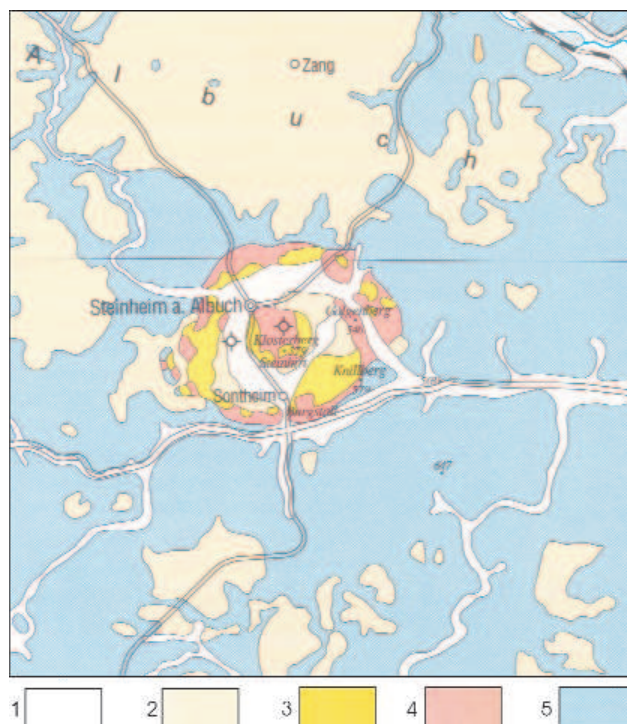
**Suevit:** az üledékes fedőképződmények és a kristályos alapkőzet anyagából képződött polimikt breccsa. A szemcseméret mikronostól néhány dm nagyságrendig (II. tábla,

2. fénykép) terjed. A becsapódás során megolvadt, majd kristályosodott kőzetanyag cm–dm-es méretű törmelék-szemcsék formájában jelenik meg benne. Jellemzőek a vulkáni bombákra emlékeztető szemcsék, a nagy nyomáson képződött SiO<sub>2</sub>-módosulatok (coesit, sztisovit), a grafit (gyémánt) és számos más sokkmetamorf jellegzetesség. A suevit nagy hőmérsékleten képződött impakt formáció, melynek leülepedése és kőzetté válása is több száz °C hőmérsékleten történt. A suevit képződésekor fellépő nyomás megközelíti a 100 GPa-t.

**Impakt olvadékkőzet:** kis méretű (cm-dm) suevithez hasonló kőzettestek, melyek mátrixában is megjelenik az impakt hatásra megolvadt, majd megszilárdult kőzetanyag. A képződésekor fellépő nyomás: ~55–100 GPa.

### Steinheim-kráter

A kráter átmérője 3,7 km, központi kúppal rendelkező komplex kráter (4. ábra). Kora megegyezik a Ries-kráterével. A Ries közelében, attól 42 km távolságra Ny–DNy irányban helyezkedik el. Feltételezések szerint



4. ábra. A Steinheim-kráter földtani térképe (SCHMIDT-KALER 2004)

1 – fiatal völgykitöltés (holocén, felső-pleisztocén); 2 – lösz, kavics, homok, lejtőtörmelék (tercier, kvarter); 3 – kráterkitöltő üledékek: mészkő, agyag, márga, homokkő, konglomerátum; 4 – suevit, üveges impakt breccsa, a kristályos alaphegység kőzeteinek törmelék-szemcséivel; 5 – márga, mészkő, dolomit (felső-jura)

**Figure 4.** Geological map of the Steinheim meteorite crater (SCHMIDT-KALER 2004)

1 – valley infilling (Upper Pleistocene, Holocene); 2 – loess, gravel, sand, slope debris (Tertiary, Quaternary); 3 – sedimentary crater infillings: limestone, clay, marl, sandstone, conglomerate; 4 – suevite, glass-bearing impact breccia with fragments of the crystalline basement rock; 5 – marl, limestone, dolomite (Upper Jurassic)

kialakulása összefügg a Ries-kráterével, vagyis egymást rövidesen követő becsapódás hozta létre a két krátert. A befogadó kőzet jura mészkő, márga, homokkő és agyagkő, melyek kőzetanyaga a becsapódás következtében kialakult megablokkokban és a polimikt breccsában is megjelenik. Mikro- és makroszkópikus sokkmetamorf jelenségek egyaránt megtalálhatók a kráter kőzetanyagában (az ásványzemcséken síkok közötti deformációs jelenségek, nyomáskúpok stb.). A becsapódást követően a medencét neogén és negyedidőszaki üledékek töltötték fel, ezért impact képződmények csak a kiemelkedő kráterperemen figyelhetők meg.

### Meteoritkráterek Ukrajnában

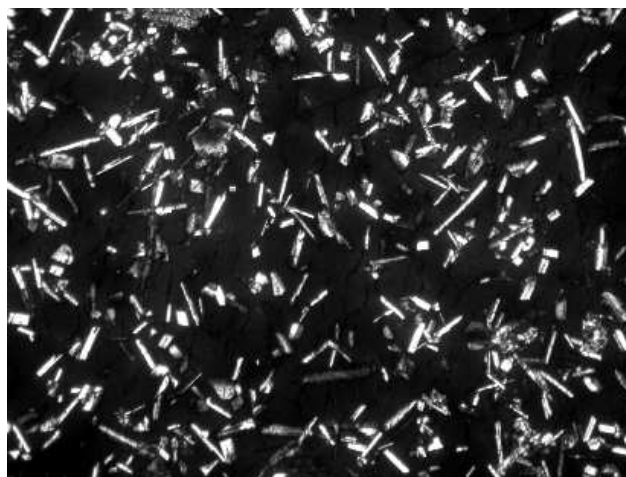
A szomszédos Ukrajna területén eddig már hét (Boltis [Boltysch], Ilyinyec [Ilyinets], Obolon, Rotmisztrivka [Rotmistrovka], Ternovszka [Ternovska], Zapadnaja, Zelenij Gaj [Zeleny Gay]) meteoritkráter ismert. 2001-ben magyar–ukrán tudományos együttműködés keretében egyhetes tanulmányúton vettünk részt, melynek során bemutatták az Ukrán Akadémia Geológiai Intézetének impact gyűjteményét, és elkalauzoltak a Boltis- és az Ilyinyec-kráterhez.

#### *Boltis-kráter*

A kráter Kijevtől délkeletre, a várostól 250 km távolságra található Kamenka város közelében. Befogadó kőzete az ukrainai pajzsot alkotó prekambriumi gránit- és gránitgneisz-képződményen belül az 1700 millió éves Kirovográdi Gránit. A kozmikus test nagy mérete miatt komplex kráter képződött, melynek belső (primer) gyűrűje 6 km, a külső (szekunder) 25 km átmérőjű. A becsapódás korát kezdetben a K/Ar vizsgálatok a cenoman/turon határra (88 millió év) tették, ám a legújabb  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  elemzések alapján a kréta/paleocén határon történt globális környezeti katasztrófát és kihalást okozó Chixculub-kráterrel azonos korúnak, azaz 65,2 millió évesnek tartják (GRIEVE et al. 1987, GUROV et al. 2003). A visszahulló breccsa 7000 km<sup>2</sup> területet borított be. Kezdetben minimális volt a posztimpakt erózió, hiszen 200 m vastag az olvadékokból képződött kőzettömeg (150 méter mélyen síkdeformációs szerkezet-átalakulást mutató kvarczemcséket és egykor megolvadt szilikát képződményeket mutattak ki). Ezután hosszú évmilliók alatt a kráter és a visszahulló breccsa legfelső szintje részben erodálódott. A becsapódás ereje egymásba csúsztatta a kőzetrétegeket és kialakultak a jellegzetes nyomáskúpok (II. tábla, 3. fénykép). A 200 méternyi központi kiemelkedést suevit, 1 m átmérőjű gránittömbökből álló monomikt breccsa és 30 cm átmérőjű tömbökből álló polimikt breccsa alkotja. A törmelékanyag Kirovográdi Gránitból és gneiszből áll, 5:1 arányban. A becsapódás utáni közel egy millió éves lehűlési időszak (GUROV 1996) végén a kráterben összegyűlt vízből kivált tavi üledék gazdag Ostracoda- és halmaradványokban, a fölhalmozódott paleo-

gén olajpalaösszlet vastagsága eléri az 500 métert. A központi kiemelkedésben a becsapódáskor fölhevült kőzetek lassú hűlésével a limonitos-hematitos, ortoklásztartalmú breccsa oxidációja során kaolinosodás zajlott le, valamint sziderit és hematit is képződött.

Az egykor olvadt kőzetek szövete mikrokristályos vagy üveges, az üveges mátrixban apró földpát mikrolitvázak ülnek (3. fénykép). A becsapódás következtében összetöredezett alapkőzetet visszahullott breccsa borítja, ennek fedőjében az üveg részben devitrifikálódott és egykori



3. fénykép. Földpát mikrokristályok üveges mátrixban (Boltis-kráter, Ukrajna) (képszélesség: 5 mm)

Photo 3. Feldspar microcrystals in glassy matrix (Boltysch crater, Ukraine) (width: 5 mm)

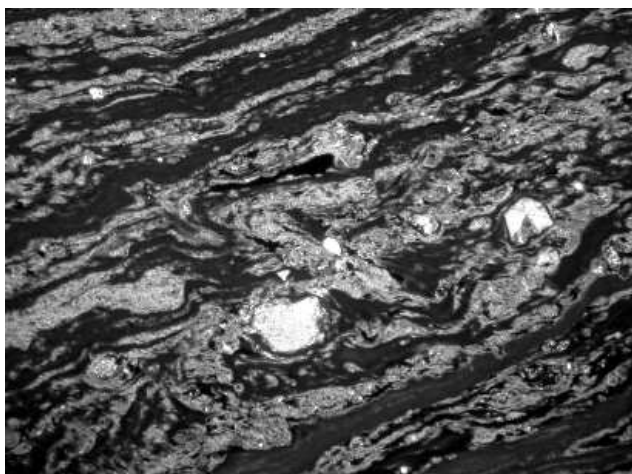
olvadékanyaggal kevert, melyet mikrokristályos, megolvadt kőzet fed le. Az egész sorozatot suevitbreccsa borította be, amelyen a posztimpakt, tavi üledékes sorozat települ. A gőzfelhőből kihulló mikroszkopikus méretű poranyag hatalmas területet terített be, de a Krímben a maastrichti/dániai határ eróziós kifejlődése miatt eddig kréta/paleocén határagyag nem ismert.

#### *Ilyinyec-kráter*

A kráter Kijevtől mintegy 200 km-re délnyugatra van a névadó falu mellett. A becsapódás korát először a szilur/devon határra (395 millió év), majd K/Ar vizsgálatokkal kora-szilurra (428–430 millió év) tették. A legújabb  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  elemzések alapján (PESONEN et al. 2004) pedig 445 millió évesre becsüli és a késő-ordovíciumba helyezi. Petrográfiai megfigyelések kimutatták, hogy a pontos becsapódási kor meghatározását posztimpakt hidrotermás hatások (GUROV et al. 1998) zavarták meg. A becsapódó test 4,5 km átmérőjű krátert hozott létre, Cr–Ni–Co-tartalma alapján feltételezhetően kőmeteorit volt.

A befogadó kőzet gránitjának kora a legújabb vizsgálatok alapján 1830 millió év. A felszínen tanulmányozható kráterperem anyagát 130 m vastag suevit alkotja, melyben az olvadt üveges anyag is megfigyelhető (4. fénykép). Az aggregátum sokhelyütt újra kristályosodott, a sokhatásra





4. fénykép. Olvadt üveg suevitben (Ilyinets-kráter, Ukrajna) (képszélesség: 10 mm)

Photo 4. Melted glass in suevite (Ilyinets crater, Ukraine) (width: 10 mm)

átalakult kvarcok esetenként némileg erodálódtak is. Ennek oka az a hidrotermás aktivitás lehetett, mely a forró kőzetre hulló esőtől lépett működésbe. A  $\text{SiO}_2$  coesit-módosulata is kimutatható a területen. A szilurban a gránitfelszín mélyedéseiben elszórtan tavi üledékek települtek. A befogadó kőzet a felszín alatt 16 méterre húzódik, a hirtelen fellépő, nagy erejű, ütésszerű nyomásnövekedés a biotitokat is összetörte, szétgyúrta (II. tábla, 4. fénykép) és kialakultak az impaktokra jellemző „kinkband” biotitok.

Ilyinets falu határában kőfejtő tárja föl a kráter kiszórt anyagát. Alul a breccsásodott gránit, fölötte a nagyobb méretű kőzetdarabok, erre a visszahullott tömbök, majd legfölül a finomabb kiszórt és leülepedett kőzetösszetétel (5. fénykép) települ. Az impakt breccsa és a suevit felső rétegeiben 5–40 cm-es, a bazaltvulkáni bombákhoz hasonló lapult korong, tojásforma és tekeredett ovális, vagy orsó formájú olvadékból keletkezett aerodinamikus bombákat is találhatunk (II. tábla, 5. fénykép). Sokukban a gyors hőfejlődés következtében buborékok képződtek, a gőzfelhőből kihullott összetételben gránittörmelék van.



5. fénykép. Visszahullott impakt törmelékanyag az Ilyinets-kráterben (Ukrajna)

Photo 5. Fallback impact material in the Ilyinets crater (Ukraine)

### Köszönetnyilvánítás

Cikkünkkel a hazai meteoritkráter-kutatásokhoz kívánunk hozzájárulni és a rendkívül izgalmas és szerteágazó téma iránt érdeklődők figyelmét szeretnénk fölhívni néhány megfontolandó szempontra. Ezúton is köszönjük a dr. Detre Csaba Hunor által szervezett Koszmikusanyag-kutató Csoport (CMRG) megbeszélésein résztvevő geológusok, csillagászok, geofizikusok, és más szakemberek inspiráló és figyelemre méltó javaslatait.

Egyben megköszönjük Kubovics Imre és Jámbor Áron professzorok lektori munkáját és hasznos észrevételeit.

### Irodalom — References

- AALOE, A. 1958: Kaalijarve meteoriidikraatri nr. 5 uurimiset 1955 aastal. — *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused*, II, pp. 105–117.
- ARDAI, A., BÉRCZI, SZ., LUKÁCS, B., DON, GY., SOLT, P. 1999: Preliminary report of Szilvagy-patkó (Horseshoe): a new (possible) impact (half) crater in Hungary. — *30<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference*, Houston, Abstracts no. 1384.
- BECKER, L., POREDA, R. J., HUNGT, A. G., BUNCH, TH. E., RAMPINO, M. R. 2001: Impact event at the Permian-Triassic boundary: Evidence from extraterrestrial noble gases in fullerenes. — *Science* 291, pp. 1530–1533.
- BÉRCZI SZ. 2000: Holdkőzetek, meteoritok — *Kis atlasz a Naprendszerrel 1. kötet. ELTE TTK*, Budapest, 20 p.
- BÉRCZI SZ. 2003: Bolygófelszíni mikrokozmoszok atlasza — *Kis atlasz a Naprendszerrel 6. kötet. ELTE TTK*, Budapest, 20 p.
- BODOKY T., KUMMER I., KLOSKA K., FANCSIK T., HEGEDŰS E. 2004: A magyarmecskei tellurikus vezetőképesség-anómália: eltemetett meteoritkráter? — *Magyar Geofizika* 45 (3), pp. 96–101.
- BODROGI, I., FOGARASI, A., BÁLDI-BEKE, M. 1996: Spherules and microtektites in the ?Coniacian-Middle-Campanian sediments of the Bakony-mts (Hungary). — *Proceedings of the International*

- Meeting "Spherules and Global Events". KFKI Report, Budapest, pp. 73–82.
- BOUSKA, V. 1994: *Moldavites, the Czech tektites*. — Stylizace, Praha, 69 p.
- BRAUN, T., OSAWA, E., DETRE, CS., TÓTH, I. 2001: On some analytical aspects of the determination of fullerenes in samples from the Permian/Triassic boundary layers. — *Chemical Physics Letters* 384, pp. 361–362.
- BUDAI T., CSILLAG G. 2007: Meteoritkráter Veszprém mellett? — *Élet és Tudomány* 2007 (11), pp. 326–327.
- CHAO, E. C. T., FAHEY, J. J., LITTLER, J. MILTON, D. J. 1962: Stishovite, SiO<sub>2</sub>, a very high pressure new mineral from Meteor crater, Arizona. — *Journal of Geophysical Research* 67, pp. 419–421.
- CLYMER, A. K., BICE, D. M., MONTANARI, A. 1995: Shocked quartz in the Late Eocene: Bolide impact evidence from Massignano, Italy (abstract) — *4th International Workshop of the ESF scientific network on „Impact cratering and evolution of Planet Earth”. The role impacts on the evolution of the atmosphere and biosphere with regard to short- and long-term changes*, p.60.
- DETRE, CS. H. 1994: Spherulites - new tools for global geological and planetological correlation. — *Abstracts of International Meeting, Spherulites (Micrometeorites) in the Carpathian Basin*, Budapest, 31 October - 1 November 1994, pp. 3–4.
- DETRE, CS. H., TÓTH, I., DON, GY., KISS, Á., UZONYI, I., BODÓ, P., SCHLÉDER, ZS. 2000: The Paleozoic came to end by the biggest train of disasters known in the Earth's history. — *Proceedings of the 1998 Annual Meeting Terrestrial and Cosmic Spheres*. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 183–210.
- DETRE CS. H., DON GY., DOSZTÁLY L., GÁL-SOLYMOS K., SIEGL-FARKAS Á., SOLT P., VICZIÁN I. 2002: A hazai szferula-kutatás eddig elért eredményei. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1997-98-ról*, pp. 183–210.
- DON, GY. 1996: Study of extraterrestrial spherules in Hungary. — *The role of impact processes in the geological and biological evolution of Planet Earth*, Ljubljana, Abstracts, pp. 26–27.
- DONG, B., MORTON, R. D., WANG, K. 1993: Cosmic nickel-iron alloy spherules from Pleistocene sediments, Alberta, Canada. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57 (16), pp. 4129–4136.
- DOSZTÁLY, L. 1994: Glassy spherulites from Hungary. — *Abstracts of International Meeting Spherulites (Micrometeorites) in the Carpathian Basin*, p. 14.
- Earth Impact Database 2007: <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html>.
- ENGELHARDT, W. (VON) 1990: Distribution, petrography and shock metamorphism of the ejecta of the Ries crater in Germany — a review. — *Tectonophysics* 171 (1–4), pp. 259–273.
- ENGELHARDT, W. (VON), GRAUP, G. 1984: Suevite of the Ries Crater, Germany; Source rocks and implications for cratering mechanics — *Geologische Rundschau* 73, pp. 447–481.
- ERNSTON, K., RAMPINO, M. R., HITTL, M. 2001: Cratered cobbles in Triassic Bundsandstein conglomerates in northeastern Spain: An indicator of shock deformation in the vicinity of large impacts. — *Geology* 29 (1), pp. 11–14.
- FRENCH, B. M. 1998: Traces of catastrophe. — *LPI Contribution No. 954, Lunar and Planetary Institute*, Houston, 120 p.
- GÁL-SOLYMOS, K., DON, GY. 2004: New results on magnetic spherules from Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* 47 (2–3), pp. 287–296.
- GLASS, B. P. 1990: Tektites and microtektites: key facts and inferences. — *Tectonophysics*, 171 (1–4), pp. 393–404.
- GRIEVE, R. A. F., RENY, G., GUROV, E. P., RYABENKO, V. A. 1987: The melt rock of the Boltsh impact crater in Ukraine, USSR. — *Contribution Mineralogy and Petrology* 96, pp. 56–62.
- GUCSIK, A., MIURA, Y., FUKUYAMA, S. 1998: Distribution of crater ejecta of the Bosumtwi impact-crater lake, Ghana: comparison with the crater ejecta of the Ries Crater, Germany — *Annual Meeting of the IGCP 384*, Budapest, pp. 41–43.
- GUCSIK, A., KOEBERL, C., BRANDSTÄTTER, F., LIBOWITZKY, E., ZHANG, M. 2004: Infrared, Raman and cathodoluminescence studies of impact glasses — *Meteoritics and Planetary Sciences* 39, pp. 1273–1285.
- GUROV, E. P. 1996: The Boltsh impact crater: Lake basin with a heated bottom. — *International Workshop Tunguska 1996*. Bologna, Abstract, p. 11.
- GUROV, E. P., KOEBERL, C., REIMOLD, W. U. 1998: Petrography and geochemistry of target rocks, breccias and impact melt rocks from the Ilyinets crater, Ukraine. — *Meteoritics and Planetary Science* 33, pp. 1317–1333.
- GUROV, E. P., KELLEY, S. P., KOEBERL, C. 2003: Ejecta of the Boltsh impact crater in the Ukrainian Shield. — In: KOEBERL, C., MARTINEZ-RUIZ, F. (eds): *Impact markers in the stratigraphic record*. Springer, Amsterdam, pp. 179–202.
- GRAHAM, A. L. 1985: Catalogue of Meteorite Craters. — In: GRAHAM, A., BEVAN, A., HUTCHISON, R. (eds): *Catalogue of meteorites*. British Museum (Natural History), London, pp. 423–454.
- GYURICZA GY. 2001: Lös, ásványtani kiértékelés (a fedőledek nehéz és könnyűásvány vizsgálatának értelmezése, sztratigráfiai szerepük tisztázása). — *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- HEIDE, F. 1957: *Kleine Meteoritenkunde*. — Springer-Verlag, Berlin, 142 p.
- HÖRZ, F., OSTERAG, R., RAINEY, D. A. 1983: Bunte breccia of the Ries: Continuous deposits of large impact craters. — *Reviews of Geophysics and Space Physics* 21, pp. 1667–1725.
- JAKUCS L. 1975: A Fekete-tenger és a Kaspi-tó asztroléma eredete. — *Földrajzi Értesítő* 24 (4), pp. 433–438.
- JINGBO, L., KAI, Y., SHEGNORI, M., BOLIN, C., HONGRUI, F. 2001: Mineral inclusions in zircon from gneisses in the ultrahigh-pressure zone of the Dabie Mountains, China. — *Journal of Geology* 109 (4), pp. 523–535.
- KÁKAY-SZABÓ, O. 1999: On the morphological distinction between spherules of extraterrestrial, terrestrial and industrial origin by means of SEM and EDAX examination of samples taken from the placers of Crisu Negru, Romania. — *Romanian Journal of Mineralogy* 87, pp. 133–137.
- KALJUVEE, J. 1933: *Die Grossprobleme der Geologie*. — F. Wassermann, Tallin (Reval), 162 p.
- KOEBERL, C. 1997: Impact cratering: The mineralogical and geochemical evidence. — In: JOHNSSON, K., CAMPBELL, J. (eds): *Proceedings „The Ames structure and similar features”*. Oklahoma Geological Survey Circular 100, pp. 30–54.
- LENZ, C., LANGENHORST, F., STÖFFLER, D. 1995: Coesite in suevite of the Ries Crater, Germany. Optical, X-ray and TEM results (abstr.) — *4th International Workshop of the ESF scientific network on „Impact cratering and evolution of Planet Earth”. The role impacts on the evolution of the atmosphere and biosphere with regard to short- and long-term changes*, p. 109.
- LI-CHUN, L., ZIYUAN, O., DENG-SHENG, L., ZHI-SHENG, A. 1993: Microtektites and glassy microspherules in loess: Their discoveries and implications. — *Science in China (Ser. B)* 36 (9), pp. 1141–1152.
- MARSI, I., DON, GY., FÖLDVÁRI, M., KOLOSZÁR, L., KOVÁCS-PÁLFY,

- P., KROLOPP, E., LANTOS, M., NAGY-BODOR, E., ZILAHÍ-SEBESS, L. 2004: Quaternary sediments of the north-eastern Mórág Block (A Mórági-rög ÉK-i részének negyedidőszaki üledékei) – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2003*, pp. 361–369.
- MÉSZÁROS J. 1985: Meteoritbecsapódás a Bakonyban? – *Természet Világa* 116 (6), pp. 279–280.
- MIONO, S. 1995: Origin of microspherules in Paleozoic/Mezozoic bedded chert as estimated from its morphology. – *Il Nuovo Cimento* 18 (1), pp. 9–13.
- MIONO, S. 1998: A study of microspherules around Permo-Triassic boundary at Wanmo section, Guizhou province, South China. – *IGCP-384 Annual Meeting*, Budapest, pp. 66–69.
- MOLDVAY L. 1987: Asztroléna a Bakony-hegység nyugati részén. – *Földrajzi Értesítő* 36 (3–4), pp. 305–320.
- NASA 1982: *Cosmic Dust Catalog vol. 3 (1). sept. 1982.* – Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas.
- NASA 1991: *Cosmic Dust Catalog vol. 12. jun. 1991.* – Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas.
- NASA 1992: *Cosmic Dust Catalog vol. 13. sept. 1992.* – Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas.
- NÉGYESI L. 2006: Magyarországi meteoritkráter? – *Élet és Tudomány* 2006 (44), pp. 1382–1384.
- PÁLFY J. 2003: A triász végi és a kora-júra tömeges kihalás – *MTA Doktori értekezés*, Budapest, 112 p.
- PESONEN, L. J., MADER, D., GUROV, E. P., KOEBERL, C., KINNUNEN, K. A., DONADINI, F., HANDLER, R. 2004: Paleomagnetism and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age determinations of impactites from the Ilyinets structure, Ukraine. – In: DYPVIK, H., CLAEYS, P., BURCHELL, M. (eds): *Cratering in Marine Environments and on Ice*. Springer, Amsterdam, pp. 251–280.
- RAUKAS, A. 1997: An attempt to use microimpactites in the regional stratigraphy on the example of the Kaali crater field. – *Impact and extraterrestrial spherules: New tool for global correlation. International Symposium, July 1–5. 1997, Excursion guide and abstracts*. Tallinn, pp. 45–47.
- RAUKAS, A., PIRRUS, R., RAJAMAE, R., TIIRMAA, R. 1995: On the age of the meteorite craters at Kaali (Saaremaa island, Estonia). – *Proceedings of the Estonian Academy of Science Geology* 44 (3), pp. 177–183.
- RAUKAS, A., TIIRMAA, R., KAUP, E., KIMMEL, K. 2001: The age of the Illumetsa meteorite craters in southeast Estonia. – *Meteoritics and Planetary Science* 36, pp. 1507–1514.
- REINWALD, I., LUHA, A. 1933: Kaali jarv – the meteorite craters on the Island of Osel (Estonia). – *Publication Geologia Instituudi Univ. Tartu* 30, pp. 183–202.
- SCHMIDT-KALER, H. 2004: *Meteoritenkrater Nördlinger Ries, Geologische Karte 1:100 000* – Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- SHOEMAKER, E. M., CHAO, E. C. T. 1961: New evidence for the impact origin of the Ries basin, Bavaria, Germany – *Journal of Geophysical Research* 66, pp. 3371–3378.
- SIEGL-FARKAS, Á., WAGREICH, M. 1995: Palynological and nanoplankton investigation of the spherulite-bearing Polány Marl Formation: BH. NG-1. – *Proceedings of the International Meeting Spherulites and (Palaeo)ecology*. Debrecen, pp. 131–134.
- SMIT, J. 1999: The global stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary impact ejecta. – *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 27, pp. 75–113.
- SOLT, P. 1996: Investigations of spherules in the Kaba CV3 chondritic fall area. – *The role of impact processes in the geological and biological evolution of Planet Earth*, Ljubljana, Abstracts, pp. 85–86.
- SOLT P., DON GY., DETRE CS. H., GAL-SOLYMOS K., KISS Á., UZONYI I. 2003: Új rétegtani és sferulakutatási adatok a bükki felső-permből és a perm/triász határról. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2000–2001-ről*, pp. 143–152.
- SZARKA, A. 1991: Micromineralogical studies from the Upper Cretaceous section of the Bakony Mts. MSc Thesis, Eötvös University, Budapest, 51 p.
- SZARKA, A. 1996: First remarks on the occurrence of extraterrestrial magnetic spherules in the Senonian alluvial sediments of the Southern Bakony Mts, Hungary. – *Proceedings of the International Meeting Spherules and Global Events, KFKI Report*, Budapest, pp. 83–98.
- SZEDERKÉNYI, T. 1996: Revised „impact structure” at Magyarpolány, Bakony Mountains, Hungary. – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestensis de Rolando Eötvös Nominata, Sectio Geophysica et Meteorologica* 12, pp. 63–78.
- SZÖÖR, GY., KÖRPÁS-HÓDI, M., DON, GY., BESZEDA, I. 1995: Microspherulites from the sediments of Nagylózs-1 borehole, NW Hungary. – *Proceedings of the International Meeting: Spherulites and (Palaeo)ecology*, Debrecen, pp. 87–110
- SZÖÖR, GY., ELEKES, Z., RÓZSA, P., UZONYI, I., SIMULÁK, J., KISS, Á. Z. 2001: Magnetic spherules: Cosmic dust or markers of a meteorite impact? – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 181, pp. 557–562.
- TIIRMAA, R. 1994: Kaali meteorit. – *Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituut*, Tallin, 124 p.
- TRELOAR, P. J., O'BRIEN, P. J., PARRISH, R. R., KHAN, M. A. 2003: Exhumation of early Tertiary, coesite-bearing eclogites from the Pakistan Himalaya. – *Journal of the Geological Society, London* 160, pp. 367–376.
- VÉGH S. 1959: Az Északi-Bakony miocén képződményei. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1959-ről*, pp. 21–33.
- WALKDEN, G., PARKER, J., KELLEY, S. 2002: A Late Triassic impact ejecta layer in Southwestern Britain. – *Science* 298, pp. 2185–2188.

## I. tábla — Plate I



1. fénykép. Sokkhatásra átalakult kvarckristály síkdeformációs jelenségekkel a Zapadnaja-kráterből (Ukrajna)

Photo 1. Shocked quartz with PDF from the Zapadnaya crater (Ukraine)

2. fénykép. Nyomásos oldódás kavicsos Magyarpolányból (képszélesség: 60 cm)

Photo 2. Pebble with pressure solution from Magyarpolány (Hungary) (width: 60 cm)

3. fénykép. A Kaali-meteoritkráter (Észtország)

Photo 3. The Kaali meteorite crater (Estonia)

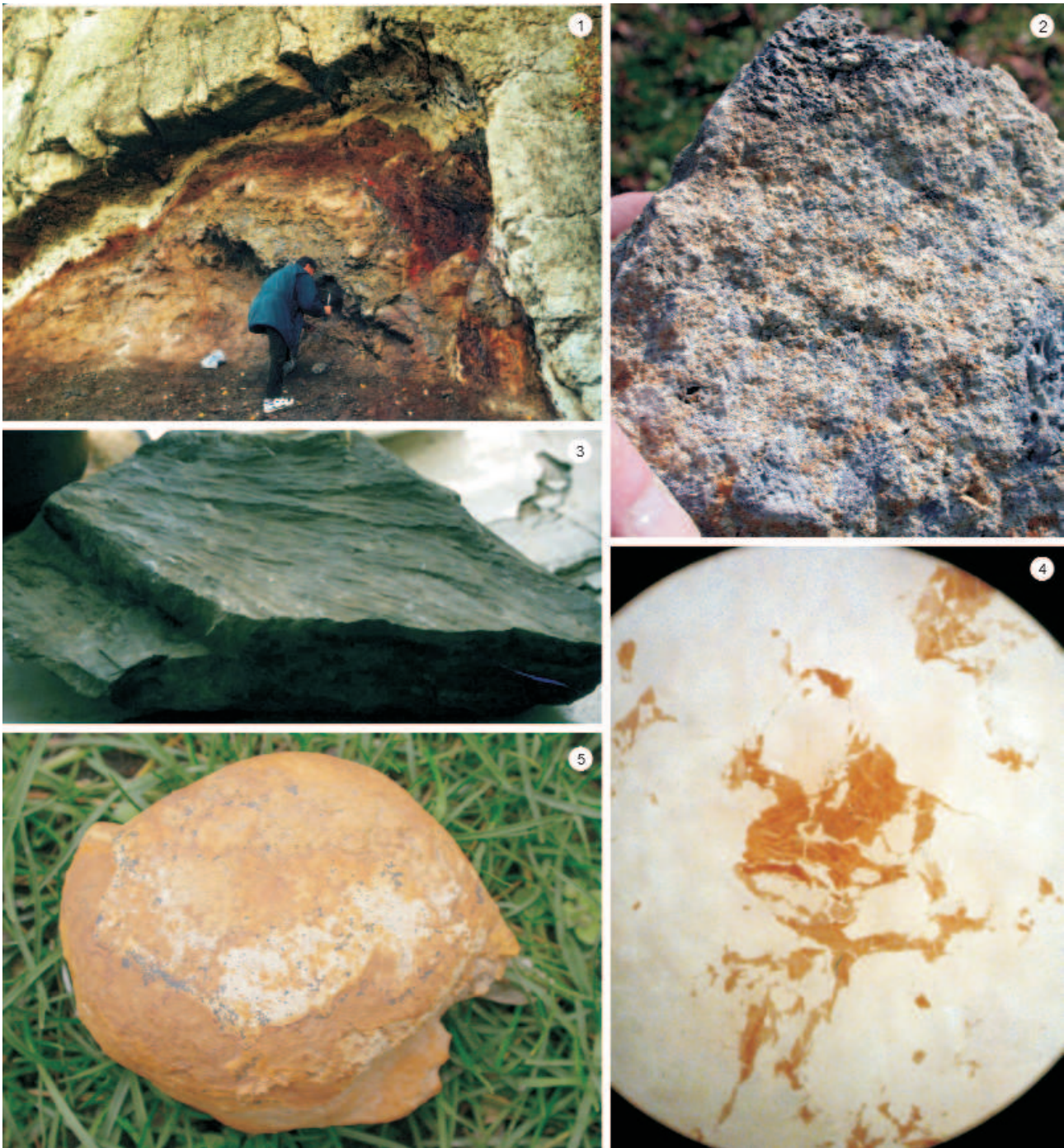
4. fénykép. A célkőzet fölszakított (fölemelt) padjai (Kaali-kráter, Észtország)

Photo 4. Uplifted beds of the target rock (Kaali crater, Estonia)

5. fénykép. A Ries-kráter látképe (Németország)

Photo 5. Panorama of the Ries crater (Germany)

II. tábla — Plate II



1. fénykép. Suevit által beborított tarka breccsa (Ries-kráter, Németország)

Photo 1. Bunte breccia overlapped by suevite (Ries crater, Germany)

2. fénykép. Polimikt közettörmelék suevitben (Ries-kráter, Németország) (képszélesség: 10 cm)

Photo 2. Polymict rock fragments in suevite (Ries crater, Germany) (width: 10 cm)

3. fénykép. Nyomáskúp a Boltis-kráterből (Ukrajna) (képszélesség: 30 cm)

Photo 3. Shatter cone from the Boltysch crater (Ukraine) (width: 30 cm)

4. fénykép. Üveges anyagú aerodinamikus impakt bomba (Ilyinyc-kráter, Ukrajna)

Photo 4. Aerodynamically shaped impact bomb with glassy material (Ilyinets crater, Ukraine)

5. fénykép. Széttört biotit (Ilyinyc-kráter, Ukrajna) (képszélesség: 10 mm)

Photo 5. Broken biotite (Ilyinets crater, Ukraine) (width: 10 mm)