



# Röntgentomografia tuo uusia ulottuvuuksia geologian tutkimukseen

JUKKA KUVA

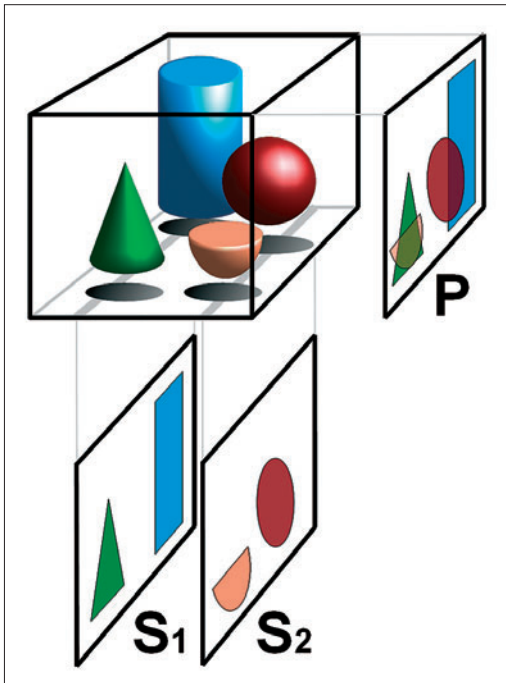
**R**öntgentomografia on menetelmänä tavallaan yhtä aikaa vanha ja uusi. Ensimmäinen kaupallinen laite otettiin käyttöön jo 1970-luvulla (Hounsfield 1973) ja laitteita on ollut Suomessakin jo yli kymmenen vuotta. Geologista tutkimustakin tomografialla on tehty Suomessa jo kauan (mm. Kuva *et al.* 2012). Toisaalta kehitys on edelleen vauhdikasta sekä laitteiden että tulosten analysoinnin osalta (Cnudde ja Boone 2013), joten uusia käyttökohteita myös geologiseen tutkimukseen ilmenee jatkuvasti (mm. Kuva *et al.* 2017).

Hieman samaan tapaan myös kesällä 2017 Geologian tutkimuskeskukseen (GTK) Espooseen hankittu tomografialaite sekä tuo tutun menetelmän GTK:n omaan käyttöön että avaa

portteja uudenlaiseen geologian tutkimukseen.

Tomografialla tarkoitetaan yleisesti menetelmää, joka tuottaa viipalekuvia projektoiden avulla. Tomografiassa voi käyttää mitä tahansa läpäisevää säteilyä. Röntgentomografiassa käytetään siis viipalekuvien muodostamiseen röntgensäteitä. Menetelmässä näytteestä otetaan projektioita (merkitty P:llä kuvassa 1) joka puolelta tasaisin kulma-askelein.

Hyvään lopputulokseen vaaditaan yleensä muutamasta sadasta muutamaa tuhanteen projektioita. Nämä projektiot voidaan sitten matemaattisesti rekonstruoida kolmiulotteiseksi kuvaksi, josta voidaan tarkastella mieltävaltaisia poikkileikkeitä (S1 ja S2 kuvassa 1). Näin päästään tarkastelemaan muotoja, joita perinteissä röntgenprojektiossa ei nähdä, kos-



Kuva 1. Havainnekuva tomografian pääperiaatteista. P on projektio, läpivalokuva näytteestä. S1 ja S2 ovat viipaleita näytteen 3D-rekonstruktiosta. (Wikimedia Creative Commons)

Figure 1. A schematic of the general principles of tomography. P marks a projection image S1 and S2 slices of a 3D reconstruction. (Wikimedia Creative Commons).



Kuva 2. Vasemmalta: GTK:n röntgentomografia-laitte pakkausmuoveissaan, Hugh O'Brien, Sayab Muhammad. Kuva: Jukka Kuva

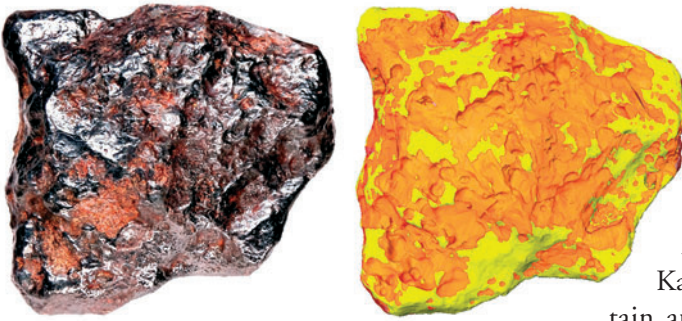
Figure 2. From left: The new XCT device at GTK still in protective wrapping, Hugh O'Brien, Sayab Muhammad. Photo: Jukka Kuva

ka ne peittyvät muiden muotojen taakse.

GTK:lle hankitun laitteen tarina alkaa vuodesta 2013, jolloin Sayab Muhammad tuli töihin GTK:lle ja alkoi suunnitella kiven morfologian tutkimista röntgentomografialla vaivalloisten ja hitaiden hiemenetelmien sijaan. Ensimmäiset näytteet kuvattiin Helsingin yliopiston laitteistolla ja tuloksista syntyi julkaisu arvostettuun *Geology*-lehteen (Sayab *et al.* 2015). Kiinnostus menetelmää kohtaan kasvoi ja realisoitui rahoitushakemuksena Suomen Akatemialle, joka hyväksyttiin 2015. Kolme tonnia painava laite saatiin lopulta paikalleen GTK:n kellarikerrokseen kesällä 2017. Kuvassa 2 vielä pakkausmuoveissaan olevan laitteen vieressä poseeraa hakemuksen kirjoittanut Sayab hakuprosessia vetäneen GTK:n Hugh O'Brienin kanssa.

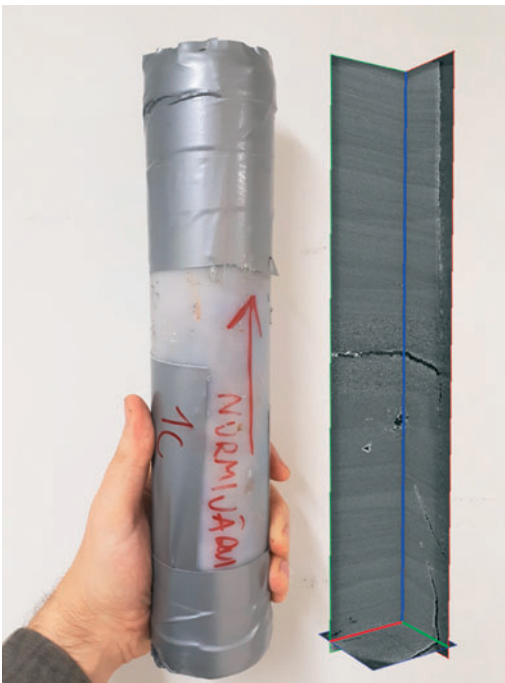
GE phoenixin Saksassa valmistama laite on toistaiseksi tehokkain Suomeen asennettu röntgentomografialaitte. Sillä pystytään mittaamaan jopa halkaisijaltaan 26 cm ja korkeudeltaan 41 cm näytteitä, aina 10 kg painoon asti. Laitteella voidaan ainoana Suomessa kuvata kokonaisia kairanreikänäytteitä sahaamatta niitä pienemmiksi, mikä on erityisen hyödyllistä nimenomaan GTK:n tarpeisiin.

Yli puolen välin ehtineen ensimmäisen käyttövuoden aikana GTK:n tomografialaitetta on jo käytetty useisiin sovelluksiin. Esimerkiksi kesällä löytynyttä Suomen ensimmäistä rautameteoriittia (Buchwald 1975), joka sai nimekseen löytöpaikan mukaan ”Lieksa”, kuvattiin GTK:ssa röntgentomografialla. Kuvista voitiin määrittää meteoriitin rauta- ja silikaattifaasien tilavuusosuudet ja täten varmistamaan meteoriitin luokitus. Lieksa on yksi ensimmäisistä koskaan röntgentomografialla kuvatuista rautameteoriiteista ja siitä saatiinkin uutta tietoa rauta- ja silikaattifaasien muodoista. Lieksa-meteoriitin valokuva ja tomografiakuvan 3D-visualisointi on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Lieksa-rautameteoriitti valokuvana (vasen) ja röntgentomografiakuvan 3D-visualisointina (oikea). Valokuva: Kari A. Kinnunen. Tomografia: Jukka Kuva

*Figure 3. A photograph (left) and a 3D visualization from a tomographic image (right) of the "Lieksa" iron meteorite. Photo: Kari A. Kinnunen. Tomography: Jukka Kuva*



Kuva 4. Järvenpohjan sedimenttinäytettä muovisessa näyteputkessa (vasen) sekä kuvan putkesta otettu röntgentomografiakuva (oikea). Valokuva ja tomografia: Jukka Kuva

*Figure 4. Sediment sample from the bottom of a lake in a plastic sample holder (left) and an XCT image taken from the sample shown (right). Photo and tomography: Jukka Kuva*

Röntgentomografiasta on myös löydetty uusi, nopeampi ja helpompi tapa tehdä tuttuja asioita, kuten moreeninäytteen orientatiomääritys, järven pohjan sedimenttinäytteiden tutkimus tai arvo-metallien etsiminen malmirikasteesta.

Kaikki yllämainitut voidaan tehdä osittain automatisoidusti suoraan muovisen näytteenpidikkeen läpi, jolloin vältetään paljon hidasta ja manuaalista käsityötä. Kuvassa 4 on esitetty yhteen tomografiakuvaukseen mahtuva pala sedimenttinäytettä ja siitä alle kahdessa tunnissa saatu tomografiakuva.

Röntgentomografian kyky tuottaa 3D-kuva näytteestä tuhoamatta sitä on erittäin arvokas, mutta materiaalitunnistusta sillä ei saada. Siksi menetelmä onkin parhaimmillaan, kun se yhdistetään johonkin tunnistuksen antavaan 2D- menetelmään, kuten polarisaatiomikroskopiaan tai elektronimikroskopiaan. GTK:lla on näistä menetelmistä vuosikymmenien vahva kokemus, ja useita röntgentomografiaa erinomaisesti täydentäviä laitteistoja on Espoon laboratoriossa saman katon alla. Tämä asettaa GTK:n röntgentomografialaboratorion Suomen mittakaavassa poikkeuksellisen vahvaan asemaan, etenkin geologisten näytteiden osalta.

Röntgentomografialaite on hankittu GTK:lle kansalliseen tutkimuskäyttöön ja sille otetaankin avoimin mielin vastaan uusia tutkimusprojekteja. Allekirjoittanut antaa mielellään lisätietoja laitteen toiminnasta ja sitä koskevista käytännöistä.

**JUKKA KUVA**

Geologian tutkimuskeskus

PL 96

02151 Espoo

jukka.kuva@gtk.fi

*Jukka Kuva on fyysikko, joka toimii Geologian tutkimuskeskuksen röntgentomografialaboratorion vastaavana tutkijana Espoossa.*

# Summary:

## X-ray tomography offers new ways to do geological research

X-ray tomography (XCT) is, in a way, simultaneously old and new. The first commercial device was manufactured already in the 1970s (Hounsfield 1973). XCT devices have existed also in Finland for over a decade and they have been used in geological research for years (e.g. Kuva *et al.* 2012). On the other hand, the method is still developing rapidly (Cnudde and Boone 2013), constantly revealing new research options (e.g. Kuva *et al.* 2017). Similarly, the XCT device installed at the Espoo laboratory of Geological Survey of Finland (GTK) in June 2017 gives GTK access to a mature technology, yet one that is still revealing new ways to do geological research.

Tomography, in general, refers to a method that produces slice images (S1 and S2 in Fig. 1) via projections (P in Fig. 1). XCT uses X-rays as the source for these images. A good result usually requires anything from a few hundred to a few thousand projections, which are mathematically reconstructed into a three-dimensional image. This allows one to see features that would be obscured by other features in traditional projection images.

The acquisition of the GTK device is mostly thanks to Sayab Muhammad whose interest in the subject led to a paper in *Geology* (Sayab *et al.* 2015) and an Academy of Finland grant, accepted in 2015. In Fig. 2, Sayab is posing with Hugh O'Brien, the GTK scientist responsible for the acquisition process, next to the new XCT device still in protective wrapping.

The XCT device has already been used in various applications. It was used to image the

first iron meteorite (Buchwald 1975) ever found in Finland, "Lieksa" (Fig. 3). It has also been used to determine clast orientations in till samples, measure lake sediment samples (see Fig. 4) and find precious metals from enriched ore samples. All of the above can be done with the sample in a plastic sample holder, considerably reducing costly manual labor.

XCT is most powerful when combined with methods that can produce material identification. The XCT lab at GTK is in an exceptional position by Finnish standards in this regard, as several such devices exist within the same laboratory with decades of accumulated skill and experience behind them. As the XCT device was acquired for national-scale research use, new research projects and ideas are more than welcome. Do not hesitate to contact the author for further details.

## Kirjallisuus

- Buchwald, V.F., 1975. Handbook of Iron Meteorites. Their History, Distribution, Composition and Structure. University of California Press, Berkeley, California, USA, 1418 s.
- Cnudde, V. ja Boone, M.N., 2013. High-resolution X-ray computed tomography in geosciences: a review of the current technology and applications. *Earth-Science Reviews* 123:1–17.
- Hounsfield, G.N., 1973. Computerized transverse axial scanning (tomography). Part 1. Description of system. *British Journal of Radiology* 46:1016–1022.
- Kuva, J., Siitari-Kauppi, M., Lindberg, A., Aaltonen, I., Turpeinen, T., Myllys, M., *et al.*, 2012. Microstructure, porosity and mineralogy around fractures in Olkiluoto bedrock. *Engineering Geology* 139–140:28–37.
- Kuva, J., Sammaljärvi, J., Parkkonen, J., Siitari-Kauppi, M., Lehtonen, M., Turpeinen, T., *et al.*, 2017. Imaging connected porosity of crystalline rock by contrast agent-aided X-ray microtomography and scanning electron microscopy. *Journal of Microscopy (painossa)*.
- Sayab, M., Suuronen, J.-P., Hölttä, P., Aerden, D., Lahntinen, R. ja Kallonen, A.P., 2015. High-resolution X-ray computed microtomography: A holistic approach to metamorphic fabric analyses. *Geology* 43:55–58.