

Karhu kiertää – tuoreimpia geologian alan väitöstutkimuksia

28.11.2025 Niina Junno,
Helsingin yliopisto

**Kvantitatiivisia menetelmiä
seismiseen tulkintaan:
tapaustutkimus Kevitsan Ni-Cu-
PGE-esiintymältä Pohjois-Suomesta**

**(Quantitative methods for seismic
interpretation: A case study from
Kevitsa Ni-Cu-PGE ore-bearing
intrusion, northern Finland)**

Seismisen heijastusluotausmenetelmän avulla kyetään kuvantamaan syvällä kallioperässä esiintyviä malmiesiintymiä korkealla erotuskyvyllä. Seismisiä heijastusluotausmenetelmiä on käytetty jo vuosikymmenten ajan kiteisen kallioperän malminetsinnässä. Aineiston hankinta- ja prosessointimenetelmät ovat kehittyneet viime vuosien aikana merkittävästi, mikä on edelleen parantanut seismisten aineistojen erotuskykyä sekä kasvattanut seismisten menetelmien kustannustehokkuutta. Malmien ja malmimuodostumien rakenteiden tuottamasta seismisestä vasteesta ei kuitenkaan ole yksiselitteistä ymmärrystä. Seismisten aineistojen tulkinta on perinteisesti ollut kvalitatiivista – luotausprofileista on poimittu heijastajia, joiden on tulkittu edustavan geologisia muodostumia (kivilajikontakteja, rakenteita, jne.). Kvalitatiivinen tulkinta on työlästä ja subjektiivista.



Kuva: Henrik Kalliomäki

Viime aikoina on panostettu entistä enemmän seismisen tulkinnan kvantitatiivisten menetelmien kehittämiseen. Tulkinnan subjektiivisuutta voidaan vähentää ja tehokkuutta lisätä käyttämällä erilaisia algoritmeja ja koneoppimista, jolloin saadaan suoraviisemmin tietoa kiinnostavista maankamaran ominaisuuksista.

Väitöskirjassani käytän kvantitatiivisia menetelmiä, erityisesti tiedonlouhintaa ja seismistä attribuuttianalyysiä, seismisten heijastusluotausaineistojen tulkinnassa ja ymmärtääkseni paremmin malmiesiintymien seismistä vastetta. Tutkimuskohteena on Kevitsan Ni-Cu-PGE-sulfidimalmiesiintymä Pohjois-Suomessa. Kevitsan malmiesiintymää on tutkittu hyvin kattavasti vuodesta 1987 asti, jolloin esiintymä löydettiin. Kaivostoiminta aloitettiin Kevitsassa vuonna 2012, ja tällä hetkellä malmia lou-

hitaan avolouhoksena Boliden AB:n toimesta. Tutkimukselleni olennaisia ovat Kevitsan korkealaatuiset 2D- ja 3D-seismiset heijastusluotausaineistot sekä kaivosalueelle tyyppillinen kattava kairanreikäaineisto.

Kevitsan 3D-seisminen heijastusluotausaineisto hankittiin vuonna 2010 kaivoksen suunnittelua ja syvämalmitutkimuksia varten. Alustavassa tulkinnassa Kevitsan 3D-seismissä aineistossa havaittiin näennäisesti jatkuvia, melkein horisontaalisia heijastuksia, jotka sijaitsivat rajoitetulla alueella Kevitsan intruusion sisällä tunnetun taloudellisen mineralisaation ympärillä. Aluksi ehdotettiin, että nämä heijastajat syntyivät sisäisesti heterogeenisten magmaattisten kerroksien kontakteista. Näiden magmaattisten kerrosten tulkittiin kontrolloivan malmiesiintymää. Magmaattisten kerrosten ajateltiin muodostuneen oliviini-pyrokseeniitin varianteista ja niiden pohjille kertyneistä sulfidimalmeista. Kairanreikäaineistosta ei kuitenkaan pysytty kartoittamaan tällaisia jatkuvia kerroksia tulkinnan tueksi. Lisäksi muuttumisen rooli intruusion sisällä jäi avoimeksi kysymykseksi. Näin ollen 3D-seismissä aineistossa havaittujen intruusion sisäisten heijastajien syy jäi avoimeksi ja niiden ymmärtämiseksi vaadittiin lisätutkimuksia.

Väitöskirjassani käytän tiedonlouhintaan menetelmänä itseorganisoituvaa kartta-analyysiä (Self-Organizing Map, SOM) Kevitsan seismissen heijastusluotausaineiston tulkinnassa. Laajojen kairanreikäaineistojen SOM-analyysi osoittaa, että muuttuminen ja mahdollisesti siihen liittyvä mineralisaatio voivat olla syitä intruusion sisäiseen heijastavuuteen. SOM-tuloksia tukee teoreettinen mallinnus, jossa muuttumisen ja sulfidimineralisaation vaikutusta Kevitsan kivilajien ja malmin heijastavuuteen mallinnetaan perustuen kivilajien ja malmin keskimääräisiin modaalikoostumuksiin. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että muuttuneet ja mahdollisesti mineralisoituneet intruusion osat kontaktissa ei-muuttuneiden ja ei-mineralisoitu-

neiden osien kanssa voivat olla syy havaittuun sisäiseen heijastavuuteen pikemminkin kuin pelkästään magmaattiseen kerrostumiseen tai mineralisaatioon liittyvät kivilaji- tai koostumusvaihtelut. Lisäksi väitöskirjassani käytetään seismistä attribuuttianalyysiä Kevitsan 3D-seismissen heijastusluotausaineiston tulkinnan parantamiseksi sekä aikaisemman kivilajikontaktien ja kaivosalueen rakenteiden 3D-mallin validoimiseksi ja päivittämiseksi. Attribuuttianalyysin perusteella intruusion sisäiset heijastavat paketit pystytään rajaamaan tarkemmin ja seisemisestä aineistosta pystytään tulkitsemaan uusia rakenteita. Nämä rakenteet ovat leikanneet alun perin horisontaalisesti jatkuvat sisäiset heijastajat pienemmiksi paketeiksi. Sisäisten heijastavien pakettien tarkempi rajausta voi olla merkittävää syvämalmietsinnässä ja uudet rakenteet voivat olla kriittisiä Kevitsan avolouhoksen suunnittelulle.

Laajemmassa mittakaavassa väitöskirjassani kehitettiin seismissen tulkinnan menetelmiä syvämalminetsintään ja kaivosten suunnitteluun monimutkaisissa kiteisen kallioperän ympäristöissä. Paikallisemmassa mittakaavassa parannettiin Kevitsan malmin muodostuman seismissen vasteen tuntemusta sekä validoitiin ja päivitettiin Kevitsan 3D-geologista mallia. Väitöskirjani pohjalta voidaan myös asettaa uusia rajoitteita Kevitsan malmin syntyä selittävälle teorialle.

Väitöskirja verkossa: <http://hdl.handle.net/10138/603109>

5.12.2025 Eemi Ruuska,
Turun yliopisto

**Kallioperän hauraiden rakenteiden
vaikutus jäätikköeroosion
muovaamiin kallioperän
pinnanmuotoihin**

**(Contribution of brittle structures
over the morphology of glacially
eroded bedrock surface)**

Tämän väitöskirjan tarkoituksena on kattavien rakennegeologisten tutkimusten sekä tarkkojen pintainterpoloitimenetelmien avulla selvittää kalliopinnanmuotoja alueilta, missä suorat havainnot kallioperän ominaisuuksista ovat harvassa tai kokonaan saavuttamattomissa. Kallioperän hauraat rakenteet kontrolloivat kalliopinnanmuotoja eri mittakaavoissa. Pitkittäiset kalliopainanteet ovat muodostuneet kallioperässä olevien heikkousvyöhykkeiden seurauksena niiden suuntaisesti, kun taas kalliopainanteiden yksityiskohtaisia pinnanmuotoja kontrolloi vallitsevat rakosuunnat. Kalliopainanteiden pinnanmuotoihin on vaikuttanut merkittävästi jäätiköitymisen aikaiset eroosioprosessit, joita kontrolloi kallioperän hauraat rakenteet. Eroosion seurauksena kulunut kallioperän aines kasaantuu sedimenttipeit-

teeksi etenkin kalliopainanteisiin, mikä estää suorien rakennegeologisten havaintojen tekemisen. Rakennegeologisten tutkimusten avulla voidaan selvittää kallioperän yleiset rakennepiirteet eri mittakaavoissa. Näitä voidaan hyödyntää tulkittaessa alueita, joilta suorien rakenne- ja kalliopintahavaintojen saaminen on mahdotonta.

Tämä väitöskirja koostuu kolmesta artikkelista (I-III). Nämä artikkelit osoittavat, että rakennegeologisten analyysien avulla on mahdollista parantaa kallioperän erityispiirteiden tulkintaa peitteisillä alueilla. Kun rakennegeologiset analyysit sisällytetään kalliopinnan interpolointiin, tuloksena saadaan geologisesti realistisempi kuvaus kalliopinnan korkeusvaihteluista ja siten paremmat kalliopintamallit. Nämä parannukset saavutettiin rakennegeologisilla analyyseillä, joiden avulla tunnistettiin: vallitsevat rakosuunnat (I), heikkousvyöhykkeiden jatkuvuus kalliopinnan myötäisesti (II) sekä rakoverkosto heikkousvyöhykkeiden tuhoalueilla (III). Rakennegeologisia epäjatkuvuuksia noudattelevat kalliopintamallit tarjoavat tarkempaa tausta-aineistoa esimerkiksi pohjavesi-, geoenergia- ja insinööritekniikan tutkimusten käyttöön.

Väitöskirja verkossa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-02-0479-2>

