

Geologian tutkimuskeskus
Geofysiikan osasto
Raportti Q/10.2/94/1
1.2.1994

Impakti- ja astrogeologian seminaari

Helsingin yliopisto
Geologian laitos
1.2.1994

Ohjelma ja esitelmien abstraktit

Toimittaneet
Ilmo Kukkonen ja Martti Lehtinen

Esipuhe

Impakti- ja meteoriittitutkimus sekä avaruustutkimus ovat Suomessa varsin laajaa, ja tutkimuksiin osallistuu tutkijoita lukuisista eri korkeakouluista ja tutkimuslaitoksista. Suomalaisia tutkijoita osallistuu aktiivisesti mm. eurooppalaisten impaktitutkijoiden renkaan ERGTIP:in toimintaan. Impaktitutkimus on tehnyt viime vuosina merkittävää työtä uusien impaktikraatterien tunnistamisessa Suomesta ja aiemmin jo tunnettujen rakenteiden jatkotutkimuksissa. Suurten prekambrisena aikana tapahtuneiden impaktien merkitys kallioperän evoluutiolle on edelleen avoin kysymys, mutta niiden tutkimus saattaa aikanaan tuoda aivan uusia näkemyksiä geologiseen tutkimukseen. Maapalloa koskevan impaktitutkimuksen lisäksi Suomessa tehdään aurinkokunnan muiden maankaltaisten planeettojen, pienkappaleiden ja meteoriittien geofysikaalista ja tähtitieteellistä tutkimusta, ja Suomessa tutkitaan parhaillaan mm. Antarktikselta löydettyjä meteoriitteja.

Ala on Suomessa (perinteistään huolimatta) varsin uusi eikä tutkijoiden keskinäisiä tapaamisia ole kansallisella tasolla järjestetty. Eri tutkimusryhmät tuntevat toistensa työtä ja menetelmiä melko vähän. Tämän ongelman poistamiseksi allekirjoittaneet lupautuivat järjestämään impakti- ja astrogeologian seminaarin, jossa keskitytään em. teemoihin.

Ohjelmassa on kaksi yleisesitelmää, toinen impaktimetamorfoosista ja toinen impaktikraatterien geofysiikasta. Näiden yleisesitelmien tarkoituksena on antaa yleiskuva ja perustiedot impaktiprosesseista ja impaktien tutkimusmenetelmistä myös sellaisille geologeille ja geofysikoille, joille impaktitutkimuksen aihepiiri on aiemmin ollut vieras.

Seminaariin ilmoitettujen tutkimusesitelmien aihepiiri on ilahduttavan laaja ulottuen Oortin komeettapilvestä asteroidien ja meteoriittien kautta impaktikraattereihin. Mukana on sekä Suomen, Viron että Brasilian tutkimuskohteita. Seminaarin järjestäjinä olemme positiivisesti yllättyneitä naapurimaiden kollegoiden kiinnostuksesta tilaisuuttamme kohtaan. Alunperin vain kansalliseksi ajatellusta seminaarista tulikin lopulta pienimuotoinen kansainvälinen tutkijakokous.

Helsingissä, 1.2.1994

Ilmo Kukkonen
GTK/Espoo

Martti Lehtinen
Helsingin yliopisto/Kivimuseo

Impakti- ja astrogeologian seminaari

Helsingin yliopisto, geologian laitos
Snellmannink. 3, luentosali 2
1.2.1994

Ohjelma

Klo 9.00: I. Kukkonen (Geologian tutkimuskeskus, Espoo): Alkusanat

Klo 9.05 - 11.00 **Osa I - Yleisesitykset impaktimetamorfoosista ja impaktien geofysiikasta**

Klo 9.05: Martti Lehtinen (Helsingin yliopisto, Kivimuseo): Impaktin vaikutus kiviin ja mineraaleihin

Klo 10.00 Lauri J. Pesonen (Geologian tutkimuskeskus, Espoo): Törmäyskraattereiden geofysiikasta

Klo 11-12: Lounastauko

Klo 12.00-16.00: **Osa II - Tutkimusesitelmät**

Klo 12.00: Mauri Valtonen (Turun yliopisto, Tuorlan observatorio): Impaktien yhteys auringon liikkeeseen Linnunradassa

Klo 12.20: Karri Muinonen (Helsingin yliopisto, tähtitieteen laitos): Lähiavaruuden asteroidi- ja komeettapopulaatiot

Klo 12.40 Mauri Terho (Geologian tutkimuskeskus, Espoo), Lauri J. Pesonen, Ilmo Kukkonen, Kari A. Kinnunen ja Risto Saikkonen: Antarktiksien ja Saharan meteoriittinäytteen - ensimmäisiä tuloksia

Klo 13.00: Fredrik Pipping (Geologian tutkimuskeskus, Espoo): Impaktitutkimus: Nykyiset tiedot ja tulevaisuuden haasteet

Klo 13.20-13.40: Kahvitauko

Klo 14.00: Jüri Plado (Tartton yliopisto, geologian laitos), Lauri J. Pesonen, Seppo Elo ja Väinö Puura: Geophysical Research into the Kärdlä meteorite crater-preliminary results

Klo 14.20: Nils-Bertil Svensson (Uppsala, Ruotsi): Lumparn - en meteoritkrater

Klo 14.40 Toni Eerola (Geologian tutkimuskeskus, Espoo): Erään pyöreän rakenteen alustavat tutkimukset Lavras do Sulin alueella Etelä-Brasiliassa

Klo 15.00: Ilmo Kukkonen (Geologian tutkimuskeskus, Espoo), Lauri J. Pesonen, Seppo Elo ja Martti Lehtinen: Kalotfjärdenin ympyrärakenne -
impakti, intruusio vai jotain muuta?

Klo 15.20: Anneli Uutela (Helsingin yliopisto, Kivimuseo): Impaktikraat-
tereiden fossiiliaineisto

Klo 15.40: Martti Lehtinen (Helsingin yliopisto, Kivimuseo): Loppusanat

Impaktin vaikutus kiviin ja mineraaleihin

Martti Lehtinen, HY, Luonnontieteellinen keskusmuseo,
Geologian museo

Impakti = kahden planetaarisen kappaleen kosmisella nopeudella tapahtuva törmäys, joka synnyttää törmäyskohteeseen ja törmäjäjään shokkiaallon. Shokkiaaltoon liittyy hetkellinen paineen ja myös lämpötilan kohoaminen; paine voi ylittää 100 GPa ja lämpötila 2000 - 3000 °C. Impakti ja siihen liittyvä räjähdys voi näin synnyttää sarjan uusia kivilajeja, joiden mineraaleissa näkyvät shokkiaallon jäljet.

Syntyvät kivilajit (sarja impaktiitteja) ovat erilaisia breksioita, joista on käytetty kirjavaa nimitystä. Yksinkertainen, luokitteluun sopiva sarja on fragmental breccia (melt free), suevitic breccia (melt-bearing), melt breccia (clast-bearing) ja melt rock (clast free) eli vapaasti suomentaen fragmentaalinen breksia (kivimurskaa, ei sulaa), sueviittinen breksia (sulapitoinen = fluidaaliset lasikappaleet), sulabreksia (murskaleita kivisulassa, kärnäiittimäinen) ja sulakivi (lasinen, ei kivimurskaa). Heikko shokkiaalto voi rikkoa kiven kartiomaisiksi kappaleiksi, pirstekartioiksi (shatter cones).

Jos shokkiaallon huippupaine on yli 10 GPa (plastisen Hugoniot'n alue), syntyy mineraaleihin planaarisrakenteita (shokkilamelleja). Varsinkin kvartseissa ne näkyvät yhdensuuntaisina, terävinä ja lähekkäin sijaitsevinä tasoina (toisiaan leikkaavina tasoparvina), joilla on kristallografinen kontrolli. Paineen voimakkuus ja kiven lämpötila puolestaan kontrolloivat syntyvien lamellien suuntaa. Kiilteisiin syntyy kink bandeja (sykkyräpoimuja), jotka toki voivat olla tektonistakin alkuperää. Mineraalirae voi myös paineen vaikutuksesta hajota kiinteässä tilassa lasiksi (= diaplektinen lasi); tällaista plagioklaasilasia kutsutaan maskelyniitiksi. Korkea huippupaine synnyttää myös korkeanpaineen polymorfeja kuten kvartseista coesiittia ja stishoviittia, grafiitista chaoiittia ja timanttia jne.

Jos shokkiaallon huippupaine on yli 40 GPa, on jälkilämpötila niin korkea, että kiven mineraalit pehmenevät, sulavat, rakkuloituvat tai kaasuuntuvatkin. Tällöin on huomattava, että kukin mineraali sulaa omassa sulamispisteessään, eikä esim. eutektisia sulia synny. Näin kvartsi, jolla on korkea sulamispiste, jää useimmin sulamatta kuin vaikkapa maasälpä tai helposti hajoava kiille. Nopean sulamisen, sekoittumisen ja jäähtymisen takia voi esim. fluidaalisessa lasissa nähdä kirkasta kvartsilasia ja sen vieressä tuoreen kiillesirun. Samoin impaktisulassa (lasissa) voi olla tuoretta tai pallomaisesti murtunutta kvartseja sekä kvartseja, jossa on runsaasti shokkilamelleja. Nämä kvartsikappaleet ovat sulassa toimineet kiteytymiskeskuksina. Maasälpä saattaa olla hohkaista (vesiculated) tai shakkilautarakenteista jne. Meteoritiin jäänteinä löytyy eräistä impaktisulista mm. pieniä Ni-Fe-pallosia.

Polarisaatiomikroskooppiin liitetyn videokameran avulla tarkasteellaan impaktimetamorfoosin merkkejä eräissä suomalaisissa (Lappajärvi, Lumparn) ja ulkomaisissa (Mien, Jänisjärvi, Ries, Clearwater Lakes, Meteor Crater, Gosses Bluff) impaktikraattereissa.

Impakti- ja astrogeologian seminaari
Helsingin yliopisto
Geologian laitos
1.2. 1994

GEOPHYSICS OF TERRESTRIAL IMPACT CRATERS

Lauri J. Pesonen

Geophysics Department, Geological Survey of Finland
02150 Espoo, Finland

The geophysical characteristics of terrestrial impact craters are reviewed. The major advantages and drawbacks of the geophysical methods (gravity, magnetic, electric, electromagnetic, seismic and paleomagnetic methods) applied to terrestrial impact craters will be discussed using examples from the literature. The geophysical anomaly produced by a hypervelocity impact depends upon (i) target rock lithology, (ii) the morphology of the crater produced, (iii) the nature of pre-existing geological structures, (iv) the impact induced changes in physical properties of the target rocks and (v) the size and type of the projectile (energy). Moreover, post-impact processes, such as after-impact slumpings, regional deformational tectonics and erosion will modify the impact generated anomaly patterns considerably. This is particularly so for the pre-Cambrian impact craters which have suffered modifications due to later orogenies and strong erosion. A major task for geophysicist, therefore, is to develop interpretation techniques to isolate the impact generated anomaly from the now observed complex anomaly pattern. Theoretical modelling experiments are strongly needed here (e.g., Pesonen, 1993; Pesonen et al., 1993).

Geophysical data have been measured from impact craters at various altitudes in drillholes, on the ground, from the air and from satellites. Since the impact generated geophysical anomaly depends strongly on the measurement altitude, the anomalies differ in their size, shape and depth information. Gravity and magnetic measurements in particular have lead directly to discoveries of impact craters on the Earth and they continue to be the major tool in searching for new craters. In addition, geophysical data and modelling have been used to calculate the impact melt volumes in some craters. The geophysical data often display curious anomalies which may be of exploration interest. Although the impact age cannot be directly measured by these geophysical methods, it can be constrained in two ways. *Firstly*, the geophysical data often reveal rock strata at different levels due to post-impact block-faulting thus allowing a within-crater stratigraphic reconstruction to be made. *Secondly*, paleomagnetism may provide an age estimate of the impact event.

Impact craters are unique natural laboratories for many things. The impact generated bowl offer, for example, a natural basin for post-impact sediments to be deposited in an undisturbed environment. Often the block-faultings at the rim create pockets for down-faulted sediments which may be preserved up to now against erosion. They are thus the only available remnants of rocks of a particular age, which otherwise has disappeared from the geologic record by the erosion. These sediments provide unique material for datings with fossils and for palaeomagnetic studies.

The merits of the geophysical methods are that they often give a three dimensional view of the impact structures with a high resolution. The main **drawback** is that the geophysical interpretation models are not always unique: their validity can only be verified by drilling. Fortunately, recent drilling of some impact craters has proven that the geophysical models are often succesful in delineating subsurface structures. The ambiguities of the modelling can be considerably reduced by integrating data obtained by various methods.

By investigating the characteristics of the geophysical data and models of impact craters, one can in principle establish a set of criteria that correspond to the geophysical signature of impact craters. However, even though considerable work has been done in developing geophysical apparatus, measuring techniques and interpretation methods, there has been little comprehensive 3-dimensional geophysical modelling of terrestrial impact craters of various ages and sizes (simple, complex, multi-ring) occurring in different environments (sedimentary basin, ancient shield, shallow marine, deep ocean floor, thick ice sheet, etc.). Such modelling would help in (i) discovering new craters, (ii) developing better criteria to recognize relict anomalies due to strongly eroded large impact craters in shield areas that have been later modified by orogenies and tectonism, and (iii) to find impact craters on the ocean floor, which are still very sparse. These are some of the major tasks of geophysics in future impact cratering research on the Earth.

References:

- Pesonen, L.J., 1993. Terrestrial impact craters - geophysical characteristics. In: Abstracts, Impact craetering and Evolution of Planet Earth, 1st ESF-Impact Workshop, Nördlingen, Germany.
- Pesonen, L.J., Masaitis, V.L. and Lindström, M., 1993. Report on topic 4: Terrestrial craters - Geophysics, Economics, and Formations. *In*: A. Montanari and J. Smit (editors), Post-Nördlingen Newsletter, ESF-Network on Impact Craters: 8-10.

MODULATING TERRESTRIAL IMPACTS FROM OORT CLOUD COMETS BY THE ADIABATICALLY CHANGING GALACTIC TIDES.

John J. Matese¹, Patrick G. Whitman¹, Kimmo A. Innanen² and Mauri J. Valtonen³,
¹Department of Physics, The University of Southwestern Louisiana, Lafayette, LA 70504-4210, USA, ²Department of Physics, York University, Toronto, ON, M3J 1P3, Canada, ³Tuorla Observatory, SF-21500, Piikkiö, Finland

ABSTRACT

Time modulation of the flux of new Jupiter-dominated Oort cloud comets is the subject of interest here. The major perturbation of these comets during the present epoch is due to the tidal field of the relatively smooth distribution of matter in the Galactic disk. A secondary source of the near-parabolic comet flux are stars penetrating the inner Oort cloud and providing impulses which create brief comet showers. Substantial stellar-induced showers occur \approx every 100 Myr. Less frequent (but stronger) impulses due to giant molecular clouds can also perturb comets from the inner cloud. These occur on timescales of \approx 500 Myr. In contrast to these infrequent stochastic shower phenomena is the continuously varying tidal-induced flux due to the Galaxy. As the sun orbits the Galactic center it undergoes quasi-harmonic ($T_z \approx 64$ Myr) motion about the Galactic midplane which is superimposed on the small eccentricity, near-Keplerian motion in the plane having epicycle period \approx 150 Myr. In the process the Galactic tidal field on the sun/cloud system will vary, causing a modulation of the observable Oort cloud flux. We have created a model of the Galactic matter distribution as it affects the Solar motion over a time interval ranging from 300 Myr in the past to 100 Myr into the future. As constraints on the disk's compact dark matter component we require consistency with (1) the observed Galactic rotation curve, (2) today's flux distribution of new comets, (3) the studies of K-giant distributions, and (4) the periodicity found in the terrestrial cratering record. The adiabatically varying Galactic tidal torque is then determined and used to predict the time dependence of the flux. We find that a model in which \approx half of the disk matter is compact is consistent with these constraints. Under such circumstances the peak-to-trough flux variation will be \approx 5 to 1 with a full width of 9 Myr. This variability will be manifest in the terrestrial cratering record, and is consistent with the observed cratering periodicity, if over half of the impacts on earth are caused by comets or asteroids which originate in the outer Oort cloud.

Icarus (in press)

THE POPULATIONS OF EARTH-CROSSING ASTEROIDS AND COMETS

K. Muinonen (Observatory, University of Helsinki)

We define *Earth-crossing asteroids* (ECAs) as those whose orbits can intersect the capture cross section of the Earth as a result of long-range perturbations by the planets. About 50% of the asteroids currently classified as Amors (having perihelia $1.017 \text{ AU} < q < 1.3 \text{ AU}$) are ECAs; we term them Earth crossing Amors. In addition, a small number of asteroids currently classified as Apollos (having semimajor axes $a > 1.0 \text{ AU}$ and $q < 1.017 \text{ AU}$) are not ECAs. Owing to secular decreases of eccentricity during an advance of the argument of perihelion, their orbits do not intersect Earth's. As of early August 1993, about 180 ECAs had been discovered, of which somewhat less than 10% are Atens (having $a < 1.0 \text{ AU}$ and aphelia $Q > 0.983 \text{ AU}$), two thirds are Apollos, and one quarter are Earth-crossing Amors. Almost half of the ECAs have received permanent catalogue numbers, implying that their orbits are well known, while moderately reliable orbits are in hand for most of the rest. Almost 20 ECAs are considered lost.

ECA discovery completeness declines with decreasing diameter, and hence increasing absolute magnitude H . Discovery is thought to be complete to $H = 13.2 \text{ mag}$, about 35% complete to $H = 15.0 \text{ mag}$, 15% complete to $H = 16.0 \text{ mag}$, and 7% complete to $H = 17.7 \text{ mag}$. We assume that about half the ECAs are low-albedo, mainly C-class objects, and that the remainder are moderate albedo, mainly S-class objects. Our model (Rabinowitz *et al.* 1993) indicates that there are about 20 ECAs larger than 5-km diameter, about 1500 larger than 1-km diameter, and 135000 larger than 100-m diameter. At smaller sizes (diameters $\sim 10 \text{ m}$, say), it appears that the number of ECAs that can approach the Earth closely is enhanced relative to the general population and includes a relatively large fraction of low-eccentricity objects having $q \sim 1.0 \text{ AU}$.

We define *Earth-crossing comets* (ECCs) as those comets currently having perihelia less than the aphelion distance of the Earth (1.017 AU). ECCs comprise a fraction of short-period Jupiter-family comets (orbital period $P < 20 \text{ a}$), intermediate-period Halley-family comets ($20 \leq P \leq 200 \text{ a}$), and long-period comets (LPCs; $P > 200 \text{ a}$). It is certain that many dormant or extinct ECCs have, because of their asteroidal appearance, been termed ECAs. We start by considering active LPCs. About three LPCs brighter than absolute magnitude $H_{10} = 10.5 \text{ mag}$ cross the Earth's orbit each year. However, a fundamental problem in assessing the flux of ECCs is the poorly known relationship between observed cometary brightness and nuclear diameter. The annual flux of LPCs that reach heliocentric distances less than the aphelion distance of the Earth (1.017 AU) is given by $N(D) = N(1 \text{ km})D^{-1.97}$, where D is in km and $N(1 \text{ km})$ is the flux of comets/year whose nuclei are larger than 1 km diameter. The estimates of $N(1 \text{ km})$ vary widely: $14 \text{ a}^{-1} < N(1 \text{ km}) < 188 \text{ a}^{-1}$. This makes it clear that the Earth-crossing LPC flux, as a function of diameter, is uncertain by a factor of several. Bowell and Muinonen (1993) adopted $N(1 \text{ km}) \sim 100/\text{a}$.

We estimate that there are currently 40 ± 0.3 dex active and roughly 800 inactive Earth crossing Jupiter-family comets, together with about 200 active and 3,000 inactive Halley-family comets larger than 1 km in diameter. These numbers imply an Earth-orbit-crossing flux of about 5 active Jupiter-family comets and 2 active Halley-family comets per year, which together are roughly an order of magnitude less than the flux of LPCs and two orders of magnitude less than the flux of similar-size ECAs. The Earth orbit crossing flux of ECCs comprises between 20% (active) to 36% (active and inactive ECCs, including some already modeled as ECAs) of the total near-Earth-object flux. This estimate could be in error by a factor of two or more.

Bowell, E., and K. Muinonen (1993). Earth-crossing asteroids and comets: groundbased search strategies. In *Hazards due to comets and asteroids*, in press (University of Arizona Press, Tucson, Arizona, U.S.A.).

Rabinowitz, D. L., Bowell, E., Shoemaker, E. M., and K. Muinonen (1993). The population of Earth-crossing asteroids. In *Hazards due to comets and asteroids*, in press (University of Arizona Press, Tucson, Arizona, U.S.A.).

Antarktiksien ja Saharan meteoriittinäytteet - ensimmäisiä tuloksia

Mauri Terho*, Lauri J. Pesonen*, Ilmo T. Kukkonen*,
Kari A. Kinnunen[#] ja Risto Saikkonen[‡]

*Geofysiikan osasto

#Malmiosasto

‡Kemian Laboratorio

Geologian tutkimuskeskus

02150 Espoo

Avaruus- ja meteoriittitutkimus ovat yhdessä pystyneet selvittämään, että esim. kivimeteoriittien isäntäkappaleita ovat Vesta, Gaspra ja Boznemcová nimiset asteroidit. Meteoriittien ominaisuuksia tutkimalla voidaan tutustua näiden asteroidien ominaisuuksiin ja näin saada tietoa Aurinkokuntamme planetaaristen kappaleiden fysikaalisesta koostumuksesta, rakenteesta, syntymekanismista ja kehityksestä, mikä edesauttaa myös planeetta Maan rakenteen ja kehityksen ymmärtämistä.

Geologian tutkimuskeskuksen tutkijaryhmä sai vuonna 1992 käyttöönsä Antarktikselta ja Saharasta löydettyjä kivimeteoriittinäytteitä (Pesonen 1993). Antarktiksien näytteistä viisi on Yamato-vuorilta (yksi C-kondriitti, kaksi LL-kondriittia ja kaksi H-kondriitti) ja yksi Elephant Morainen alueelta (SNC). Saharan meteoriitit ovat Algeriasta löydetty seitsemän Acfer-meteoriittia, jotka ovat H-kondriitteja ja yksi Nigeriasta löydetty (Zagami) SNC-meteoriitti. Lisäksi tutkimuksessa on mukana Suomesta löydetty Bjurbölen L-kondriitti.

Näytteistä mitataan niiden petrofysikaaliset ja magneettiset hysteresisominaisuudet. NRM:n luonnetta tutkitaan VRM-testin sekä NRM:n, ARM:n ja IRM:n vaihtovirtademagnetointien avulla. Paleointensiteetti määritetään viidellä eri menetelmällä. Magneettisten mineraalien määrittämiseen käytetään Curie-siltaa. Petrofysikaaliset mittaukset aloitettiin 25.5.1993.

Näytteet mitattiin ensin kokonaisina eli "bulk-näytteinä". Tämän jälkeen näytteet pilkottiin paloiksi ja mittaukset toistettiin. Näytteet osoittautuivat petrofysikaalisesti melko homogeenisiksi.

Alustavat tulokset osoittavat, että tiheys, susceptibiliteetti ja NRM kasvavat meteoriittiryhmittäin sarjassa C→SNC→LL→L→H. L-ryhmässä tiheyden hajonta on suurin. Q-arvolle ja huokoisuudelle vastaavaa sarjaa ei voitu todeta. SNC-meteoriittien susceptibiliteetti on pienin, joten ne eroavat omaksi ryhmäkseen. C- ja L-kondriittien huokoisuus on selvästi suurempi kuin muiden ryhmien. Acfer-meteoriitteilla nähdään selvä huokoisuuden kasvu, mihin osasyynä saattaa olla rapautumisasteen kasvu.

Susceptibiliteetin anisotropian kuten myös lineaation, foliaation, ja muotoparametrin suuruus vaihtelee. Pienin anisotropia on SNC-meteoriiteilla. Kolmella näyteellä magneettisen alkion muoto on venynyt (lineaatio dominoi) ja muilla se on litistynyt (foliaatio dominoi).

Näytteiden alttius viskoosille magnetoitumalle todettiin VRM-testillä. Millekään näytteelle ei voitu osoittaa varmasti viskoosin magnetoituman ominaisuutta. Tämä antaisi olettaa, että näytteet eivät pitkältä Maan pinnallaolosta huolimatta ole Maan magneettikentän saastuttamia. Viskoositestin perusteella Acfer- ja Zagami-näytteiden magnetoituma on kaikkein stabiilein. Niillä on myös selvästi suurimmat Q-arvot.

Kirjallisuusviitteet:

Pesonen, L. J., 1993: Meteoriittiharvinaisuuksia tutkittavaksi Suomeen. Tiede 2000, 2, 14.

IMPAKTITUTKIMUS:

NYKYISET TIEDOT JA TULEVAISUUDEN HAASTEET.

Fredrik Pipping, GTK.

Impaktitutkimus sai vauhtia 1960-luvun alussa kun valmistaututtiin Kuulentojen tutkimuksia varten. Siitä lähtien, n. 35 vuoden aikana, on löydetty keskimäärin lähes viisi uutta impaktikraatteria vuosittain Maapalloltamme. Tällä hetkellä on tiedossa 150 varmaa tapausta jotka tarjoavat hyvin kirjavaa uutta tietoa, esim.:

- "ulkonäkö" eli topografinen kuva eri geologisissa ympäristöissä: sedimenttikivissä, kiteisessä kallioperässä, matalassa meressä, jne jne.
- geofysikaalinen kuva, etenkin gravimetrinen anomalia joka kertoo paljon kraatterin sisäisestä rakenteesta.
- impaktissa syntyneiden impaktimetamorfiset kivet ja niiden karakteristiset mineralogiset ja petrografiset piirteet, kuten kvartsin shokkilamellit, shokkiaallossa sulanut maasälpä, impaktisulaan kiteytyneet uudet mineraalit, jne jne.
- impaktikivien geokemia. missä etenkin hivenaineiden pitoisuudet heijastavat meteoriitin koostumusta.
- teoreettiset ja matemaattiset mallit impaktikraatterien fyysisestä synnystä sekä hyvät arviot meteoriittiiskujen yhteydessä vapautuvasta energiamäärästä.

Näiden tietojen perusteella on mielestäni lähivuosien impaktitutkimus keskittyttävä seuraavanlaatuisiin kysymyksiin:

- impaktikivi-muodostumien tunnistaminen metamorfisissa ja poimuttuneissa kivissä. Koska meteoriitti-iskemä on silmänräpäyksellinen tapahtuma ja sen vaikutukset ulottuvat kymmenien ja jopa satojen kilometrien päähän, impaktibreksiä ja muu kraatterista sinkoutuva aines on erittäin tarkka regionaalinen stratigrafinen "marker".
- arvioida meteoriitti-iskujen geologisia vaikutuksia erilaisissa ympäristöissä: kilpialueilla, sedimenttialueilla, merellisissä olosuhteissa, jne.
- meteoriitti-vuon selvittäminen prekambrian ja arkeisen ajan kuluessa. Missä määrin ovat meteoriitit lisänneet Maapallomme ainemääriä ja muuttaneet alkuainejakaumia maankuoressa?

Geophysical Research into the Kärđla Meteorite Crater, Hiiumaa, Estonia - preliminary results

By J. Plado, L.J. Pesonen, S. Elo and V. Puura

ABSTRACT

The circular Kärđla structure is situated in the northeastern part of Hiiumaa Island approximately at 58°59'N, 22°40'E. The crater age was determined by micropalaentological methods and it corresponds to 455 Ma according to global stratigraphic charts.

The purpose of the present pilot study was to prove the occurrence of petrophysical criteria for detection and exploration of meteorite craters; to prove differences between the physical properties of craterform and surrounding rocks; to link the petrophysical properties of rocks with geophysical fields using petrophysical measurements, data of drill holes and results of previous geophysical investigations.

This study is based on the sample material collected in the summer of 1992. The findings, which are reported, are from five subvertical drill holes, bored by the Geological Survey of Estonia. The samples were taken from all available rock types considering the durability of the core and the endurance of the sample to petrophysical measurements. The sample material represents seven metamorphic and sedimentary originated rock types, these are: fractured crystalline rock (34 probes - 9 amphibolites and 25 granitic rocks); 14 unfractured granitic rocks; 11 breccias; 10 limestones; 2 marls and 1 siltstone.

The petrophysical data of these 72 rock samples were measured in the Petrophysical Laboratory of the Geological Survey of Finland in the winter of 1992-93 and include six parameters (magnetic susceptibility, NRM, density, electric resistivity, seismic P-wave velocity and porosity).

The gravity and magnetic data of Hiiumaa Island were provided during the gravity-magnetic mapping by the Geological Survey of Estonia in the 1972-1973, the results of these geophysical investigations were used of in the present research.

The data of drill core measurements together with the results of geophysical investigations made it possible to compile the gravity-magnetic profiles with the possible interpretation models and to characterize the craterform rocks, which differ significantly from the unshocked Precambrian bedrock in the surroundings.

Sammanfattning av föredraget.

LUMPARN på ÅLAND - en meteoritkrater, av Nils B. Svensson, Institutionen för Geovetenskap, Uppsala universitet.

Lumparn är ett litet runt innanhav på Åland med en diameter på 10 - 11 km. Indikationer på att strukturen utgör resterna av en meteoritkrater är fynd av shatter cones och omfattande brecciebildningar i hållar i strandkanten på Segelgrundet och i närliggande områden. Här finns också rester av en kraterrand. Glas och svagt chockad kvarts från en borrkärna i centrala Lumparn stöder dessa indikationer. Kraterranden kan, förutom på Segelgrundet, återfinnas på Röde Kon och Kalkskär. Kraterns ålder är svår att fastställa men torde vara ca 1000 milj. år.

Lumparn är av stort intresse eftersom den är djupt eroderad. Därmed kan de lägre liggande delarna av en explosionskrater studeras, där chockmetamorfosen är svag men där breccior och sprickbildningar förekommer i stor omfattning. Betydelsen av sådana studier ligger i att de kan tillämpas på prekambrisk, djupt eroderade kratrar i våra prekambrisk områden.

I ett borrhål från centrala Lumparn finns en sekvens av omväxlande skifferar och sandstenar. Dessa bergarter är sannolikt nedkrossad rapakivi - granit. Detta fenomen kommer att diskuteras.

ERÄÄN PYÖREÄN RAKENTEEN ALUSTAVAT TUTKIMUKSET LAVRAS DO SULIN ALUEELLA (RS), ETELÄ-BRASILIASSA - ESIMERKKI GEOBLEEMI/ASTROBLEEMI KYSYMYKSESTÄ.

Toni T. Eerola - Geologian Tutkimuskeskus (Ulkomaanryhmä)

Jokaisessa maanosassa on todettu lukuisia impaktikraatereita. Suurin osa näistä sijaitsee kehittyneissä maissa. Tämä johtuu suurelta osin runsaista resursseista ja tutkijoiden ennakkoluo- lottomuudesta jotka ovat mahdollistaneet tämäntyyppisen tutki- muksen intensiivisyyden.

Brasiliassa on tähän mennessä todettu vain 4 impaktirakennetta, maan suuresta pinta-alasta huolimatta. Tämä puolestaan johtuu mm. resurssien vähyydestä sekä vaikeista luonnon olosuhteista jotka ovat tutkimuksen esteenä muissakin kehitysmaissa.

Eerola & Kraemer (1991) havaitsivat ilmavalokuvien ja LANDSAT satelliittikuvien avulla pyöreän rakenteen Lavras do Sulin alu- eella, Rio Grande do Sulin osavaltiossa, etelä-Brasiliassa. Ky- seinen rakenne on halkaisijaltaan 3 km ja se sijaitsee Ylä-Pro- terotsooisessa vulkaanisessa Hilário-muodostumassa (shoshoniitti- sia basaltteja ja andesiitteja, Lima & Nardi 1985). Rakenteen kivilaji on oliviini-basaltti (Eerola & Kraemer 1991). Hilário- muodostuman lisäksi rakennetta ympäröi Maricá-muodostuman sedi- menttikivet.

Ensimmäiset ajatukset tämän geomorfologisen muodon synnystä liittyivät vulkaaniseen/subvulkaaniseen rakenteeseen (geobleemi) tai impaktin aiheuttamaan (astrobleemi).

Pyöreään rakenteeseen havaittiin liittyvän aerogeofysikaalisia (magneettinen) (Jackson et al. 1973) ja geokemiallisia anomaliaita (Ni, Co, Pb, Zn, Cu purosedimenteissä).

Tutkimuksen aikana, joka oli osa kirjoittajan loppututkintoa (Eerola & Kraemer 1991), ei tekijöillä ollut tarpeellista tietoa impaktirakenteen tutkimisesta. Tämä on luultavasti monien yli- opistojen geologian kurssien vakava puute. Shokkimetamorfisia ra- kenteita kuitenkin etsittiin hienäytteistä, mutta näitä ei havait- tu.

Geofysikaalisen tutkimuksen ohella suoritettiin aeromagneettisen anomalian alustava mallintaminen (MagPoly ohjelmistolla). Mallin- tamisen avulla havaittiin, että tämä pyöreä rakenne ei ollut impaktin aiheuttama, vaan todennäköisesti subvulkaaninen intruusio (lakoliitti) tai vulkaaninen magmakanava.

Tämän rakenteen mahdollisesta malmipotentialista johtuen, lisätutkimukset ovat tarpeellisia, jotta selvitettäisiin sen todellinen luonne.

Kirjallisuus

- Eerola, T. & Kraemer, G. 1991 Geologia da Faixa VII. Summary: Geology of the Zone VII. Projeto Lavras-Taboleiros. Trabalho de Graduação. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 344 p., inédito. (Graduation Work, unpublished).
- Jackson, V.N., Ramos, V.A., Terry, S.A. & Szuzek, A.B. 1973 Pro- jeto Aerogeofísico Camaquã - Estado do Rio Grande do Sul. Summary: Aerogeophysical Project Camaquã - State of Rio Gran- de do Sul. Texas Instruments do Brasil Ltda. Conv. DNPM-CPRM/ CNEN - CPRM., v.I, 224 p. v. II, III e IV, mapas. Inédito. (Un- published).
- Nardi, L.V.S & Lima, E.F. 1985 A associação shoshonítica de Lav- ras do Sul, RS. Abstract: The shoshonitic association of Lavras do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, 15 (2): 139- 146.

Impakti- ja astrogeologian seminaari, Helsingin yliopisto, 1.2.1994

Kalotfjärdenin ympyrärakenne - impakti, intruusio vai jotakin muuta?

Ilmo Kukkonen, Lauri J. Pesonen ja Seppo Elo (Geologian tutkimuskeskus, Espoo)
Martti Lehtinen (Helsingin yliopisto, Kivimuseo)

Satelliittikuvissa ja topografikartoissa näkyy selvä ympyrärakenne 36 km Vaasan koillispuolella Kalotfjärdenin alueella. Rakenteen keskipisteen koordinaatit ovat $63^{\circ}19.5'$ N ja $22^{\circ}8'$ E. Sen halkaisija on noin 15 km. Kallioperäkartan mukaan aluetta hallitsee porfyyrinen graniitti (ns. Vaasan graniitti, ikä noin 1.8 Ga). Tässä esityksessä tarkastellaan Kalotfjärdenin rakennetta alustavien maastotutkimusten, magneettisten ja painovoimakarttojen sekä kohteessa tehdyn painovoimaprofiilin avulla.

Kalotfjärdenin rengasrakenne muodostuu Oxkangarin, Kvimon, Särkimoskärin, Västerön ja Österön saarista sekä lukuisista pienemmistä saarista ja luodoista. Rakenteen keskipiste osuu noin Ikarholmenin venesataman kohdalle. Suuren osan rakenteesta peittää Kalotfjärdenin selkä, jonka mukaan rengasrakenne on nimetty.

Rakenne erottuu selvästi paitsi saarten muodossa myös merenpohjan topografiassa. Rengasrakenteen alueella meri on yleensä vain 2-8 m syvä, mutta sen ulkopuolella syvyys on 15-20 m. Saarten topografia on pienipiirteistä ja korkeimmat mäet kohoavat noin 30 metriin meren pinnasta.

Geodeettisen laitoksen painovoima-aineistossa Kalotfjärdenin rakennetta luonnehtii noin 7 mgal:n paikallinen minimi, joka osuu rengasrakenteen keskipisteeseen. Geologian tutkimuskeskuksen aeromagneettisella korkealentokartalla havaitaan rengasrakennetta noudattavia kaarevia, epäyhtenäisiä anomaliajaksoja, joiden amplitudi on noin 5000 nT. Anomalioiden aiheuttajat eivät ole paljastuneita.

Kalotfjärdenin rakenteen selvittämiseksi alueelle tehtiin lyhyt maastokäynti ja mitattiin painovoimaprofiili. Maastohavainnot tukevat kallioperäkartan antamaa kuvaa, alueen kivet ovat porfyyristä Vaasan graniittia. Irtolohkareina esiintyy porfyyrigraniitin lisäksi hienorakeista graniittia, apliittigraniittia, tummia liuskeita, kvartsi-maasalpäliusketta, emäksisiä syväkiviä ja uraliittiporfyyyriä. Lohkareina ei tavattu impaktiin viittaavia kivilajeja. Kuuden eri puolilta rakennetta otetun paljastumanäytteen ohuthieissä ei näy merkkejä shokkimetamorfoosista.

Kivinäytteiden petrofysikaaliset tutkimukset osoittavat, että kivet ovat magneettisesti useimmiten paramagneettisia (suskeptibiliteetti alle $1000 \cdot 10^{-6}$ SI) ja Q-suhteet ovat pieniä. Korkeampia suskeptibiliteetteja liittyi vain kiillegneissi-, uraliittiporfyryitti- ja karsimaisiin kvartsi-maasalpäliuskeisiin. Paljastumista otetuissa porfyyrisen graniitin suunnatuissa näytteissä on remanenssi epästabiilia, mikä on tavallista graniiteille. Joissakin näytteissä todettiin merkkejä heikosta magneettisesta päällemerkinnästä, joka yhtyy Vaasan alueen jotunidiabaaseista (ikä noin 1.256 Ga) mitattuun remanenssin suuntaan.

Alueen pääkivilajin tiheys on $2677 \pm 44 \text{ kgm}^{-3}$ ($n = 11$). Tätä alhaisempia tiheysarvoja on alueen kivistä vain vaaleilla keskirakeisilla graniiteilla ja pegmatiiteilla.

Painovoima-anomalian selvittämiseksi mitattiin 5 km pitkä profiili 20 m:n pistevälillä Djupsundista Ikarholmenin venesatamaan, eli rengasrakenteen eteläosasta sen keskipisteeseen. Näin pienellä pistevälillä tehdystä mittauksesta voidaan varsin luotettavasti tulkita mm. mitkä anomalian piirteet ovat irtomaan tai kallioperän topografisten massojen aiheuttamia. Profiili vahvistaa rakenteeseen liittyvän painovoimaminimin (amplitudi noin 8 mgal). Painovoimaprofiilin sileä muoto ei kuitenkaan tue impaktihypoteesia. Kyseessä voisi olla esimerkiksi Vaasan graniittia pienemmän tiheyden omaava ja sitä leikkaava graniitti-intruusio. Edelleen rakennetta kiertävät magneettiset anomaliat voisivat olla esim. intruusion rakoihin tunkeutuneita jotunisia diabaaseja.

Tähänastiset tulokset eivät kuitenkaan lopullisesti sulje pois sitä mahdollisuutta, että Kalotfjärdenin rengasrakenne olisi syvälle erodoitunut impaktirakenne.

ANNELI UUTELA: KRAATTEREIDEN FOSSIILIAINEISTO

Helsingin yliopisto, Paleontologian museo

Meteoriitti aikaansaa painanteen, joka toimii sedimentaatioal- taana. Siihen kerrostuneen sedimenttikiven avulla ei voida ajoittaa itse kraatterin syntyhetkeä, mutta se antaa viitteen kraatterin iästä. Sedimenttikivi fossiileineen voi kertoa puto- siko meteoriitti ennen sedimenttikiven kerrostumista vai putosi- ko meteoriitti sedimenttikivikerrostuman päälle ja muodosti sii- hen kuopan.

Prekambrisen savi-, siltti- ja hiekkakivien ikä kattaa 2500 - 570 miljoonaa vuotta; paleo- (2500-1600 my), meso- (1600-1000 my) ja neo- (1000-570 my) proterotsooiset kivet. Paleontologisissa tut- kimuksissa näistä käytetään myös nimityksiä rifea (1700 - 650 my) ja vend (650 - 570 my). Kambriset savi-, siltti- ja hiekkakivet ovat iältään 570 - 510 miljoonaa vuotta ja ordoviikkiset kalkkikivet 510 - 440 miljoonaa vuotta.

Pieksämäen Iso-Naakkimassa mikrofossiilit ajoittivat kerrostuman Neoproterotsooiseksi, myöhäis-rifeiseksi, iältään n. 1000 mil- joonaa vuotta vanhaksi. Sedimenttikiven kerrokset ovat jokseenkin häiriintymättömiä: ts. meteoriitin synnyttämä allas on toiminut sedimentaatioaltaana.

Lappajärven meteoriittikraatterin kohdalla tilanne on päinvas- tainen: ts. 77 miljoonaa vuotta sitten eli liitukaudella meteoriitti on pudonnut maahan, jota peittivät myöhäis-prekam- briset ja varhais-paleotsooiset sedimenttikivet. Kärnänsaaren kairauksessa on sueviittipatjojen välissä savikiveä, jonka la- jistossa oli sekaisin kambrisia ja ordoviikkisiä akritarkkeja sekä näitä nuorempia itiöitä, mahdollisesti liitukautisia. Lisäto- distetta nuoremmista sedimenttikivistä antavat kambriset hiekka- kivi- ja ordoviikkiset kalkkivilohkareet järven kaakkoispuo- lelta.

Söderfjärdenin altaaseen on kerrostunut kambriaudella savikiveä. Lumparnin allas on syntynyt ennen paleotsooista maailmankautta: meso- tai neoproterotsooista savikiven päällä on ala-ordoviik- kista kalkkikiveä.