

KITEISEN KALLIOOPERÄN LAATUTEKIJÖIDEN VISUALISOINTI JA MALLINNUKSEN 1-3-ULOTTUVUudessa JA MALLIEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Markovaara-Koivisto M.* , Laine E. , Wennerström M.

*Mira.Markovaara-Koivisto@tkk.fi

Hankkeen tarkoitus ja sisältö

Hankkeen tarkoituksena on mallintaa kalliolaatua 2- ja 3D:ssä ja visualisoida mallinnetuille arvoille määritettyä luotettavuutta. Tutkimuksen pohjaksi tehtiin rakennegeologisia havaintoja ja kalliolaatututkimuksia vuonna 2006 neljällä eri Etelä-Suomen louhoksella, joissa vallitsee erilaiset kivilajit; Mäntsälässä migmatiittinen granodioriitti, Talmassa graniitti, Lohjalla suonigneissi, Karkkilassa gabro. Lisäksi Mäntsälän ja Lohjan louhoksilla otettiin stereokuvia, joista tehtiin SiroVision-ohjelmalla 3D-kuvia louhosten seinämistä. Vuonna 2007 Mäntsälän louhoksella tehtiin lisäksi kalliopinnan suuntaista maatumkausta monella eri louhintatasolla kahdessa kohtisuorassa suunnassa.

Vuonna 2008 Mäntsälän louhokselta kootun aineiston perusteella voitiin tehdä kalliorakoinen 3D-malli, jonka sisällä voitiin määrittää erilaisia kalliopinnan rikkonaisuuteen liittyviä kalliolaatuparametreja. Maatutka-aineistoon perustuva malli osoittautui kuitenkin liian karkeaksi vaikuttaakseen insinööriologiassa käytettyihin parametreihin. Malleja tulisi siis täydentää tilastollisin menetelmin. Vuonna 2009 kalliopinnan kerättiin havaintoja tilastolliseen analyysiin scanline-menetelmällä, jossa jokainen kalliopintaa pitkin vedettyä linjaa risteävä rako mitataan ja sen ominaisuudet määritetään. Vuosina 2009-2010 kehitettiin Matlab-koodi scanline-havaintojen visualisointiin ja analysointiin.

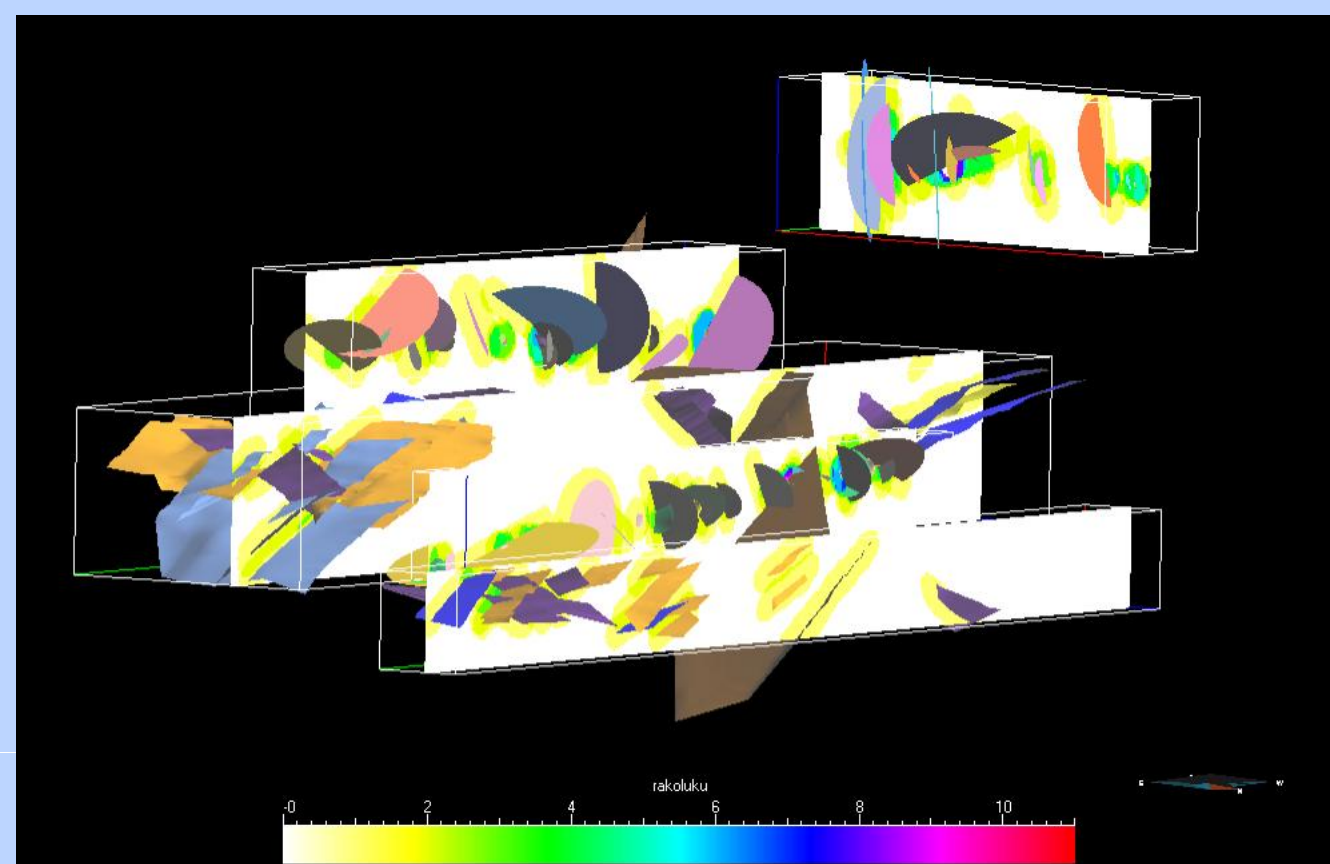
Hankkeen viimeisenä vuonna 2011 tarkoitus on tehdä Mäntsälän 3D-rakomallista realistisempi lisäämällä rakoilua tilastollisin keinoin. Mallin sisällä voi testata rakoilun ennustamista mallin eri osissa esim. simuloitujen kairasydänhavaintojen avulla.

Suuremmissa mittakaavassa rakoilun ennustamista tutkitaan Lohjan Mustion alueella. Alueelta tehdään geologinen 3D-malli, jonka rakenteisiin verrataan yllämainittua suonigneississä sijaitsevalta louhokselta kartoitettua rakoilua ja rakenteita.

Kalliolaatuparametrien mallinnus

Mäntsälän tarvekivilouhimolla tehtyjen maatumkaluotausten heijasteet tulkittiin ja digitoidiin Reflexw 4.5 ohjelmalla. Digitoidut heijasteet tuotiin Gocad-3D-mallinnus-ohjelmaan (Paradigm™), jolla tehtiin 3D-rakomallia. Vierekkäisiltä maatumkaprofiileilta havaitut heijasteet yhdistettiin, jos ne olivat samankaltaisia ja tuottivat suunnaltaan rakennegeologisen kartoituksen mukaisia pintoja. Mallin sisällä laskettiin rakomäärä/m³, josta johdettiin kalliolaatu-luokituksissa yleisemmin käytetty RQD-arvo.

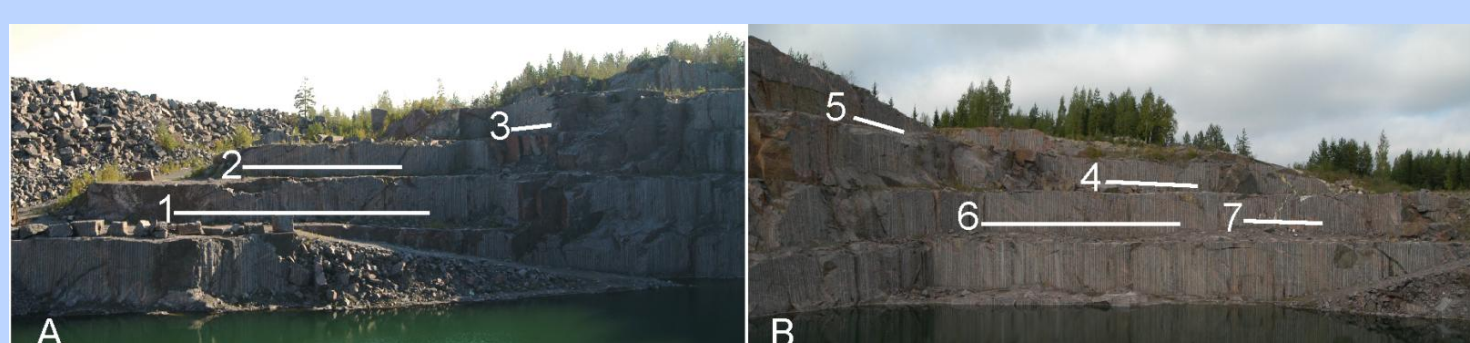
3D-rakomallista puuttuu maatumkan toimintaperiaatteen takia pystyt raot sekä sen erotuskyvyn takia lyhyet ja tiiviit raot. Scanline-menetelmällä kalliopinnoilta havaitut pystyt raot lisättiin malliin. Kuva 1 esittää rakomäärä/m³ tämän mallin sisällä.



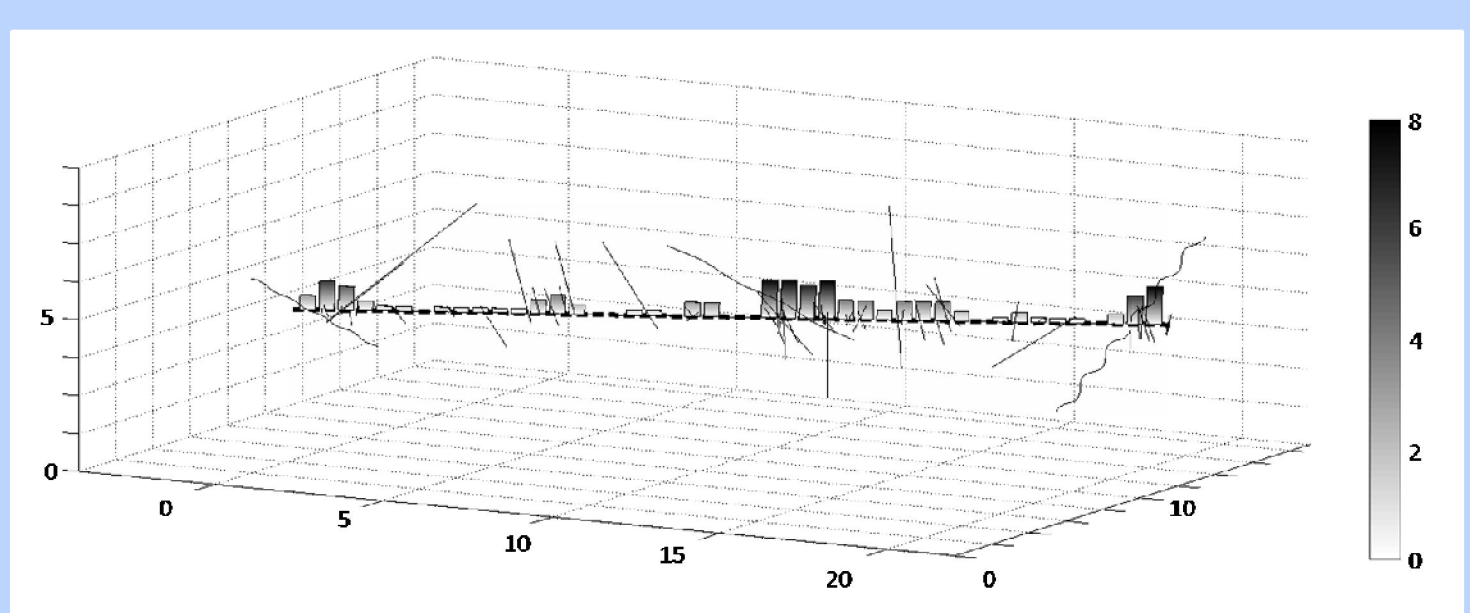
Kuva 1. Rakoluku/m³ Mäntsälän louhoksen eteläisnäkökulmalla.

Scanline-havaintojen visualisointi ja analysointi

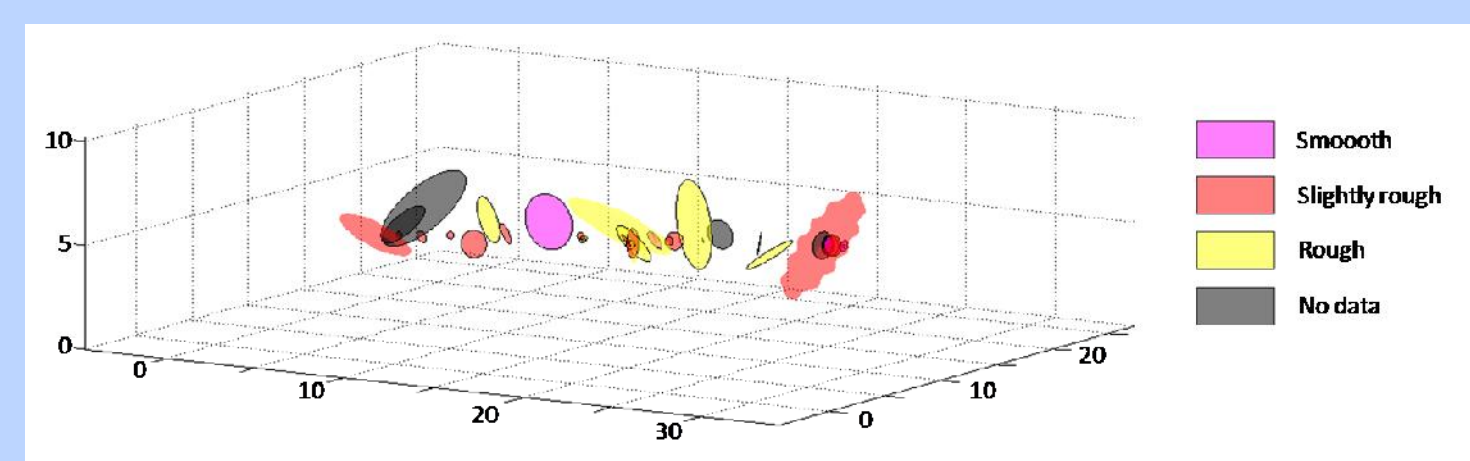
Mäntsälän tarvekivilouhimolla esiintyvää rakoilua kartoitettiin 7 scanline-linjalla, jotka sijaitivat usealla eri tasolla, kahdessa eri suunnassa (Kuva 2).



Kuva 2. Scanline-kartoituslinjat Mäntsälän louhoksen A) etelä- ja B) pohjoisnäkökulmista.



Kuva 3. Rakoluku/m linjalla 2.



Kuva 4. Rakopintojen karkeus linjalla 2.

Scanline-havaintojen monipuoliseen 2- ja 3D-visualisointiin kehitettiin ohjelma Matlab-kielellä (MathWorks™).

Ohjelmalla voidaan visualisoida 2D:ssä

- Raon näennäinen kaide kalliokleikkauksella
- Raon pituus
- Rakopinnan mitattu aaltoilevuus
- Rakoluku/m (Kuva 3)
- RQD

Visualisoinnit 3D:ssä

- Raot kiekkoina, aaltoilevina pintoina
- Rakojen päättymistapa
- Rakotäytteet
- Rakoryhmät
- Avauma
- Rakopinnan karkeus (Kuva 4)
- Raon tyyppi (avoin, tiivis, täytteen)
- Raon suuruus

Ohjelmalla voidaan piirtää suuntadatasta stereograafisia projektioita, suuntaruusuja ja yksikkövektoreita. Lisäksi ohjelma laskee rakoryhmien keskisuunnat, rakotiheddet, -välit, -pituudet sekä havaintojen lukumäärän ryhmittäin.

Raon ominaisuuksien vaikutus maatumkasignaaliin

TAUSTA

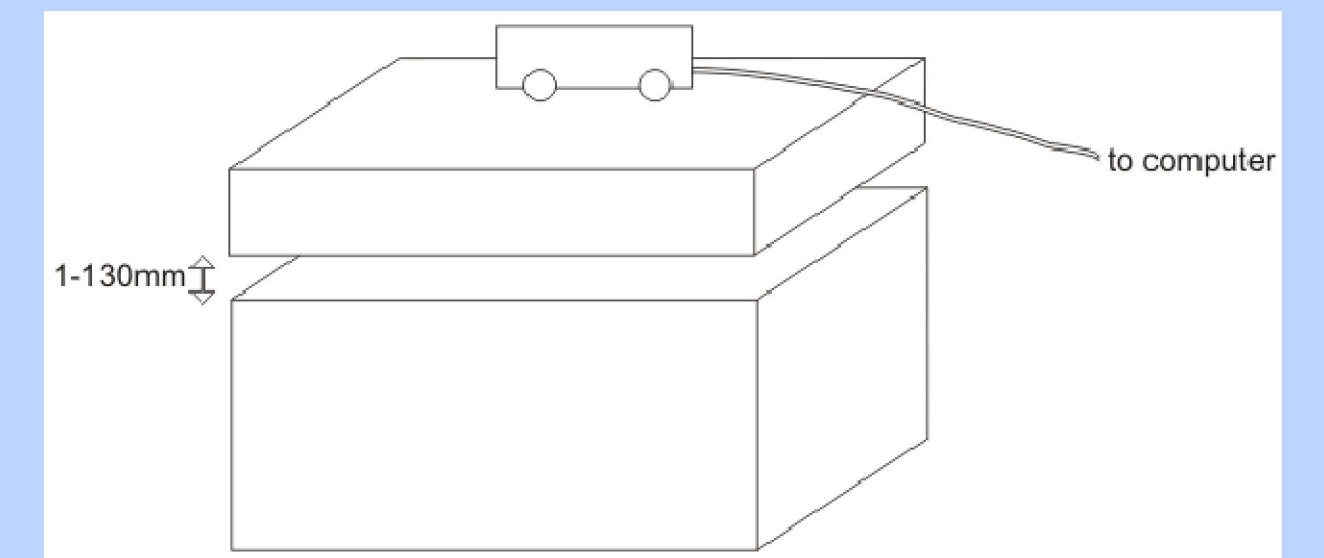
Mäntsälän tarvekivilouhoksella tehtiin vuonna 2007 maatumkaluotausta louhoksen seinämien suuntaisilla linjoilla. Koeasettelun ansiosta seinämiltä pystyttiin näkemään suoraan maatumkaheijasteen aiheuttaja ja mittaamaan sen ominaisuuksia. Tutkimusten aikana maatumka-signaalin ja raon ominaisuuksien välillä huomattiin johdonmukaisuuksia, joita haluttiin tutkia tarkemmin kontrolloiduissa laboratorio-olosuhteissa.

KOEJÄRJESTELYT

Palin Granit Oy lahjoitti tutkimukseen sopivia sahattuja kivilohkoja. Kuvan 5 mukaisesti maatumkakokeita tehtiin kahden kiven välisen raon eri avauksilla. Ensiksi maatumkasignaalin nopeus määritettiin eri kivilajeissa lahdella eri antennilla. Raon avautumaa varioitiin 1-130 mm ja maatumkasignaalin kulun muutosta tutkittiin avauman muuttuessa.

LAITTEISTO

Tutkimuksissa käytettiin Malä CX-betonitulkkaa 1600 MHz antennilla sekä RAMAC/GPR-maatumkaa 800 MHz antennilla.



Kuva 5. Laboratoriomittakaavan maatumkauksen koejärjestelyt.

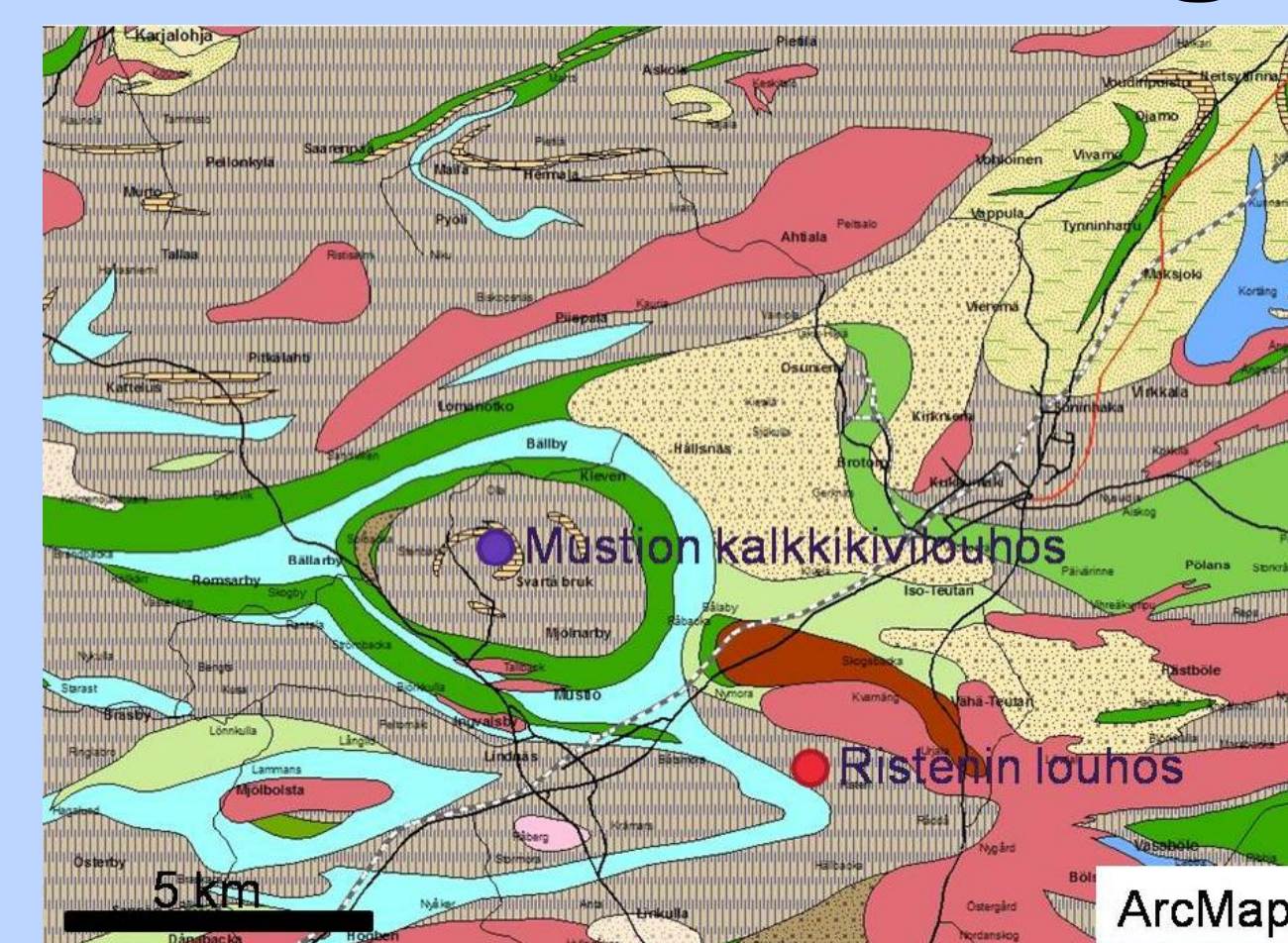
JATKOTUTKIMUKSET

Seuraavaksi koejärjestelyyn lisätään raontäyteeksi vesi. Kivien ympärille rakennetaan vesiallas, jossa vedenpinnan korkeutta voidaan säädellä. Tarkoituksena on tehdä tutkimuksia myös muilla rakotäytteillä. Mahdollisesti käytettäviä rakotäytteitä olisi savi ja kivimurske.

TULOSTEN HYÖDYNNETTÄVYYS

Tutkimustulosten toivotaan tuovan uutta tietoa rakojen ominaisuuksien päättelyyn suoraan maatumkaheijasteista.

Mustion alueen geologinen 3D-malli



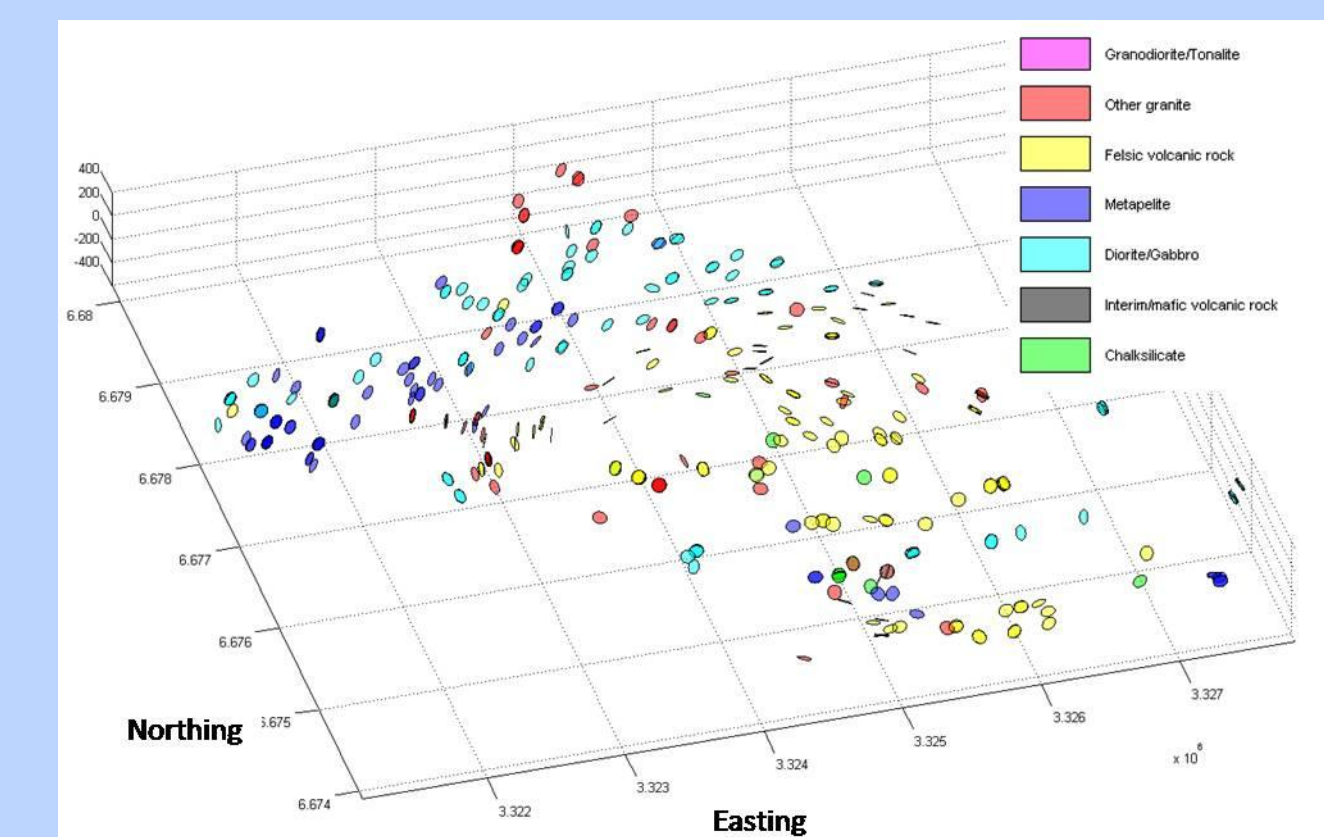
Kuva 6. Mustion louhoksen sijainti suhteessa Ristenin tarvekivilouhokseen (DigiKP 200 © GTK, 2011).

Lohjan Ristenin kalliokivivaineslouhos on yksi hankkeeseen mukaan otetuista louhoksista, joissa tehtiin vuonna 2006 rakennegeologista kartoitusta ja määritettiin kalliolaatu. Kartoituksen tuloksia ei ole kuitenkaan vielä käytetty tässä hankkeessa. Nyt tarkoitus on verrata kartoitustuloksia louhosta ympäröivältä alueelta tehtävään geologiseen 3D-malliin ja selittää havaitut rakenteet/rakoilu niiden riippuvuudella alueellisesta geologiasta (Kuva 6).

Mustion alueen geologisen 3D-mallin rakentaminen aloitettiin keräämällä alueelta jo olemassa olevaa rakennegeologista tietoa. Vanhempia kallioperä-havaintoja digitoidiin Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) arkistoissa sekä uudempia havaintoja saatiin käsiteltäväksi GTK:n tietokannoissa, joita voi selata ArcView-ohjelmalla.

Kuvassa 7 suunnatut kiekot esittävät Mustion ympäristössä tehtyjä liuskeisuusmittauksia. Kiekot on väritytty sen kivilajin mukaan, jonka sisällä ne on mitattu. Havainnot eivät täysin

noudata kivilajirajoja, koska osa niistä on tehty kivilajeissa esiintyvien sulkeumien sisältä. Niin kutsutun Mustion doomin ympäröivä rakenne näkyy hyvin kuvassa 7; liuskeisuus on loivempaa doomin keskellä ja jyrkentyä lähestyttäessä reunojen kivilajikontakteja.



Kuva 7. GTK:n arkistoista digitoidut liuskeisuus-havainnot kivilajeittain Mustion louhokselta. Piirtämisen on käytetty Matlab-visualisointityökalua.

Koska Ristenin louhos sijaitsee lähellä Mustion kalkkikivilouhosta (kuva 6), saatiin Nordkalk Oy:ltä käyttöön kalliopinnan kartoitus- ja liuskeisuus-havaintojen apuna käytetään alueelta tehtyjä geologisia tulkintoja. Tulkinta rakenteiden jatkuvuudesta syvemmällä kivessä tehdään arkistoista koottujen liuskeisuus-havaintojen ja rakennegeologisten tulkintojen perusteella. (Skyttä 2007, Bleeker ja Westra 1987, Veenhof ja Stel 1991, Pajunen et al. 2008, Metzger 1928)

VIITTEET: Skyttä P., 2007. Svecofennian crustal evolution in the Uusimaa Belt area, SW Finland. Geological Survey of Finland, Espoo, 64 p.
Bleeker W. ja Westra L., 1987. The evolution of the Mustio gneiss dome, Svecofennides of SW Finland. Precambrian Research, 36, pp. 227-240.
R.P. Veenhof ja H. Stel, 1991. A cleavage triple point and its meso-scale structures: the Mustio sink (Svecofennides of SW Finland). Precambrian Research, 50, pp. 269-282.
Pajunen et al. 2008. Tectonic evolution of the Svecofennian crust in southern Finland. Special Paper 47, Geological Survey of Finland, Espoo, pp.15-160.
Metzger A.A.T., 1928. Über die Tektonik des Grundgebirges um Svartå im SW-Finland. Fennia 50, number 17.

Kiitokset

Tätä tutkimusta on rahoittanut vuosina 2006-2010 K.H. Renlundin säätiö, Ella ja Georg Ehrnroothin säätiö, Oskar Öflundin säätiö, Geologian valtakunnallinen tutkijakoulu, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunnan tutkijakoulu (Aalto-yliopisto) ja VYR-KYT2010.

Kiitämme yhteistyöstä myös dosentti Olavi Selosta, Åbo Akademi/Palin Granit Oy.