

MATERIA

1-2020 | Maaliskuu

GEOLOGIA
KAIVOS
LOUHINTA
RIKASTUS
PROSESSIT
METALLURGIA
MATERIAALIT

YLI 70 VUOTTA VUORITEOLLISUUDEN ASIALLA



JOKAINEN ON TÄRKEÄ

Olemme kaikki erilaisia, ja jokainen meistä
on tärkeä osa menestystarinaamme.
Tervetuloa monimuotoisuus!



AGNICO EAGLE
KITTILÄ

MONIMUOTOISUUS
& **YHDENVERTAISUUS**

58

MATERIA

1–2020 | MAALISKUU



34

- 5 Lukijalle **Kari Pienimäki**
- 7 Pääkirjoitus **Saku Vuori**: Mente et malleo – järjellä ja vasaralla
- 8 **Pekka A. Nurmi**: Suomen kallioperän rikkaudet
- 15 **Petri Peltonen**: Taloudellisen geologian opetus Helsingin yliopistossa
- 20 **Pietari Skyttä, Kaisa Nikkilä**: Rakennegeologian koulutusta ja tutkimusta Turussa
- 25 **Kari Strand, Juha Pekka Lunkka, Pertti Sarala, Shenghong Yang**: Geotieteiden opetus ja tutkimus Oulun yliopistossa täydentävät kaivannaisalan arvoketjun
- 30 **Topias Siren**: Geologian tutkimuskeskus uusi strategiansa palvelemaan maata
- 34 **Topias Siren**: Luomuksen geologinen kansalliskokeelma Kumpulassa
- 38 **Mikko Savolainen**: Malminetsinnän sovelluksia Yaran Siilinjärven kaivoksella
- 39 **Elina Lehtonen**: Geologian aihealue Tieteen kansallisessa termipankissa
- 40 **Markku Pirttijärvi**: Magneettikentän mittausta lennokeilla
- 45 **Ilkka Lahti**: Sovelletun geofysiikan asiantuntijat kokoontuivat Rovaniemellä
- 49 **Anniina Tikkanen**: Digitaalista metallurgiaa Oulusta



55

- 51 **Satu Salmelin-Tikkala:** Suomalaisella kaivosteollisuudella mahdollisuus merkittäväksi tekijäksi eurooppalaisessa akkuteollisuudessa
- 53 Uutisia alalta: **Anders Söderman, Elina Leivo:** How the world's strongest bolts were developed using Nobel Prize winning technology
- 55 Uutisia alalta: **Terhi Paavola:** Liikuteltava sähkötila Kevitsan avolouhoksen vaativiin olosuhteisiin
- 56 **Jari Kolehmainen, Anna-Mari Tikander:** Akkuteknologialla parempi työympäristö maan alle
- 58 **Tuomo Tiainen:** Metallien tutkimus on yhä ajankohtaisempaa
- 61 **Mari Halonen:** Kaivos- ja louhintajaoston syysretki
- 63 **Janne Mämmelä:** Teknologioiden arvottamismenetelmä mahdollistaa hyötyarvioinnin jo tuotteen konseptointivaiheessa
- 64 **Jenni Kiventerä:** Kaivosjätteiden varastointiin ympäristöystävällisempi menetelmä
- 66 In memoriam: Veikko Lindroos
- 67 In memoriam: Eero Erkkilä
- 69 DIMECC on-line: **Kaisa Kaukovirta:** PoDoCo-tohtorit tukevat yritysten uudistumista
- 71 Kolumni **Pertti Voutilainen:** Totuus, hyvyys ja kauneus
- 72 Pakina **Tuomo Tiainen:** Hipsu Hiilen ihmeelliset seikkailut
- 73 Kaivosteollisuus: **Pekka Suomela:** Viisikon uudet seikkailut
- 74 Metallinjalostajat: **Kimmo Järvinen:** Ruotsin hannuhanhet tekivät sen taas
- 75 Alansa osaajat
- 75 Ilmoittajamme tässä numerossa
- 75 Aalto-yliopistosta valmistuneita 2019
- 76 Pääsihteeriltä **Ari Juva:** Vuosikokous Marina Congress Centerissä ja Vuorimiespäivät Dipolissa 27.-28.3.2020
- 76 VMY:n toimihenkilöitä



58

Hyvä Vuorimies ja vuorialan vaikuttaja

Syksyllä julkaistiin MATERIA-lehden erikoisnumero. Se on suunnattu erityisesti opiskelijoille, jotka miettivät uravalintojaan ja muille vuorialasta kiinnostuneille, jotka eivät alasta välttämättä kovin paljon tiedä. Tavoitteena on osaltaan varmistaa alan osaajien saatavuutta myös tulevaisuudessa.

Numero on myös vahvasti esillä netissä, esim. nettiversiona Vuorimiesyhdistyksen sivuilla ja "Kun koulu loppuu" -sivustolla.

Erikoisnumerosta otettiin normaalia suurempi painos, jotta sitä voitaisiin jakaa ei-tilaajille tarpeen mukaan. Lehteä on lähetetty esimerkiksi opinto-ohjaajille ja kouluihin.

Voitte pyytää yrityksellenne tai muuhun toimitilaan erikoisnumerolehtiä Vuorimiesyhdistykseltä. Lehteä toivottaisiin myös jaettavan mahdollisille vierailijoille ja yhteistyökumppaneille, esimerkiksi opiskelijavieraille tai vaikka koulujen TET-harjoittelijoille.

Lehtiä voi kysyä Leena Vanhatalolta, sähköposti leena.vanhatalo@vuorimiesyhdistys.fi.



Kestävän kaivostoiminnan tulevaisuus rakennetaan yhdessä kehittyneimpiä teknologioita hyödyntäen

Tulevaisuuden kaivostoimintaan liittyy monia haasteita. ABB:n ainutlaatuinen asiantuntijuus ja 130 vuoden kokemus takaavat ratkaisuja, jotka mahdollistavat niihin vastaamisen. Yhdistämme saumattomasti toisiinsa kaikki laitteistot, järjestelmät ja ihmiset parantaen tuottavuutta ja tehokkuutta sekä samalla turvallisuutta. Tulevaisuuden kaivokset ovat hiilidioksidivapaita, digitaalisia ja autonomisia. Tervetuloa tänä vuonna isännöimillemme Vuorimiespäiville kuulemaan lisää visiostamme sähköistyvän ja digitalisoituvan teollisuuden ratkaisuihin. new.abb.com/mining/fi



Korkealaatuiset tuotteet kaivos-, rakennus- ja betoniteollisuudelle



Suomen TPP Oy on kallion lujitukseen ja tiivistykseen, maanalaisen tilojen ilmanvaihtoon sekä betonin lujitus- kuituihin erikoistunut yritys. Tarjoamme korkealaatuisia tuotteita kilpailukykyiseen hintaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti.

Edustamme tunnettuja tuotteita maailman johtavilta valmistajilta.

- Laaja valikoima kalliopultteja mm. vaijeripultti ja dynaaminen pultti
- Cementa Ab:n injektointisementit
- Teräskuidut ja FortaFerro - makrokuidut
- Kaivosverkot
- Zitron - puhaltimet
- Protan Ventiflex - tuuletusputket
- Alvenius - pikaliitinputket

Suomen
TPP

info@suomentpp.fi • puh. 0400 407 235



Pyhäsalmen kupari-sinkki-rikkikaivos

- Tuotanto alkoi 1.3.1962
- Kokoluokassaan maailman tehokkaimpiin kuuluva maanalainen kaivos, jossa työskentelee n. 250 henkilöä
- Tehokkuuden lisäksi kiinnitämme erityistä huomiota turvallisuuteen, miellyttävään ja terveelliseen työympäristöön sekä ympäristönsuojeluun
- Olemme olennainen osa Pyhäjärveä ja yhteisöämme.



Pyhäsalmen Mine

Pyhäsalmen Mine Oy | tel. +358 8 7696 111 | www.first-quantum.com



Tulevia koulutuksia

How to develop a geometallurgy project 16.3.

Teräksen peittäys 26. - 27.3.

Metallurgian seminaari 23. - 24.4.

Kuinka varmistan laadukkaat analyysitulokset 28. - 29.4.

Käytännön kalliomekaniikka kaivosteollisuudessa 8.5.

Kaivannaisalan viestintäseminaari 14.10.

Valssaustekniikka 17. - 18.9.

Geostatistiikka 5. - 6.10.

Valuation of Mineral Projects Based on Technical and Finalcial Modelling 20.- 23.10

POHTO
Oikeaa osaamista

VUORIMIESYHDISTYS
Bergsmannaföreningen ry

Täältä löydät lisätietoa myös muista koulutuksista
www.pohto.fi >



www.pohto.fi



PALSATECH
Wide range of Geoservices

+358 (0)40 5144 505

www.palsatech.fi

Arvoisa lukija!

Käsissäsi on alkaneen vuosikymmenen (satun kuulu- maan siihen uskontokuntaan, jolle nolla on origossa) ensimmäinen Materia-lehden numero. Teemana numerossa on geologia. Lehdessä esitellään mm. Helsingin, Turun ja Oulun yliopistojen geologian opetuksen erityispiirteitä, kouluttautumismuutoksia sekä yhteistyökumppaneita, sosiaaliseen toimilupaan liittyviä näkökulmia unohtamatta.

Pekka Nurmi kertoo artikkelissaan kolmen miljardin vuoden geologian kehityksen tuloksista, mm. siitä, miksi maassamme olevien mineraalien hyödyntäminen on mahdollista juuri näinä aikoina ennen kuin mineraalivarannot kulkeutuvat laattatektonisten liikuntojen myötä maamme rajojen ulkopuolelle – elleivät sitten rajat siirtyä ennen sitä. Meillä suomalaisilla on sanottu olevan kulttuurillisesti nuori historia, mutta Pekan artikkeli valaisee, että geologisessa mielessä historiamme on Euroopan vanhimpia ja värikkäimpiä. Suomi on itseasiassa kotoisin tropiikista ja se varmaankin osaltaan selittää mieltymyksemme saunomiseen. Lukijoillemme lienee sanomattakin selvää, että Sotkamon malmi syntyi happamaan vulkanismiin liittyvän hydrotermisen toiminnan tuloksena lähellä maan pintaa ja että Ilomantsin orogeeniset kultaesiintymät muodostuivat puolestaan metamorfisista liuoksista syvällä maankuoressa. Minulle tämä tuli kyllä uutisena. Tällainen geologinen verbaaliakrobatia vetää aina melko hiljaiseksi. Tämän lehden jutut ovat maalaimetallurgille välillä lievästi sanottuna haastavaa omaksuttavaa kaikkine arkeisine granitoidi-gneissialueineen, ultraemäksisine kerrosintruusioineen ja erogeenisine prosesseineen. Onneksi nykyään on Tieteen termipankki apuna selittämässä näitä sivistystermejä – siitä on myös Elina Lehtosen juttu tässä lehdessä. Lehden luettuani saatoin todeta: ”still confused, just on a higher level”. Toisaalta aistin myöskin lievästi uteliaisuuden tuomaa himoa opetella alasta sen verran, että kykenisi sujuvasti heittämään ”small-talkia” sopivassa tilanteessa

KUVA KARI PIENIMÄKI



aiheesta saaden kuuntelijakunnan kokemaan ehkä tuon saman elämyksen ihan livenä. Vuorimiespäivillä voisi soluttautua huomaamattomasti arvokkaiden geologien seuraan ja heittää puolihuolimattomasti muutamia magmaattiset, sedimenttisyntyiset kupariporfyryrimalmat orogeenisilla kultamalmeilla höystettynä. Noh jäisin luultavasti kiinni kuitenkin heti verekseltään, kun vastapalloon tulisi aitoa tietoa, joten taitaa olla parasta pysyä sulattoslangissa.

Täytyy myöntää, että lukiessani näitä geologien juttuja mieleeni hersyi myös lievää kateutta kaikista niistä hienoista leluista, joiden kanssa geologian alan

tutkijat saavat luonnossa peuhata. On odometria, geofonia, dronea, laserkeilainta, läpivalaisuelektronimikroskooppia, fotogrammia, röntgendiffraktometria, bobcattia - dynamiittista puhumattakaan. Mikäli noilla vehkeillä ei saa aikaansa metsässä kulumaan ja pidettyä mieltä hypervirkeänä, niin ei sitten millään – noh, ovathan sitten vielä sokerina pohjalla nämä lennokit, joista on Markku Pirttijärven juttu sivulla 40.

Topias kävi haastattelemassa Mika Nykästä. Hän kertoo lehdessä GTK:n uudistetusta strategiasta: ”Maamme hyväksi” ja lisäksi Topiakselta on mielenkiintoinen juttu Kumpulän kartanon geologisista kokoelmista.

Metallurgiaan liittyviäkin juttuja on tässä lehdessä: Satu Salmelin-Tikkalan ja Jari Kolehmaisen sekä Anna-Mari Tikanderin akkuteknologiaan liittyvien artikkelien muodossa sekä vielä Satu Salmelin-Tikkalan väitösreferaatti kaivosjätteiden stabiloinnista.

Nautinnollisia lukelämyksiä, nähdään Vuorimiespäivillä!

Nautinnollisia lukuhetkiä!

KARI PIENIMÄKI
päätoimittaja

MATERIA

JULKAISIJA / PUBLISHER Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen r.y. 78. vuosikerta ISSN 1459-9694 www.vuorimiesyhdistys.fi | LEVIKKI n. 4000 kpl
MATERIA-LEHTI kattaa teknologian alueet geofysiikasta ja geologiasta lähtien ml. kaivos- ja prosessitekniikka ja metallurgia sekä materiaalien valmistus ja materiaaliteknikan erilaiset sovellutukset. Lehden alkua painottuu alan ja yritysten ajankohtaisiin asioihin. Tiede & tekniikka -osa keskittyy tutkimuksen ja kehitystyön tuloksiin. Materia magazine covers all areas of technology in the mining and metallurgical field, from geology and geophysics to mining process technology, metallurgy, manufacturing and various materials technology applications. The first part of the magazine focuses on what's happening in the field and the companies involved while the R&D section concentrates on the results of research and development. | **VAST. PÄÄTOIMITTAJA / EDITOR IN CHIEF** DI **Kari Piennimäki** 040 527 2510 kari.piennimaki@outotec.com | **PÄÄTOIMITTAJA/ DEPUTY EDITOR IN CHIEF** DI **Ari Oikarinen** 050 568 9884 ari.e.oikarinen@gmail.com | **TOIMITUSSIHTEERI / MANAGING EDITOR** DI **Leena K. Vanhatalo** 050 383 4163 leena.vanhatalo@vuorimiesyhdistys.fi | **ERIKOISTOIMITTAJAT / SPECIALISTS** TkT, prof.(emer.) **Tuomo Tiainen** 050 439 6630 tuomo.j.tiainen@gmail.com, DI **Hannele Vuorimies** 040 187 6060 Outotec etunimi.sukunimi@outotec.com, TkT **Topias Siren**, 050 354 9582 topias.siren@sweco.fi | **TOIMITUSNEUVOSTO / EDITORIAL BOARD** DI **Liisa Haavanlammi** pj /Chairman Outotec 040 864 4541 liisa.haavanlammi@outotec.com, DI **Jani Isokääntä** SFTec Ltd. 040 854 8088 jani.isokaanta@svy.fi, Professori (associate) **Ari Jokilaakso** 050 313 8885 ari.jokilaakso@gmail.fi, DI **Miia Kiviö** Aurubis Finland Oy 0406416529 m.kivio@aurubis.com, **Matti Vaajamo** 044 544 9385 matti.vaajamo@gmail.com, DI **Pia Voutilainen** 040 590 0494 pia.voutilainen@copperalliance.se, Scandinavian Copper Development Ass. DI **An-nina Mattsson**, 0400538452, anninak.mattsson@gmail.com | **OSOITTEENMUUTOKSET & TILAUKSET / CHANGES OF ADDRESS & SUBSCRIPTIONS** **Leena K. Vanhatalo** 050 383 4163 leena.vanhatalo@vuorimiesyhdistys.fi, **VMY:N JÄSENISTÖ MYÖS VERKKOSIVUJEN JÄSENREKISTERIN KAUTTA.** | **PAINO JA TAITTO/ PRINTING HOUSE** Painotalo Plus Digital Oy, Lahti | **KANSI** Uvaroviitti. Kuva: TKT Topias Siren

Artikkelien aineistopäivä ja Ilmoitustilavaraukset
Article and Booking ads deadline
2/2020 24.3.
3/2020 5.6.
4/2020 29.9.
5/2020 23.11.

Ilmoitusten aineistopäivä
/Ads delivered
2/2020 24.3. 6.4.
3/2020 5.6. 18.8.
4/2020 29.9. 13.10.
5/2020 3.11. 4.12.

Ilmoitusmyynti / Ad Marketing
L&B Forsten Öb Ay, 0400 875 807
materia.forsten@pp.inet.fi



DIRECTIONAL CORE DRILLING

ADC can provide the total drilling package, from the hole and branch planning to the highly skilled drillers – no extra contractors needed.

SEE THE K10
IN ACTION ON
ADCLTD.FI

- ✓ HIGH ACCURACY
- ✓ COST-EFFECTIVE
- ✓ ENERGY EFFICIENT



Arctic Drilling Company Ltd.
Call us +358 40 511 2289 or
visit www.adcltd.fi



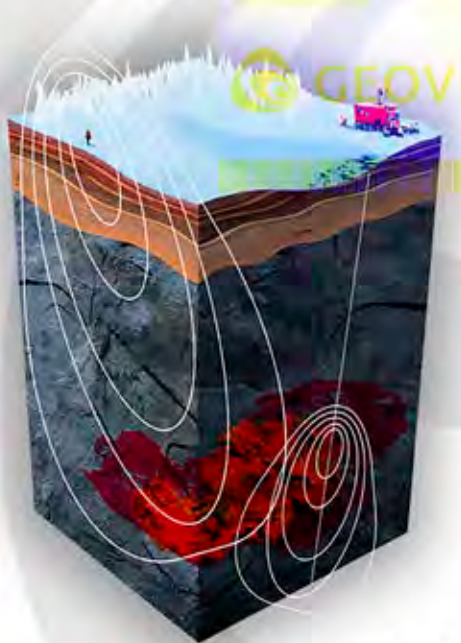
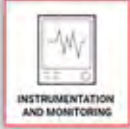
Maailman parasta kuparia, tehty Porissa.

Aurubis Finland
Kuparitie, P.O.Box 60
28101 Pori
Aurubis.com/finland



Geophysics - Rockmechanics - Geohydrology

- ✓ speeds up and facilitates your decision making
- ✓ more information from your site
- ✓ easy to utilize



geovisor.fi
+358 40 539 9727
pekka.kantia@geovisor.fi



Recognized pioneer in eco-friendly exploration & drilling

Safe Discovery Award –
Innovation
granted by Anglo
American Plc.

ISO 14001 Environmental
Management System
since 2004

Environmental Contribution
of the year 2013
Awarded by Euro Mining
Jury, Finland.

Patented water
recirculation system

Oy Kati Ab Kalajoki
Sievintie 286 | 85160 Rautio | Finland
www.oykatiab.com

Mente et malleo – järjellä ja vasaralla



Se on antanut monelle innoituksen tutkia ja lisätä kallioperämme mineraalisysteemien ymmärrystä. On myös hyvä muistaa, että vain muutama prosentti kallioperästämme on paljastunutta. Laajoja alueita on edelleen tutkimatta tai niistä on vain hyvin vähän tietoa. Etsintäyhtiöiden mielenkiinto saada tietoa paljastumattomilta alueilta tai yhä syvemältä kasvaa. Geofysiikan menetelmäkehityksen sekä yhdistetyn geofysiikan ja geologian tulkinnan saralla tehdäänkin aktiivisesti töitä useilla rintamilla.

Suomessa on mineraalipotentiaalia, mutta Fraser-instituutin viimeisimmässä tutkimuksessa maailman vetovoimaisimmista kaivosalueista Suomi tippui 17. sijalle edellisvuoden kärkipaikalta.

Mente et malleo – järjellä ja vasaralla. Geologien ammattikunnan ‘missiota’ ei tule erehtyä luulemaan ajastaan jääneeksi. Geologit, geofyysikot ja muut geotalan asiantuntijat ovat tyypillisesti mukana ratkaisemassa hyvin konkreettisia ja ajankohtaisia asioita. Siitä antaa hyvän läpileikkauksen myös tämä teemanumero. Vaikkei vasara ehkä enää niin useasti iske kentällä kipinää, niin sitäkin useammin tapahtuu älynväläyksiä digitaalisten aineistojen parissa – siitä on pitänyt huolen muun muassa viimeisten 20 vuoden aikainen huima mittaus- ja analytiikkateknologioiden kehittyminen. Kuten monilla muillakin aloilla, kasvava tietointensiivisyys on siirtänyt pullonkaulan primääridatan hankinnasta tulkitun tiedon tuotantoon ja tiedon soveltamiseen ja samalla luonut kasvavan kysynnän erilaisille tekoälyn sovelluksille. Ilman geoasiantuntijan ‘kouriintuntuva’ otetta tutkittavaan kohteeseen ja näkemystä tärkeimmistä ratkaistavista kysymyksistä ei teknologian kehittämiselle tai tekoälyn käytölle ole vankkaa pohjaa. Läpimurrot T&I-toiminnassa edellyttävät yhä monipuolisempaa ja onnistunutta vuorovaikutusta eri ammatti-, toimiala- tai tieteenalojen välillä.

Pienten tieteenalojen menestyminen vaatii huipputason osaamista ja syvenevää yhteistyötä sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla. Menestysreseptiin kuuluu vahva yhteys perustutkimuksen, soveltavan tutkimuksen ja kaupallistamisen välillä. Yliopistot ovat keskeisessä asemassa osaajien saannin varmistamisessa tulevaisuuden työmarkkinoille. Yliopistojen, yritysten ja tutkimusorganisaatioiden vuorovaikutus on kaikkien yhteinen etu ja tukee myös onnistumisia kilpaillun tutkimus- ja innovaatorahoituksen saamisessa. Yksi esimerkki näitä toimijoita yhdistävistä teemasta on *Suomen kallioperän rikkauudet*. Maailmanluokan esiintymien löytämiselle on hyvä potentiaali, josta esimerkkinä on Sakatin esiintymän löytyminen.

Strategiansa uudistanut Geologian tutkimuskeskus painottaa investointien edistämisen näkökulmasta muun muassa akkuihin tarvittavien raaka-aineiden potentiaalini arviointia, mineraalirikastuksen energia- ja materiaalihokkuusratkaisuja sekä kaivosympäristöjen riskienhallintaa. Kiertotalousajattelu on myös vahvasti läsnä strategiassa.

Tuoreen *Circularity Gap Report* -julkaisun mukaan vuonna 2019 vain noin 8,5 % kaikista yhteiskunnan käyttämistä materiaaleista päätyi kierrätykseen. Luku on laskenut puolikkaalla prosenttiyksiköllä vuodessa. Vaikka raportin perusteella erilaisten materiaalivirtojen hyödyntämisepotentiaali on valtava, moni käytännön haaste on vielä ratkaistava, ennen kaikkea kierrätyksen taloudelliseen kannattavuuteen liittyen. Lisäksi esimerkiksi energiamurroksen tai ICT-laitteiden tarvitsemien materiaalien osalta voi olla tilanteita, joissa ei ole vielä tuotettu sitä ensimmäistäkään merkittävää ‘raaka-ainepulssia’ – ei ole varantoa, jota kierrättää. Litium ja harvinaiset maametallit ovat hyviä esimerkkejä tästä. Tuotteesta ja sen käytöstä riippuen saamme odottaa myös vaihtelevia aikoja niiden päätymiseksi kierrätykseen. Kestävästi tuotetut materiaalit ja niiden kierrossa pitäminen liittyvät vahvasti VMY:n jäsenkunnan edustamaan osaamiseen. Raaka-aineet, niiden tuotanto ja tuotantoon liittyvät teknologiat ovat usein suorasti tai epäsuorasti mukana ratkaistaessa isoja haasteita hiilidioksidipäästöjen ja ympäristöhaittojen vähentämisen sekä kiertotalouden kestävä kasvun osalta. Siinä on meille tärkeää ja konkreettista työsarkaa, missä jatkaa alkaneella vuosikymmenellä.

Nähdään Vuorimiespäivillä!

SAKU VUORI,
Johtaja, tieteellinen tutkimus, GTK

Suomen kallioperän rikkaudet

– kolmen miljardin vuoden geologisen kehityksen tulos

TEKSTI: PEKKA A. NURMI
PEKKA1NURMI@GMAIL.COM

Suomi on yksi merkittävimmistä mineraalisten raaka-aineiden tuottajista ja jalostajista EU:ssa. Olemme ainoa EU-maa, jossa louhitaan kromi-, fosfori- ja platinametallimalmeja. Lisäksi Suomi on nikkelin, kullan ja koboltin suurin tuottaja. Mineraalivarannot ja malmipotentiali ovat myös globaalisti arvioiden poikkeuksellisen hyvät maamme pinta-alaan suhteutettuna.

Miksi näin on? Vastauksena on pitkä ja monipuolinen geologinen historia, johon liittyy kiinteästi myös Suomen malmiesiintymien synty kallioperän kehityksen eri vaiheissa.

Suomi on osa laajaa Itä-Euroopan prekambria kilpialuetta, joka on paljastuneena vain Fennoskandiassa ja Ukrainassa. Muualla kilpi on eri paksuisten, nuorien sedimenttikivien peittämä. Fennoskandian kilpi on geologisesti varsin samanlainen kuin prekambriiset kilpialueet muilla mantereilla, esimerkiksi Kanadassa, Brasiliassa, Afrikassa ja Australiassa. Kilpialueiden malmipotentiali on monipuolinen, ja ne ovat tärkeitä mineraalisten raaka-aineiden tuotantoalueita.

Fennoskandian ja Pohjois-Amerikan kilvet ovat olleet osa samaa supermanner-ta suuren osan geologisesta historiastaan. Fennoskandian kilpi on vaeltanut vuosimiljardien aikana muinaisten ja nykyisten mantereiden osana eri puolilla maapalloa laattatektonisten liikuntojen kuljettamana. Valtaosan geologisesta historiastaan Suomi on sijainnut tropiikissa, kääntöpiirien välisellä alueella.

Suomen kallioperä on syntynyt hyvin monimutkaisissa geologisissa prosesseissa yli 3000 miljoonan vuoden aikana. Kehityksen moottorina ovat toimineet laattatektoniset prosessit. Geologinen historia on sisältänyt lukuisia eri kokoisten mannerlaattojen ja merenpohjan laattojen törmäyksiä ja pilkkoutumisia, vuoristoja synnyttäviä orogeenisia prosesseja ja vuoristojen taasoittumisia lohkoliiikuntojen vauhdittaman kulumisen seurauksena.

Kuva 1. Suomen tärkeimmät kaivokset ja kaivosprojektit kallioperäkarttapohjalla. Kivilajit: arkeaiset granitoidi-gneissialueet on merkitty vaaleanharmaalla ja liuskejaksot vaaleanvihreällä; proterotsooiset granitoidi-gneissialueet vaaleanruskealla ja liuskealueet sinisellä; rapakivigraniitit vaaleanpunaisella; ja Lapin granuliittialue lilialla

⊗ Metallimalmikaivos

⊗ Teollisuusmineraalikaivos

⊗ Kaivos ei toiminnassa

● Kaivosprojekti



Malmi on syntynyt geologisen kehityksen aikana moninaisissa kivilajeja muodostavissa magmaattisissa, sedimenttisissä, metamorfisissa tai tektonisissa prosesseissa. Malminmuodostus on aina erikoislaatuinen tapahtuma, joka edellyttää monien eri osatekijöiden yhtäaikaista toteutumista siten, että suuri määrä malmimetalleja pysyy konsentroitumaan tiettyyn geologiseen muodostumaan.

Malmiesiintymät ovat harvinaisia kivilajimuodostumia, joissa esiintyy hyödynnettäviä mineraaleja, kuten sulfideja, oksideja tai silikaatteja sellaisessa muodossa ja niin runsaasti, että kaivostoiminta on teknisesti mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa. Teknialoudellisten tekijöiden lisäksi kaivostoiminnan edellytyksenä ovat mm. luvitus ja sosiaalinen toimilupa. Malmi on käsitteenä siten vahvasti sidottu aikaansa ja paikkaansa. Perustana on kuitenkin aina poikkeuksellinen mineraalien rikastuma.

Suomessa on useita merkittäviä kaivoksia ja projekteja, jotka tähtäävät uusien kaivosten avaamiseen tai olemassa olevien kaivosten kehittämiseen (kuva 1). Mineraalipotentialikartta antaa käsityksen siitä, miten monenlaisia malmityyppejä ja malminetsinnälle otollisia alueita esiintyy maamme eri puolilla (kuva 2).

Tiede on avannut geologisen menneisyyden salat

Suomen kallioperän monimutkainen geologinen historia on voitu selvittää uusimmilla tutkimusmenetelmillä varsin yksityiskohtaisesti. Kivien syntyä pystytään määrittämään erilaisin isotooppi-geologisin menetelmin jopa 1-5 miljoonan vuoden (0,5-2 prosenttia) tarkkuudella. Yhtä tarkasti voidaan ajoittaa monet geologiset prosessit, kuten metamorfoosi, deformaatio ja malminmuodostus. Isotooppien avulla voidaan jäljittää myös kivilajien tai malmin aineiden alkuperä.

Geokemiallisin menetelmin kyetään puolestaan päättelemään kivilajien muodostumisympäristö sekä metamorfoosin, deformaation ja malminmuodostuksen paine-lämpötilaolosuhteet. Uusimmat laboratoriomenetelmät mahdollistavat kivinäytteiden tutkimukset jopa nanometrien mittakaavassa, mikä luo edellytykset geologisen kehityksen aiempaa yksityiskohtaisemmalle tulkinnalle. Moninaisilla geofysikaalisilla menetelmillä saadaan olennaista tietoa kallioperän rakenteesta ja fysikaalisista ominaisuuksista aina kymmenien kilometrien syvyyteen. Kaiken tieteellisen tutkimuksen pohjana ovat kuitenkin edelleen yksityiskohtainen kallioperän kartoitus ja tarkat geologiset maastohavainnot.

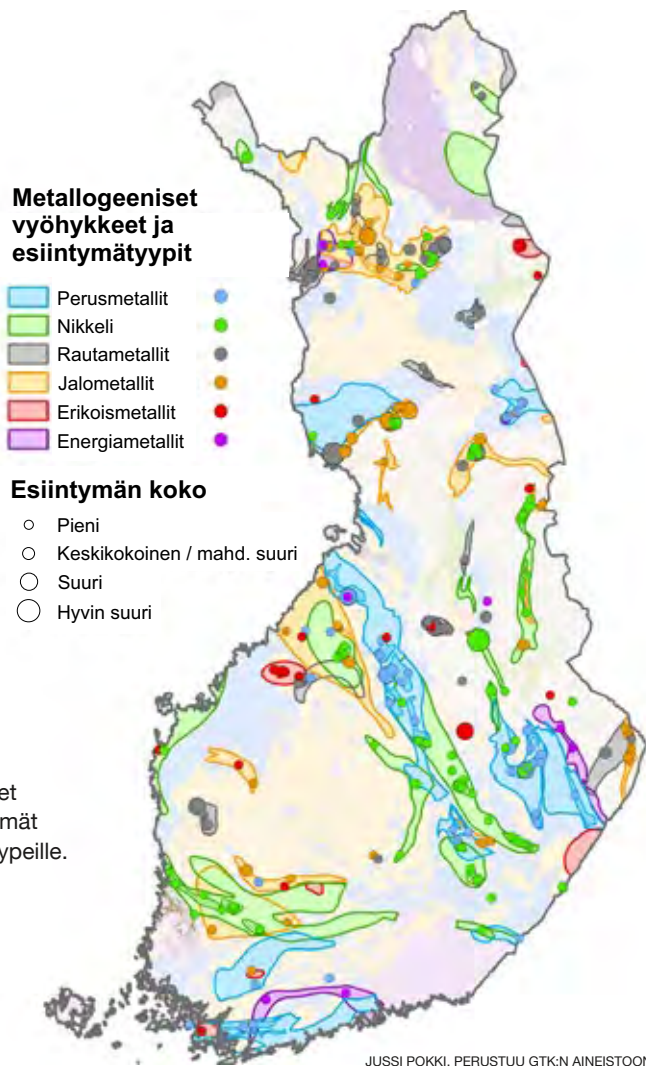
Monimutkaisen palapelin kokoamisessa käytetään hyväksi geologisia malleja, analogioita muille alueille sekä kokeellista tutkimusta ja simulointia. Tekoäly ja laskentakapasiteetti ovat luoneet uusia mahdollisuuksia suurten geoaineistojen tulkintaan.

Monet olennaiset kysymykset on selvitetty, mutta samalla on auennut lukuisia uusia ongelmia. Geologinen kehitys näyttääkin olevan paljon monimutkaisempaa kuin joskus viime vuosikymmenillä luulimme.

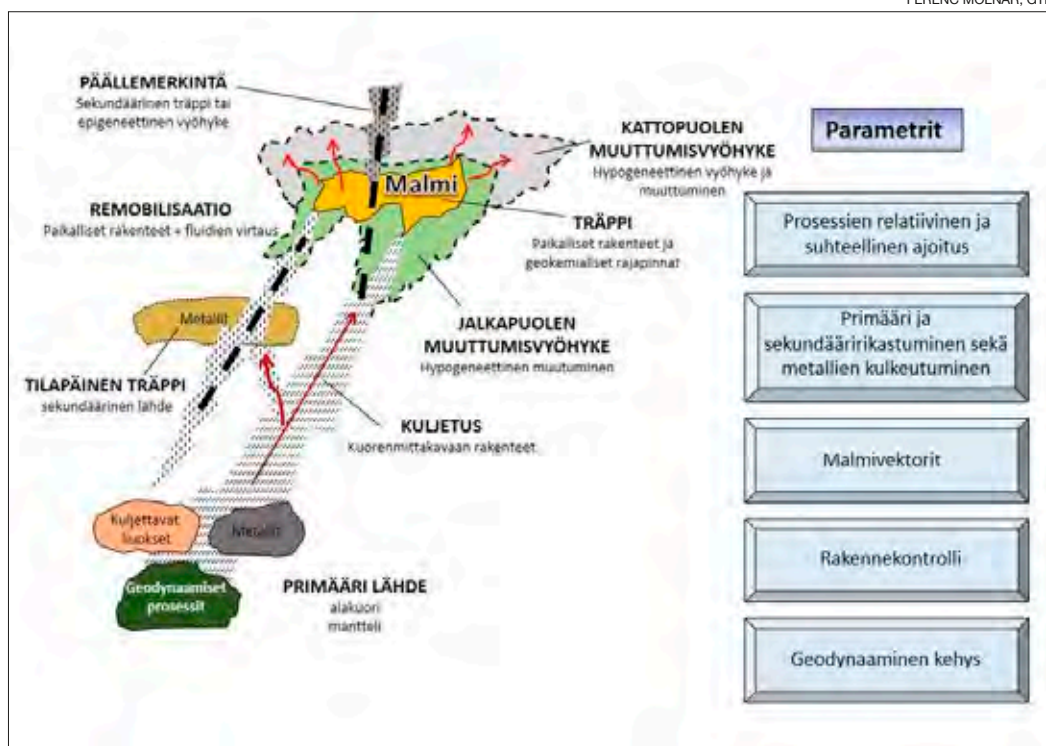
Malmi on syntynyt poikkeuksellisten ja monimutkaisten tapahtumien tuloksena. Yksityiskohtaisella, monialaisella tutkimuksella on kyetty kuitenkin selvittämään tärkeimpien malmityyppiemme geologinen kehitys: muodostumisympäristö, rakenteel-

liset kontrollit, aineiden alkuperä, malmimetallien kuljetus- ja saostumismekanismi, sivukivien muuttumisilmiöt, prosessien ikä sekä malminmuodostuksen lämpötila- ja paineolosuhteet. On myös selvitetty tekijät, jotka ovat muokanneet malmeja alkuperäisen muodostumisen jälkeen. Kuvassa 3 on havainnollistettu hydrotermisten ja magmaattisten malminmuodostussysteemien yleispiirteitä ja tutkimusongelmia.

Geologisen kehityksen ja siihen liittyvän malminmuodostuksen yksityiskohtainen ymmärtäminen ei ole vain tieteellisesti mielenkiintoista, vaan se on myös tuloksekkaan malminetsinnän perusta. Sen avulla voidaan päätellä, mihin tietyn metallin etsintää kannattaa suunnata globaalisti ja paikallisesti, minkä tyyppisiä esiintymiä valitulta tutkimusalueelta voidaan todennäköisesti löytää, mitkä etsintämenetelmät purevat parhaiten ja millaiset geotieteelliset havainnot viittaavat malmien esiintymiseen.



Kuva 2. Suomen mineraalipotentialiset vyöhykkeet ja esiintymät tärkeimmille malmityypeille.



Kuva 3. Havainnekuva magmaattisten ja hydrotermisten esiintymien malminmuodostusprosessista ja sen tutkimusongelmista

Kolmen miljardin vuoden kehityshistoria

Suomen kallioperän nykyinen pintaleikkaus on monimutkainen mosaiikki, joka koostuu eri-ikäisistä ja erilaisissa prosesseissa syntyneistä kivistä (kuva 1). Vierekkäin voi olla esimerkiksi maanpinnalle purkautuneita vulkaanisia tai pinnalle kerrostuneita sedimenttisiä kivilajeja ja syvällä syntyneitä magmakiviä, jotka edustavat aivan eri vaihetta geologisessa kehityksessä. Monet geologiset muodostumat syntyivät alun perin kaukana toisistaan, jopa maapallon eri puolilla, mutta törmäsivät toisiinsa ja hitsautuivat lopulta yhteen laattatektonisissa prosesseissa.

Suomen ja samalla koko EU:n vanhin kivi on Siuruan gneissi Pohjois-Pohjanmaalla. Se on kiteytynyt 3500 miljoonaa vuotta sitten. Kivessä on kuitenkin viitteitä siitä, että sen lähtöaineuksessa on vieläkin vanhempia kiviä, jotka syntyivät jo 3730 miljoonaa vuotta sitten, ainoastaan 800 miljoonaa vuotta aurinkokuntamme synnyn jälkeen. Suomen nuorimpia magmakiviä ovat puolestaan Itä-Suomen 360 miljoonan vuoden ikäiset alkalikivet. Vanhimpien ja nuorimpien kiven ikäero on siten yli 3000 miljoonaa vuotta.

Vaikka geologinen historia onkin erittäin pitkä, niin pääosa kallioperästämme syntyi kuitenkin kahdella, geologisesti ly-

hyehkällä ajanjaksolla: arkeisella ajalla 2800–2700 miljoonaa vuotta ja varhaisproterotsooisella ajalla 1930–1870 miljoonaa vuotta sitten. Tällöin valtavat määrät uutta maankuorta erottui maapallon vaipasta sen osittaisen sulamisen seurauksena. Prosesseihin liittyi useita merellisten ja mantee-reellisten laattojen törmäyksiä, laattojen pilkkoutumisia ja niiden seurauksena vuorijonojen muodostumista.

Lohkoliikkunat ja poimuttuminen veivät pintasyntyiset kivilajit 5–30 km syvyyteen, jolloin ne deformatuivat ja metamorfoituivat ennen vähittäistä paluutaan takaisin kallioperän pintaan. Tämä on ollut tärkeää myös malmiesiintymien säilymisen kannalta, koska monet niistä syntyivät alun perin maanpinnalla tai lähellä pintaa. Siksi malmit ovat voineet säilyä läpi geologisen historian vain hautautumalla tektonisissa prosesseissa pitkäksi ajaksi syvälle maankuoreen ennen uudelleen paljastumistaan kallioperän nykyiseen pintaleikkaukseen.

Vanhin manner muodostui

Itä- ja Pohjois-Suomen arkeisen kallioperän laajimmat varhaiset muodostumat syntyivät ajanjaksolla 2950–2750 miljoonaa vuotta sitten. Ne ovat koostumukseltaan pääosin graniittisia kivilajeja, joissa esiintyy kapeina vyöhykkeinä erilaisia vulkaanisia kivilajeja. Kemiallisen koostumuksen pe-

rusteella on päätelty, että vanhin kallioperä syntyi nykyisestä laattatektoniikasta poikkeavissa prosesseissa.

Pääosa arkeisesta kallioperästä Käsi-varresta Kuolaan ja Karjalaan ulottuvalla alueella (kuva 1) syntyi ajanjaksolla 2750–2690 miljoonaa vuotta sitten nykyisen kaltaisissa laattatektonisissa prosesseissa. Tällöin kehittyi samanlaisia vuoristoja, joita näemme nykyisten laattojen törmäysvyöhykkeillä esimerkiksi Andeilla tai Himalajalla.

Tärkeimmät arkeisen ajan malmit ovat Sotkamon hopea-sinkki-, Ilomantsin kulta- ja Siilinjärven fosforiesiintymät. Sotkamon malmi syntyi happamaan vulkanismiin liittyvän hydrotermisen toiminnan tuloksena lähellä maan pintaa. Ilomantsin orogeeniset kultaesiintymät muodostuivat puolestaan metamorfisista liuoksista syvällä maankuorella. Palaamme näiden malmityyppien syntyprosesseihin edempänä. Siilinjärven kaivoksella louhittava apatiittimalmi liittyy harvinaiseen maan vaipasta peräisin olevaan karbonaatti-magmatismiin arkeisen aikakauden loppuvaiheissa, 2610 miljoonaa vuotta sitten.

Manner repesi ja malmeja syntyi

Arkeinen manner repesi ensimmäisen kerran 2440 miljoonaa vuotta sitten. Sen seurauksena syntyi emäksisten-ultraemäk-

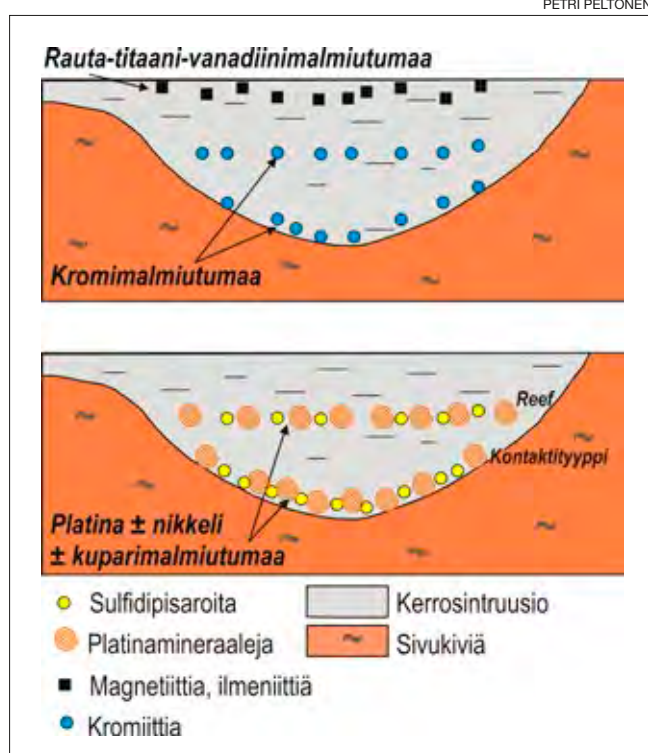
sisten kerrosintruusioiden ketju Kemistä Kuusamoon ulottuvalle vyöhykkeelle. Repeämät ulottuivat maan kuoren läpi ja niihin tunkeutui maapallon vaipasta emäksistä magmaa useina pulsseina. Lopputuloksena syntyivät kerrosintruusioidet, joille on ominaista rytmisesti vaihteleva kerroksellisuus. Magmaa purkautui myös maan pinnalle laajoina laakiobasalttikerrostumina. Nykyisenä analogiana on Itä-Afrikan hautavaajoama, jota pitkin Afrikan manner on pilkkoutumassa geologisessa tulevaisuudessa.

Eri mantereilla esiintyvät saman ikäiset kerrosintruusioidet osoittavat, että tämä varhaisten mantereiden repeäminen oli maapallon laajuinen tapahtuma, jonka seurauksena syntyneet kerrosintruusioidet ovat tärkeitä platinametalli- ja kromimalmien isäntäkiviä. Erityisesti Etelä-Afrikassa niissä on valtavat mineraalivarannot. Suomessa merkittävimmät esiintymät ovat Kemian kromi-, Suhangon palladium-platina- ja Mustavaaran rauta-vanadiini-titaanimalmi.

Kromi- ja platinametalliesiintymät syntyvät kromiitin ja platinamineraalien kiteytyessä magmaattisen kehityksen varhaisvaiheessa ja kumuloidessa silikaattisulaa painavampina rauhallisissa olosuhteissa magmasäiliöiden pohjaosiin (kuva 4). Rauta-titaani-vanadiiniesiintymät syntyvät puolestaan magmaattisen kehityksen myöhäisemmässä vaiheessa rauta- ja titaanioksidimineraalien kiteytyessä intruusioiden yläosiin. Alkuperäisen muodostumisensa jälkeen Suomen magmaattiset esiintymät ovat kiteytyneet uudelleen metamorfoosissa ja deformatuneet nykyiseen muotoonsa.

Arkeisen mantereiden repeytyminen jatkui useissa vaiheissa aikavälillä 2440-1970 miljoonaa vuotta sitten. Maanpinnalle purkautui laajoja laakiobasalttialueita. Muinaiset purkauskanavat näkyvät Itä-Suomen kallioperässä yleisinä diabaasi-juonina, jotka ovat pisimmillään kymmenien kilometrien pituisia, mutta leveydeltään enintään muutaman satoja metrejä. Samanaikaisesti kerrostui matalan meren rantavyöhykkeeseen kvartsihiekkoina 2300-2200 miljoonaa vuotta sitten. Näistä syntyi metamorfoosissa kvartsiitteja, jotka muodostavat tänä päivänä Itä-Suomen korkeimmat vaarat (Koli, Vuokatti ja Ruka).

Merkittävä vanhan mantereiden repeytyminen tapahtui Itä-Suomen alueella 2100-2050 miljoonaa vuotta sitten. Sen seurauksena kehittyi nykyistä Punaista merta muistuttava geologinen ympäristö. Merialtaaseen kerrostoitui savi- ja hiekkasedimenttejä. Samalla muodostuivat me-



Kuva 4. Malmimineraalien kiteytyminen emäksisissä-ultraemäksisissä kerrosintruusioissa

rellisen kuoren emäksiset-ultraemäksiset (ofoliittiset) kivilajit, jotka ovat nyt nähtävissä Outokummun ja Kajaanin Jormuan alueilla. Samankaltaiset ofoliitit ovat tavallisia valtamerien keskiselänteillä. Jormua on kuitenkin maailman vanhin paikka, missä tällainen muinaisen merenpohjan selkeä poikkileikkaus on säilynyt.

Sotkamon Talvivaaran nikkeli-sinkki-kobolttiesiintymät muodostuivat alun perin tässä vaiheessa hiili- ja rikkipitoisten muta-, savi- ja hiekkasedimenttien kerrostuessa hapettomissa olosuhteissa matalahkoon meren pohjan altaaseen. Tämä tapahtui 2000-1900 miljoonaa vuotta sitten. Merivesi oli paikallisesti rikastunut malmimetalleista ja mikrobit edesauttoivat sulfidien saostumista. Myöhemmissä tektonis-metamorfoosissa prosesseissa malmimineraalit kiteytyivät uudelleen ja esiintymät paksuuntuivat, minkä seurauksena syntyivät nykyiset malmiesiintymät.

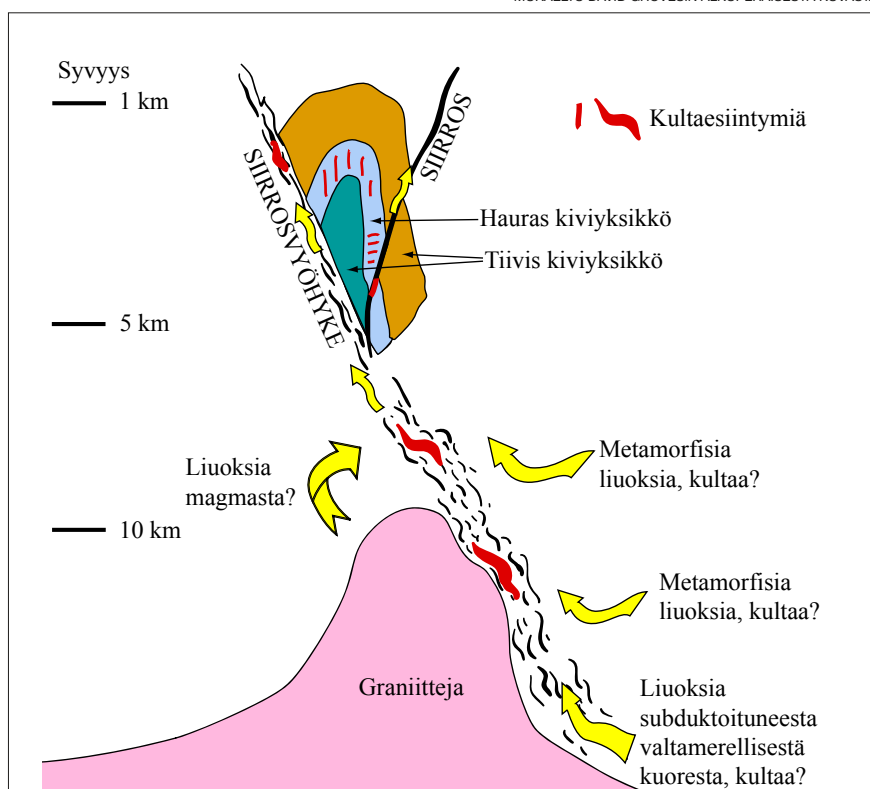
Suomen kaivostoiminnan historian kannalta merkittävät Outokummun alueen massiiviset kupariesiintymät (Keretti, Luikonlahti ja Kylylahti) kerrostuivat alun perin vulkaanis-hydrotermisissä prosesseissa massiivisina, mutta ohuehkoina sulfidikerroksina merenpohjalle ultraemäksisten kiviin yhteyteen. Tämä tapahtui 1950 miljoonaa vuotta sitten. Alueen malmien muodostumiseen vaikuttivat olennaisesti

myös myöhempi poimutus ja metamorfoosi, joissa ohuet sulfidirikkaat kerrokset rikastuivat poimujen karkkisiin ja malmimineraalit kiteytyivät uudelleen karkearakeisiksi. Tämä tapahtui svekofennisessä orogeniassa 1900 miljoonaa vuotta sitten.

Samanaikaisesti syntyivät myös Outokummun pirotteiset nikkeli-kobolttiesiintymät Vuonos ja Hautalampi. Ultraemäksiset kivet kiteytyivät metamorfoosissa uudelleen reagoitua samalla ympäristön mustaliuskeista peräisin olevan rikin kanssa. Tämän lopputuloksena silikaateista vapautuneet nikkeli ja koboltti muodostivat pirotteisia sulfidiesiintymiä ultraemäksisiin isäntäkiviin.

Lappiin kehittyi suuria nikkeli- ja kultamalmeja

Keski-Lapin vulkaaniset ja sedimenttiset kivet kerrostuivat ajanjaksolla 2400-2000 miljoonaa vuotta sitten hitaasti repeilevän ja vajoavan arkeisen kuoren alueelle muodostuneisiin altaiisiin. Sedimentit olivat matalan meren hiekk-, karbonaatti- ja savisedimenttejä. Niitä seurasivat ultraemäksinen (komatiittinen) vulkanismi ja emäksiset-ultraemäksiset intruusioidet pääosin 2220 ja 2050 miljoonaa vuotta sitten. Intruusioiden muodostui nikkeli-kupari-platinametalliesiintymiä, joista merkittävimmät ovat Kevitsan ja Sakatin suuret malmi Sodankylässä.



Kuva 5. Orogeenisten kultamalmien muodostumisprosessin havainnekuva

Nikkelimalmeja voi syntyä, kun emäksinen tai ultraemäksinen magma reagoi rikkipitoisten sivukivien kanssa. Tällöin voi muodostua silikaattisulaan sekoittumaton, vaihtelevasti nikkelistä, kuparista, koboltista ja platinametalleista rikastunut sulfidisula (kuva 4). Sulfidisula syntyy alun perin magmaan sekoittuneina pieninä pisaroina, mikä voi johtaa piroitteisten malmien syntyyn. Tästä on esimerkkinä Kevitsan malmi. Painavampi sulfidisula voi myös kumuloitua magmasäiliön pohjalle, jolloin voi syntyä massiivisia malmeja. Sulfidisula voi kumuloitua jo aikaisemmassa vaiheessa syvemmällä maankuoressa ja tunkeutua yhdessä silikaattisen magman kanssa nykyiselle paikalleen. Sakatti on esimerkki massiivisesta nikkeli-kuparimalmista.

Kittilän alueen vulkaaniset kivet ovat osa muinaista merenpohjaa, joka törmäsi Lapin arkeiseen mantereeseen 1920 miljoonaa vuotta sitten. Tätä seurasi Inarista Kuolan alueelle ulottuvan mannerlohkon törmäys Keski-Lappiin 1900 miljoonaa vuotta sitten. Törmäys johti koko liuskejakson poimuttumiseen ja metamorfoitumiseen. Lappiin kehittyi silloin nykyistä Himalajaa muistuttava korkea vuoristo.

Vuoriston juuriosissa noin 10 km sy-

vyydessä syntyi paikallisesti orogeenisia kultamalmeja, joista esimerkkinä on Euroopan suurin kultakaivos Kittilä. Orogeeniset kultamalmit muodostuvat monivaiheisessa prosessissa, jonka lähtökohtana on syvällä maankuoressa olevien kivilajien uudelleenkiteytyminen lämpötilan ja paineen nousun vaikutuksesta (kuva 5). Tämä tapahtuu usein merenpohjan laatan subduktiovyöhykkeessä. Prosessissa syntyy metamorfisia liuoksia mineraaleista vapautuneesta kidevedestä ja muista volatiileista komponenteista. Prosessissa uuttuu liuoksiin myös kultaa ja muita metalleja hyvin pieninä pitoisuuksina. Joskus liukset voivat olla osittain peräisin myös graniittisista magmoista.

Seuraavassa vaiheessa liukset keskittyvät maankuoren murrosvyöhykkeisiin ja tunkeutuvat ylöspäin tektonisten prosessien pakottamana. Kulta voi saostua otollisissa olosuhteissa lämpötilan laskiessa ja liuosten koostumuksen muuttuessa reaktioissa sivukivien kanssa. Suotuisia paikkoja kultamalmien muodostumiselle ovat tyypillisesti ympäristöönsä hauraammat ja rautapitoiset kivilajimuodostumat. Kullan saostuminen tapahtuu yleensä 6-12 kilometrin syvyydellä.

Malmin syntyminen edellyttää suurten

Nikkelimalmeja voi syntyä, kun emäksinen tai ultraemäksinen magma reagoi rikkipitoisten sivukivien kanssa.

liuosvolyymien syntymistä, liuosten keskittymistä murrosvyöhykkeisiin ja tehokasta kullan saostumista laimeista liuoksista kemiallisesti ja rakenteellisesti otollisissa paikoissa.

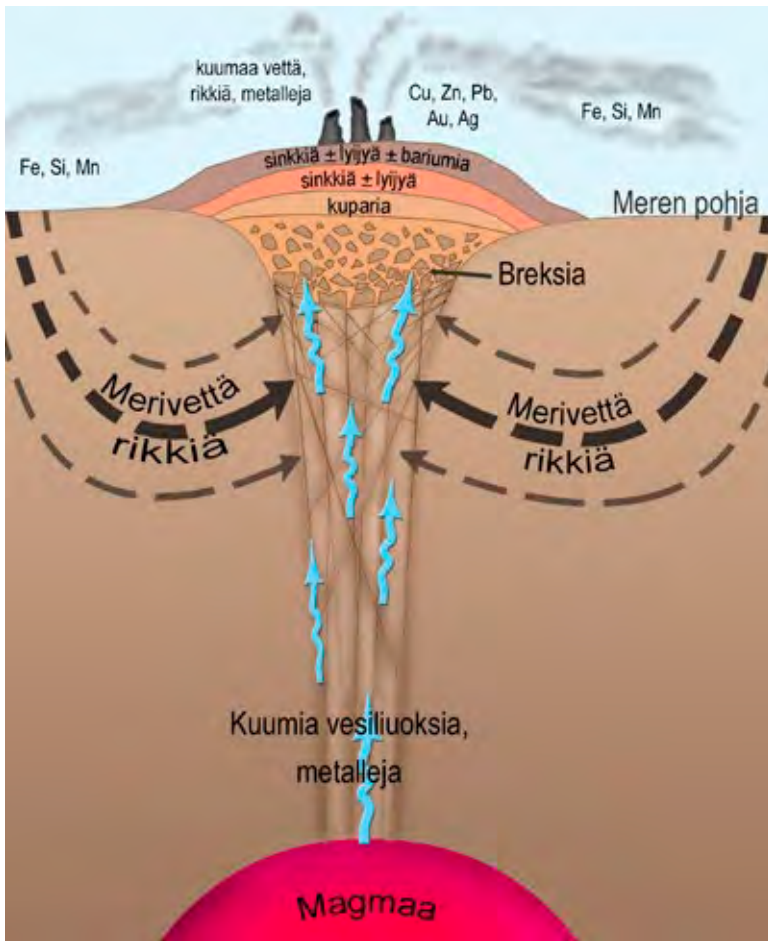
Etelä-Suomeen syntyi vuoristoja ja malmien kirjo

Etelä- ja Keski-Suomen kallioperä muodostui pääosin lyhyellä ajanjaksolla 1930-1870 miljoonaa vuotta sitten. Valtava määrä vulkaanisia kiviä, savia ja hiekkokjia kerrostui miljöössä, jossa saarikaaret ja mannerlaatat törmäsivät toisiinsa ja Itä-Suomen vanhaan arkeiseen mantereeseen. Syntyi vuoristoja nykyistä Indonesian saaristoa muistuttavassa ympäristössä.

Saarikaarimiljöössä purkautuneiden happamien vulkaanisten kivien yhteyteen kehittyivät Vihannin ja Pyhäsalmen kupari-sinkki-lyijyesiintymät. Tämä tapahtui vulkaanis-hydrotermisissä prosesseissa 1920 miljoonaa vuotta sitten. Esiintymien paksuuntuminen poimutuksessa, ja malmimineraalien uudelleen kiteytyminen karkearakeisiksi ja siten helposti rikastettaviksi olivat tärkeitä osatekijöitä taloudellisesti hyödyntämiskelpoisten malmien synnyssä. Tämä tapahtui orogeenisissa huippuvaiheissa 1890 ja 1800 miljoonaa vuotta sitten.

Nykyisenä analogiana ovat merenpohjan mustat savuttajat, jotka kerrostavat perusmetallisulfideja valtamerien pohjaan esimerkiksi Indonesian saaristossa. Kuvassa 6 on esitetty yksinkertaistettu malli vulkaanis-hydrotermisten malmien muodostumiselle. Magmasta peräisin oleviin, metallipitoisiin liuoksiin sekoittuu tulivuorten juuriosissa merivettä ja rikkiä. Liuosten kohotessa malmimetallit saostuvat merenpohjalle tai vulkaaniseen purkauskanavaan. Liuosten jäähtyminen, paineen lasku ja laimentuminen sekoittumisessa viileän meriveden kanssa johtavat metallisulfidien vyöhykkeeseen saostumiseen.

Lukuisia emäksisiä intruusioita tunkeutui Etelä-Suomessa mikrolaattojen reunavyöhykkeisiin 1890 miljoonaa vuotta sitten.



Kuva 6. Vulkaanis-hydrotermisten, massiivisten perusmetalliesiintymien muodostumisprosessin havainnekuva

Niihin kehittyi paikallisesti nikkeli-kupari-esiintymiä, joista esimerkkeinä ovat Hitura, Vammala ja Kotalahti. Svekofennisen orogeenin metamorfisen huippuvaiheen jälkeen syntyi vuoriston juuriosissa orogeenisia kultaesiintymiä, kuten Huittisten Jokisivu ja Raahen Laivakangas.

Mikrolaattojen törmäyksissä eteläisimpään Suomeen muodostui jälleen kerran korkea vuoristo 1850-1790 miljoonaa vuotta sitten. Pintakivet joutuivat 15-20 km syvyyteen maankuoreen, jolloin ne metamorfoituivat ja sulivat osittain. Nämä vuoriston juuriosissa syntyneet graniitit ja migmatiitit hallitsevat Etelä-Suomen nykyistä geologiaa.

Prosessissa syntyi myös harvinaisista metalleista rikastuneita pegmatiittigraniittijuonia. Kaustisen litiumpitoiset pegmatiittiesiintymät muodostuivat Pohjanmaalle samassa vaiheessa, 1790 miljoonaa vuotta sitten. Myös joitakin orogeenisia kultaesintymiä syntyi eteläiseen Suomeen jälleen tässä vaiheessa.

Etelä-Suomen suuret rapakivigraniitit saivat alkunsa stabiloituneen mantereen repeytyessä useassa vaiheessa 1650-1540 miljoonaa vuotta sitten. Maan vaipasta nousi ensin emäksistä magmaa, joka sulatti ympäröivää maankuorta. Sulasta kiteytyi laajoja rapakivigraniitti-intruusioita. Samanaikaisesti alkoi hiekka- ja savikivien kerrostuminen. Ne ovat aikanaan peittäneet lähes koko nykyisen Suomen alueen, mutta nämä nuorimmat sedimenttikivet ovat säilyneet nykypäivään ainoastaan Satakunnan ja Muhoksen hautavajoamissa.

Nuorimmat kivet toivat timantteja ja fosforia maan uumenista

Viimeisimpinä magmaattisina tapahtumina muodostuivat Itä-Suomen vanhalle mantereelle timanttipitoiset kimberliitit ja alkalikivet. Kimberliittejä syntyi kolmessa vaiheessa: 600, 760 ja 1200 miljoonaa vuotta sitten. Kimberliitit ovat harvinaisia räjähdysmäisesti maanpintaan tunkeutuneita,

Suotuisia paikkoja kultamalmien muodostumiselle ovat tyypillisesti ympäristöään hauraammat ja rautapitoiset kivilajimuodostumat.

pienialaisia ja kaasurikkaita intruusioita. Niiden lähtökohtana on maan vaipan hyvin paikallinen osittainen sulaminen syväällä paksun arkeaisen kuoren alapuolella. Kimberliittipurkaukset toimivat ikään kuin pikahissinä, joka tempaisee maan vaipasta, 150-200 kilometrin syvyydeltä kyytiinsä siellä esiintyviä timantteja ja muuta ainesta ja kuljettaa sen magmaan sekoittuneena hurjalla vauhdilla maan pintaan.

Savukosken Soklin karbonatiitti muodostui 365 miljoonaa vuotta sitten yhtenä monivaiheisessa prosessissa, jonka lähtökohtana oli maan vaipan osittainen sulaminen ja erityisen ultraemäksisen magman muodostuminen. Tätä seurasi juonikivien intrudoituminen sekä varsinaisen karbonatiitti-magman synty ja tunkeutuminen maan pintaan. Sokli sisältää huomattavat fosforivarannot ja potentiaalia myös niobiumin sekä harvinaisten maametallien tuotannolle.

Sokliin päättyi Suomen vuosimiljardeja kestänyt malmiesiintymien synty. ▲

Kirjallisuutta

- Eilu, P. (ed.) 2012. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special Paper 53, 401 p. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_053.pdf.
- Lehtinen, Martti; Nurmi, Pekka ja Rämö, Tapani (toim.) 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry., 375 s. <http://www.geologinenseura.fi/suomenkalliopera/>.
- Lehtinen, M., Nurmi, P.A. & Rämö, T.O. (eds.), 2005. Precambrian geology of Finland: key to the evolution of the Fennoscandian shield. Developments in Precambrian Geology, 14. Elsevier, Amsterdam, 736 p.
- Maier, W.D., Lahtinen, R. & O'Brien H. (eds.) 2015. Mineral Deposits of Finland. Elsevier, Oxford, 781 p.
- Nironen, Mikko (ed.), 2017. Bedrock of Finland at the scale 1:1 000 000 - Major stratigraphic units, metamorphism and tectonic evolution. Geological Survey of Finland, Special Paper 60, 130 p. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_060_pages_009_040.pdf.



GRM-services Oy Ltd

GEOPHYSICAL AND ROCK MECHANICAL SERVICES

Vähennä
riskejä kattavalla
3D-mallinnuksella!

Urakointi- ja konsultaatiopalveluita ammattitaidolla, kustannustehokkaasti ja ympäristöä kunnioittaen malminetsinnän, geotekniikan ja ympäristötutkimusten tarpeisiin.



GEOFYSIIKAN MAANPINTA- JA REIKÄMITTAUKSET

- Maapinnan ensimetreistä yli kilometrin syvyyteen.
- EM, 3D/2D IP, painovoima, magneettinen, lataus-potentiaali, seisminen, vastusluotaus, maatulka, reikäkuvaukset ja fyysiset ominaisuudet in-situ.



KALLIOMEKANIIKAN ASENNUKSET JA MITTAUKSET

Monitorointi

- Reaaliaikaiset mittausjärjestelmät – niin maan päällä kuin alla.

Jännitystilamittaukset

- Hydraulinen murtaminen reikiin pinnalta ja maan alta satojen metrien syvyyteen.
- Irtikairaus-menetelmä tunneleista ja maan alta.



Lento-, maanpinta ja reikägeofysikaalisen datan prosessointi, mallinnus ja tulkinta. Historiallisen aineiston uudelleenkäsittely.

www.grm-services.fi | Antti Kivinen: 040-5394224 | info@grm-services.fi

FROM MINE TO MINE



For more information, please contact:
Satu Penttinen, phone +358 (0)20 753 7478
www.nordkalk.com



Taloudellisen geologian opetus Helsingin yliopistossa

TEKSTI: **PETRI PELTONEN**, TYÖELÄMÄPROFESSORI
MIA KOTILAINEN, KOULUTUSSUUNNITTELIJA
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN OSASTO, HELSINGIN YLIOPISTO

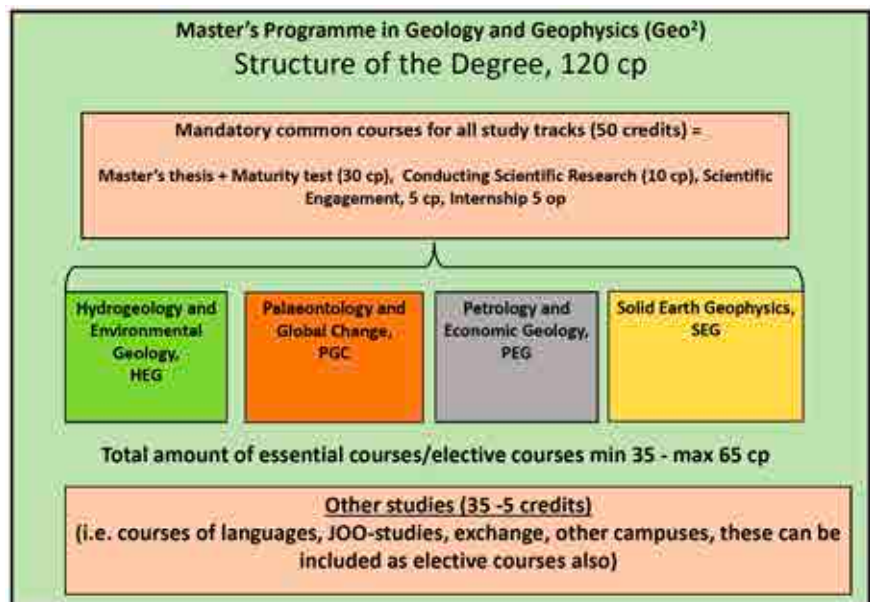
Historia

Taloudelliset näkökohdat eli mineraalisten luonnonvarojen hyödyntäminen ohjasivat maankamaramme tutkimusta jo Ruotsin vallan aikana. Mahdollisuudet geologiseen tutkimukseen kuitenkin paranivat, kun maahamme perustettiin vuonna 1640 yliopisto, joka v. 1828 siirrettiin opettajineen ja oppilaineen Helsinkiin. Helsingin yliopistoon perustettiin geologian ja mineralogian ensimmäinen oppituoli vuonna 1852, yhtenä maailman vanhimmista geologian opinahjoista. Kallioperägeologian opetuksen ja tutkimuksen painopiste on vuosikymmenten kuluessa jonkin verran vaihdellut. Taloudellista geologiaa, erityisesti malmigeologiaa ja -mineralogiana, on toki aina opetettu Helsingin yliopistossa, mutta pääpaino on ollut geokemiassa, mineralogiassa ja petrologiassa. (Haapala, 1998).

Tutkinnon rakenne on muuttunut opetuksen ja tutkimuksen painopisteiden mukana. Yleisesti voisi sanoa, että Helsingin yliopistosta valmistuu nykyisin maistereita, joiden osaaminen ja asiantuntemus kohtaavat entistä paremmin työelämän vaatimukset, tutkijan perusedellytyksiä unohtamatta. Koulutus tuottaa ammattilaisia, jotka hallitsevat teorian ja osaavat soveltaa oppimaansa monipuolisesti erilaisissa asiantuntijatehtävissä.

Kandivaiheen opetus

Vuodesta 2008 yliopiston perustutkinnot koko Suomessa muuttuivat kaksiporttaisiksi siten, että ensin tehdään kandin tutkinto (LuK) ja sen jälkeen opiskellaan maisteriksi (FM). Tämä on ns. Bologna prosessin mukainen koulutusjärjestelmä, jonka ajatuksena oli parantaa kandiensa työelämäkelpoisuutta ja kannustaa vaihtamaan yliopistoa kandin tutkinnon jälkeen, Suomessa tai



Kuva 1. Helsingin yliopiston geologian ja geofysiikan maisteriohjelman rakenne

ulkomailla. Helsingin yliopiston kandivaiheen tutkinto antaa perusvalmiudet kaikille geologian erityisalueille, geofysiikkaa unohtamatta. Opinnit ovat kaikille samat ja niiden jälkeen valitaan maisterivaiheeseen opintosuunta, johon erikoistutaan (Kuva 1).

Taloudelliseen geologiaan erikoistumisen näkökulmasta jokainen kandi on saanut perustiedot ja taidot mineraalien ja kivilajien ominaisuuksista ja tunnistamisesta, polarisaatiomikroskoopin käytöstä ja kallioperägeologisten kenttähavaintojen tekemisestä sekä hallitsee perusteet geologisten aineistojen käsittelystä ja mallintamisesta.

Maisteriopinnot: Petrologian ja taloudellisen geologian suuntautumisvaihtoehto

Taloudellisen geologian maisterivaiheen opintoja uudistettiin ja monipuolistettiin

syksyllä 2017. Malmiinsinnässä, kaivoksilla ja konsulttifiirimoissa työskentelevien geologien työnkuva on huomattavasti monipuolistunut ja työn suorittaminen vaatii uudenlaisia taitoja, joita ei välttämättä aikaisemmin sisältynyt geologien koulutukseen Helsingin yliopistossa. Esimerkkeinä ovat mm. kairasydänaineistojen 3D-tarkastelu ja mallinnus. Malmiesiintymien geologisessa mallinnuksessa käytettäviksi 3D-ohjelmistoiksi ovat osastollamme valikoituneet LeapFrog GEO (geologia) ja LeapFrog EDGE (resurssimallinnus), joita kurssitetaan vuosittain. Kurssipaketin uudistamisen tavoitteena syksyllä 2017 oli paremmin vastata työelämän muuttuneisiin tarpeisiin – tiukoista akateemisista ja tieteellisistä kriteereistä kuitenkin tinkimättä. Maisteriohjelma on englanninkielinen, mutta opiskelija voi halutessaan vastata >

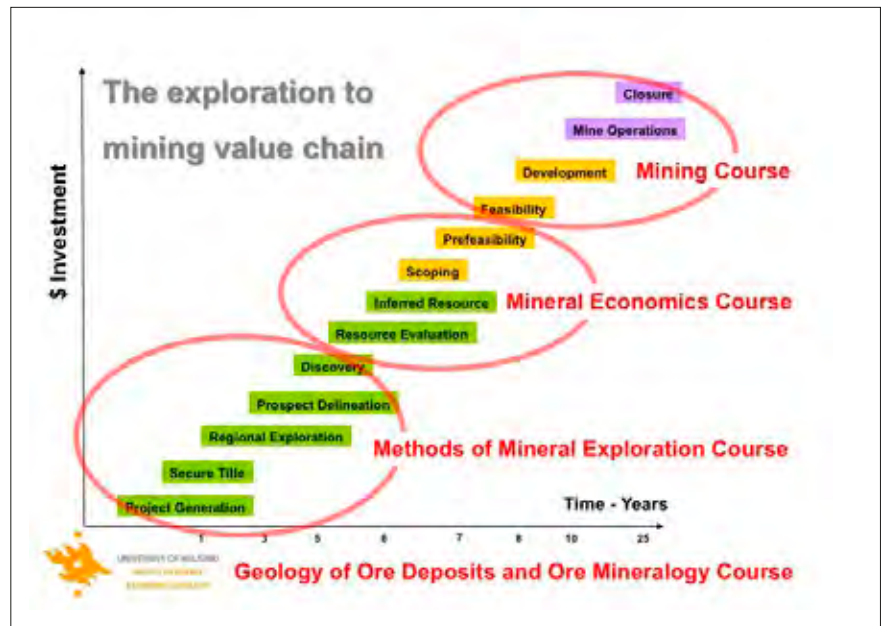
Kuva 2. Taloudellisen geologian kurssikokonaisuus kattaa kaivosteollisuuden koko arvoketjun malmigeologian syventävistä opinnoista malminetsinnän ja mineraalitalouden kautta käytännön työskentelyyn kaivoksella.

kurssintentteihin ja kirjoittaa oppinnäytteensä myös suomeksi tai ruotsiksi.

Taloudellisen geologian maisteriopetus koostuu nykyisin neljästä kurssista, joiden sisältöä kuvataan alla yksityiskohtaisemmin. Kurssikokonaisuus on suunniteltu niin, että se kattaa koko kaivosteollisuuden arvoketjun (Kuva 2). Malmigeologian ja malmimineralogian syventävät opinnot -kurssi on opintojen teoreettinen peruspilari, kun taas malminetsinnän menetelmät, mineraalitalouden kurssi ja kaivoskurssi valmistavat opiskelijoita työskentelemään raaka-ainehuollon parissa.

Malmigeologia ja -mineralogia (Geology of Ore Deposits and Ore Mineralogy)

Malmigeologian kurssi on laaja 10 opintopisteen kurssi, jossa yhden lukukauden aikana käydään läpi kaikki tärkeimmät malmityypit ja niiden syntyä käsittelevät uusimmat teoriat. Pääpaino on taloudellisesti tärkeimmissä malmityypeissä, joten esimerkiksi magmaattisten sulfidi- ja oksidimalmien, kupariporfyyrimalmien, sedimenttisyntyisten kuparimalmien (Kupferschiefer, Sambian kuparivyoähyke) ja vulkaanisten kerrosmyötäisten Cu-Zn-Fe-malmien (VHMS) sekä orogeenisten kultamalmin saama painoarvo on huomattava. Ajankohtaisista akkumetalleista, kuten litiumista ja koboltista on omat luentonsa. Perinteisten luentojen lisäksi kurssilaiset valmistavat ryhmätyönä projektin annetusta aiheesta. Ryhmätyöaiheet ovat kattaneet kurssilla vähemmän painotettuja, mutta tärkeitä malmityyppejä, kuten lateriitteja, mineraalihiekkoja tai bauksiittimalmeja. Tenttikirjana luetaan John Ridleyen ”Ore Deposit Geology” (Cambridge University Press, 2013), joka on esiintymien geologisia kuvauksia painottava oppikirja. Oppimateriaalissa on lisäksi runsaasti aineistoa Laurence Robbinin kirjasta ”Introduction to Ore-Forming Processes” (Blackwell, 2005), jossa tarkemmin kuvataan malmien syntyyn vaikuttavia fysikaalisia ja kemiallisia prosesseja.



Kuva 3. Malminetsinnän menetelmät -kurssin opiskelijoita geokemiallisessa ja biogeokemiallisessa näytteenotossa Metsienmäki Ni-Cu mineralisaation alueella Lammilla



Kuva 4. Moreeninäytteenottoa harjoittelemassa malminetsinnän menetelmät -kurssilla, joka pidettiin syksyllä 2019 jo toistamiseen Helsingin yliopiston Lammin biologisella asemalla.



Kuva 5. Kaivoskurssille osallistuneet opiskelijat ja ohjaajat KOMATSU WA1200:n kyydissä Kevitsan Ni-Cu-Co-PGE kaivoksella Sodankylässä. Vasemmalla punaiseen kypärään sonnustautuneena kaivosgeologi Emmi Annanolli Bolidenilta, eturivissä kurssin ohjaajat Helsingin yliopistolta: työelämäprofessori Petri Peltonen (toinen oikealta) ja lehtori Kirsti Korkka-Niemi (kolmas vasemmalta)

Malmimineralogiaa on aikaisemmin opetettu omana kurssinaan, mutta nyky-
muotoisessa kurssirakenteessa sitä opete-
taan malmigeologian kurssin ”*Geology of
Ore Deposits and Ore Mineralogy*” yhtey-
dessä. Tästä on se etu, että kunkin malmi-
tyypin mineralogia ja tyypilliset rakenteet
voidaan käydä mikroskooppiluokassa läpi
samanaikaisesti, kun kyseistä malmityyppiä
käsitellään luennolla. Malmimineralogian
opetuksen tehostamiseksi on investoitu
uusiin opetusmikroskooppeihin.

Malminetsinnän menetelmät (Methods of Mineral Exploration)

Malminetsinnän menetelmät (Methods of
Mineral Exploration) -kurssilla käydään läpi
tärkeimpien malminetsintämenetelmien
teoria ja kurssiin pakollisena kuuluvalla
kenttäkurssilla (Kuvat 3, 4) näitä harjoi-
tellaan myös käytännössä. Kurssi alkaa
projektien generoinnilla ja siihen liitty-
villä harjoituksilla (targeting exercise) ja
lyhyellä johdannolla mineraalisysteemit
-käsitteeseen. Geokemiallisilla etsintäme-
netelmillä on kurssilla suuri painoarvo,
sillä geo- ja biogeokemialliset malminet-
sintämenetelmät ovat kovasti kehittyneet
analyysimenetelmien parantuessa. Perin-
teisen happoliuotukseen perustuvan maa-
peränäytteen analyysin rinnalle on tullut
suuri valikoima erilaisia osittaisliuotus-
ja heikkouuttomenetelmiä, joilla pyritään
määrittämään kallioperästä vertikaalisesti

– kapillaarisesti tai maaperän kaasujen mu-
kana – nousevia metalli-ioneja. Näiden li-
säksi kurssilla perehdytään myös SGH (Soil
Gas Hydrocarbons) -menetelmään, joka
perustuu sulfidien rapautuessa syntyvien
ja maanpinnalle kulkeutuvien hiiliyhdis-
teiden karakterisointiin. Raskasmineraalien
(indikaattorimineraalien) esiintymiseen
ja koostumukseen perustuvat menetelmät
ovat tärkeitä kullan ja timanttien etsin-
nässä. Raskasmineraalinäytteiden käsittely
sekä mineraalirakeiden elektronioptinen ja
”mineral mapping” -analysointi ovat tär-
keitä malminetsintägeologin taitoja. Kent-
täkurssilla opetellaan lisäksi kannettavan
XRF-laitteiston (pXRF), susceptibiliteeti-
johtavuusmittarin ja tarkkuus-GPS:n
käyttöä malminetsinnässä. Kenttäkurssin
yhteydessä kerättävästä näyteaineistosta
opiskelijat laativat myös pienen paikkatie-
toprojektin (GIS), johon liitetään GTK:n ja
Maanmittauslaitoksen avoimista aineistoista
saatavat geokemialliset ja geofysikaaliset
aineistot, kartoitushavainnot, topografia ja
LIDAR-aineisto.

Malminetsinnässä korvaamattomia
geofysiikan menetelmiä ei tähän kurssiin
sisälly, mutta monet taloudellisen geolo-
gian maisteriopiskelijat suorittavat Solid
Earth Geophysics -opintosuunnan kurssin
”Field course of solid earth geophysics”,
missä opiskelijat oppivat suunnittelemaan
ja toteuttamaan magneettisia, sähköisiä,
sähkömagneettisia ja gravimetrisia kenttä-

mittauksia sekä alustavasti prosessoimaan
ja tulkitsemaan kerättyä mittaustietoa.

Mineraalitalous (Mineral Economics)

Mineraalitalouden kurssi opetettiin Geotie-
teiden ja maantieteen osastolla ensimmäi-
sen kerran keväällä 2019. Mineral Economic
-kurssi on lyhyt, mutta laaja-alainen kurssi,
joka koostuu osaston oman henkilökunnan
vetämien luentojen ja laskuharjoitusten
lisäksi kotitehtävistä, ryhmätöistä, vieraile-
vien luennoitsijoiden alustuksista ja yritys-
vierailuista. Kurssi alkaa johdatuksella met-
allien hintoja sääteleviin tekijöihin, minkä
jälkeen perehdytään kaivos- ja malminet-
sintäprojektien kannattavuuden arviointiin
(IRR, NPV), cut-off -rajan määrittämiseen
pääoma- ja käyttökulujen laskemiseen (CA-
PEX, OPEX) ja rahan arvon muutosten
arviointiin pitkäaikaisissa kaivosprojek-
teissa. Kansainvälisille mineraalivarantojen
raportointikoodeille ja laadunvalvonnalle
(QA/QC) on omat luentonsa. Varsinaista
mineraalivarantojen laskemista opetetaan
vierailevan luennoitsijan avustuksella. So-
siaalisen toimiluvan kysymyksiä on käsitelty
opiskelijoiden lyhyissä pitchaus-esityksissä,
joiden aiheet ovat vaihdelleet verotusky-
symyksistä resurssikiroukseen ja Kiinan
Afrikan-politiikasta alkuperäiskansojen
oikeuksiin. Kurssin lopulla opiskelijat tut-
kivat Excel-pohjaisen taloudellisen mallin
(cash flow model) avulla, miten eri para-
metrien (pitoisuus, metallien hinta, saanti, >



Kuva 6. Kaivoskurssiin sisältyi myös kaivosympäristökoulutusta. Kuvassa opiskelijoita pohjavesiputkella näytteenotossa lehtori Kirsti Korkka-Niemen johdolla



Kuva 7. Maisteriopiskelija Jaakko Georgi (vasemmalla) ja Carlos Salcedo Perun Andeilla. Jaakko teki pro gradu -työnsä First Quantum Minerals -yhtiölle Ronaldon epitermisestä Au-Cu -esiintymästä.

rahan hinta, verotus, valuuttakurssit jne.) muutokset vaikuttavat kaivosprojektin taloudelliseen kannattavuuteen (Base-Best-Worst Case Scenarios).

Kaivoskurssi (Field course on sustainable mining)

Kaivoskurssi järjestettiin keväällä 2019 Boliden Kevitsan kaivoksella, mikä tarjosi opiskelijoille erinomaisen mahdollisuuden perehtyä suuren avolouhoksen toimintaan (Kuva 5). Kevitsan tuotannon ja ympäristön parissa työskentelevä henkilökunta oli laatinut erinomaisen, koko kaivoksen tuotantoketjun kattavan viikon kestävä koulutusohjelman opiskelijoillemme. Kurssilla käytiin luentoja ja erilaisten harjoitustöiden avulla läpi mm. luvituksen ja vesitalouden kysymyksiä, räjäytyksiä ja räjäytysten aikaisten liikuntojen monitorointia, geoteknisiä mittauksia ja mallinnusta sekä resurssi- ja tuotantokairausta. Itsenäinen geometallurgisen mallin laatiminen, malmin sekoitusharjoitus (blending) ja tuotantogeologinen harjoitus olivat hyvin laadittuja ja erinomaisen opettavia tehtäviä. Hallilla perehdyttiin kairasydänten raportointiin ja niistä tehtäviin rakenne- ja

geoteknisiin mittauksiin. Ympäristöryhmän kanssa opeteltiin pinta- ja pohjavesien näytteenottoa (Kuva 6).

Pro Gradu -työt

Taloudellisesta geologiasta on muodostunut suosittu tutkimusala opiskelijoiden valitessa pro gradu -tutkielmiensa aiheita. Vuodesta 2018 lähtien on käynnistetty 17 uutta taloudellisen geologian pro gradu -työtä. Suurin osa graduista tehdään nykyisin yhteistyössä alan toimijoiden kanssa. Helsingin yliopistossa on tekeillä opinnäytteitä sekä suurille kaivosyrittäjille että pienemmille malminetsintäfirmoille. Aiheiden kirjo on todella moninainen. Nikkeli-, kupari- ja kultamalmien sekä timanttiesiintymien litogeokemialliset ja malmimineralogiset aiheet ovat yleisimpiä, mutta mukaan mahtuu myös mm. Leapfrog 3D -mallinnusta, kultamalmien ajoitusta ja isojen geokemiallisten aineistojen tilastollista käsittelyä. Malminetsinnän menetelmiä käsittelevät pro gradu -työt muodostavat oman aihekokonaisuutensa. Nämä liittyvät akkumetalien etsintään. Parhaillaan onkin käynnissä tutkimuksia litiumin, grafiitin ja kobolttin etsintämenetelmien kehittämiseksi. Valta-

osa pro graduista tehdään maantieteellisesti Suomessa sijaitsevista aiheista, mutta tutkimusaiheita on myös niin Perusta (Kuva 7) ja Kazakstanista kuin eteläisestä Afrikastakin.

Yhteenveto

Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen osastolla tarjottava taloudellisen geologian opetus pyrkii vastaamaan nopeasti kehittyvän alan haasteisiin kouluttamalla geologeja, joilla on teoreettisten taitojen lisäksi myös mahdollisimman hyvät työelämävalmiudet. Aktiivisen yliopiston ja yritysten välisen tutkimusyhteistyön ja opiskelijoidemme hyvän työllistymisen perusteella tässä on myös onnistuttu. ▲

Kirjallisuusviitteet

- Haapala, I. (1998). Kallioperätutkimuksen historia. Teoksessa: Suomen kallioperä - 3000 vuosimiljoonaa, Suomen Geologinen Seura, ss.11-21.
- Ridley, J. (2013). Ore Deposit Geology. Cambridge University Press, 398 p.
- Robb, L. (2005). Introduction to Ore-Forming Processes. Blackwell, 373 p.

FLOWROX

Proven Performance

People • Passion • Performance



Pääkonttori
Lappeenranta
Puh. 020 111 3311
sales@flowrox.com

Pumppuhuolto
Kouvola
Puh. 020 787 1570
sales.service@flowrox.com

Polar-Automaatio
Tornio
Puh. 016 4590 500
office@polar-automaatio.fi

Seuraa meitä:



BLASTING SERVICES

FOR NORDIC CONDITIONS

FORCIT EXPLOSIVES offers a fulltime partnership for Nordic mining and construction companies. We manufacture and deliver civil explosives and we also provide all blasting related services. Our comprehensive product portfolio consists of bulk emulsions and packaged explosives as well as other blasting products and accessories.

Read more about our services on
>> [FORCITGROUP.COM](https://www.forcitgroup.com)



Rakennegeologian koulutusta ja tutkimusta Turussa

Turussa geologinen opetus ja tutkimus keskittyvät Turun yliopiston ja Åbo Akademin yhteiseen Geotaloon. Yhtenä painopisteenä on alueellisen kallioperägeologian osaamisen ylläpito ja kehittäminen. Tätä tavoitetta tukee vahvalla kasvu-uralla oleva rakennegeologinen tutkimus, joka tarjoaa aineistoja ja vastauksia sekä tieteellisiin kysymyksiin että yhteiskunnallisesti merkittävän soveltavan tutkimuksen tarpeisiin. Uusien tulosten saavuttamiseen pyritään reipashenkisellä yhteistyöllä sekä tutkimusryhmän sisällä että ulospäin verkostoitumalla.

Web: <https://geohouse.fi/>, Twitter: @Geohouse_Turku
Web: www.utu.fi/sgg

TEKSTI: **PIETARI SKYTTÄ** TURUN YLIOPISTO, **KAISA NIKKILÄ**, ÅBO AKADEMI
KUVAT: **PIETARI SKYTTÄ**, **TUOMAS KAUTI**, **NICKLAS NORDBÄCK** JA **MIRA TAMMELIN**

Opetus

Rakennegeologian maisterivaiheen opinnoille luodaan pohjaa jo geologian kandidaattiopinnoissa, joissa teoriaopintojen rinnalla kehitetään tutkimustaitoja ja käytännön valmiuksia maastohavainnoinnista tulosten visualisointiin ja analysointiin. Kandidaattivaiheen opinnoissa edetään perinteisen 2D-kenttäkartoituksen ja siihen liittyvien taitojen harjoittelusta geologisten mallien rakentamiseen digitaalisessa 3D-mallinnusympäristössä. 3D-mallinnuskursseilla käytetään hyväksi laajaa harjoitusaineistojen kirjoa, mutta erityisesti hyödynnetään opiskelijoiden kenttäkursseilla itsenäisesti keräämää mittaustulosta, jotta osaaminen kehittyy progressiivisesti kursilta toiselle ja jotta huomataan huolellisen maastohavainnoinnin merkitys syntyvien 3D-mallien laadulle. Lisäksi mallien rakentaminen omien aineistojen pohjalta on motivoivaa ja palkitsevaa!

Opintojen maisterivaiheessa (4. ja 5. opiskeluvuosi) rakennegeologinen opetus painottuu temaattisen erikoistumisopintojen kokonaisuuden ”Soveltava rakennegeologia” alle. Ko. kokonaisuuteen kuuluvien kurssien (mm. syventävä 3D-mallinnus, kallioperän hauraat rakenteet, tieteelliset seminaarit) lisäksi rakennegeologista painotusta on etenkin kursseilla Globaali tektoniikka ja Fennoskandian kallioperän kenttäkurssi. Näistä aiempaan liittyy mm. maankuoren deformaatiarakenteiden synnyn analogimallinnusta erilaisissa jännityskentissä (kompressio, ekstensio) ja jälkimmäiseen erilaisia kartoitusharjoituksia. Joka toinen vuosi järjestettävä kenttäkurssi on kuljettanut opiskelijoita mm. eksoottisten Norrbottenin, Keski-Ruotsin, Peräpohjan ja Tampereen alueiden lisäksi ihan kotoisalle Länsi-Uudenmaan alueelle. Kahden viikon kenttäkursseiden teemat ja kohteet vaihtelevat, mutta mukaan on aina saatu mahdutetuksi

yritysvierailuja sekä ekskursioita ja noin viikon verran rakennegeologiaa. Vuoden 2019 ykköskohde oli Jylyn hierontovyöhyke; siitä kaivettiin esiin hyviä havaintoja, jotka myöhemmin jatkojalostettiin rakennegeologisiksi muotoviivakartoiksi (Kuva 1).

Akateeminen koulutus huipentuu opinnäytteen laatimiseen. Työn aihe liittyy pääsääntöisesti käynnissä oleviin tutkimusprojekteihin ja näin ollen työ sitoutuu rakennegeologian tutkimusteemoihin (ks. alla). Useimpia opinnäytteitä valmistellaan projektiryhmissä, joihin kuuluu yliopiston ulkopuolisia yhteistyötahoja ja ohjaajia joko yrityksistä tai tutkimuslaitoksista, ja ryhmätyön yhtenä tavoitteena on varustaa opiskelijoita tulevaa työelämään siirtymistä silmällä pitäen. Opinnäytetöiden tuloksia pyritään aina esittelemään tieteellisissä seminaareissa ja konferensseissa.

Tutkimusryhmä ja tutkimuksen linjat

Geotalon rakennegeologisen tutkimuksen ytimen muodostaa syksyllä 2019 perustettu tutkimusryhmä ”Structural Geology Group Turku-Åbo” eli lyhyemmin ”SGG Turku-Åbo”. Ryhmä koordinoi Geotalossa tapahtuvaa rakennegeologian tutkimusta sekä tarjoaa kiinteän tukiryhmän rakennegeologiasta ja 3D-mallinnuksesta tekeillä oleville väitöskirjatutkimuksille. Ryhmä pyrkii verkostoitumaan sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla. Jälkimmäisestä on esimerkkinä aktiivinen osallistumisemme geotieteiden 3D-visualisointeihin keskittyneeseen EIT RawMaterials:n Visual-3D -projektiin. Tutkimuksellamme on kaksi painopistealuetta: i) maankuoren

rakennekehitys ja ii) kallioperän rakoilu. Maankuoren rakennekehitystutkimus liittyy kiinteästi Geotalon tutkimusprofiiliin ”Fennoskandian kallioperä” ja tutkimuksessa hyödynnetään rakennegeologian lisäksi mm. petrologian, isotooppigeologian ja geokemian menetelmiä. Tuloksilla on perustutkimuksellisen merkityksen lisäksi sovellettavuutta etenkin malmiesiintymien sijainnin ja geometrian ymmärtämisen suhteen, ja lisäksi kallioperän duktilin rakenteen ymmärtämistä voidaan hyödyntää hauraiden rakenteiden tutkimuksissa. Kallioperän hauraiden rakenteiden (raot, siirrokset) tunteminen on tärkeässä roolissa, kun rakennetaan kalliotiloja tai suunnitellaan käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitusta, mutta epäsuorasti se kontrolloi myös maapeitteiden alla olevan kallion pinnan topografiaa sekä maaston pinnanmuotoja.

Rakennegeologista tutkimusta voidaan aina nimittää ”geospaatialiseksi mallinnukseksi”, koska kaikkia tutkittavia kohteita ja ilmiöitä tarkastellaan suhteessa niiden esiintymispaikkaan ja toisiinsa. Mallinnusta suoritetaan digitaalisessa 3D-mallinnusympäristössä ja aineistoina käytetään sekä vapaasti saatavilla olevaa GIS-aineistoa (geofysiikka, LiDAR, topografiakartat) että projekteissa kerättävää geologista ja geofysikaalista aineistoa. Paikkatarkkaa aineistoa kerätään tapauskohtaisesti dronella, laserkeilaimella, tarkkuus-GPS:llä tai fotogrammetrisin menetelmin, ja ko. aineistot yhdistetään yhteistyötahojen tuottamaan aineistoon (esim. heijastusseisämiikka, maatutka-aineistot, timanttikairaus ja tunnelikartoitusaineistot). Geologisen tutkimuksen ytimen muodostaa kuitenkin tyypillisesti geologinen maastohavainnointi, joka voidaan digitaalisia tausta-aineistoja hyödyntäen kohdentaa paremmin kuin menneinä vuosikymmeninä.

Esimerkkinä Geotalon nousevasta tutkimusaktiivisuudesta voidaan pitää myös vuoden 2019 alusta järjestettyjä viikottaisia tutkimusseminaareja (Kuva 2), jotka keräsivät vuoden aikana lähes 500 kuulijaa! Seminaarit eivät toki keskity ainoastaan rakennegeologiaan, vaan paremminkin tarjoavat läpileikkauksen Geotalolla tehtävästä tutkimuksesta sekä antavat loistavan mahdollisuuden harjoitella suullisten esitelmien pitämistä matalan kynnyksen olosuhteissa – vaikkapa ennen tulossa olevaa kansainvälistä kokousesitelmää. Seminaareissa on oman talon väen lisäksi saatu nauttia vieraillevien tutkijoiden esityksistä, esimerkkeinä Alicia Bonkin esitys Puolan maastopalohistoriasta järvisedimenttirikis-



terin avulla tunnistettuna ja Casimir Näsin esitys asbestimineraalien tunnistamisesta polarisaatiomikroskopian avulla.

Maankuoren rakennekehitystutkimusta

Maankuoren rakenteiden geometrian ja kehityksen ymmärtäminen on oleellista, koska ne yhdessä määrittävät laajasti mm. kallioperän kivilajiyksiköiden alueellista jakautumista maanpinnalla, jatkumista maanpinnan alapuolella sekä hyödynnettävien raaka-aineiden esiintymistä kallioperässä.

Työmme Peräpohjan liuskejaksos alueella Pohjois-Suomessa on tuonut merkittäviä tuloksia maankuoren rakennekehityksestä ja sen suhteesta malmiesiintymien syntyyn ja sijoittumiseen. Töiden tärkeimmät löydökset liittyvät siihen, kuinka Peräpohjan alueen pintasyntyisten kivien kerrostumishistoriaa ja sen jälkeistä vuorijonojen muodostumisen aikaista defor-

Kuva 1. Ylh. Geologian opiskelija Justus Jokiniemi raapii sammaleita kalliopaljastuman päältä Jylyn hiertovyöhykkeen maisemissa kallioperägeologian maisterivaiheen opintojen kenttäkurssilla syyskuussa 2019. Alh. Kartoitushavaintoihin perustuva muotoviivakartta – tulkinta alueen kallioperän geologisista rakenteista.

maatiota ovat kontrolloineet näiden kivien alapuolella olevat suurrakenteet (Skyttä et al., 2019; Piippo et al., 2019). Ko. rakenteet voidaan liittää geologisesti vanhimman, Arkeaisen ajanjakson aikana syntyneen mantereen repeämistäpahtumaan, jossa on samankaltaisuuksia tällä hetkellä Itä-Afrikassa käynnissä olevan mantereen hajoamisen kanssa. Tutkimuksissa tunnistetut, syvälle jatkuvat siirrosrakenteet ovat samalla toimineet kulkureitteinä malmiliuksille ja näiden tunnistaminen avaa osaltaan mahdollisuuksia löytää uusia esiintymiä, joiden potentiaalia tutkitaan **Simo Piipon** väitöskirjaprojektissa. Simo hyödyntää työssään jo saavutettuja rakennegeologisia tuloksia ja jatkojalostaa niitä yhdessä muiden aineistojen kanssa prospektiivisuussmalliksi Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) **Vesa Nykäsen** ohjauksessa. Alueen kallioperän repeämisen systematiikan ymmärtämisessä taasen tehdään yhteistyötä analogiamallinnusspesialisti **Giacomo Cortin** (Firenze, Italia) kanssa (Corti et al., 2020).

Eteläisimmässä Suomessa Hangon - Inoon rannikon ja saariston alueella selvitetään kallioperän kivilajien syntymekanismia ja tektonista ympäristöä. Kivilajit ovat pääosin osittain sulaneita (migmatiitteja) ja pääpaino tutkimuksessa onkin siinä, kuinka osittaissula muodostuu kallioperässä. Sulanmuodostuksessa fluidit ovat tyypillisesti tärkeässä roolissa, ja muualle siirtyessään ne voivat vaikuttaa myös malmimineralisaatioiden syntyyn. Alueen tutkimus on jakautunut kahteen päähaaraan, joissa i) väitöskirjatutkija **Anna Saukko** keskittyy osittaissulien magmapetrologiaan ja geokronologiaan, eli siihen miten, mistä materiaalista ja milloin sulien muodostus tapahtui, sekä ii) yliopisto-opettaja **Kaisa Nikkilä** tutkii, missä kallioperän rakennekehityksen vaiheessa sulat ovat lähteneet liikkeelle. Rakennetulkinnalla voidaan edelleen sitoa alueen kehitys laajempaan tektoniseen yhteyteen Uudenmaan, Ruotsin Bergslagenin ja Pohjois-Viron kanssa. >



Kuva 2. Sarianna Salminen esittelemässä väitöskirjatutkimuksensa tuloksia Geotalon viikottaisessa tutkimusseminaarissa syksyllä 2019

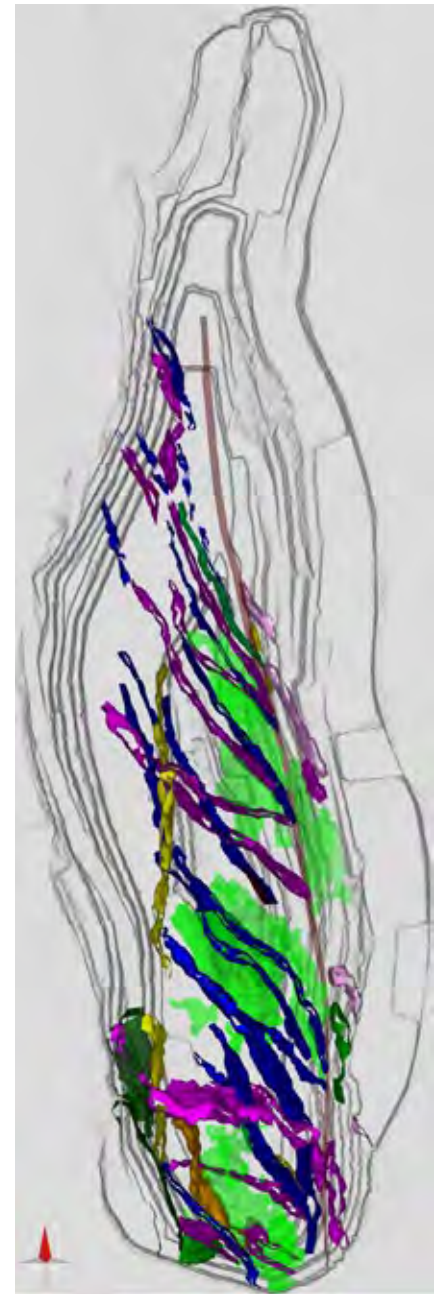
Tuomas Kauti laatii kattavaa geologista 3D-mallia Siilinjärven fosfaattiesiintymästä (Kuva 3) osana sekä väitöskirjaansa että EU-rahoitteista Smart Exploration-projektia. Hanke on loistava esimerkki monipuolisten aineistojen integroimisesta 3D-mallinnusohjelmiston avulla ja uniikkina piirteensä siinä voidaan pitää kattavan tuotantoporausaineiston hyödyntämistä esiintymää leikkaavan diabaasijuoniverkoston mallinnuksessa. Työn tavoitteena on parantaa malmin kokonaistilavuuteen vaikuttavan juonten esiintymisen ennustettavuutta etenkin avolouhoksen mahdollisten jatkeiden osalta. Geologisen aineiston lisäksi työssä hyödynnetään heijastusseismiikkaa ja maatulkausta, joiden tuloksia tulkitaan yhteistyössä Helsingin yliopiston **Emilia Koiviston** kanssa.

Kallioperän hauraiden rakenteiden tutkimushankkeita

Kansallisen ydinjäteturvallisuusrahaston (KYT) rahoittamissa projekteissa ”KARIKKO” ja ”MIRA-3D” tutkitaan kiteisen kallioperän hauraiden rakenteiden ominaisuuksia ja ennustettavuutta eri mittakaavoissa. Hankkeet toteutetaan vuosina 2019-2022 yhteistyössä Geologian tutkimuskeskuksen kanssa ja niiden tavoitteena on kehittää ja arvioida uusia rakokartoitusmenetelmiä sekä hyödyntää kehitettyjä menetelmiä kallioperän rakojen ja siirrosten ennustamiseen alueilla, joilta ei ole saatavilla suurta määrää rakoaineistoa. Lisäksi hank-

keissa kehitettyjä menetelmiä käytetään hauraita rakenteita kuvaavien geologisten mallien luotettavuuden edistämiseen ja arvioimiseen. KARIKKO-projektin tärkeimpänä tutkimusaineistona käytetään hyvin paljastuneilta kallioalueilta dronella otettuja ilmakuvia, joilta havaittavat rakojaljet digitoidaan ja ko. rakojen muodostamien verkostojen ominaisuuksia (suunta, pituudet, topologiasuhteet) analysoidaan (esim. Ovaskainen et al., 2020). Tuloksia voidaan ydinjätteen loppusijoitustutkimusten lisäksi hyödyntää kalliorakentamishankkeiden tutkimuksissa. KARIKKO-hankkeeseen kiinteästi liittyvän MIRA-3D-hankkeen tavoitteena on mallintaa siirroksiin liittyvien rakoysteemiä 3D-verkostoja noin 5*5*5 cm kokoisista näytteistä. Ko. tarkoitusta varten on Geotalolla kehitetty ohuthiekkoneen lisälaitteisto, jolla voidaan ”viipaloita” kiviä näytteitä 1 µm:n tarkkuudella ja ko. viipaleista otetuista kuvista (UV & näkyvä valo) laatia hyvin tarkkoja pienen mittakaavan 3D-malleja. Hankkeiden tuotaman aineiston analysoinnissa hyödynnetään keinoälypohjaista kuva-analyysiä, jota on geologisten aineistojen osalta lähde-tyyppisesti kehitetty yhteistyössä mm. Turun yliopiston PET-keskuksen kanssa. Hankkeissa toimivat mm. GTK:n tutkijat **Nicklas Nordbäck** ja **Jon Engström** ja TY:n dosentti **Jussi Mattila** ja niihin liittyy lisäksi useita opinnäytetöitä.

Kallioperän hauraiden rakenteiden ymmärrys ja rakenteiden vaikutus kallion



Kuva 3. Tuotantoporausaineiston perusteella laadittu 3D-malli Siilinjärven fosfaattiesiintymää leikkaavista diabaasijuonista suoraan alapäin katsottuna. Vaaleanvihreät pinnat edustavat loiva- tai vaaka-asentoisia juonia ja tummemmat sävyt jyrkkiä tai pystyasentoisia juonia.

pinnan topografian muodostumiseen sekä pohjaveden virtauksiin glasifluvuaalisissa muodostumissa Kurikan alueella on tutkimusten keskipisteessä **Eemi Ruuskan** väitöskirjatyössä. Työssä tulkitaan jopa yli 100 metrin paksuisten pohjavesiesiintymiä

muodostavien sora- ja hiekkakerrosten alapuolella olevan kallioperän rakenteita ja pinnanmuotoja. Systemaattisen rakennegeologisen analyysin tuloksena syntynyttä tietoa kallioperän epäjatkuvuuksista (rakovyöhykkeet, siirrokset) hyödynnetään tarkentamalla kairausten ja epäsuorien geofysiikaalisten mittausten avulla laadittuja kallion pintamalleja vastaamaan realistisemmin hauraiden siirrostien verkostojä ja todellisia rakenteiden asentoja (kulku, kaade). Työsä tärkeimpänä yhteistyökumppanina on GTK:n **Niko Putkinen** ja työn tuloksilla on merkittävyttä alueen vesihuollolle.

Ydinjätteen loppusijoitustutkimukset SGG Turku-Åbo -ryhmän osaamista on viime vuosina hyödynnetty ydinjätteen loppusijoitustutkimuksissa, joissa ryhmämme on rakennegeologisella osaamisellaan tukenut viranomaisen (STUK) suorittamaa loppusijoitukseen tähtävien tutkimusten valvontatyötä. Tehtävämme ovat liittyneet aineistojen ja raporttien arviointeihin sekä vaihtoehtoisten geologisten 3D-mallien laa-

timiseen. Niiden avulla pyritään alentamaan geologisen mallinnukseen aina leimallisesti liittyviä epävarmuuksia, jotka liittyvät sekä konseptuaaliseen ymmärrykseen maankuoren rakenteista ja niiden kehityksestä (Skyttä ja Torvela, 2018), mutta etenkin saatavilla olevaan tutkimusaineistoon, joka maan pinnan alapuolisissa tutkimuskohteissa on aina epäjatkuvaa, epätasaisesti jakautunutta ja määrältään riittämätöntä. ▲

Kirjallisuus

- Corti, G., Nencini, R., Skyttä, P., 2020. Modelling the influence of pre-existing brittle fabrics on the development and architecture pull-apart basins. *Journal of Structural Geology* 131.
- Ovaskainen, N., Nordbäck, N., Engström, J., Markkovaara-Koivisto, M., 2020. Comparisons between multi-scale extractions of fracture networks in South-Eastern Finland. The 34th Nordic Geological Winter Meeting, Oslo, Norway, January 8-10, 2020. p. 162.
- Piippo, S., Skyttä, P., Kloppenburg, A., 2019. Linkage of crustal deformation between the Archaean basement and the Proterozoic cover in the Peräpohja Area, northern Fennoscandia. *Precambrian Research* 324, 285–302.

Skyttä, P., Torvela, T., 2018. Brittle reactivation of ductile precursor structures: the role of incomplete structural transposition at a nuclear waste disposal site, Olkiluoto, Finland. *Journal of Structural Geology* 116, 253–259.

Skyttä, P., Piippo, S., Kloppenburg, A., Corti, G., 2020. 2.45 Ga break-up of the Archaean continent in Northern Fennoscandia: Rifting dynamics and the role of inherited structures within the Archaean basement. *Precambrian Research* 324, 303–323.

NEWPAAKKOLA

CONVEYOR MAINTENANCE SPECIALIST

Factory Service

Analyze & Report

Maintenance

Spare Parts

Longer lifetime, with less operating costs

MAKE THINGS BETTER

UNDERSTAND THE WHOLE PROCESS

KEEP THINGS RUNNING

www.newpaakkola.com

STRESS MEASUREMENT COMPANY

LABORATORIO- JA KENTTÄPALVELUITAMME MM.

KIVEN PORATTAVUUS-TESTAUS

RAON LEIKKAUS-LUJUUS

PURISTUSLUJUUS-, POINT LOAD- JA VIRUMATESTAUS

KIVEN VETOLUJUUS MONITOROINTI JA VAROITUS

KALLIO-MEKAANINEN SUUNNITTELU

HF-JÄNNITYS-TILAMITTAUS

RUISKUBETONIN KUNNON ARVIOINTI JA TESTAUS

JÄNNITYSTILAMITTAUS TUNNELIN PINNALLTA LVDT-KENNOLLAMME

WWW.SMCOY.FI



Tutkimuksen ja koulutuksen ytimessä

Professori Saija Luukkanen, yksikön johtaja
saija.luukkanen@oulu.fi, +358 50 465 2982

Professori Elena Kozlovskaya
elena.kozlovskaya@oulu.fi
+358 29 448 1411

Professori Juha-Pekka Lunkka
juha.pekka.lunkka@oulu.fi
+358 29 448 1434

Professori Pertti Sarala
pertti.sarala@oulu.fi
+358 29 448 1454

Professori Kari Strand
kari.strand@oulu.fi
+358 29 448 3556

Professori Shenghong Yang
shenghong.yang@oulu.fi
+358 40 188 3168

Professori Zongxian Zhang
zongxian.zhang@oulu.fi
+358 50 355 2744

Kuva: Studio Teemu Hujanen



Teknillinen tiedekunta, Kaivannaisalan yksikkö – Oulu Mining School

www.oulu.fi/katk

normet



LAITTEET



PALVELUT



RAKENNUS-
KEMIKAALIT



KALLIO-
LUJITUS

TAATUT TULOKSET

Kehitämme yhdessä asiakkaittemme kanssa kaivoksen prosesseja paremman turvallisuuden, tuotavuuden ja kannattavuuden saavuttamiseksi.

Olemme olleet mukana tarpeeksi kauan tietääksemme, että menestyminen tarkoittaa myös kykyä odottaa odottamatonta. Tästä syystä tekniset eksperttimme ovat valmiina auttamaan asiakkaittamme jokaisessa haasteessa, pienessä tai suuressa.

NORMET.COM



Kuva 1. Geotieteiden opiskelijat tutustuvat edustavilla kenttäkohteilla Suomen kallioperägeologiaan ja kivien syntymekanismeihin.

Geotieteiden opetus ja tutkimus Oulun yliopistossa täydentävät kaivannaisalan arvoketjun

TEKSTI: **KARI STRAND, JUHA PEKKA LUNKKA, PERTTI SARALA, SHENGHONG YANG**
 KAIVANNAISALAN YKSIKKÖ, GEOTIETEIDEN TUTKIMUSRYHMÄ, OULUN YLIOPISTO
 KUVAT: **KARI STRAND**

1 Johdanto

Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan kaivannaisalan yksikkö (Oulu Mining School - OMS) antaa koulutusta ja tekee tutkimusta geotieteissä, sovelletussa geofysiikassa sekä rikastus- ja kaivostekniikassa. Yksikkö vastaa geologien ja kaivannaisalan diplomi-insinöörien perus- ja jatkokoulutuksesta sekä alan täydennyskoulutuksesta. Yksikössä toimii kaksi erillistä tutkimus-

ryhmää: 1) geotieteet sekä 2) kaivos- ja rikastustekniikka, joiden tutkimus kattaa valtaosan kaivannaisalan tutkimus- ja opetusaloista ulottuen geologisista systeemeistä ja malminmuodostuksesta malminetsintään sekä geofysiikasta malmien rikastukseen ja sivuvirtojen kestävään hyödyntämiseen. Yksikköön kuuluu tällä hetkellä yhteensä seitsemän professoria, neljä tohtoritason lehtoria ja viisi tutkijatohtoria sekä yli 15

jatko-opiskelijaa. Lisäksi seitsemän henkilöä toimii tutkimuksen ja opetuksen tukena laboratorio- ja hallintopalveluissa.

Geotieteissä professoreita on neljä (kirjoittajat). Geotieteiden tutkimus tukee Oulun yliopiston strategiaa kahdella alueella: 1) kestävät materiaalit ja järjestelmät, joka kattaa mineraalisten luonnonvarojen etsinnän ja kestäväen käytön ja 2) muuttuva ilmasto ja pohjoinen ympäristö, joka pitää

sisällään geologisen tutkimuksen maapallosysteemistä ja ympäristönmuutoksesta. Parhaillaan Oulun yliopistossa on kehityksessä kansainvälistä Arktista agenda tukemaan laajempi monitieteinen tutkimusyhteisö nimeltään ”Geologiset systeemit ja arktiset mineraalivarat”. OMS on aktiivinen toimija useissa kansainvälisissä koulutusverkostoissa, kuten muun muassa EU:n EIT Raw Materials KIC -konsortiossa ja Nordic Mining Schoolissa. Yksikön kansainvälinen Mineral Resources and Sustainable Mining -maisteriohjelma kouluttaa erityisesti taloudellisen geologian alalle uusia osajia. Laajaa koulutus- ja tutkimusyhteistyötä geotieteissä harjoitetaan etenkin Luulajan teknillisen yliopiston sekä Tukholman ja Tromssan yliopistojen kanssa. Tärkeä kotimainen yhteistyökumppani on myös Geologian tutkimuskeskus, jonka kanssa on yhteisprofessori geokemiallisessa malminetsinnässä. Tutkimusyhteistyötä tehdään myös usean ulkomaisen yliopiston ja tutkimuslaitoksen kanssa.

2 Geologiset prosessit ja malminmuodostus

Geotieteiden tutkimusryhmän tutkimustee-moihin kuuluu vahvana malmien synnyn ja ominaisuuksien tutkiminen. Tämän tutkimukseen piiriin sisältyvät magmaattisten Ni-Cu-PGE-, Cr- ja Fe-Ti-V-malmien syvälliset tutkimukset, joihin perusta on rakennettu jo 1980-90-lukujen suurissa malminprojekteissa. Orogenisiin kultamalmeihin liittyy uutta tutkimusta, kuten osoittaa esim. Jukka Pekka Rannan vuonna 2018 valmistunut väitöskirja, joka paneutuu Peräpohjan alueen geologiaan ja kullan muodostukseen. Tutkimushankkeet ovat laajalti keskittyneet Suomen arkeiseen ja paleoproterotsooisen kallioperän syntyyn ja kehitykseen ja niihin liittyviin geologisiin prosesseihin (Kuva 1). Viime aikoina on ryhdytty tutkimaan myös muita hyödyllisiä metalli- tai teollisuusmineraaliesiintymiä, kuten esimerkiksi akkumetalleja (mm. litiumia ja kobolttia sisältäviä esiintymiä) sekä mustaliuskeita ja muita suprakrustisia kivilajiseurueita ja niihin liittyviä Zn-Pb- ja W-mineralisaatioita. Maankuoren kehitykseen, paleosedimentologiaan, tektoniikkaan ja metamorfiseen petrologiaan liittyvät kysymykset ovat olleet myös useiden tutkimusprojektien kohteina. Tutkimuksissa on sovellettu mm. modernia sekvenssistratigrafiata maamme paleoproterotsooisen kallioperän sedimenttisten ja vulkaanisten kivien kerrostumishistorian selvittämiseksi. Metamorfisen petrologian



Kuva 2. Maaperägeologisella kenttäkohteella on tartuttava välillä lapioon, jotta paras leikkaus saadaan tutkittavaksi ja sedimenttinäyte otetuksi.

tutkimus täydentää tietämystämme kivien muuttumisesta malminmuodostuksessa. Geotieteiden tutkimuksissa sovelletaan vahvasti malminetsintä- ja ympäristögeokemiaa sekä isotooppigeokemiaa, esimerkiksi mm. viimeaikaiset tutkimukset Zn-Pb-malmiutuneista sedimenttikivistä Raahen edustalla. Geokemiaa opetetaankin itsenäisinä kursseina tukien geotieteiden, mutta myös muiden tutkinto-ohjelmien tavoitteita. Geokemiallista tietoa tarvitaan enenevässä määrin ympäristönsuojelussa ja terveydenhuollossa sekä vesien, maaperän, kallioperän, biosfäärin ja planeettojen tieteellisessä tutkimuksessa. Geokemiallisen analytiikan merkitys on erityisen suuri malmien inventoinnissa ja kaivostoiminnassa. Yhteistyö suomalaisen teollisuuden kanssa erilaisina petrologian ja soveltavan mineralogian sovellutuksina muodostaa myös yhden merkittävän tutkimussektorin. Malminetsinnän perustana korostuu yhä syvällinen tieto Fennoskandian kilven kallioperästä.

Toteutettavia tutkimushankkeita ovat mm. EIT Raw Materials MAP (Mineral Resource Assessment Platform) -projekti, joka toteutuu Geologian tutkimuskeskukseen johdolla. Taloudellisen geologian maisterikoulutusta kehitetään EIT Raw Materials EXpLORE (Master exchange programme in exploration) -projektin puitteissa yhteistyötahoina Luulajan, Freibergin ja Krakowan (UGH) teknilliset yliopistot ja partnerei-

na mm. Boliden- ja LKAB-kaivosyhtiöt. Geotieteiden osaamista sovelletaan myös EU:n Horizon 2020 INFACCT-projektissa (Innovative Non-Invasive and Fully Acceptable Exploration Technologies), jonka koordinoinnista vastaa Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology. Renlund-säätiön rahoituksella on voitu toteuttaa tutkimuksia, jotka liittyvät mm. Peräpohjan alueen kultaesiintymiin, arkeisten ja paleoproterozooisten komatiittien ja intrusiokivien Re-Os- ja Pb-isotooppeihin sekä sulfidi- ja oksidimineraalien hivenaineisiin ja Ni-Cu-(PGE)-malmien syntyyn Pohjois-Suomessa. Näiden aiheiden piiristä tulee valmistumaan aivan lähiaikoina kolme väitöskirjaa.

3 Geologinen ymmärrys globaalista ympäristömuutoksesta

Maapallon pohjoisten alueiden ympäristömuutostutkimus kohdentuu erityisesti glasiaali- ja kerrostumishistoriaan ja myös pohjavesiin. Tutkimuspainotus on erityisesti glasiaaligeologiassa ja sedimentologiassa sekä myös polaarialueiden globaaliympäristötutkimuksessa. Tavoitteena paleoympäristötutkimuksessa on hahmottaa tärkeät geokemialliset ja isotooppeihin perustuvat kynnys- ja indeksiarvot ja prosikit esimerkiksi tietyille menneen ajan lämpövaiheille ja myös kylmenemiskehitykselle aikaskaalojen ollessa sadoista muutamaan sataantuhanteen vuoteen.



Kuva 3. Mikroanalyyttori (EPMA) on käytössä silloin, kun halutaan tehdä tarkka mineraaligeokemiallinen analyysi. Analyysiä tekemässä tohtorikoulutettava Marko Moilanen.

Menneiden aikojen ilmastomuutosten arkistoja on tutkittu polaarialueiden merisedimenteistä mm. keskeiseltä Jäämereltä ja Antarktisen Prytziinlahdelta ja Wilkesin maan edustalta sekä Arktisen Euraasian maa-alueiden kerrostumista. Nämä tutkimukset toteutetaan kansainvälisten tutkimusohjelmien kuten IODP:n ja INQUA:n puitteissa ja toteutus on tapahtunut pääasiassa Suomen Akatemian ja Oulun yliopiston painoalorahoituksen turvin. Parhaillaan on käynnissä laajempi LIAS (Loss of Ice in Arctic System: geological perspective of global environmental change) -projekti, jossa tutkitaan mineraaliaineksen kulkeutumisen historiaa lähdealueilta kerrostumisaltaisiin arktisissa geologisissa systeemeissä. LIAS-projektin ja jo päättyneen Suomen Akatemian ICE (Indexing transitions in ice-sheet decay in the Eurasian arctic marine and land record) -projektin tutkimustuloksista on valmistunut jo viisi väitöskirjaa ja kolme on parhaillaan valmisteilla. Sedimenttitutkimusten lisäksi hyödynnetään nyt myös maanpinnan morfologista tulkintaa viimeisten jäätiköitymisvaiheiden jäämassojen dynamiikan ja liikkeen ymmärtämisessä. Tässä työssä uuteen LiDAR-tutkatapohjaiseen korkeusmalliin perustuva muodostumakartointu yhteistyössä kansainvälisten tutkimusryhmien kanssa antaa aiempaa monipuolisemman kokonaiskuvan näistä tapahtumista.

4 Maaperägeologinen malminetsintä ja maa-ainesarat

Maaperägeologiassa opetuksen painopistettä on suunnattu erityisesti kvartaari-geologiaan ja malminetsintää tukevaan maaperägeologiaan. On tärkeä ymmärtää rapautumisilmiöt, maaperämuodostumien ja maa-ainesten esiintyminen ja ominaisuudet (Kuva 2). Ne ovat perusedellytys alueella toimimiselle ja maaperän hyödyntämiselle mineraalisten luonnonvarojen etsinnässä ja erilaisten maankäyttömuotojen perustana. Maaperägeologiassa näihin kysymyksiin pääsee perehtymään opetuksen eri tasoilla perusopinnoista tohtorikoulutukseen saakka.

Maaperägeologiassa soveltava tutkimus liittyy maaperägeologisten malminetsintämenetelmien käytännön sovelluksiin, hiekka-, sora-, pohjavesi- ja turvevarojen arviointiin ja hyödyntämiseen sekä ympäristönsuojelullisiin näkökohtiin. Soveltavaa tutkimusta suoritetaan yhteistyössä erityisesti Geologian tutkimuskeskuksen, Suomen ympäristökeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen sekä alan yritysten kanssa. Hyvä esimerkki tästä yhteistyöstä on toiminnassa oleva EAKR-rahoitteinen Biopaitto (Biohiilen hyödyntäminen kaivannaisjätteiden peittomateriaaleissa ja viherrakentamisessa). Tavoitteena tässä on kehittää biohiilipohjaisia sulkemisratkaisuja kaivosteollisuuden tarpeisiin ja parantaa peiton vesitalouden ja hiili- ja



Kuva 4. FE-SEM-elektronimikroskooppilla voidaan tehdä kivi- ja sedimenttinäytteiden automatisoitu mineraalien tunnistaminen näytteen kvantitatiivisen mineraalijakauman selvittämiseksi.

ravinnetasapainon hallintaa. Tämä edistää myös kiertotaloutta tutkimalla teollisuuden sivuvirtojen mahdollista hyödyntämistä biohiilen tuotannossa.

Mineraalivarojen etsintämenetelmiä on kehitetty menestyksekkäästi EAKR-rahoitteisessa Indika (Indikaattorimineraalien automatisoitu tunnistaminen kriittisten mineraalien etsinnässä) -projektissa. Tämä toteutettiin yhteistyössä alan pohjoisten tutkimusorganisaatioiden sekä analyysilaitteita ja -menetelmiä tarjoavien yritysten kanssa. Tutkimuksessa todettiin, että nykyaikaiset kenttäanalyyttorit, kuten kannettavat XRD (pXRD) ja XRF (pXRF), antavat jo hyvän mahdollisuuden maa- ja kallioperän geokemialliseen ja mineralogiseen tutkimukseen suoraan kentällä yhdessä kenttäkonsentroitimenetelmien kanssa. Uutena tutkimuskohteena ovat moreenin raskasmineraalifraktiossa tavattavat sulfidimineraalit ja niiden ns. fingerprint-tekniikan käyttäminen malminetsintämenetelmänä. Tähän on käynnistymässä EIT RM -rahoitteinen MinExTarget-projekti, jossa OMS on partneri ja vetäjänä Geologian tutkimuskeskus.

4 Käytössä oleva infrastruktuuri

Geotieteiden tutkimusryhmä tukeutuu tutkimuksessa vahvasti Oulun yliopiston tarjoamaan infrastruktuuriin, mm. Materiaalianalyytikeskukseen (MAKE), joka tarjoaa analyysipalvelut ryhmän tutkijoille (Kuvat

3 ja 4). Keskukseen laitevalikoimaan kuuluu mm. pyyhkäisyelektronimikroskooppeja (FE-SEM-EDS), läpivalaisuelektronimikroskooppi (TEM), sekä uusi, moderni röntgenmikroanalyyttori (EPMA) sekä perinteiset röntgen diffraktometri (XRD) ja röntgenfluoresenssispektrometri (XRF). Kaivannaisalan yksikön yhteydessä toimii myös OMS-tutkimuskeskus, jossa valmistetaan tutkittavista materiaaleista preparaattit mikroskooppista ja mineraalianalyttistä tutkimusta varten. Sen geokemian laboratorioissa voidaan suorittaa kivi- ja maaperänäytteiden liuotus, mineraalien separointi- ja adsorptiotutkimuksia sekä analyysitoimintaa käyttäen mm. FAAS-, GAAS-, FTIR-, LECO- ja spektrofotometrisia menetelmiä.

Geotekninen laboratorio on kaivannaisalan yksikön ja teknillisen tiedekunnan vesi-, ympäristö- ja energiatekniikan yksikön yhteinen laboratorio, jossa voidaan tehdä geoteknisiä perusmäärittämiä maaperänäytteille ja teollisuuden sivutuotteille kuten rikastushiekkoille, tuhkalle ja kuonalle, käyttäen esim. paisuntakoe-, kolonnikoe- ja routakoelaitteistoa sekä ödometriä. Iso- ja hivenainetutkimuksissa geotieteen tutkimusryhmä hyödyntää etupäässä Suomen geotieteiden tutkimuslaboratoriota Geologian tutkimuskeskuksen Espoon toimipaikassa ja sen laitekantaa mm. hivenalkuaineiden mittaauksissa, varsinkin HR-SC-ICP-MS-analyyttori (High resolution single collector mass spectrometer for trace elements) sekä isotoopeissa ja in-situ-mittauksissa LA-ICP-MS-massaspektrometri (Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry). Laboratorio on Suomen yliopistojen ja Geologian tutkimuskeskuksen yhteislaboratorio ja geotieteille tärkeä kotimainen ja kansainvälinen infra.

5 Arktisten mineraalivarojen kestävä hyödyntäminen

Nykyäänä kaivannaisalalla korostuu kansainvälinen yhteistyö. Arktisten alueiden geologinen tutkimus ja luonnonvarojen kartoitus on yhä laajeneva toimintakenttä. Kasvavan kiinnostuksen kohteena ovat erityisesti arktisen alueen mineraaliresurssit ja ympäristönmuutos. Uudet tutkimusmenetelmät ja kokonaiskuva koko arktisen alueen geologisesta kehityksestä ovat tulevaisuudessa yhä keskeisempää osaamisaluetta ja tämän tiedon tarve korostuu uusien malmivarojemme arvioinnissa. Samalla kun

hyödynnetään uusia analytiikan ja tiedonhallinnan menetelmiä, on mahdollista rajata kriittisiä geologisia alueita sekä optimoida arktisten mineraalivarojen etsintää ja ymmärtää niiden syntyä.

Oulun yliopistoon on hiljattain perustettu erityinen Geologisten systeemien ja arktisen alueen mineraalivarojen monitieteinen tutkijayhteisö, jossa fokuksena on mineraalivarojen synnyn ja ominaisuuksien sekä ympäristöllisesti ja sosiaalisesti kestävä hyödyntämisen tutkimus. Tutkimusyhteisö koostuu luonnontieteiden ja tekniikan tutkijoista geotieteiden, kaivos- ja rikastustekniikan, kemian, vesi-, energia- ja ympäristötekniikan sekä arkkitehtuurin aloilta. Yhteisö harjoittaa kansainvälisesti korkeatasoista tutkimusta geologisten prosessien ja arktisen kaivostoiminnan aloilla. Toiminnan piirissä katetaan laajalti eri tutkimusalueita, mm. geologisten prosessien yhteys mineraalivaroihin, arktinen kaivostekniikka ja rikastustekniset prosessit, kaivosympäristöt ja arktisten alueiden erityiset edellytykset sosiaaliseen toimintalupaun.

Arktista yhteistyötä toteutetaan erityisesti Nordic Mining School -konseptimme alla, jossa yhteistä koulutusta on Oulun yliopiston, Luulajan teknillisen yliopiston ja Tromssan yliopiston/Norjan Arktisen yliopiston ja nyttemmin myös tanskalaisten ja islantilaisien partnerien kanssa. Yhteisenä tavoitteena on perustaa laajempi konsortio Euroopan arktisten alueiden yliopistojen välille liittyen siihen tutkimukseen ja koulutukseen, joka kattaa mineraalivarojen kestävä hyödyntämisen. Tämä sisältää aktiviteetit malminetsinnästä rikastukseen ja myös kaivostoiminnan ympäristölliset ja sosiaaliset näkökohdat.

6 Geotieteiden opiskelu ja mahdollisuus tehdä kansainvälinen maisterintutkinto

OMS:ssa on geotieteiden tutkinto-ohjelma, jossa opiskellaan ensiksi kaikille yhteinen kandidaatin tutkinto. Tämän jälkeen opiskelijalla on mahdollisuus jatkaa geotieteissä filosofian maisterin (FM) tutkintoon, jossa on olemassa kaksi erikoistumisvaihtoehtoa: taloudellinen geologia tai maaperägeologia. OMS:ssa voi opiskella myös kaivos- ja rikastustekniikan diplomi-insinööri -tutkinnon, johon sisältyy geotieteiden opintoja ja mahdollisena erikoistumisalana voi olla myös sovellettu geofysiikka. Geotieteiden koulutusohjelmaan voidaan valita 30 opis-

kelijaa vuosittain. Kansainvälinen maisteritutkinto voidaan suorittaa erillisessä Mineral Resources and Sustainable Mining -maisteriohjelmassa, jossa sisäänotto on 10 opiskelijaa geotieteisiin ja 10 opiskelijaa kaivos- ja rikastustekniikkaan. OMS:ssa voi suorittaa sovelletun geofysiikan alalla kaksivuotiset maisteriopinnot, kun pohjana on soveltuva kandidaatin tutkinto. Opetuksessa ja tutkimuksessa painoalueena on geofysikaalisten tutkimusmenetelmien soveltaminen mineraalisten luonnonvarojen etsintään sekä ympäristö- ja insinöörialojen kohteisiin. Geofysiikalla on tärkeä rooli kaivosten koko elinkaaren aikana. Viime vuonna geotieteiden tutkinto-ohjelmasta valmistui kaikkiaan 26 FM -ja 13 LuK-tutkintoa. Väitöskirjoja valmistui yksi ja edellisenä vuonna kaikkiaan kolme.

7 Yhteenveto

Tutkimuksessa ja opetuksessa keskitytään nykyään kasvavassa määrin teollisuudelle kriittisten mineraalien ja metallien etsintään yhä uusia analyysitekniologioita hyödyntäen. Lisäksi nykypäivinä kaivannaisalalla korostuu vahva kansainvälinen yhteistyö. Oulun yliopistossa tehtävä arktinen geologinen tutkimus ja kartoitus tuovat geologiseen tutkimukseen yhä uusia näkemyksiä. Kasvavan kiinnostuksen kohteena tulevat olemaan arktisen alueen luonnonvarat sekä ympäristön muutos ja tila. Uudet geokemialliset tutkimusmenetelmät ja kokonaiskuva Fennoskandian kilven geologisesta kehityksestä ovat keskeistä osaamisaluetta ja tämän tiedon tarve korostuu maapallon kilpialueiden malmiresurssien etsinnässä. Samalla kun hyödynnetään uusia analytiikan, visualisoinnin ja tiedonhallinnan menetelmiä, on mahdollista rajata pohjoisessa kriittisiä geologisia alueita ja optimoida mineraalivarojen etsintää. Jotta kaivostoiminta aiheuttaisi mahdollisimman vähän haittaa pohjoiselle luonnolle, tarvitaan Oulun yliopistossa lisää tutkimusta ja koulutusta malmien etsintävaiheesta lähtien aina sivuvirtojen hyödyntämiseen asti. ▲

Lisätieto seuraavista linkeistä:

www oulu.fi/katk

<https://www.esitteemme.fi/>

oulu@miningschool.fi

LATAA ILMAINEN
MESSULIPPU
pohjoinenteollisuus.fi

POHJOINEN TEOLLISUUS 2020

Tervetuloa teollisuuden suur tapahtumaan
Ouluun 6.–7.5.2020!

Tänä vuonna messujen kantava teema on Pohjoisen menestyksen tekijät

Ouluhallissa järjestettävien messujen aikana kuulemme mielenkiintoisia puheenvuoroja ja näemme mielenkiintoisia tuoteuutuuksia. Kaksipäiväisen tapahtuman aiheet käsittelevät pohjoisen Suomen teollisuuden tulevaisuutta, kasvua ja elinvoimaa, eri näkökulmista ja pääsemme sukeltamaan syvälle suurhankkeisiin, kestävään kehitykseen, kaivosteollisuuteen sekä kunnossapidon tulevaisuuteen.

Messujen aikana järjestämme yhteistyössä Kunnossapitoyhdistys Promaint ry:n kanssa Oulun jäähallissa oheistapahtumina Pohjoinen Teollisuus -kongressin 6.5. ja Pohjoinen Teollisuus -seminaarin 7.5. Ensimmäisenä messupäivänä järjestetään kaikille avoin B2B matchmaking -verkostoitumistapahtuma.

Lue lisää ja rekisteröidy mukaan osoitteessa pohjoinenteollisuus.fi. Nähdään Oulussa!



pohjoinenteollisuus.fi

#pote20



Geologian tutkimuskeskus uusi strategiansa palvelemaan maata

Uusi strategia keskittyy akkumineraaleihin, kiertotalouteen, tietoratkaisuihin ja vesienhallintaan. Samalla GTK otti käyttöön päivitetyn visuaalisen ilmeen ja tunnuksen.

TEKSTI: TKT **TOPIAS SIREN**

”**M**aamme hyväksi” on GTK:n kiteytetty tarkoitus, joka kuvaa olemassa olon tarkoitusta ja kiteyttää strategian keskeisen tavoitteiston. Uudella tarkoituksella viitataan sekä kotimaahan että laajemmassa mielessä maapalloon, ja strategian ensivaikutelma muuttuu englanniksi käännettäessä: For Earth and for Us.

Veikeätä kielellistä vivahdetta ei keksinyt punavuorelainen mainostoimisto, vaan uutta strategiaa olivat luomassa vuorovaikutteisesti henkilöstö, asiakkaat ja sidosryhmät isoissa strategiatyöpajoissa.

- Arki haastaa kaikki hyvät strategiat ja siksi on tärkeää, että ihmiset ovat olleet mukana tekemässä strategiaa, sanoo pääjohtaja Mika Nykänen.

Strategiatyöhön osallistuneet ovatkin halunneet korostaa rohkeutta kokeilla ja tuottaa ratkaisuja.

- Haluamme osaamisellamme tuottaa yhä enemmän ratkaisuja, toteaa Nykänen.

- Joskus ratkaisu on asiakasratkaisu asiakkaan menestykseen. Joskus se on yhteiskunnalliseen haasteeseen tuotettu ratkaisu ja joskus jokin näiden välimaastosta oleva ratkaisu. Haluamme käyttää tietoa ja omaa osaamistamme ratkaisujen tuottamiseen, hän lisää.

GTK pyrkii olemaan hiljaisia indikaattoreita haasteleva edelläkävijä, joka pystyy avaamaan tietä kumppaneille. Varsinaista startup-kiihdyttämöä ei GTK:n sisälle tule, mutta kokeiluista kumppanit voivat poimia hyviä ideoita edelleen kehitettäväksi. Pääjohtaja on omaksunut positiivisen asenteen ja kannustaa alaisiaan rohkeasti kokeilemaan, vaikka useinkaan kokeilut ei-



vät johda suoraan suuriin innovaatioihin.

- On hyvä, jos joku keksii meillä idean ja tuo sitä esille ja saa muitakin innostumaan. Jos sitten huomataan, että muuallakin on keksitty sama idea, niin silloinhan voidaan ajatella, että me ollaan tunnustettu oikea asia.

Uusi organisaatio tukee toimintaa

Muutama vuosi sitten GTK:n tulosityksiköt valtakunnallistettiin ja nyt tutkimuskeskus on organisoitunut uudelleen, jotta uuteen strategiaan voidaan investoida. Tulosityksiköitä ovat energia ja rakentamisen ratkaisut, geofysiikan ratkaisut, kiertotalouden ratkaisut, mineraalitalouden ratkaisut, tietoratkaisut, vesiratkaisut sekä ympäristöratkaisut.

GTK:n tulevaisuuden ennuste on, että vaikutukset ympäristöön ja ilmastomuutos ovat keskeisiä päätöksentekokriteereitä niin yksilö- kuin yhteiskuntatasollakin. Tutkimuksessa varaudutaan kasvattamaan osaamista, jotta näihin haasteisiin voidaan tulevaisuudessa vastata kestävästi. Tulevaisuudessa myös liikenne on sähköistynyt nopeasti ja Suomi on kasvanut merkittävään rooliin akkuteknologian kehittämisessä. Samalla kiertotalous ja erilaiset uudet kestävät ekosysteemit, kuten kulutuksen optimointi, ovat arkipäivää.

Tietoaineistot

Kansainvälisesti tunnustetut GTK:n tietoratkaisut – näistä esimerkkinä lukijoille <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/> – on otettu strategiseen keskiöön ja niitä aiotaan

vahvistaa tekoälyllä ja koneoppimisella. Fraser-instituutin vuoden 2018 tutkimuksessa maailman vetovoimaisimmista kaivosalueista Suomi tippui 17. sijalle edellisvuoden kärkipaikalta ja oli vetovoimaisin kaivosalue enää vain omassa maanosassamme Euroopassa. Vuonna 2018 tietoaineistot kuitenkin sijoittuivat vielä maailman kärkinelikkoon, joten voidaan todeta niiden pysyneen hyvällä tasolla muusta turbulenssista riippumatta. Toisaalta GTK:n onkin syytä kiinnittää tulevaisuudessa huomiota tietoaineistojen pysymiseen hyvinä, ellei jopa pyrkiä nostamaan ne kolmen kärkeen.

Vesienhallinta

Vesiosaamisen kysynnän GTK uskoo kasvavan tulevaisuudessa kriittiseksi, ja siksi vesienhallinta on yksi GTK:n fokusalueista. Tämä varmasti ilmenee globaalina makean veden kriisinä ja merenpinnan nousua vastaan taisteltaessa, mutta GTK:lla on myös merkittävää osaamista ydinjätteen loppusijoitukseen liittyvässä vesienhallinnassa, joka on kehittynyt Suomen toimiessa pioneerina ydinjätteen loppusijoittamisessa. GTK on havainnutkin potentiaalini myydä tulevaisuudessa osaamista ulkomaisiin loppusijoitusprojekteihin ja on siksi nostonut vesienhallinnan yhdeksi tärkeimmistä aihealueistaan.

Kiertotalous ja akkumineraalit

Myös kiertotalous ja akkumineraalit on nostettu tutkimuskeskuksen keskiöön. Tut-

kimuskeskus tähtää kansainvälisesti tunnustetuksi osaajaksi erityisesti mineraalipohjaisten materiaalien kestävä käytön tutkimuksessa ja ratkaisuisissa. Erityisesti ratkaisua kaivataan elektroniikkateollisuudessa ja akuissa käytettävien mineraalien, mineraalipohjaisten kemikaalien ja metallien kierrätykseen. Tätä kasvutavoitetta tukee Otaniemeen rakentuva kiertotalouskeskittymä, jossa GTK vahvistaa yhteistyötään VTT:n ja Aallon kanssa. Muutenkin GTK:n tavoitteena on olla kansainvälisesti johtava osaaja akkumineraalien kestävänsä saatavuuden rakentamisessa.

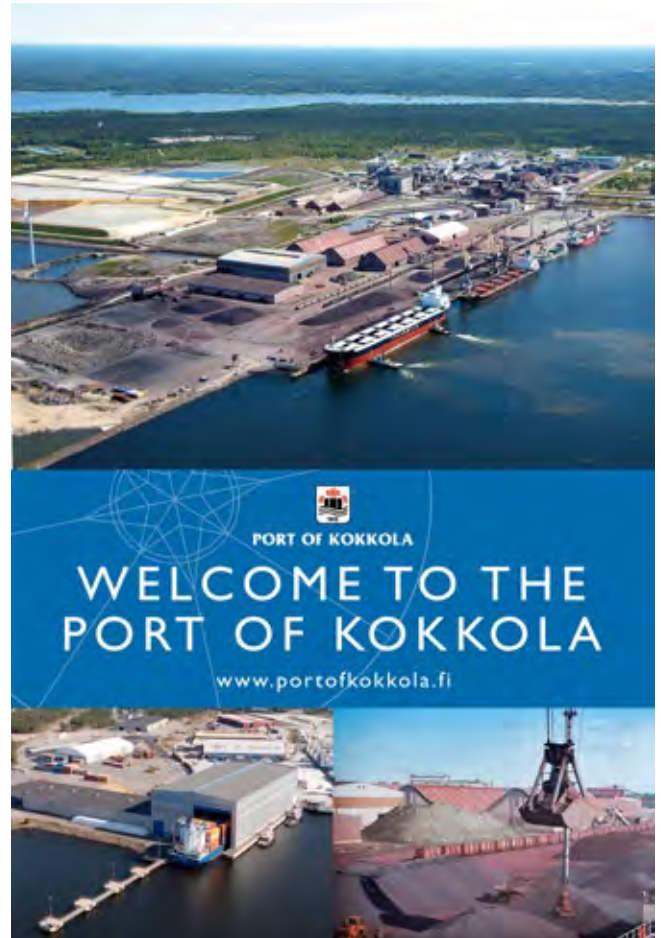
- Haluamme tuottaa kestävämpää kasvua maamme hyväksi, toteaa pääjohtaja.

Haasteet eläköitymisessä

Nykäsen mukaan yksi suurimpia GTK:n haasteita on henkilöstön merkittävä eläköityminen. Seuraavan kymmenen vuoden aikana henkilöstöstä eläköityy noin puolet. Tämä onkin näkynyt viime aikoina rekrytointina. Vuonna 2015 lakkautetut alueyksiköt ovat helpottamassa tätä rekrytointia, sillä asiantuntijoilla on nyt enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa siihen, missä he työskentelevät. Virallisesti GTK haluaa taata, että heillä on kykyä ja osaamista toimia kaikissa toimipisteissä. Etätö on jo monessa yrityksessä nykypäivää, ja valtakunnallisten tulosityksiköiden johtajistakin noin puolet istuu Espoossa ja loput ympäri Suomea.

Vaikka GTK:n uudet fokusalueet ovat kieltämättä ajankohtaisia, työ- ja elinkeino-

ministeriön alainen virasto tarjoaa edelleen suurin piirtein samoja palveluita kuin ennenkin. Uusi strategia mahdollistaa kuitenkin voimavarojen keskittämisen tulevaisuuden aloille ja ongelmiin. Toivoa saattaa, että viraston visio on aikaansa edellä eikä jäljessä; ainakin GTK näyttää yrittävän parhaansa. Uusiin toimitiloihin Espooseen se pyrkii rekrytoimaan post doc -tason tutkijoita myös ulkomailta sähköistämään uutta innovatiivista ilmapiiriä. Se, ratkaiseeko GTK globaaleja ongelmia, jää nähtäväksi, mutta Suomi ja etenkin Suomen kaivosteollisuus eivät olisi nykyisessä kunnossaan ilman toimivaa ja avointa geologista tutkimusta.▲



Ennen kuin vesi ylettää polviin...

atlascopeco.fi

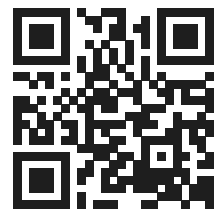


Atlas Copcolla on laaja valikoima oppopumppuja

Pumppuja on ihan pieniä, kannettavia ja todella isoja versioita. Kaikki ovat helposti huollettavia ja varustetut pyörimissuunnan tunnistimella, joka varmistaa optimaalisen käytön.

TERVETULOA NÄYTTEILLE- ASETTAJAKSI!

KATSO LISÄÄ



Pohjoismaiden suurin kattavasti vuoriklusteriin keskittyvä messutapahtuma järjestetään jo kahdeksannen kerran! Teemoina kaivosteollisuus, metallinjalostus, kiviainesteollisuus, kiertotalous ja maarakentaminen!

Ota yhteyttä, niin varaamme sinun tarpeisiisi parhaiten soveltuvan osaston!

MYNNIN YHTEYSTIEDOT

www.finnmateria.fi

Raimo Pylvänäinen

raimo.pylvanainen@paviljonki.fi

+358 400 671 923

Hannu Mennala

hannu.mennala@paviljonki.fi

+358 50 591 5428



Luomuksen geologinen kansalliskokoelma Kumpulassa

Tiesittekö, että kun edellinen Yhdysvaltain Suomen suurlähettiläs Bruce Oreck aloitti virkakautensa, ensimmäiseksi hän kiiruhti tarkastamaan Luonnontieteellisen keskusmuseon geologisia kokoelmia?

TEKSTI JA KUVAT: TKT **TOPIAS SIREN**

Museon yli-intendentti Arto Luttisen mukaan kansikuvassakin näkyvä uvaroviitti kiinnosti Bruce Oreckia siihen pisteeseen asti, että hän yritti käydä osasta siitä kauppaa. Mielenkiintoinen vaihtokauppakin olisi saattanut olla mahdollinen, sillä Oreckilla on yksi Yhdysvaltain kattavimpia mineraalikokoelmia. Kiinnostuksen kohde, Kansalliskokoelman kromin vihertämä uvaroviitti, on löytynyt Outokummun kuparikaivoksesta. Harvinaiseen granaattiryhmään kuuluvan uvaroviitin kiteet ovat Kansalliskokoelmien näytteessä harvinaisen suuria.

Kumpulun kartano

Kumpulun kasvitieteellisen puutarhan suojissa sijaitsee vuonna 1841 valmistunut Kumpulun kartano, jossa sijaitsevat geologiset kokoelmat. Kartano kuitenkin onnistuu virittämään kivistä kiinnostuneen kävijän historialliseen tunnelmaan, sillä sen historia on värikäs. Kartano oli vuoteen 1893 asti yksityisessä omistuksessa, kunnes Helsingin kaupunki osti kartanon vapaa-herra Herman Standertskjöld-Nordens-tamilta, jonka mukaan myös Hermannin kaupunginosa on nimetty. Tämän jälkeen kartano on toiminut niin sukupuolitautilin sairaalana, kansakouluna kuin tiedekunnan kanslianakin.

Helsingin yliopiston luovuttua Arpeanum-rakennuksesta kokoelma muutti Kumpulun kartanoon, kun sattumalta kartanosta oli samaan aikaan vapautumassa tilaa ja laaja kokoelma kivi- ja meteoriitinäytteitä löysi nykyisen paikkansa. Kartanon kokoelmanäyttelyyn ollaan myös



Alkuräjähdyksen kuva, 13,8 Ga



Maan synty, 4,5 Ga



Hapellinen ilmakehä, 2,5 Ga



Mineraalievoluution nykyhetki

Maailmankaikkeuden ja Maan kehitys nykyiseen mineraalien monimuotoisuuteen

lisäämässä parhaita paloja GTK:n vuonna 2018 oman muuttonsa yhteydessä lahjoittamasta näytekokoelmasta, joka sisältää noin 5000 kappaletta erilaisia geologisia näytteitä, mm. mineraaleja, kivilajeja ja fossiileja. GTK:n näytteet eivät kuitenkaan vielä ole Kumpulassa nähtävillä.

Kumpulun kokoelma sisältää kaikkea yksinkertaisista alkuaineista monimutkaiseen sivilisaation pohjana oleviin mineraaleihin. Tutkijoille mineraalit ovat arkistoja maailmaan; ne sisältävät vihjeitä paine- ja lämpötilaolosuhteista, joissa mineraalit ovat syntyneet. Näillä sekä ajoitusmenetelmillä voidaan täsmentää käsitystä muinaisista geologisista prosesseista. Planeetan evoluutio tarjoaa mielenkiintoisen polun vasta muodostuneesta Maasta, joka on olosuhteitaan varsin monotoninen, kohti mineraalien monimuotoistumista ja vuorovaikutusta elämän kanssa.

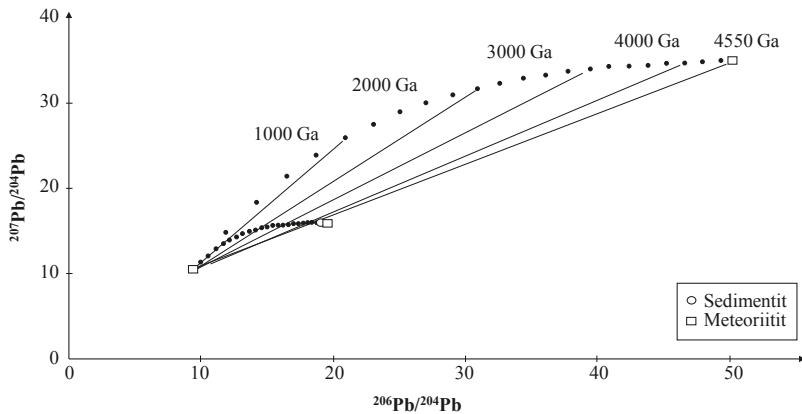
Yli-intendentti Arto Luttisen mukaan useat maapallon merkittävistä geologisista kehitysvaiheista osuvat yksin elämän kehittymisen tärkeimpien kohtien kanssa. Esimerkiksi Itä- ja Pohjois-Suomen kerrosintruusoiden ja juonien synty 2,5

miljardia vuotta sitten ajoittuu hapellisen ilmakehän synnyn kanssa samaan aikaan. Myös monet joukkotuhot osuvat geologisesti aktiivisille ajanjaksoille.

Maailmankaikkeus ja Maa

Alkuräjähdyksestä syntyneet atomit, tähtien väliset kaasut, muodostivat auringon noin viisi miljardia vuotta sitten ja vetyfuusio alkoi 4,6 miljardia vuotta sitten. Samaiset alkuräjähdyksessä syntyneet atomit pitävät edelleen kasassa lehteä, jota juuri luet vähän eri muodossa riippuen siitä, luetko verkkoversiota vai painettua lehteä.

Auringosta ylijääneistä rippeistä syntyivät Maa ja muut Auringon kiertolaiset, kun ylijääneet hiukkaset alkoivat vetää toisiaan puoleensa. Pienempiä jämiä - meteoriitteja, jotka ovat usein metallisia - putoilee maahan silloin tällöin. Toiset meteoriiteista ovat tonnien painoisia, mutta useimmat pienempiä. Suomalainen geologi, mineralogi ja naparetkeilijä A. E. Nordenskiöld löysi vuonna 1871 Grönlannista Diskon saarelta kolme tonnia painavan rautakappaleen ja sen voit nähdä keskellä Kasvitieteellistä puutarhaa, lääkekasvipuutarhan keskellä.

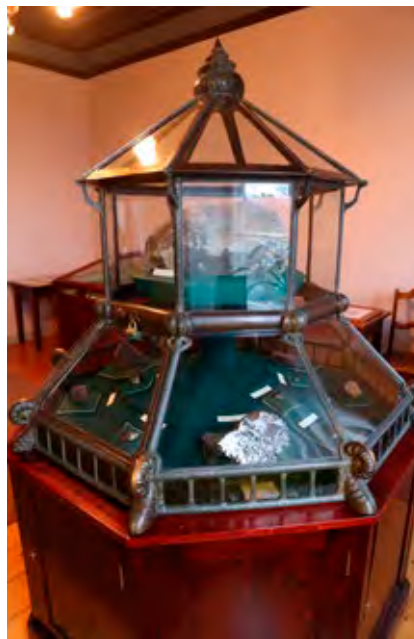


Patterson määritteli lyijy-lyijy-ajotusmenetelmällä Maan iän käyttäen viitteinä meteoriittien ikää.

Kaikkiaan rautakappaleita löytyi kolme, mutta koska aiemmin Helsingin yliopistosta primusmaisteriksi ja ultimustohtoriksi promovoitu Nordenskiöld oli joutunut poliittisten puheidensa takia muuttamaan Ruotsiin ja Ruotsin säätyvaltiopäivät rahoittivat tutkimusretkeä, ovat kaksi muuta rautakappaletta nähtävillä Ruotsin kansallismuseossa ja Kööpenhaminan Geologisessa museossa. Ja vaikka Nordenskiöldin mukaan nimettiin katu, ei painava kappale kuitenkaan ollut meteoriitti, vaan maan geologisissa prosesseissa syntynyt ja äärimmäisen harvinainen. Tämä kävi ilmi vasta myöhemmissä tutkimuksissa. Koillisväylän löytäjä, kokenut geologi Nordenskiöld uskoi elämänsä loppuun asti, että kyseessä oli kuitenkin rautameteoriitti, vaikka asiasta oli toisenlaisia todisteita ja vihjeitä jo hänen elinaikanaan – lohkarissa oli aivan liian vähän nikkeliä ja liikaa hiiltä ollakseen maapallon ulkopuolisia kappaleita.

Oikeista meteoriitin kappaleista sen sijaan on pystytty määrittämään maan ikä vertailemalla merenpohjasedimenttien lyijyisotopisuuhdetta meteoriittien vastavaan suhteeseen. Taustalla on oletamus siitä, että maa vastaa muita planeettoja ja että rautameteoriitit ovat törmänneiden planeettojen ytimiä. Ajatuksen maapallon iästä esitti Clair Cameron Patterson vuonna 1956 tutkittuaan useiden meteoriittien isotooppisuhteita. Erityisen ratkaiseva vaihe oli maan ikäisen Canyon Diablo -meteoriitin tutkiminen.

Pala Canyon Diablo -meteoriittia on esillä Luomuksen kokoelmissa yhdessä 14 muun Suomeen pudonneen meteoriitin kanssa. Anekdootina kerrottakoon, että



Bjurbölen meteoriitti upeassa vitriinissään

kokoelman muuttaessa Kumpulaan 4,5 miljardia vuotta vanha Bjurbölen meteoriitti kuljetettiin uuteen osoitteeseen HKL:n uudella raitiovaunulla Articilla.

Helsingin Tšeljabinski

Kokoelman meteoriiteista suurin ja merkittävin on Bjurbölen meteoriitti, joka putosi samannimiseen kylään Porvoossa vuonna 1899. Vaikkakaan Bjurbölen meteoriitti ei kooltaan vastaa Tšeljabinskin meteoriittia, aiheutti se hetkellisesti yön muuttumisen päiväksi, tulipallon ja räjähdysten, joka tutisutti taloja ja heli-

”dinosaurukset saivat vielä Lahdessa asti palovammoja”

sytti ikkunoita Helsingissä ja sai ihmiset ryntäämään ulos taloistaan kauhuissaan. Seuraavana päivänä Bjurbölessä havaittiin järvestä huoneen kokoinen avanto, josta lähti ympäriinsä rakoja. Tapahtumista ja meteoriitin kalastamisesta ylös järvestä kertoivat muun muassa Uusi Suometar -lehti maaliskuusta toukokuuhun 1899 varsin kattavasti, mutta tapahtuma herätti kohua myös maailmalla. Meteoriitista tuli kuuluisa ja vuoden päästä putoamisestaan se oli jo Pariisiin maailmannäyttelyn Suomen paviljongin vetonaula – tosin kipsikopion muodossa. Meteoriittia ei sen haurauden ja suuren koon vuoksi uskallettu kuljettaa Pariisiin.

Suomesta löydettyistä meteoriiteista viimeisin on Lieksan rautameteoriitti, joka löytyi kesken lieksalaismiehen toukokuun sieniretken vuonna 2017. Kyseessä on Suomen ensimmäinen rautameteoriitti ja siten tieteellisesti merkittävä löytö. Löytäjä Pekka Vallimies lahjoitti Lieksan meteoriitin Luonnontieteellisen keskusmuseon kansalliseen meteoriittikokoelmaan.

Lappajärven kraateri

Jos Bjurbölen meteoriitti on kokoelmien aarre, on Lappajärven synty suurin Suomen saama osuma. Lappajärven muodosti noin 77 miljoonaa vuotta sitten meteoriittiosuma, jonka synnyttäneestä paineesta ja kuumuudesta Suomen tantereella silloin tömistelleet dinosaurukset saivat vielä Lahdessa asti palovammoja (eli noin 300 km päässä). Meteoriittien aiheuttamat joukkotuhot ovat kuitenkin verrattain harvinaisia tapahtumia ainakin verrattuna laakiobasalttitapahtumiin.

Viipurin supertulivuori

Geologisen kokoelman äärellä yli-intendentti innostuu myös kuvailemaan muinaista suomalaista kansallismaisemaa, johon pääsee hänen mukaansa vaikkapa kuvittelemalla itsensä Kolin huipulle miljardeja vuosia sitten. Idässä siintää arkeinen



Yli-intendentti Arto Luttinen on työurallaan tutkinut tulivuoria ja laakiobasalttimuodostumia.



Kokoelmiin pääsee tutustumaan kesäkaudella aukioloaikojen puitteissa

aavikkomanner ja lännessä meri. Kaukana ulapalla näkyy tuhkaa tupruttavia tulivuoria, jotka aikanaan muodostivat vuorisomaisen merenalaisen mannerlaatan törmätessä muinaismantereeseen reunaan. Suomalaistulivuorista mahtavin oli Viipurin supertulivuori, joka muodosti Viipurin rapakivibataliitin. Vaikka tulivuorijättiläistä onkin toistaiseksi tutkittu melko vähän, rapakivialueella on selviä merkkejä valtavista purkauksista, joilla on epäilemättä ollut globaaleja vaikutuksia.

Tulivuoret ovatkin yli-intendentti Luttiselle tuttuja aiheita, sillä hän on koko työuransa tutkinut magmaprovinseja, erityisesti Afrikan ja Etelämantereeseen väliseen repeämään jurakaudella syntyneitä Karoon laakiobasalttiprovinssia. Laakiobasalttitapahtumien yhteydessä on yleensä myös viitteitä lajien joukkotuhosta, mm.

permikaudella n. 250 miljoonaa vuotta sitten. Mahtavat laakiobasalttipurkaukukset kilpailevatkin meteoriittien kanssa teorioiden joukkotuhojen synnyttäjästä, mutta todennäköisesti molemmat ovat syypäitä, kuten tiedämme Chicxulubin kraaterista, joka melko varmasti aiheutti tunnetuimman, dinosaurusten joukkotuhon noin 66 miljoonaa vuotta sitten.

Tutustu kokoelmiin

Luonnontieteellisen keskusmuseon meteoriitti-, mineraali- ja fossiilikokoelmiin pääsee tutustumaan talvella sopimuksen mukaan ja kesäkaudella aukioloaikojen puitteissa, jotka voi tarkistaa Luomuksen verkkosivuilta:

<https://www.luomus.fi/fi/geologiset-kokoelmat-0> ▲

Lähteet:

- Luomus, 2014. Meteoriitti uuteen kotiin raitiovaunulla. <http://www.luomus.fi/fi/uutinen/meteoriitti-uuteen-kotiin-raitiovaunulla>
- Helsingin yliopisto, 10.6.2016. Nordenskiöldin harvinainen rautalohkare muutti Kumpulaa puutarhaan. <https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/kestava-kehitys/nordenskioldin-harvinainen-rautalohkare-muutti-kumpulan-puutarhaan>
- Lieksan lehti, 7.9.2017. Vuosikymmenten odotus päättyi: Lieksasta on löytynyt Suomen ensimmäinen rautameteoriitti. Lieksan lehti <https://www.lieksanlehti.fi/uutiset/item/1287-vuosikymmenten-odotus-paattyy-lieksasta-on-loytynyt-suomen-ensimmainen-rautameteoriitti>



Yara ja ympäristö



Yara Siilinjärvi on sitoutunut kestävään ja turvalliseen toimintaan myös ympäristön näkökulmasta. Tavoitteenamme on pitää yllä luonnon monimuotoisuutta koko kaivostoiminnan elinkaaren ajan.

Säästämme alueella olevia vanhoja metsiä ja kunnostamme lähijärveä. Paikallisella lintuyhdistyksellä on kaivoksen rikastushiekka-alueella lintuasema, jonne on Yaran toimesta rakennettu lintutorni.

yara.fi [@YaraSiilinjärvi](https://www.facebook.com/YaraSiilinjarvi)



SIBELCO



material solutions advancing life

www.sibelco.com

Mikkelänkallio 3, FI-02770 Espoo
+358102179800



Malminetsinnän sovelluksia Yaran Siilinjärven kaivoksella

Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivos- ja malminetsintä-alueella tehtiin syksyllä 2018 EU-hanke Smart Explorationin (<https://smartexploration.eu/>) voimin malminetsintään liittyviä geofysikaalisia toimia. Työssä oli mukana lukuisia yliopistoja ja yrityksiä ympäri Eurooppaa ja rahoitus järjestyi Euroopan unionin Horizontti 2020 -tutkimus- ja innovaatio-ohjelmasta (avustussopimus No. 775971).

Tutkimuksen yhteydessä alueelle asennettiin 3D-mittauksia varten 578 geofonia, jotka mittasivat yhtäjaksoisesti kaksi viikkoa. Näiden mittauksen ollessa käynnissä samalla alueella luodattiin kolme yhteensä 6,5 km pitkää aktiiviseismistä heijastusluotausprofiilia. Seismisten aaltojen lähteenä käytettiin 250 g dynamiittipanoksia, jotka räjäytettiin noin 3 m syvyydessä 20 m päässä toisistaan ja geofonien läheisyydessä. Geofonit oli sijoitettu profiilista riippuen 5 tai 10 metrin päähän toisistaan. Heijastusluotausprofiileja pitkin tehtyjen räjäytysten lisäksi tuotettiin yhtäjaksoisille 3D-mittauksille seismisten aaltojen lisälähteitä räjäytyksillä eri puolilla mittausaluetta. Yhtäjaksoisten 3D-mittausaineistojen analyysissa käytetään kuitenkin hyödyksi myös ympäristön ”luonnollisia” seismisten aaltojen lähteitä, esim. kaivoksen toiminnan ja liikenteen synnyttämiä seismisiä aaltoja.

Seismisten tutkimusten tarkoituksena on saada lisätietoa etenkin Särkijärven louhoksen eteläpuoleisen Laukansalon alueen esiintymän kontakteista, kuten malmivyöhykkeen kontakti ulkoraakkujen kanssa ja sisäraakkujen kontaktit malmin kanssa. Menetelmillä koetetaan tuottaa lisäinformaatiota erityisesti vaakajuonista, joita on hankala tavoittaa kairauksilla. Osana tutkimuksia Särkijärven louhoksen eteläseinä kartoitettiin uudestaan rakennegeologisesti. Näitä tietoja on voitu sitten verrata seismi-



sistä tutkimuksista saatuihin vasteisiin ja käyttää seismisten aineistojen tulkinnan apuna. Tutkimuksissa on jo esimerkiksi tavoitettu joitakin vaakajuonia ja niitä voidaan hyödyntää alueen raakkujuonien mallinnuksessa. Tästä on hyötyä nykyisessä kairausohjelmassa ja etenkin sen jälkeisessä mallinnustyössä.

Edellä mainittujen mittausten lisäksi yksi seisminen profiili luodattiin Särkijärven avolouhoksen Sumppi-vedenpoistotunnelissa. Vedenpoistotunnelin läpi kulkeutuvat hiertovyöhykkeet näkyivät näissä seismisissä mittauksissa, jotka tehtiin tunnelista käsin. Näissä mittauksissa seismisenä lähteenä käytettiin 500 kg punnusta, joka tiputettiin Bobcatin piikeillä.

Smart Explorationin tutkimukset ovat pääosin vielä kesken, mutta yksittäisiä pro gradu -töitä (esim. Uppsalan yliopistosta Ruotsista ja Helsingin yliopistosta Suomesta) ja artikkeleita on jo valmistunut, kuten EAGE:n Geophysical Prospecting -lehden painoksessa nro. 68 julkaistu artikkeli ”Application of surface-wave tomography to mineral exploration: a case study from Siilinjärvi, Finland” (doi: 10.1111/1365-2478.12903).

Vähälumislin talviterveisin,
Mikko Savolainen, Pääkaivosgeologi,
Yara Suomi Oy



Geologian aihealue Tieteen kansallisessa termipankissa

TEKSTI: **ELINA LEHTONEN**, TUTKIJATOHTORI, TIETEEN KANSALLINEN TERMIPANKKI, GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN OSASTO

Tieteen termipankki on monitieteinen ja monikielinen tutkimusinfrastruktuuri, joka tarjoaa avoimen wikipohjaisen alustan tieteellisen terminologian kokoamiselle ja esittämiseksi. Termipankin tavoitteena on vakiinnuttaa itsensä kaikkien Suomessa harjoitettavien tieteenalojen yhteiseksi työvälineeksi. Se aloitti toimintansa vuonna 2012 kolmen pioneerialan (kasvitiede, kielitiede ja oikeustiede) voimin. Tällä hetkellä Tieteen termipankissa on mukana lähes 50 tieteenalaa.

Tieteen termipankki toimii rajoitetun talkoistamisen periaatteella. Asiantuntijaryhmät ottavat siis vastuun oman tieteenalansa terminologian eteenpäin viemisestä, lisäävät termejä ja laativat termien kuvauksia. Lisäksi kuka tahansa termipankkiin omalla nimellään rekisteröitynyt käyttäjä voi vinkata asiantuntijoille puuttuvista termeistä tai puutteellisista määritelmistä sekä osallistua keskusteluihin. Termityön pohjana voidaan hyödyntää valmiita sanastoja tai muita aineistoja, joiden julkaisuun on saatu lupa.

Geologia on ollut Tieteen termipankissa mukana omana aihealueenaan elokuusta 2018 lähtien. Alfred Kordelinin säätörahjoituksella on ollut mahdollista koodinoida aihealueen rakentamista erilaisiin aineistoihin pohjautuen ja yhteistyössä eri instituutioissa työskentelevien asiantuntijoiden kanssa.

Tällä hetkellä geologian aihealueella on yli 1000 käsitettä, mutta käsitteistön rakentaminen on edelleen kesken. Joidenkin geologian osa-alueiden, kuten taloudellisen geologian, terminologia puuttuu Tieteen termipankista lähes kokonaan. Lisäksi geologian aihealueella jo olevia käsitteitä voi täsmentää, tarkentaa ja laajentaa esimerkiksi selitteen tai kielivastineiden osalta sekä lähikäsitteisiin viittaamalla.

Tule mukaan asiantuntijaryhmään!

Termityö tarkoittaa käsitteiden keräämistä, analysoimista, määrittelyä ja kuvailua. Geologian asiantuntijaryhmän kesken voidaan käydä keskustelua termien määrittelystä, käänkövastineista, ajantasaisuudesta, luokittelusta ja geologian termien kehityksestä.



Kuvakaappaus nimityssivulta "stratigrafia". Nimityssivulla näkyvät kaikkien niiden aihealueiden sivut, joiden alle termi on määritelty sekä termin lyhyt määritelmä ja linkki aihealueiden käsitteisivulle.

Termityö helpottaa ja parantaa viestintää sekä tiedeyhteisön sisällä että viestiesämme geologiasta esimerkiksi mediassa. Termityön kautta on mahdollista vakiinnuttaa käsitteitä ja termejä uusiin tutkimusaloihin tai menetelmiin liittyen. Termityö luo termien käyttöä koskevia normeja ja kuvaa käsitteitä tutkimuksen ja opiskelun tueksi sekä helpottaa käänkötyötä. Termityön tekeminen on myös oivallinen keino lisätä ymmärtämistään käsitteistöä ja selkeyttää omaa tieteellistä ajattelua.

Termipankkiin on myös mahdollista määritellä vanhentuneita termejä ja tehdä tätä kautta tieteenalamme kehitystä näkyväksi sekä varmistaa tieteen kielen ajantasaisuus. Termipankki tarjoaa rajapinnan eri tieteenalojen välille, mikä edistää tieteidenvälistä keskustelua ja luo tulevaisuudessa mahdollisesti uusia tutkimusaiheita. Tieteen termipankilla on kausijulkaisun status, joten termityön tekijä voi osoittaa työpanoksensa tutkimustietojärjestelmässä ja julkaisuluettelossaan.

Yksi termipankin hyvistä puolista on se, että termin nimityssivulla näkyvät lyhyet määritelmät sekä linkit kaikkiin niihin käsitteetietueisiin, joilla kyseinen nimitys esiintyy. Kuvassa on esimerkkinä termin 'stratigrafia' nimityssivu Tieteen termipankissa. Nimityssivu mahdollistaa käsitteiden

määritelmien vertailun eri tieteenalojen kesken sekä avartaa ymmärrystä termeistä ja niiden käytöstä eri tieteenaloilla. Geologiassa käytettyjä käsitteitä, joille löytyy vastineita hyvin erilaisista tieteenaloista, ovat stratigrafian lisäksi esimerkiksi kilpi, iskos/iskostaa, epookki, kausi ja meanderi.

Yhteinen alusta helpottaa myös eri aihealueiden yhteistyötä. Syksyllä 2019 taidehistorian ja geologian aihealueet tekivät yhteistyötä ja geologian aihealueelle lisättiin tai tarkennettiin kultasepän työn ja taide-teollisuuden kannalta tärkeitä mineraaleja ja niiden nimien etymologiaa.

Geologian aihealue on jatkuvasti päivittyvä ja toivotamme asiantuntijatyöstä kiinnostuneet tervetulleeksi mukaan! Asiantuntijatyössä on mahdollista olla mukana monella tavoin ja oman aikataulunsa mukaisesti. Kysy lisää geologian aihealueesta ja asiantuntijatyöskentelystä Elina Lehtoselta (elina.lehtonen@helsinki.fi). Geologian aihealueen osoite Tieteen termipankissa on: <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Geologia>

Haluatko perustaa oman alasi aihealueen Tieteen termipankkiin? Pyydä suositus alasi tieteelliseltä seuralta ja ota yhteyttä Tieteen termipankkiin. Lisätietoja osoitteesta: https://tieteentermipankki.fi/wiki/Uuden_ajatuksen_perustaminen. ▲

Ari Saartenoja heittää Albatros NT1-lennokin matkaan Sodankylän Rajalassa talvella 2018.



Magneettikentän mittausta lennokeilla

TEKSTI JA KUVAT: **MARKKU PIRTTIJÄRVI**, PÄÄGEOFYSIKKO, RADAI OY, TEKNOLOGIANTIE 18, 90570 OULU
E-MAIL: MARKKU.PIRTTIJARVI@RADAI.FI

Miehitämättömät ilma-alukset ovat viimein ilmaantuneet myös geotietisiin. Yksinkertaisimmillaan lennokkien tai droonien, kuten niitä usein myös kutsutaan, käyttö geofysikaalisessa mittaustoinnassa tarkoittaa sitä, että itsenäisesti toimiva, tiettyä mittaussuuretta ja omaa sijaintiaan automaattisesti ja säännöllisesti tallentava mittalaite kiinnitetään lennokkiin, jota lennätetään tutkimusalueen päällä sitä kartoittaen. Lennokia lennätetään joko manuaalisesti näköyhteyden varassa tai, mikä parempaa, se toimii autonomisesti ns. autopilotin ohjaamana kulkien ennalta määrättyjen reittipisteiden kautta. Tavallista satelliittipaikannusta tarkempi lentokorkeus saadaan laserkorkeusmittarin avulla tai se määritetään ilmanpaineeseen perustuen. Lennot voidaan jakaa kiinteäsiipisiin ja pyöriväsiipisiin eli (multi-)koptereihin. Voimanlähde on yleensä joko sähkö- tai polttomoottori. Kiinteäsiipisen lennokin etuna on taloudellisempi lentotapa, joka syntyy siipien aiheuttamasta nosteesta. Multikoptereiden etuna on hitaampi lentonopeus ja kyky nousta lentoon pystysuoraan maasta.

Alkujaan lennokkeja käytettiin yksinomaan ilmailuharrastustoimintaan. Kameroiden ja lennokkien tekniikan kehittyttyä lennokkeja ryhdyttiin käyttämään digitaaliseen valo- ja videokuvaukseen, mikä mahdollisti myös georeferoitujen ortokuvien ja topografisten pintamallien (DEM, digital elevation model) luomisen. Infrapuna- ja hyperspektrikuvaukset ovat periaatteessa digikuvauksen laajennuksia, vaikkakin jälkimmäinen vaatii huomattavan määrän kuva-aineiston jälkiprosessointia. Myös radiometrisiä (gammasaäteily-) ja sähkömagneettisia mittauksia on onnistuneesti tehty lennokkien avulla, mutta etenkin ensiksi mainitun esteenä on mittalaitteiden suuri paino. Lisätietoa lennokkien käytöstä geotieteissä saa GTK:n ja Lapin yliopiston vuosina 2015-2016 toteuttaman UAV-MEMO -projektin raportista¹.

Maan magneettikentän mittaus on tällä hetkellä ainoa perinteinen sovelletun geofysiikan tutkimusmenetelmä, jota tehdään aktiivisesti lennokkien avulla. Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin lennokeilla tehtäviin magneettisiin mittauksiin kuuluvia toimenpiteitä. Näkökulma perustuu oululaisen Radai Oy:n magneettisiin mittauksiin Suomessa.

Taustatyö

Magneettisten mittausten suunnittelu lähtee liikkeelle hankkimalla taustatietoja asiakkaan eli malminetsintää harjoittavan yrityksen tai toimijan määrittämästä tutkimusalueesta, joka on annettu n-kulmaisena polygonina esimerkiksi pelkkänä tekstitiedostona tai valmiina ArcGIS SHP tai OGC/Google Earth KML -tiedostona. Alueen perusteella Maanmittauslaitoksen (MML) Avoimien aineistojen tiedostopalvelusta² ladataan alueen kattava maastokartta (1:50000), topografinen korkeusmalli (10m x 10m) sekä laserkeilausaineisto. Ortokuvat eli ilmapalokuvista koostetut kartat ovat myös usein hyödyllisiä, sillä ne auttavat etukäteen paikantamaan sopivia lennätyspaikkoja, kuten metsä- ja peltoaukeita teiden varsilta. Digitaalista maastokarttaa tutkitaan ennakkoon alueella sijaitsevien rakennelmien, erityisesti korkeiden gsm-mastojen sekä asuttujen kiinteistöjen varalta, sillä ne pyritään kiertämään törmäysten välttämiseksi ja vaaratilanteiden minimoimiseksi.

Olemme ottaneet tavaksi tiedottaa mittausalueella olevia kotitalouksia etukäteen jakamalla lehtisiä, joissa kuvataan tulevaa lentomittaustoimintaa. Tiedotus voi tapahtua myös asiakkaan toimesta. Asiakkaan ja paikallisten asukkaiden yhteistyön ansiosta tulee toisinaan esiin asioita, jotka rajoittavat lentotoimintaa tiettyinä aikoina tai tietyillä alueilla. Nämä seikat, kuten kotkien pesin-

1 http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_232.pdf

2 <https://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>



Arto Karinen tekemässä magnetometrin kalibrointia Albatros VT2 -lennokille Ahmosuon harrastelentokentällä kesällä 2019. Oulun lähellä sijaitseva Ahmosuon kenttä sopii erinomaisesti lennokkimittausten testaukseen.

täpuut ja porojen vasominen keväällä, otetaan huomioon mittauksia suunniteltaessa.

Aiemmin asetimme mittausten lentokorkeudeksi noin 30-40 m DEM:n kuvaamasta maanpinnasta. Syksystä 2019 alkaen olemme luoneet laserkeilausaineistosta maastomallia vastaavan puunlatvamallin (DCM, digital canopy model), jonka yläpuolelle lentokorkeus asetetaan noin 10-15 m:n verran. Puunlatvamalli mahdollistaa lentokorkeuden laskemisen turvallisesti jopa 15 metriin maanpinnasta mm. soiden ja järvien päällä, mikä parantaa mittausaineiston erotuskykyä. Sähkölinjojen kohdalla lentokorkeutta nostetaan tarvittaessa. Sähkölinjojen sijainti poimitaan joko maastokartalta käsin tai digitaalisena paikkatietona MML:n maastotietokannasta.

Ennen mittausten aloittamista tulee Puolustusvoimilta hakea alueelle ilmakeinvalupa³, sillä sähköisesti tallentava magneetikentän mittaus on luvanvaraista⁴. Tämän jälkeen Traficomille jätetään ilmatilan varushakemus⁵, jota ilman lennokkia saa lennättää vain, jos lennättäjällä on siihen suora näköyhteys (VLOS, visual line-of-sight) tai lentoalueella olevilla apupiloteilla on siihen näköyhteys ja he voivat kommunikoida päälennättäjälle esim. radiopuhelimilla ja siten välittää tiedon mahdollisista vaaratilanteista (EVLOS, extended visual line-of-sight). Vuonna 2017 voimaan tulleen asetuksen (OPS M1-32) mukaan miehittämättömän ilma-aluksen on pystyttävä aina väistämään muuta lentoliikennettä. Koska mittausalueet ovat usein laajoja, tiettömien taipaleiden takana ja maastonmuodot ja metsä peittävät näkyvyyden, on BVLOS (beyond visual line-of-sight) -toiminnan mahdollistava ilmatilan varauslupa käytännössä välttämätön, sillä se mahdollistaa operoinnin ilman suoraa (tai epäsuoraa) näköyhteyttä lennokkiin.

Ilmatilan varauksella mittausalueelle luodaan joko alueellisen ilmatilan hallintayksikön (AMC, air management cell) avustuksella tilapäinen vaara-alue enintään kahden viikon ajaksi tai muodostetaan varattu ilmatila-alue, jonne muulla lentoliikenteellä ei ole asiaa. Jälkimmäisessä tapauksessa lupaprosessi on hitaampi ja kalliimpi, mutta sen hyvänä puolena on, että varaus voi olla voimassa kauemmin ja se voidaan tarvittaessa aktiivoida uudelleen nopeammin.

Lennokeilla tapahtuvan RPAS (remotely piloted aircraft system) -lentotyötoiminnan vaatimuksia ovat mm. toimijailmoitus, vastuuvakuutus kolmannen osapuolen vahinkojen varalta, lentopäiväkirjan ylläpito sekä vahinkoilmoitusten laatiminen Traficomille. BVLOS-toiminnan edellytyksenä on operatiokäsikirja, jossa kuvataan paitsi käytettävä lentolaitteisto, myös menetelmät, joilla lentoa valvotaan ja mahdollisiin vaaratilanteisiin varaudutaan. Tarkempia tietoja BVLOS-toiminnan ja tiheästi asuttujen alueiden päällä lentämisen vaatimuksista saa Droneinfo.fi -sivustolta⁶.

Lentojen valmistelu

Varsinainen RPAS-lentotyötoiminta käynnistyy tilapäisen lentomittausaseman perustamisella. Useimmiten lentoaseman saa pystytetyksi yleisen tien varrelle, mutta toisinaan paras paikka löytyy maanomistajan suosiollisella avustuksella. Asemapaikan valitsemisessa on tärkeää riittävän avoin ja tasainen maasto sekä sijainti topografisesti korkealla paikalla. Ensiksi mainittu mahdollistaa lentojen turvallisen lähettämisen ja laskeutumisen. Jälkimmäinen seikka edesauttaa kattavan 433 MHz:n radiotaajuudella toimivan telemetriayhteyden ylläpitämisessä lentoaseman ja lennokin välillä. Radioantenni nostetaan teleskooppisesti jatkettavan

maston tai heliumentäyteen ilmapallon avulla 10-15 m:n korkeuteen, jotta ympäröivä metsä ei häiritseisi radioyhteyttä. Radion ohella olemme kokeilleet myös GSM-yhteyteen perustuvaa telemetriaa, mutta sen ongelmana on 3G/4G-verkkojen kattavuus syrjäseuduilla, missä mittausalueet usein sijaitsevat.

Magneettista mittausta varten lähistölle perustetaan kiinteä magneettinen maa-asema, jonka rekisteröimää maan magneetikentän normaalia päivittäistä muutosta käytetään myöhemmin ns. maa-asemakorjauksen tekemiseen varsinaiselle mittausaineistolle. Maa-asema pyritään sijoittamaan rauhalliseen paikkaan magneettisten anomalioiden ulkopuolelle. Tarvittaessa maa-asemakorjaus voidaan tehdä käyttämällä lähimmän geofysikaalisen observatorion rekisteröimää magneetikenttää. Koska varsinainen mittaus tehdään fluxgate-magnetometrillä, sellaista käytetään myös maa-asemalla, jotta maa-asemakorjaus voitaisiin tarvittaessa tehdä kullekin komponentille erikseen. Tällä hetkellä useimmat asiakkaat tosin tyytyvät totaalikenttämittauksiin.

Radain kiinteäsiipiset Albatros-lennokit on suunniteltu nimenomaan magneettisia mittauksia ajatellen. Lennokeissa, etenkin sen pyrstössä, on vältetty magnetoituvien (rautaa sisältävien) komponenttien käyttöä. Fluxgate-magnetometri, joka sijaitsee pyrstön takana olevassa peräputkessa, on noin 120 cm:n päässä lennokin keulassa olevasta 1000 W:n sähkömoottorista ja sen sisältämästä voimakkaasta kestopolttimesta. Lennokein siipien kärkiväli on lähes kolme metriä, kokonaismassa noin 6,5 kg ja maksimihiyötykuorma noin 2 kg. Sopivissa olosuhteissa lennokin maksimilentoaika on lähes kolme tuntia. Koska lentonopeus on noin 15-20 m/s, voivat yksittäiset lennot olla jopa 230 km pitkiä. Ottaen huomioon käännökset mittausalueen ulkopuolella, yhdellä lennolla voidaan siten mitata lähes 200 linjakilometriä. Kahden lennokin avulla on mahdollista mitata jopa 1000 linjakilometriä päivässä.

Albatros-lennokki sisältää PixHawk-autopilotin, joka perustuu avoimeen ArduPilot-lähdekoodiin. Kunkin yksittäisen lennon reittipisteet ladataan autopilotille Mission Planner-ohjelmalla. Lentoreitti laaditaan Radai Oy:n kehittämällä RadaiPath-sovelluk-

3 [https://puolustusvoimat.fi/ilmakeinvalupa?](https://puolustusvoimat.fi/ilmakeinvalupa)

4 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000755>

4 <https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/tilapainen-ilmatilavaraus-ja-sen-hakeminen>

6 https://www.droneinfo.fi/fi/lentotyto/rpas_lentotyto



Timo Åman ja Jari Kesälahti alustavat lennokkia mittauslentoa varten napakassa 20 asteen aamupakkasessa Savukoskella talvella 2019. Nestekaasulla lämmitettävä matkailuauto toimii niin työmaakoppina kuin lennonvalvonta-asemanakin.

sella. Lennon kesto määritellään kulloinkin käytössä olevien akkujen määrän ja laadun perusteella. Myös maaston mäkisyyden ja ilman lämpötila vaikuttavat lennon kestoon. Lentosuunnitelmassa hyödynnetään edellä mainittuja korkeus- ja latvamalleja, jotta lennokka lentäisi mahdollisimman matalalla. Lentolinjojen välimatka ja lentosuunta sovitaan yhdessä asiakkaan kanssa, ellei niitä ole lyöty lukkoon jo tarjousta tehtäessä. Yleensä lentolinjojen välimatka on 30-50 m, sidontalinjojen välimatka on 300-500 m ja lentokorkeus on 10-15 m DCM latvamallin yläpuolella tai 30-40 m DEM maastomallin yläpuolella. Autopilottin lentokorkeus perustuu satelliittipaikannukseen, minkä tarkkuus tarkistetaan nykyään kunkin lennon alussa käyttämällä laservaloon perustuvaa korkeusmittaria. Ennen jokaista lentoa tehdään kalibrointimittaus, jolla määritetään lennokin itsensä aiheuttama vaikutus mitattuun magneettikenttään.

Lentomittaus toiminta

Lennokin lentoon saattaminen tapahtuu joko apupilottin heittäjänä tai katapultin avulla. Jälkimmäinen menetelmä lisää turvallisuutta ja mahdollistaa mittauslentojen operoinnin periaatteessa jopa pelkän pilottin avulla. Lähtö pyritään tekemään vastatuuleen, mikä osaltaan vaikuttaa hyvän sijainnin löytämiseen lentoasemalle. Lennokin lentorataa ja autopilottin toimintaa valvotaan PC-tietokoneella edellä mainitulla Mission Planner ohjelmalla, joka antaa lähes reaaliaikaista tietoa lennokin sijainnista ja asennosta, lentonopeudesta ja -korkeudesta sekä akkujen varaustasosta ja moottorin virrankulutuksesta. Kun lentokorkeus on tarkistettu ja lennokin tila hyväksi

havaittu, autopilotti kytketään päälle ja lentomittaus käynnistyy lennokin suunnatessa ensimmäiselle reittipisteelle.

Apupilotti valvoo lennon edistymistä Mission Planner -ohjelmalla ja kuuntelee samalla ilmailuradiota, joka välittää lähimmän lentoaseman lennonjohdon ilmoitukset. Ongelmatilanteissa tai esim. pelastushelikopterin saapuessa lentoalueelle lennokille lähetetään RTL-kutsu, joka pakottaa lennokin palaamaan laskeutumipaikalle. Epätoivottujen, mutta käytännössä toisinaan tapahtuvien lentoturmien varalta lennokin mukana on GSM-yhteydellä varustettu GNSS-paikannuslaite, joka pyynnöstä lähettää lennokin sijainnin älypuhelimien sovellukseen. Turmatilanteita aiheuttavat mm. lennokin moottorin tai siivekkeiden servojen häiriöt, siipiin kertynyt jää ja akkujen ennalta arvaamaton tyhjentyminen.

Isommilla alueilla käytämme nykyään useampaa lennokka. Ensimmäisen lennokin lähdettyä pilotti alkaa valmistella toista lennokka, joka voidaan lähettää matkaan jopa alle puoli tuntia edellisen jälkeen. Täten kaksi lennokka voivat olla ilmassa samaan aikaan yli puolet kokonaislentoajasta, mikä kasvattaa mittaus tehokkuutta yli 50%. Periaatteessa toisen koneen lennonvalvonta voidaan tehdä samallakin PC:llä, mutta käytännössä pidämme kahta erillistä kannettavaa tietokonetta vierekkäin, jolloin yhdellä vilkaisulla nähdään nopeasti kummankin lennon tila.

Lennon päätteeksi lennokka palaa lentoasemalle. Laskeutuminen tapahtuu pilottin käsiohjauksessa mahalaskuna. Koska laskeutuminenkin kannattaa tehdä vastatuuleen, myös tämä seikka asettaa rajoituksia lentoaseman sijainnille. Laskeutumisen jälkeen

mittausaineisto siirretään tiedonkeruuyksikön SD-kortilta tietokoneelle, lennokin toimintakunto tarkistetaan ja se huolletaan tarvittaessa. Akut vaihdetaan täysinäisiin, autopilottille ladataan seuraavan lennon reittipisteet, magnetometrille tehdään kalibrointi ja lennokka lähetetään uudelleen matkaan.

Mittausaineiston jälkikäsittely

Aineiston käsittely voi alkaa heti paikan päällä, kun mittausdata on siirretty tietokoneelle, tai toimistolla, kun data on siirretty pilvipalveluun. Aineiston käsittely tehdään Radain itsensä kehittämällä RadaiPros-ohjelmalla. Perusprosessointi pitää sisällään mm. barometrisen lentokorkeuden määrittämisen ilmanpaineesta, tasokoordinaattien ja lentosuunnan sekä -matkan määrittämisen. Ennen tai jälkeen kunkin mittauslennon tehtävästä kalibrointimittauksesta määritetään mittausalustan eli lennokin itsensä aiheuttamat tasoerot XYZ-komponentteihin sekä komponenttien väliset kytketymsiivteetit. Peruskäsittelyn jälkeen saman päivän kaikkien lentojen aineistot kootaan yhteen ja niille tehdään maa-asemakorjaus, jossa maan magneettikentän luonnollinen vaihtelu otetaan huomioon. Kun koko tutkimusalueen kaikki lennot ovat valmistuneet, kootusta aineistosta poistetaan tutkimusalueen ulkopuolelle ulottuvat käännökset ja häiriöpiikit. Lopuksi aineistolle tehdään alipäästösuojaus.

Aineiston lopullisen laadun kannalta tärkein toimenpide on ekvivalenttikerrosmallinnus (ELM; equivalent layer modeling). Siinä mittausalueen alle luodaan matemaattinen malli, joka koostuu joukosta säännölliseen hilaan järjestettyjä, suorakul-

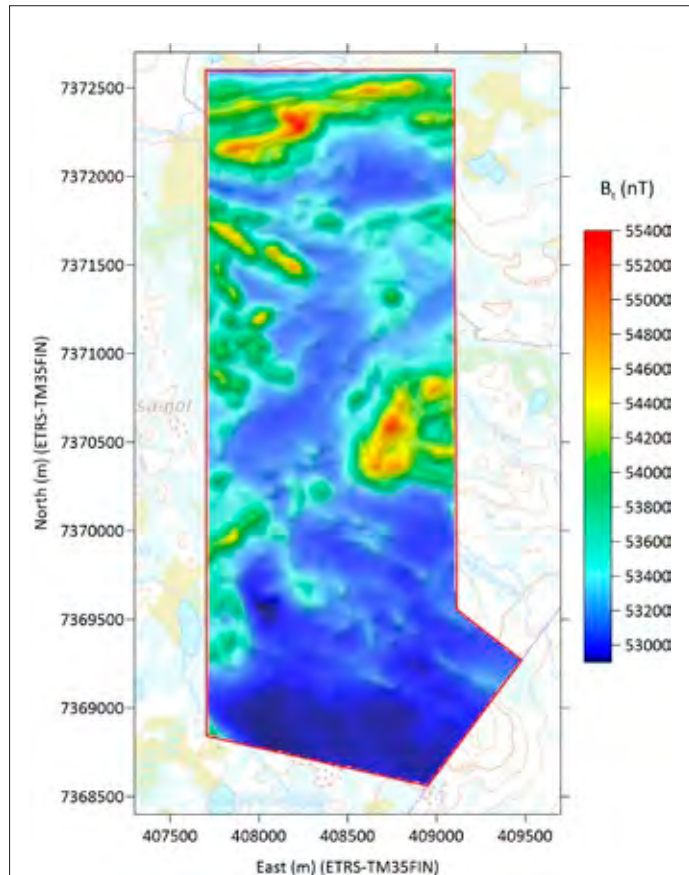
maisen prisman muotoisia, pystyjä elementtejä. Lineaariseen inversioon perustuvaa numeerista optimointia käyttäen kunkin elementin magneettinen susceptibiliteetti ratkaistaan siten, että mallinnettu magneettikenttä yhtyy mitattuun kenttään. Indusoidun magneettikentän voimakkuus ja suunta määritetään aluksi IGRF-mallista. Samassa yhteydessä optimoidaan erillisten lentojen väliset tasoerot ja ajallinen korjaus sekä ns. heading-efekti, joka ilmenee lennettäessä mittausalueen yllä vastakkaisiin ilmansuuntiin. Perinteistä sidontalinjakorjausta käytetään ainoastaan antamaan alkuarvo tasoeroille ja ajalliselle korjaukselle.

Inversion avulla saadun matemaattisen mallin avulla lasketaan mallinnettu magneettikenttä tasaisella lentokorkeudella ja tasaisessa laskentahilassa. Täten ELM toimii interpolointimenetelmänä, joka samalla korjaa lentokorkeuden vaihtelusta ja epätasavalisesta näytevälistä aiheutuvat vaikutukset lopullisessa mittausdatassa. Elementtien koko on enintään puolet linjavälistä, vaikka näyteriheys olisikin vain 0,3–3 m. Elementtien suuren koon vuoksi ELM toimii myös eräänlaisena alipäästösuodattimena, joka poistaa datasta korkeataajuisia (lyhyt aallonpituus) kohinaa ja mittausvirhettä. ELM-menetelmää käytetään myös ns. mikrotaositukseen, jossa aineistosta poistetaan lentolinjojen suuntaista raitaisuutta. Viime aikoina olemme kehittäneet ELM-menetelmää myös yksittäisten XYZ-komponenttien määrittämiseen.

Mittausaineiston käsittelyn lopputuloksena luodaan tutkimusalueen magneettinen kartta, joka esittää maan magneettikentän totaali-intensiteettiä halutulla lentokorkeudella, joka on yleensä sama kuin tavoitellun lentokorkeus. ELM-mallin avulla voidaan myös laskea mm. magneettikenttä maanpinnalla, napakorjattu kenttä sekä magneettikentän ensimmäinen vertikaaliderivaatta, jotka auttavat mittausalueen geologisessa rakennetulkinnassa.

Lennokimittausten rooli geotieteissä

Lennokimittausten tiheimmästä linjavälisestä, tiheimmästä näytevälisestä (0,3–2 m) sekä GNSS-paikannuksen paremmasta tarkkuudesta johtuen mittausaineisto on laadukkaampaa kuin GTK:n matalalentokartoituksen vuosina 1972–2007 tuottama aineisto, jossa lentolinjaväli oli 200 m. Mittauskorkeudesta johtuen lentomittausten resoluutio on toisaalta heikompi kuin maastomittausten, vaikka aineisto laskettaisiinkin jälkikäteen maan pinnan tasossa. Toisaalta lentomittaukset ovat paljon nopeammin toteutettavissa ja



Esimerkki lennoilla toteutetusta magneettisesta mittauksesta Mawson-yhtiön Rajapalot-nimiseltä malminetsintäkohteelta Ylitorniolla. Aineisto on mitattu noin 40 m:n korkeudella maanpinnasta 25 m:n linjavälillä. Magneettikentän totaali-intensiteetti on laskettu ELM:n avulla 35 m:n korkeuteen 12,5 m x 12,5 m hilassa. Aurinkovarjostuksena on käytetty magneettikentän vertikaaliderivaattaa. Mittaus on tehty osana EU-rahoitteista NEXT-hanketta.

niiden avulla saadaan kattava ja yhtenäinen mittausaineisto myös maastoltaan hankalilta alueilta. Nykyisiin miehitettyihin lentomittauksiin verrattuna lennokit tarjoavat edullisemmän, ketterämmän ja ympäristöystävällisemmän vaihtoehdon. Suurempien, useiden satojen neliökilometrien kokoisten alueiden kartoittaminen lennokeilla ei tällä hetkellä ole niin edullista ja joutuisaa kuin miehitetyillä ilma-aluksilla. Lennokimittaukset sopivatkin parhaiten kohteisiin, jotka ovat liian isoja tai hankalia maastossa mitattavaksi ja turhan pieniä mitattavaksi kalliimmilla miehitetyillä ilma-aluksilla.

Tällä hetkellä Suomen lainsäädäntö sallii sujuvan RPAS-lentotyötoiminnan ilman suoraa näköyhteyttä lennokkiin. Parhailaan uusitumassa olevan EU-lainsäädännön myötä toimintaan tulee rajoitteita, jotka nostavat vaatimustasoa ja parantavat turvallisuutta. Yhtenäistytävä, vaikkakin kiristytävä, lainsäädäntö toivottavasti mahdollistaa sujuvan RPAS-lentotyötoiminnan myös muissa maisa samoilla säännöillä. ▲

Radai Oy – lennokimittausten uranuurtaja Suomessa

Radai Oy on Oulussa vuonna 2013 perustettu startup-yhtiö, joka on erikoistunut lennokeilla tehtäviin geofysikaalisiin ja ympäristömittauksiin. Yhtiö työllistää noin 10 henkilöä. Päätuotteena on maan magneettikentän mittaus, jota Radai on tehnyt Suomessa kolmen viime vuoden aikana yli 20000 linjakilometrin verran. Vuodesta 2016 lähtien Radai Oy on kehittänyt omaa lennokeille soveltuvaa sähkömagneettista mittalaitetta maan sähköjohtavuuden kartoittamiseen. Tämä kehitystyö jatkuu parhaillaan EU:n rahoittamassa Horizon2020-hankkeessa NEXT (New Exploration Technologies). Hankkeessa kehitetään myös magneettista vektorimittausta, jossa kentän suunnatut XYZ-komponentit pyritään määrittämään luotettavasti.

BUILT FOR IT.™

**UUSI
CAT®
..
MYYJÄ
SUOMESSA**



www.avesco-cat.fi/fi/

 **avesco**



Sovelletun geofysiikan asiantuntijat kokoontuivat Rovaniemellä

TEKSTI JA KUVAT **ILKKA LAHTI**, GTK

Joka toinen vuosi järjestettävät sovelletun geofysiikan neuvottelupäivät pidettiin Rovaniemellä 19.-20.11.2019. Vuorimiesyhdistys on järjestänyt neuvottelupäiviä jo 1970-luvulta lähtien ja nyt oli kyseessä järjestyksessään 22. tapahtuma. Neuvottelupäivät kokosivat toimialan kokoon näiden kiitettävästi kuulijoita ja esitelmää riitti hyvin kahdeksi päiväksi. Osallistujia oli 40 ja esitelmää 20. Osallistujat olivat sovelletun geofysiikan alalla toimivista yrityksistä (mm. Geovisor Oy, Loop and Line Oy, Roadscanners Oy, Radai Oy ja Muon Solutions Oy), kaivos- ja junioriyhtiöistä (Boliden ja Mawson Oy) sekä GTK:sta ja SGU:sta. Erityisesti perinteiset, alalla pitempään toimineet yritykset ja toimijat olivat hyvin edustettuina tapahtumassa. Esimerkiksi GTK:sta esitelmää oli 11 kpl.

Ensimmäisen päivän ohjelma aloitettiin alan keskeisten toimijoiden katsauksilla, joita oli GTK:lta, Bolidenilta sekä SGU:lta. Janne Kaukolinna kertoi lisäksi Bolidenin geofysikaalisten laitteiden kehitystyöstä. Laitteet ovat olleet merkittävässä asemassa uusien malmiesiintymien löytymisessä. Ilta-päivällä oli vuorossa esitelmää ympäristö- ja yhteiskunta-aloilla toimivista yrityksistä. Pekka Majjala piti esitelmän Roadscanners Oy:n toiminnasta, jossa erityisesti maatutkamittaukset ovat merkittävässä asemassa teiden kuntokartoituksissa. Lisäksi ensimmäisenä kokouspäivänä kuultiin kaksi esitelmää GTK:n kansainvälisistä vientiprojekteista. Ensimmäinen kokouspäivä huipentui yhteiseen illalliseen ravintola Frans & Cheriessä.

Toisen päivän ohjelmassa oli vuorossa esitelmää sähkömagneettisten ja seismisten menetelmien käytöstä malminetsinnässä. Myös potentiaalikenttämenetelmiin liittyviä esitelmää oli useita, esimerkkinä geofyysikko Heikki Salmirinteen (GTK) esitelmä lentopainovoimamittausten tuloksista Vehmersalmen alueelta.

Tänä vuonna tapahtumassa oli monipuolisesti esillä alan uusia teknologioita, esimerkkinä lennokeilla toteutettavat geo-

Kuva 1. FT Markku Pirttijärvi Radai Oy:ltä piti esitelmän sähkömagneettisten UAV-mittausten kehitystyöstä.



fysikaaliset mittaukset. Magneettisia drone/UAV-mittauksia on tehty Suomessa jo useamman vuoden ajan Radai Oy:n toimesta. Uutena menetelmänä ovat sähkömagneettiset mittaukset. Markku Pirttijärvi kertoi Radai Oy:n sähkömagneettisten UAV-mittausten kehitystyöstä maa- ja kallioperän johteiden havainnointiin (kuva 1). Toinen mielenkiintoinen uusi aihepiiri on myonigrafia, jota kehittää suomalainen startup -yritys Muon Solutions Oy (kuva 2). Myonigrafia (engl. muography) on astrohiukkasfysiikkaan perustuva tiheyden mittaumenetelmä, jossa hyödynnetään avaruudesta tulevaa kosmista hiukkassäteilyä. Kehitteillä on mm. kairanreikäanturi maankamaran tiheysvaihteluiden kartoittamiseen ja tarvittaessa myös tiheyden muutosten seuraamiseen aikasarjamittauksin. Aihepiiristä enemmän kiinnostuneet voivat perehtyä Materia-lehden 2/2019 artikkeliin ”Myonigrafian sovel-



Kuva 2. Marko Holma Muon Solutions Oy:ltä kertoi myonigrafian sovellusmahdollisuuksista.

taminen maa- ja kallioperän suhteellisten tiheysvaihteluiden kartoittamisessa”.

Kokouksen loppukeskustelun aiheena oli seuraavien neuvottelupäivien pitopaikka. Seuraavat sovelletun geofysiikan neuvottelupäivät 2021 päätettiin järjestää pääkaupunkiseudulla tai seminaariristeilynä. ▲

A Member of
The Linde Group

AGA



AGA on nyt Linde.

Kahden innovatiivisen yrityksen
tarinat saman nimen alle.

Olemme maailman johtava kaasualan yritys, jolla on laaja valikoima teknologia-, tuote- ja palveluratkaisuja. Historiamme ulottuu yli 100 vuoden päähän, ja osa Lindeä olemme olleet jo 20 vuotta. Tästä eteenpäin myös nimmemme on yksi ja sama - Linde.

Katso video: linde-gas.fi/linde



Ylhäällä ja oikealla: Matti Aula Luxmetilta kertoi lämpötilan mittaamisesta emissiospektrometrin avulla.



Metallurgijaoston syysseminaari 25.11.2019

Digitaalista metallurgiaa Oulusta

Marraskuisena iltana, auringon jo painuttua mailleen, kokoontui Oulun yliopistolle parikymmentä digitaalisesta metallurgiasta kiinnostunutta ihmistä. Mukana oli kattava joukko osallistujia opiskelijoista eläkeläisiin, vaikka Finnairin lakko harmillisesti estikin muutamien osallistumisen. Digitalisaatio on muokannut maailmaa voimakkaasti, mutta suomalainen metallurginen teollisuus on ollut kehityksessä vahvasti mukana. Ainakin, kun suuntaa katseen Ouluun. Oulun yliopiston yhteyteen on muodostunut mielenkiintoisia pk-yrityksiä, jotka yhdistävät metallurgiaa ja digitalisaatiota uudella tavalla. Tämä kehitys on heijastunut myös metallurgian opetukseen Oulun yliopistossa. Siinä, missä valmistuneet metallurgit ovat perinteisesti työllistyneet Raahen ja Tornioon, kasvaa kysyntä moniosajille. Tulevaisuuden ”digitaaliset metallurgit” toimivat luontevasti sekä perinteisissä isoissa metallurgian alan yhtiöissä että myös ketterissä pk-yrityksissä.

TEKSTI JA KUVAT: ANNIINA TIKKANEN

Oulussa teräksen tutkimisella on vahvat perinteet. Uutta näkökulmaa tutkimukseen on tuonut digitalisaatio. Oulun yliopisto onkin mukana uudessa terästeollisuuden digitalisaation tutkimisen hankkeessa, AMET:issa (alustatalous metallinjalostuksessa). Se tarjoaa terästeollisuudelle mahdollisuuden hyötyä pk-yritysten joustavuudesta ja nopeasta kehityssyklistä. Digitalisaatioon liittyvien ratkaisujen kehittämiseen tarvitaan erityisosaamista, jota ei monilla teräksen valmistajilla ole. Hankkeessa kehitetään teollisen mittakaavan prosessimonitorointi- ja asiantuntijajärjestelmiä valituille prosesseille, kuten valokaariuunille ja jatkuvalalulle. AMET-hankkeeseen osallistuu Oulun yliopistolta neljä tutkimusyksikköä. Teräksen tutkimushankkeista kertonut professori Timo Fabritius prosessimetallurgian tutkimusyksiköstä toimii hankkeen vastuullisena johtajana.

>



Fotoniikan hyödyntämisestä metallurgian eri käyttökohteissa kertoi Juha Roininen Sapotechilta.

Raman-mittausta voi suorittaa esimerkiksi suoraan tuotannon liukuhihnalta ilman aikaa vieviä laboratorio-analyysejä, joten tulos on suoraan käytettävissä prosessin ohjaamiseen.

Oululaisen Timegate-yrityksen Miia Mikkonen kertoi patentin saaneesta aikaerotteisesta Raman-spektroskopiasta. Sitä käytetään aineiden kemiallisen koostumuksen tutkimiseen online-ympäristössä. Perinteisillä Raman-spektrometreillä on pystytty erottamaan vain rajallinen määrä tietoa heikkomman Raman-signaalin peittävän fluoresenssi-ilmion vuoksi. Timegaten patentoimalla aikaerotteisella Raman-spektrometrillä pystytään rejektoimaan fluoresenssia ja näin näkemään paremmin Raman-spektrin tuottamaa tietoa.

Raman-spektroskopian käyttökohteena on ollut esimerkiksi kaivosteollisuudessa mineraalien määrän ja laadun tunnistaminen. Reaaliaikainen prosessimonitorointi onnistuu nopeasti online-mittauksen avulla. Raman-mittausta voi suorittaa esimerkiksi suoraan tuotannon liukuhihnalta ilman aikaa vieviä laboratorio-analyysejä, joten tulos on suoraan käytettävissä prosessin ohjaamiseen. Online-analyysin avulla raaka-ainneiden muutoksiin voi varautua paremmin, eikä arvomineraaleja mene sivuvirtoihin. Tulosten avulla voidaan tehdä lopputuotteen laadunvarmistus sekä ennustaa prosessihäiriöitä. Sovellusta on testattu mm. kuoniin, pelletteihin ja vaahdotuslietteisiin.

Raman-spektrometrian avulla voidaan arvioida myös silikaattiverkkojen polymeerisoiutumisasteita, mikä avaa uusia mahdol-

lisuuksia metallurgian puolella kuonien tutkimiseen. Myös terästen sulkeumat näytettyvät mielenkiintoisina, sillä käynnissä olevan tutkimuksen mukaan Raman-spektrometrialla pystytään määrittämään kvalitatiivisesti oksidisten sulkeumien kemiallinen koostumus.

Matti Aula Luxmetilta esitti, kuinka optista emissiospektrometriä käytetään korkealämpötilaprosessien analysointiin ja kontrollointiin teräs- ja metalliteollisuudessa. Mittaus tapahtuu reaaliaikaisesti suoraan prosessista, jolloin prosessin säätö on nopeaa. Valosta syntyvä spektri analysoidaan, ja tieto välitetään prosessin ohjausjärjestelmään. Spektristä voidaan analysoida aallonpituutta ja intensiteettiä. Niiden perusteella voidaan selvittää esimerkiksi, kuinka romu sulaa valokaariuunissa, tai mitata kuonan pintalämpötilaa. Valon lähteenä voi olla liekki, valokaari tai sulakuona. Vaikeasti mitattavista kohteista jatkuva lämpötila-arvio on arvokas tieto. Käyttökohteita ovat esimerkiksi erilaiset valokaariuunit ja kuparikonverterit.

Tulosten perusteella voidaan säädellä prosessin oikeaa ajoitusta. Valokaariuunissa oikea-aikainen romukorin panostaminen valokaariuuniin sekä polttimien injektointi parantavat prosessin nopeutta ja tuottavuutta. Liian aikainen romujen panostaminen tuottaa ongelmia prosessissa, kun taas liian

myöhäinen panostusajankohta kuluttaa energiaa ja tulenkestävää vuorausta. Tällöin myös prosessiaika pitenee.

Optinen emissiospektrometria antaa mahdollisuuden myös jatkuvaan pintakuonan analysointiin. Jatkotutkimuksia on tulossa etenkin senkkauuniympäristössä.

Juha Roininen Sapotechilta kertoi fotoniikan hyödyntämisestä monissa metallurgia-alan kohteissa. Kuva- ja laserteknologian avulla metallin pintaa voidaan tutkia eri lämpötiloissa. Liikkuvasta objektista otetaan suuri määrä kuvia, jonka jälkeen kuvat liitetään analysointijärjestelmään. Automaattinen viantarkastusalgoritmi skannaa pinnan poikkeavuudet, jonka jälkeen kuvat tulevat suoraan tuotantohenkilöstön tutkittaviksi. Kuvat ovat myös jälkikäteen katsottavissa pitkän ajan kuluksi. Kuva-analytiikan avulla voidaan myös mitata pitkänkin ajan kuluksi materiaalin mittoja, lämpötilaa ja nopeutta.

Kuva-analyysiä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi senkassa olevan teräksen pinnan korkeuden arvioimiseen. Sillä voidaan myös tutkia tulenkestävien vuorausten ja materiaalien kulumista erilaisissa käyttökohteissa. ▲

KOMATSU



 **SUOMEN
RAKENNUSKONE**

KUN KAIKKI TOIMII JÄÄ AIKAA MUUHUNKIN

LOUHEAUTO

830E-5AC

LOUHEAUTO DIESELSÄHKÖISELLÄ VOIMANSIIRROLLA

Moottorin teho: 1865 kW
Hyötykuorma: 227 t
Kapasiteetti: 158 m³
Työpaino: n. 409 t

PYÖRÄKUORMAIN

WA1200-6

KOKOA JA TUOTTAVUUTTA

Moottorin teho: 1411 kW
Standardi kauhan koko: 21 m³
Työpaino: n. 219 t

OTA YHTEYTTÄ ASIAANTUNTIJOOIHIN, LÖYDÄ TALOUDELLISIN RATKAISU MATERIAALIN SIIRTOON!

WWW.SR-O.FI

PIRKKALA

METALLITIE 6, 33960 PIRKKALA

Konemyynti 020 775 8410
Konevuokraus 040 450 9278
Huolto ajanvaraus 020 775 8430
Varaosamynti 020 775 8442
Tekninen neuvonta 020 775 8460

ESPOO

MINTTUPELTO 7, 02920 ESPOO

Konemyynti 020 775 8483
Huolto ajanvaraus 020 775 8481
Varaosamynti 020 775 8482

OULU

KAARNATIE 28, 90530 OULU

Konemyynti 020 775 8473
Huolto ajanvaraus 020 775 8471
Varaosamynti 020 775 8472



 **SUOMEN
RAKENNUSKONE**



JOHTAVA TEKNOLOGIA PAIKALLINEN PALVELU

Tarjontamme ja tuotekehityksemme perustuvat alan vaatimusten tuntemiseen. Tarjoamme sinulle korkealaatuiset laitteet ja kattavat jälkimarkkinapalvelut maanpäälliseen ja -alaiseen poraukseen, murskaukseen ja seulontaan, lastaukseen ja kuljettamiseen sekä kalliorakentamiseen. Meiltä saat johtavan globaalin teknologian, paikallisella asiantuntevalla palvelulla – tavoitteenamme on tukea toimintasi turvallisuutta, tuottavuutta ja kannattavuutta.

OTA YHTEYTTÄ – SANDVIK PALVELEE

P. 020 544 4600

ROCKTECHNOLOGY.SANDVIK





Suomalaisella kaivosteollisuudella mahdollisuus merkittäväksi tekijäksi eurooppalaisessa akkuteollisuudessa

TEKSTI: SATU SALMELIN-TIKKALA KUVAT: SWECO/URBAN INSIGHT

Maailma tulee akkuistumaan seuraavan vuosikymmenen aikana. Litiumioniakkujen käytön huomattava kasvu liikenteen sähköistymisen myötä luo valtaisan tarpeen akkujen raaka-aineille sekä tuotannon ja kierrätyksen järjestämiselle. Suomella on mahdollisuus olla tässä kehityksessä eturintamassa. Alalla tapahtuu jo. Esimerkiksi Sweco on jo mukana useissa sekä toteutus- että esisuunnitteluvaiheen akkukemikaalihankkeissa.

Akkukemikaaleja tuottavia ja tuotantoa käynnisteleviä suomalaisia tehtaita ja kaivoksia on muun muassa Terrafamalla Kainuussa ja Keliberillä Pohjanmaalla. Teollisuuslaitoksen suunnittelu ja rakentaminen on suuri panostus, jonka onnistumista tukee kokenut projektin suunnittelu. ”Asiakkailla nämä projektit ovat ainutkertaisia, mutta me teemme näitä jatkuvasti”, toteaa teollista suunnittelua tekevä Swecon osastopäällikkö Sini Larsen, jolla on 20 vuoden kokemus kemianteollisuuden prosessisuunnittelusta.

Terrafamen akkukemikaalitehdas on Swecolle suuri projekti, jossa on ollut yli

100 suunnittelijaa mukana. ”Valitsimme mielestämme parhaan yhteistyökumppanin tähän projektiin”, toteaa Terrafamen toimitusjohtaja Joni Lukkaroinen. Lukkaroinen kiittelee Swecon avointa toimintatapaa, jossa pyritään yhdessä etsimään ongelmat ja ratkaisut niihin sekä puhalletaan yhteen hiileen. Tämän on mahdollistanut toimintamalli, johon kuuluvat säännölliset ylimmän johdon ohjausryhmätapaamiset sekä aktiiviset projektiryhmän tapaamiset. ”Sweco kykenee suoriutumaan hyvin niin sähköautomaation suunnittelusta kuin rakennus- ja mekaniikkasuunnittelustakin”, Lukkaroinen summaa.

Keliberin hankkeessa suunnittelun kohteena on koko tuotantopolku kaivos-toiminnasta akkukemikaalituotteeksi asti: kaivokset, rikastamot ja kemikaalitehtaat. ”Kutsuisin tätä enemmän kumppanuuskun tuottaja-asiakassuhteeksi”, kuvailee Keliberin toimitusjohtaja Pertti Lamberg yritysten välistä pitkäaikaista yhteistyötä. Kumppanuudessa tärkeintä ovat Lambergin mukaan olleet työn hyvä laatu, aikataulujen pitävyys ja kustannustehokkaasti toimiminen. Lisäksi asiantuntemusta on ollut

tarjolla paikallisesti ja yhteistyö on välillä ollut hyvinkin kiinteää. ”Olemme laskeneet meidän toimitiloissa väliaikaisesti työskennelleet Swecon työntekijät keliberiläisiksi”, Lamberg naurahtaa.

Uusia liiketoimintamahdollisuuksia Suomeen

Sähköajoneuvojen kysynnän kasvua lisäävät EU:n liikenteelle asettamat ilmastotavoitteet ja halu suitsia fossiilisten polttoainoiden käyttöä. On havaittavissa jo nyt, että polttomootoriautojen myynti vähenee nopeammin kuin sähköautojen myynti kasvaa. Tällä hetkellä Aasia tuottaa valtaosan sähköakuista, vaikka merkittävä osa loppukäyttäjistä löytyy Euroopasta. Tilanne luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia suomalaisittain, mutta löytyykö meiltä halua ja intoa sijoittaa tulevaisuuteen?

Tomi Keskinen vetää Swecolla kemian- ja kaivosteollisuuden liiketoimintayksikköä. Alalta hänellä on kokemusta jo neljänneksivuosisadan verran. Vaikka maallamme on Euroopan mittakaavassa ainutlaatuiset akkumineraalivarat, häntä huolettavat se, että Suomi jää akkuteollisuuden alalla muista

EU-maista jälkeen. Maamme käytännössä kilpailee Ruotsin, Saksan, Puolan ja Belgian kanssa samoista alan investoinneista. ”Olisi todella tärkeää, että rahaa investointeihin löytyisi, myös jatkojalostustehtaille. Valtion lisäksi tarvitaan myös muita investoijia mukaan. Alalla on huomasti mahdollisuuksia”, Keskinen toteaa.

Joni Lukkaroinen viittaa suomalaisen metsäteollisuuden menestykseen ja toivoo vastaavaa menestystä. ”Akkumetallien osalta hyvä raaka-ainesanti ja korkea teknologiaosaaminen mahdollistaisivat Suomelle erittäin merkittävän eurooppalaisen ja globaalin toimijan aseman akkujen koko ketjussa”, hän arvioi.

Alan toimijat eivät puhu turhia. Lukkaroinen johtaa Euroopan suurinta nikkelin alkutuottajayritystä, jonka malmivarojen on arvioitu riittävän 32 vuodeksi. Yrityksessä uskotaan pidempäänkin toiminta-aikaan. ”Itse uskomme, että 50-60 vuotta näitä akkumetalleja tullaan täällä tuottamaan”, Lukkaroinen sanoo.

Kun akkukemikaalitehdas lähtee käyntiin vuonna 2021, se tulee olemaan maailman suurin nikkelisulfaattia tuottava yksikkö. Uuden laitoksen kapasiteetti on 170 tuhatta tonnia vuodessa nikkelisulfaattia, joka riittää - tämän päivän akkuteknologia huomioon ottaen - miljoonan sähköauton akkuihin vuodessa. Kobolttisulfaatin osalta kapasiteetti riittää noin 300 000 sähköautoon vuodessa. Viime vuonna valmistettiin kaksi miljoonaa sähköautoa. Vuonna 2025 on arvioitu valmistuvan yli 10 miljoonaa sähköautoa. Silloin Terrafamen nikkelisulfaatti riittää joka kymmenennen auton tarpeisiin.

Keliberin malmivarojen on tällä hetkellä arvioitu riittävän 15 vuodeksi, josta tuotantokapasiteettia riittää noin 250 000 sähköautoon vuodessa. 15 vuodessa tämä tarkoittaa, että litiumia saadaan lähes neljään miljoonaan autoon. ”Oman arviomme mukaan varantoja riittää jopa 20 vuodeksi”, Pertti Lamberg sanoo.

Toimijat katsovat ympäristön huomioon ottamisen ja vastuullisesti toimimisen olevan tänä päivänä kilpailuetu. Suomi on esimerkiksi ottanut käyttöönsä kestävä kaivostoiminnan standardin (TSM). ”Lähtökohtana on se, että pyritään niin ympäristöystävälliseen toimintaan kuin mahdollista”, Lukkaroinen sanoo. Terrafamen bioliuotusprosessilla on erittäin alhainen hiilijalanjälki ja kiteytyksessä käy-



tetty teknologia on hyvin energiatehokasta. Höyry tuotetaan jatkossa biopolttoaineella. Lamberg korostaa, että Keliberin malmi on erittäin puhdasta ja prosessi on cleantechiä. ”Olemme eurooppalainen tuottaja, joka tuottaa eurooppalaisille markkinoille. Siten materiaalin kuljettamisen välimatkat ovat lyhyempiä ja vähemmän päästöjä aiheuttavia”, hän sanoo.

Toiminnan jäljitettävyyttä olisi Suomelle vahvuus. Lukkaroinen viittaa metsätalouden käyttämään FSC-sertifiointijärjestelmään. Akkujenkin osalta kaivattaisiin vastaavaa järjestelmää, joka kertoo kuluttajalle, onko tuotantoketju kestävällä pohjalla. Myös akkukennojen valmistus Euroopassa takaisi jäljitettävän ja kestävä arvoketjun. ”Yrityksenä toimimme globaaleilla markkinoilla. Näin suomalaisena kuitenkin toivon, että akkukennovalmistusta tulisi Suomeen”, Lukkaroinen sanoo.

Lamberg nostaa esiin tarpeen kansainvälisiin auditoointeihin, jotka kartoittavat tuotannon kokonaisympäristöjalanjäljen. ”Olen ihmetellyt joidenkin yritysten akkuinvestointeja Unkarin ja Puolan kaltaisiin maihin, joiden laitoksissa käytettävä sähkö tuotetaan raskaasti hiilellä”, Lamberg mainitsee. ”Investoiminen Suomen teollisuuteen on ympäristöteko. Täällä toimitaan vastuullisesti ja ympäristöarvoja kunnioittaen”, Keskinen summaa.

Markkinataloudelle uutta suuntaa kiertotaloudesta

Eurooppa on edelläkävijä kiertotaloudesta, mutta litiumioniakkujen kierrätysasetta tulisi nostaa huomattavasti. Aikaa ei kuitenkaan ole tuhlettavaksi. Ensimmäiset sähköautojen akut tulevat tiensä päähän 10-15 vuoden kuluttua. Akuissa käytetyt ar-

vokkaat metallit tulee saada hyötykäyttöön ja kiertoon. Teollisuutta kiinnostavat kiertotalouden mahdollistavat ratkaisut enenevässä määrin. Swecolla oli viime vuonna parikymmentä kiertotaloustoimeksiantoa. Määrä kaksinkertaistunee tänä vuonna.

”Euroopan tulee vastuullisena ja kestävä kehitystä tukevana alueena uudelleenkäyttää kertaalleen akkuihin maaperästä louhittu materiaali. Meillä Swecolla on sekä asiantuntemusta että halua olla mukana näissä hankkeissa ja olemmekin päässeet mukaan jo muutamiin luottamuksellisiin akkujen materiaalien kierrätys Hankkeisiin”, kertoo Larsen.

Sähköautojen akkujen kierrätykseen on olemassa teknologinen valmius. Huolta aiheuttavat EU:n lainsäädäntö ja siinä hyvin tiukkaan säännelty jätteen siirto maasta toiseen. Lukkaroinen tuo esiin sen, että vaikka kyse tässä on kierrätyksen eri komponenteista, edelleen puhutaan jätteestä. Entinen jäte onkin tuleva materiaalin lähde ja siksi jäte tulisi tässä yhteydessä määritellä uudelleen.

Kierrätyksen järjestämistä pohdittaessa nousee esiin toiminnan kannattavuus. Esimerkiksi litiumin talteenotto ei ole taloudellisesti kannattavaa. Kannattavuutta voidaan nostaa lisäämällä talteenotto akun hintaan tai katsomalla asiaa laajemmin. ”Helposti takaisin saatavat metallit saadaan hyvällä katteella, joten vaikka litium ei olisikaan kannattavaa, niin kokonaisuutena kierrätys on kannattavaa liiketoimintaa”, Lamberg toteaa.

Eurooppaan on suunnitteilla useita akkujen kierrätyslaitoksia. ”Pohjoismaihin tarvitaan vähintään yksi”, Lamberg sanoo. ”Myös kierrätysmielessä Suomesta on mahdollisuus tulla tärkeä”, hän päättää. ▲

How the world's strongest bolts were developed using Nobel Prize winning technology

BUMAX® Ultra is now recognized as the strongest fastener in the world. It draws on Nobel Prize winning quasi-crystalline precipitate technology that fundamentally altered how chemists conceive of solid matter – and what engineers believe possible for stainless steel fasteners in demanding applications.

Text: **ANDERS SÖDERMAN** (Technical Director), **ELINA LEIVO** (Sales Manager), BUMAX AB
Pictures: BUMAX AB

▲ With development and manufacturing in central Sweden's historic steel belt, built on heritage from the 1600s and on collaboration with steel making companies such as Outokumpu and Sandvik, premium stainless steel fastener manufacturer BUMAX produces what is now widely known as the strongest fastener in the world. Far beyond standard, its super strong BUMAX Ultra bolt has proven itself in various highly-demanding critical fastener applications around the world – providing optimal safety and reliability where standard fasteners are simply inadequate.

BUMAX Ultra typically offers a yield strength of over 1,350 megapascals (MPa), which is three times the strength of standard stainless steel 'class 70' fasteners (450 MPa) and more than twice that of strong 'class 80' fasteners (600 MPa). The fact that BUMAX Ultra can handle more than double the load of a standard stainless steel fastener is a game changer for critical fastener applications by providing enhanced solutions that simply were not available a few years ago.

Drawing on Nobel Prize winning technology

BUMAX has been manufacturing premium stainless steel bolts since 1926 – to provide customized fastener solutions for global clients with extremely demanding challenges. To develop the world's strongest fastener, the company capitalized on its own material technology knowledge and that of its premium stainless steel supplier, as well as its advanced manufacturing techniques.

BUMAX Ultra ensures ultra-high strength and good corrosion resistance by drawing on Nobel Prize winning quasi-crystalline precipitate technology. Materials Science Professor Dan She-

chtman won the 2011 Nobel Prize in Chemistry for his work with quasi-crystals, which fundamentally altered how chemists conceive of solid matter. The BUMAX technique uses strain hardening followed by precipitation hardening, which significantly increases the yield strength of the stainless steel by ensuring the crystal structure which reinforces the material.

The strongest bolt in the world – and it's stainless

Stainless steel fasteners are often selected for their corrosion resistance properties. However, reduced strength has historically been an accepted compromise of using stainless steel rather than carbon steel. BUMAX Ultra has changed all this by providing ground-breaking solutions for highly demanding applications. It far exceeds carbon steel in terms of yield strength.

"High-strength stainless fastener solutions ensure superior corrosion resistance, while exceeding the mechanical properties offered by carbon steel, standard stainless products and many



high alloy fasteners," explains Anders Söderman, BUMAX Technical Director. "Unique stainless steel fasteners such as BUMAX Ultra have revolutionized the fastener market by far exceeding carbon steel in terms of yield strength."

Demanding applications – space, military and high pressure

Since its launch, the BUMAX Ultra range has proven that it is capable of exceeding yield strengths of over 1,350 MPa in various applications, with good corrosion resistance and an operating range between -50 and 400°C.

As BUMAX Ultra is designed for applications that require ultra-high strength



UUTISIA ALALTA

combined with high ductility and fatigue resistance, applications include the most challenging imaginable – including security lock systems, aerospace systems, military applications, high pressure applications and the construction industry.

BUMAX Ultra has met all customer and end user expectations with excellent results. Lock companies value it for its excellent fatigue properties combined with strength, developers of aerospace systems appreciate its good fatigue, corrosion and strength properties as an alternative to titanium fasteners, and high-pressure applications welcome its high strength.

Replacing carbon steel fasteners in critical applications

Custom-made BUMAX Ultra fasteners are increasingly used to replace high-strength carbon steel fasteners in critical applications with extreme requirements

BUMAX AB is a part of Bufab Group. In addition to the Ultra grade, BUMAX AB produces high-Mo A4 fasteners with strength levels 88 and 109, duplex and super duplex with strength levels 109 and 129, which are stocked products. Other stainless steels grades are available on request, including super austenitic and high temperature grades.

on strength, ductility and fatigue resistance. The very high strength-to-weight ratio in combination with BUMAX Ultra's good formability and ductility also make it a cost-effective fastener alternative to lightweight materials such as titanium.

"BUMAX Ultra is an advanced engineering grade and we provide technical support for customer projects to develop

the optimal end solution for a particular application," says Elina Leivo, BUMAX Sales Manager in Finland. "Even yield strength exceeding 1,350 MPa is possible with BUMAX Ultra, together with good corrosion resistance, formability and ductility."

As a real-life example, a European lock manufacturer originally used a carbon steel screw for the critical latch screw. Following breakages that disabled the entire locking mechanism, the manufacturer tested various grades without solving the problem.

The manufacturer then fatigue-tested BUMAX Ultra, which survived 500,000 strokes without a single breakage – compared with high strength carbon steel screws that only lasted 10,000 strokes. Needless to say, BUMAX Ultra screws are now a critical lock component that helps ensure lock reliability.

Johanna pelastaa henkiä.
Hän tarvitsee metalleja onnistuakseen.

Lääketieteellisen tutkimuksen ja kehittyneen sairaalateknologian ansiosta yhä useammat pysyvät terveinä ja elävät pidempään. Tätä kehitystä johtavat työlleen omistautuneet ammattilaiset, jotka tarvitsevat metalleja onnistuakseen. Johanna tekee oman osuutensa – aivan kuten meidän metallimme.

BOLIDEN
Metals for modern life

Liikuteltava sähkötila Kevitsan avolouhoksen vaativiin olosuhteisiin

Bolidenin Kevitsan kaivoksella Sodankylässä sähkönjakelusta vastaa ABB:n mobiili sähkötila, eHouse.

Ratkaisu sopii pohjoisen ympäristön olosuhteisiin.

TEKSTI: TERHI PAAVOLA

▲ Sodankylän Kevitsan avolouhoksen työympäristö on haastava. Lämpötila voi vaihdella huippupakkasista helteisiin, lisäksi kohteessa on luonnollisesti pölyä ja lunta.

”Kesällä laitteet pitää jäädyttää ja talvella ne eivät saa jäätyä. Rakenteiden täytyy olla kestäviä. Lisäksi räjäytys- ja luhintatyötä tehdään lähellä muuntamoita”, kertoo Boliden Kevitsan sähkö- ja automaatiokunnossapidon päällikkö Joni Knuuti.

Kevitsassa haasteisiin on vastattu pohjoisen olosuhteisiin räätälöityjen ratkaisujen avulla. Sähkönjakelusta vastaa ABB:n eHouse, eli liikuteltava sähkötila. Se sopii erityisesti avolouhoksiin, kaivoksiin ja teollisuuteen, jossa toimintaympäristö muuttuu jatkuvasti.

”Kaivoksen infrastruktuuri on muuttuva. Maa-ala, joka on käytössä nyt, ei ole samalla paikalla puolentoista vuoden päästä, vaan se on siirtynyt 50 metriä alemmas. Siksi tarvitsimme muuntamon, joka mahdollistaa dynaamisen jakeluverkon rakenteen”, Knuuti tähdentää.

Liikuteltava ja tehokas ekoteko

eHouse-muuntamo on liikuteltavissa ja siirrettävissä. Knuuti kertoo, että muuntamo on nyt noin sadan metrin syvyydessä. Sähköä jaetaan kaivoskoneille liikuteltavien jatkoakaapeleiden avulla.

”Liikuteltavuus on merkittävin tekijä. Kun kaivos etenee, eHouse on helppo siirtää irrottamalla siitä ulkoinen kaapelointi”, ABB:n myyntipäällikkö Hannu Pakola kertoo.

eHouse on myös aikaisempia suu-rempehoinen. Uudistuksen ansiosta se pystyy syöttämään useampia kaivoskoneita. Lisäksi sillä on aiempia muuntamoja pienempi ympäristökuormitus, pienemmät häviöt sekä öljytön päämuuntaja.

ABB:n eHouse

- Tuotteistettu ratkaisu sähkönjakeluun tarpeisiin vaativissa olosuhteissa.
- Toimii sekä maan alla että päällä
- Ratkaisusta voidaan tehdä joko kiinteä tai siirrettävä.
- eHousen avulla sähköä voidaan jakaa eri puolille kohdetta sähkösyöttökaapeleilla.
- Ympäristökuormitus pieni ja turvallisuus huippuluokkaa
- Rakennetaan alihankkijan tiloissa valmiiksi ja toimitetaan asiakkaalle avaimet käteen -periaatteella.
- ABB testaa ratkaisun ennen toimitusta asiakkaalle.
- ABB on myynyt tuotetta eri muodoissaan kaivosteollisuuteen Suomessa noin 10 vuotta.

”Ilmaeristeisellä kuivamuuntajalla ei ole öljyvuotojen vaaraa ja ympäristövahingon riskit on minimoitu”, Knuuti sanoo.

eHouse on helppo ottaa käyttöön. Laitteet tuodaan käyttövalmiina, ABB:n testaamina paikan päälle.

”Jos jokin ratkaisu toimii Lapin avolouhosympäristössä, se toimii muual-

lakin. Täältä löytyvät olosuhteet, missä laitteet testataan”, Knuuti tietää.

”eHousen soveltuminen kaivosympäristöön osoittaa sen toimivuuden myös monissa muissa haastavissa olosuhteissa”, ABB:n toimialajohtaja Petri Vuolukka kiteyttää.



Kevitsan avolouhokselle räätälöimä eHouse painaa noin 26 000 kiloa, mikä mahdollistaa koko muuntamon liikuttamisen ja siirtelyn sellaisenaan. ”eHousen voi siirtää periaatteessa minne tahansa avolouhosalueella”.



Akkuteknologialla parempi työympäristö maan alle

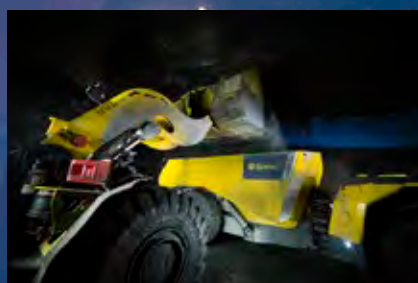
SIMS-projekti (Sustainable Intelligent Mining Systems) on osa Euroopan Unionin suurinta tutkimus- ja innovaatio-ohjelmaa nimeltään Horizon 2020. Projektin tarkoituksena on luoda älykkäitä ja ympäristöä säästäviä ratkaisuja kaivosteollisuuteen. Siinä on mukana useita yliopistoja, kaivosyhtiöitä sekä laite- ja järjestelmävalmistajia: Epiroc Rock Drills AB, ABB AB, Agnico Eagle Finland, Boliden, Ericsson AB, iGW, K+S, KGHM CUPRUM, LKAB, Luleå University of Technology, Mobilaris ja RWTH Aachen University.

TEKSTI: JARI KOLEHMAINEN, AGNICO EAGLE JA ANNA-MARI TIKANDER, EPIROC
KUVAT: KLAFFI TUOTANTO OY

SIMS-projekti on jaettu useaan osaan. Kuudes hankeosio (Work Package 6) demonstroi viimeisintä tekniikkaa olevaa, päästöiltään puhdasta teknologiaa maanalaisessa kaivosympäristössä. Hankkeeseen osallistuvat Agnico Eagle Finland ja Epiroc Rock Drills AB. Kittilän kaivos on tarjonnut testipaikaksi aidon tuotantoympäristön ja testilaitteiden käyttäjiksi ammattitaitoiset operaattorit. Epiroc on toimittanut testattavat akkulaitteet: kaksipuomisen Boomer E2C-peränajolaitteen, ST14-lastauslaitteen ja MT42-kaivosdumpperin. Testiympäristöön sisältyvät myös akkujen lataaminen ja vaihto, sähkönjakelu akkukäyttöisiin laitteisiin sekä akkukäyttöisten laitteiden kokonaistaloudelliset ja ympäristöön liittyvät vaikutukset. Tarkoituksena on myös ymmärtää, miten teknologian kehittyminen voi edistää kaivoksen kustannustehokkuutta ilmanvaihdon kannalta ja parantaa operaattoreiden työympäristön laatua melun, ilmanlaadun, lämpötilan ja tärinän osalta.

Sähkö vs. diesel

Akkukäyttöisillä maanalaisilla kaivoslaitteilla on monia hyviä puolia. Akkukäyttöiset



laitteet tarvitsevat merkittävästi vähemmän huoltoa. Niistä vapautuu erittäin vähän hukkalämpöä eikä niistä synny pakokaasuja. Jos akut ladataan uusiutuvalla energialla, laitteista ei aiheudu haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Vaikka työt on tähän saakka saatu tehdyiksi dieselkäyttöisillä laitteilla, ovat dieselilaitteet aiheuttaneet myös monia ongelmia: pakokaasuja, melua, hukkalämpöä, korkeita huoltokustannuksia, suunnitelmattomia huoltokatkoja, kasvavia polttoainekuluja ja yhä monimutkaisemman infrastruktuurin. ”Dieselkäyttöiset laitteet soveltuvat verrattain huonosti työskentelyyn suljetussa tilassa maan alla”, kiteyttää Epirocin akkukäyttöisten kaivoslaitteiden markkinointipäällikkö Erik Svedlund.

Nykyiset akkukäyttöiset laitteet suoriutuvat jo nyt yhtä hyvin tai paremmin kuin dieselkäyttöiset laitteet kaikilla muilla mittareilla paitsi toiminta-ajassa. Akkujen kehitysvauhdin perusteella ei kulu kauan ennen kuin tähänkin tulee muutos. Modulaarisen akkujärjestelmän kehitystyö alkoi Epirocilla jo melko varhaisessa vaiheessa, ja akkutoimittajaksi valikoitui ruotsalainen Northvolt. Yksi modulaarisen akkujärjestelmän hyvistä puolista on akkujen nopea vaihtoaika. Epirocin liiketoimintamallin perusajatuksena on, että asiakas ostaa laitteen, mutta vuokraa akut. Tällöin investointikulut ovat alhaisemmat, käyttökulut ovat varsin hyvin arvioitavissa jo etukäteen ja laitetoimittaja huolehtii akkuihin liittyvästä koulutuksesta ja huollosta.

SIMS-projekti Kittilän kaivoksessa

Ensimmäiset konkreettiset merkit SIMS-projektista ilmaantuivat Kittilän kaivoksen vuoden 2019 vaihteessa, jolloin kaivosdumpperin ja lastauskoneen akunvaihtoasemat rakennettiin maanalaiseen kaivokseen malmin louhinnoista vapautuneisiin louhintaperiiniin. Ladattu akku vaihdetaan dumpperiin ja lastauskoneeseen





akunvaihtoasemalla yhden kerran työvuoron aikana, jotta työtä voidaan taas jatkaa. Akun vaihdossa käytetään 10 tonnin siltanosturia.

Huhtikuussa kaivokselle toimitettiin ensimmäinen dieselvapaista laitteista, akkukäyttöinen peränajolaite, ja operaattorien koulutukset alkoivat. Kone on ollut kaivoksessa työtehtävissä siitä lähtien jokaiseen vuoroon koulutettujen operaattoreiden voimin. ”Jumbo ei käytännössä juurikaan eroa dieselkäyttöisestä laitteesta, koska kone lataa itsensä peränporauksen aikana kaivoksen porasähköverkosta ja näin mahdollistaa toiminnan sujuvan jatkumisen. Laitteeseen ollaan oltu tyytyväisiä kaivoksessa - uusi laite on aina positiivinen asia koko tuotantoporukalle, vallankin kun kyseessä on uusinta teknologiaa oleva laite”, kertoo Kittilän kaivoksen tuotantopäällikkö Jari Kolehmainen.

Elo-syyskuun vaihteessa kaivokselle saapuivat akkukäyttöiset dumperi ja lastauskone, ja kaivososasto oli jälleen uuden haasteen edessä: oli opeteltava niin akunvaihdot, toimintasäteet kuin tuotannon mukana työskentelykin sekä lastauskoneella että dumperilla. ”Ensimmäisiä ihmettelyn aiheita oli dumperin liikenteeseen mukaan liittyminen. Vaikka kokonaisuus oltiinkin teoriatasolla käyty läpi, on käytäntö aina oma asiansa. Muun

muussa savutuntien aikana testattiin ja varmistettiin ohitustilavuudet vinotunnelissa, jotta turvallisuuden puolesta voitiin lähteä tuotantoon ja liikenteeseen mukaan”, kuvailee Kolehmainen.

Kaivoksen laajennuksen myötä otetaan uusi nostokuilu käyttöön vuoden 2021 alkupuolella. Sinne saakka on vinotunnelin liikenne kaivoksessa vilkasta, ja dumperinkin sovittelu sen mukaan tulee tehdä turvallisuustekijät korostetusti huomioon ottaen.

”Sekä lastauskoneen että dumperin käyttö on lähtenyt käyntiin odotettua paremmin”, toteaa Kolehmainen. Molempiin laitteisiin valittiin vakituiset käyttäjät, ja niillä kuivaharjoiteltiin maan päällä muutama päivä ennen maan alle siirtymistä, jotta operaattoreilla olisi tuntuma koneisiin jo etukäteen. Työskentelyolosuhteiden puolesta laitteet ovat saaneet positiivista palautetta käyttäjiltä. Tarkemmat mitaukset tehdään talven kuluessa, jolloin olosuhteita peilataan tarkemmin dieselkäyttöisiin koneisiin.

Akunvaihtoakin on jo harjoiteltu lukuisia kertoja työpäivän lomassa. Operaattori vaihtaa akun yhden kerran kymmenen tunnin vuoron aikana, ja tämä kestää noin kymmenen minuuttia.

Parhaimmillaan dumperilla ja lastauskoneella on nostettu malmia kaivoksen yläosan louhoksilta 450 tonnia vuorossa. Se on erittäin hyvä tulos tässä vaiheessa, kun koneita ja käyttöperiaatteita on ehditty opetella pari kuukautta. Mutta matka jatkuu: laitteita tullaan testaamaan kaivoksella vielä kuluvan vuoden aikana, jotta varmistetaan kattava tieto analysointia ja jatkokehitystä varten.

Hedelmällistä yhteistyötä

Sekä Agnico Eaglella että Epirocilla kiitellään yhteistyötä projektin tiimoilta. ”SIMS-projekti on hieno yhteistyömahdollisuus maailman johtavien kaivosyhtiöiden, yliopistojen sekä laite- ja järjestelmätoimittajien kesken”, kertoo projektipäällikkö Jan Gustafsson Epirocilta. ”SIMS:in tarkoituksena on osoittaa, että Euroopan kaivosteollisuus ja teknologia-toimittajat ovat maailman huippuja ja valmiina esittelemään maailmanlaajuisesti yhä kestävämpiä ja älykkämpiä ratkaisuja. Agnico Eaglen ja Epirocin yhteistyö on ollut hedelmällistä ja täynnä ammattitaitoa ja intoa molemmin puolin.” ▲

BRENNTAG

Kaivosteollisuuden raaka-aineet



Brenntag Nordic Oy kuuluu Brenntag-konserniin, joka on kemikaalijakelun globaali markkinajohtaja.

Kaivosteollisuudessa Pohjoismaissa hyödynnämme globaalia osaamistamme ja kokemustamme.

PÄÄTUOTTEET

- Aktiivihielet
- Ditiiofosfaatit
- Jauhinkuulat (myös kromiseosteiset)
- Kupari- ja sinkkisulfaatti
- Pölynestoaineet
- Yleisesti kokooja-, kerääjä-, painaja-, vaahdotus-, aktivointi- ja pH-säätökemikaalit rikastukseen
- Prosessivesien käsittelykemikaalit

PALVELUT

- Kemikaalitestaukset ja konsultaatio
- Starttipaketit uusille kaivoksille
- Varastointi- ja logistiikkapalvelut

YHTEYSTIEDOT

Brenntag Nordic Oy

Mikko Kähäri

Puhelin 040 708 7006

mikko.kahari@brenntag-nordic.com

<http://www.brenntag-nordic.com/fi/>



Paikalla olleiden apurahan saajien tyytyväinen joukko

Metallien tutkimus on yhä ajankohtaisempaa

Teknologioteollisuuden 100-vuotissäätiön Metallinjalostajien rahasto jakoi apurahoja tieteelliseen tutkimustyöhön

TEKSTI JA KUVAT: TUOMO TIAINEN

Ilmastonmuutoksen torjuminen on lisäämässä voimakkaasti tiettyjen metallien kysyntää jo lähitulevaisuudessa. Sen mukana myös metallien kierrätys ja sen tehostaminen ovat tulossa entistä ajankohtaisemmiksi. Myös uusien teknologioiden mukaantulo metallituotteiden valmistukseen lisää tutkimuksen tarvetta. Nämä teemat näkyivätkin selvästi tutkimuskohteissa, joihin Metallinjalostajien rahasto myönsi apurahoja julkistustilaisuudessaan 28.11.2019. Vuoden 2019 haussa rahasto sai kaikkiaan 79 hakemusta yhteissummaltaan yli miljoona euroa. Apurahoja ja tunnustuspalkintoja myönnettiin yhteensä 32 kappaletta ja niiden yhteissumma oli 340 800 euroa.

Eteläranta 10:ssä järjestetyn julkistamistilaisuuden isäntäyrityksenä oli Outokumpu

Oyj. Yrityksen edustajana tilaisuuden alkukahvittelun jälkeen avannut johtaja (Long Products & Konsernin kestävä kehitys) **Kari Tuutti** totesi metallinjalostusteollisuuden elävän haasteellisia aikoja. Maailmankauppa vaivaavat terästullit asettavat erityisesti terästehtaat vaikeaan asemaan. Toinen suuri haaste on ilmastonmuutoksen torjunta ja Suomen asettama tavoite hiilineutraalisuudesta vuoteen 2035 mennessä. Hiilijalanjalan pienentäminen tarjoaa maaillemme sekä haasteita että mahdollisuuksia. Tutkimustoiminta ja innovaatiot ovat tässä avainasemassa.

Metallinjalostajat ry:n hallituksen puheenjohtaja, SSAB Europan toimitusjohtaja **Olavi Huhtala** muistutti, että metallinjalostusteollisuus tuottaa 12 % Suomen viennistä ja työllistää noin 15 300 henkilöä. Suomi ei

tule koskaan olemaan tuotannollisen toiminnan halpamaa, joten meidän on pärjättävä osaamisella. Tutkimus ja tuotekehitys ovat tässä äärimmäisen tärkeitä.

Apurahoja tutkimusryhmille, jatko-opintoihin, konferenssimatkoihin ja opiskelijoille

Tutkimusryhmille myönnettiin apurahoja seitsemän kappaletta yhteissummaltaan 184 500 euroa. Tutkimusaiheina olivat uusien teräslajien mikrorakenteen digitalisointi ja prosessisuunnittelu (prof. Junhe Lian, Aalto-yliopisto), metallien tuotantoprosessien päästöjen vähentäminen dynaamista sorptiota hyödyntävien funktionaalisten materiaalien avulla (prof. Erkki Levänen, Tampereen yliopisto), kuparisulatto- ja konverterikuonan kemian termodynaamisen mallinnuksen kehittäminen (prof. Daniel Lindberg, Aalto-yliopisto), Q&P-käsittelyyn liittyvät ilmiöt alumiiniseosteisissa hiiliteräksissä ja ferriittisissä ruostumattomissa teräksissä (prof. Pasi Peura, Tampereen yliopisto), akkumetallien talteenotto ja puhdistus ioninvaihdolla (prof. Tuomo Sainio, Lappeenranta-Lahden teknillinen yliopisto), uusi menetelmä vaahdotuskäyt-

täytymisen ennustamiseksi automatisoidun kontaktiaika-analyysin avulla (prof. Rodrigo Serna, Aalto-yliopisto) ja ainetta lisäävästi valmistettujen monimutkaisten teräskappaleiden jäännösjännitustilojen hallinta- karakterisointimenetelminä röntgendiffraktio ja elektronimikroskopia (prof. Minnamari Vippola, Tampereen yliopisto).

Jatko-opintoihin myönnettiin kuusi apurahaa yhteissummaltaan 121 000 euroa. Saajina olivat DI Lassi Klemettinen, Aalto-yliopisto (Elektroniikkaromun sulatusten termodynamiikka), DI Eemi Nieminen, Aalto-yliopisto (Sähkökemiallisesti tehostetut metallin uutto- ja pelkistysreaktiot neste-neste -rajapinnoilla), DI Jere Partinen, Aalto-yliopisto (Sähköautoteollisuudessa tarvittavien metallien talteenotto ja kiertäys), DI Henri Pauna, Oulun yliopisto (Reaaliaikainen kuonan koostumuksen määrittäminen ja plasmadiagnostiikka valokaariuuneille), DI Tommi Rinne, Aalto-yliopisto (Vaahdotusteknologia litiumioniakkujen metalli- ja elektrodimateriaalien kierrätyksessä) ja DI Tero Vuolio, Oulun yliopisto (Matemaattisia menetelmiä materiaali-tehokkaaseen ja joustavaan raakauraudan rikinpoistoon).

Matka-apurahoja konferenssimatkoihin sai kaikkiaan yhdeksän tutkijaa. Myönnettyjen apurahojen yhteissumma oli 20 000 euroa. Matkaan lähtijöiden joukossa oli myös Aalto-yliopiston emeritusprofessori Lauri Holappa, joka eläkkeelle jäätyäänkin jatkaa ansiokasta tieteellistä työskentelyään.

Opiskelija-apurahoja opintoihin kotimaassa sai kolme opiskelijaa, kukin 1 100 euroa. Vaihto-opintoihin ulkomailla myönnettiin 1 500 euron apuraha kuudelle opiskelijalle Saksassa, Australiassa, Singaporessa ja Kiinassa suoritettavia opintoja varten.

Tunnustuspalkinto opinnäytetyöstä

Vuoden 2019 tunnustuspalkinto, suuruudeltaan 3 000 euroa, myönnettiin erin-

Tommi Rinne esittelemässä apurahan saanutta väitöstyötään

omaisesti tehdystä väitöskirjasta filosofian tohtori Katja Väyryselle Helsingin yliopistosta. Väitöskirjan aihe oli ”Atomic Layer Deposition of Late First-Row Transition Metals: Precursors and Processes” ja sen ohjaajina olivat professorit Mikko Ritala ja Markku Leskelä.

Tutkimustöiden esittelyä

Apurahojen julkistamisen jälkeen kuultiin kolmen apurahan saajan tiivistetyt esitykset tutkimustöistään ja niiden taustoista, tutkimussuunnitelmista ja tämän hetkisestä vaiheesta.

3D-tulostettujen teräskappaleiden jäännösjännitykset

Esitykset aloitti tutkimusryhmäapurahan saaja professori Minnamari Vippola Tampereen yliopistosta. Vuoden 2020 alusta käynnistetty kolmivuotiseksi suunniteltu työ käsittelee lasersintrausprohjaista 3D-tulostusta käyttäen valmistettujen monimutkaisten teräskappaleiden jäännösjännitysten mitausta ja hallintaa sekä prosessiparametrien optimoinnin että kappaleiden jälkikäsitteilyjen avulla. Kerrokselliseen lasersintraukseen liittyy voimakkaita lämpötilagradientteja sekä suuria jäähtymisnopeuksia. Niiden indusoimat jäännösjännitykset voivat vaikuttaa sekä kappaleen mekaanisiin ominaisuuksiin että ruostumattomien terästen tapauksessa jännityskorroosiokäyttäytymiseen.

Työn tavoitteena on muodostaa ymmärrys jäännösjännitysten ja mikrorakenteen muodostumisesta kappaleen sintrauksen

aikana ja niiden käyttäytymisestä kappaleen jälkikäsitteilyssä. Tutkimusmenetelminä ovat sekä röntgendiffraktio, jolla mitataan kappaleen pinnan atomitasojen välistä etäisyyttä että optinen ja elektronimikroskopia. Jäännösjännitysten syvyysprofileja mitataan poistamalla kappaleen pinnasta materiaalia elektrolyyttisen kiillotuksen avulla röntgendiffraktiomittausten välillä. Aiheesta on aikaisemmin tehty diplomityö, jonka tulosten pohjalta on päätetty laajemman tutkimushankkeen käynnistämisestä.

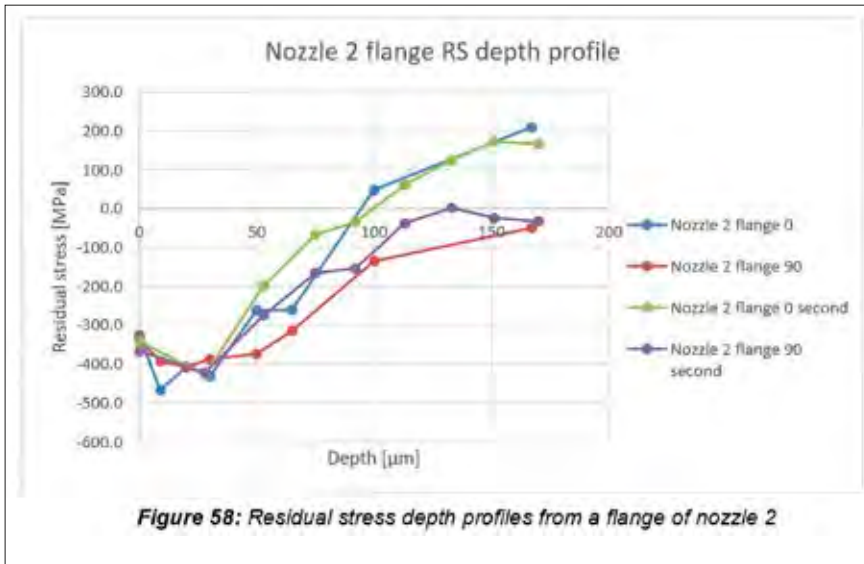
Vaahdotusteknologia akkumateriaalien kierrätyksessä

Tommi Rinne Aalto-yliopistosta totesi väitöstyötään käsittelevän esityksensä aluksi, että akkuteknologian kehittymisen myötä tärkeiksi metallimateriaaleiksi ovat nousseet litium, alumiini, kupari, mangaani, koboltti, nikkeli ja rauta. Esimerkiksi kobolttin, nikkelin ja mangaanin tarpeen odotetaan kasvavan sadoilla prosenteilla tulevana vuosikymmenenä ja sen myötä ko. metallien primäärituotannon päästöt kasvaisivat samalla aikajaksolla myös moninkertaisiksi. Siksi näiden metallien kierrätyksen tehostaminen on tarpeen. Tommi Rinne tutkii työssään yllä mainittujen metallien erottelemista kierrätetystä akkumateriaalista vaahdotuksen avulla tavoitteenaan teollisuusmittakaavan prosessin kehittäminen.

Lähtökohtana on kierrätettyjen litiumioniakkujen materiaaleista tuotettu akkumurske. Työn tavoitteena on saada tästä murskeesta erotelluiksi anodimateriaalina käytetty grafiitti ja katodimateriaaleina käytetyt metalliyhdisteet sekä akkurakentteeseen sisältyvät kupari ja alumiini erilleen. Vuonna 2019 aloitetun työn kestäessä on rakennettu tutkittavien materiaalien käsitteilyyn soveltuva turvallinen laboratorioympäristö. Akkumurskeesta on seulomalla erotettu partikkelikooltaan erilaisia jakeita ja analysoitu niiden koostumukset. Sekä seulasarjan alitteella (partikkelikoko alle 500 µm) että ylitteellä (partikkelikoko yli 500 µm) on suoritettu koevaahdotuksia ja määritetty niiden avulla saatavat tavoite- materiaalien saannot. >



Professori Lauri Holappa jatkaa tieteellistä työtään eläkkeelle jäätyäänkin.



Seulasarjan alitteen vaahdotuksessa havaittiin sekä anodi- että katodimateriaalien käyttäytyvän hydrofobisesti saantojen ollessa noin 80 %. Ylitteen vaahdotuksessa elektrodimateriaalien korkeat saannot onnistuttiin ylläpitämään. Tällöin esimerkiksi katodimateriaalien saannot ilman mekaanista esikäsitelyä olivat noin 65 %, ja mekaanisella esikäsitelyllä saannot nousivat 75-80 prosenttiin.

Seulaylitteen vaahdotuksella mekaanisen esikäsitelyn jälkeen saatiin aikaan hyödyllinen sivuvirta eli alumiini ja kupari saatiin pääosin erilleen varsinaisista anodi- ja katodimateriaaleista. Sekä seula-alite että mekaanisesti esikäsitellyn ylitejakeen vaahdotuksesta saatu elektrodimateriaalijae tarvitsevat pyrolyyttisen esikäsitelyn elektrodien sideaineena käytetyn orgaanisen aineksen poistamiseksi eli katodimateriaalin hydrofiilisyyden palauttamiseksi. Tämän esikäsitelyn jälkeisessä vaahdotuksessa

saadaan anodi- ja katodimateriaalit erilleen toisistaan. Vuoden 2020 aikana on tavoitteena optimoida pyrolyyttisen esikäsitelyn ja koevaahdotusten avulla esikäsitelyparametrit ja käynnistää esikäsitelyn ja vaahdotuksen jälkeisen prosessin kehitystyö.

Elektroniikkaromun sulatuksen termodynamiikkaa

Lassi Klemettinen tutkii väitöstyössään elektroniikkaromun sisältämien arvokkaiden hivenaineiden käyttäytymistä kuparinsulatusprosesseissa. Lopullisena tavoitteena on hivenaineiden talteenotto ja uusiokäyttö. Tutkimusta on tehty pääasiassa synteettisillä materiaaleilla ja viime aikoina hieman myös teollisilla jakeilla, kuten akkuromulla. Koemenetelmänä toimii lähtömaterialiseoksen sulattaminen kontrolloidussa lämpötilassa ja kaasuatmosfäärissä, jota seuraa nopea sammutus. Tällöin korkealämpötilarakenteet jähmettyvät ja muo-

Jäännösjännitysten syvyysjakauma 3D-tulostetun ruostumattoman teräskappaleen pinnassa

dostuneita faaseja päästään analysoimaan huoneenlämpötilassa. Näytteistä tutkitaan eri hivenaineiden pitoisuudet käyttäen analyttistä pyyhkäisyelektronimikroskopiaa (SEM-EDS), mikroanalysaattoria (EPMA) ja metallurgian alalla uutta laserablaatiopohjaista LA-ICP-MS -analysointimenetelmää, jolla hivenainepitoisuudet saadaan tarkasti analysoiduiksi ppb (part per billion) -tasolle asti.

Työn tuloksina Lassi Klemettinen esitelti mm. lantaanin liukoisuutta kupariseokseen ja platinan liukoisuutta alumiinipitoiseen kuparikuonaan eri hapen osapaineilla sekä nikkelin ja telluurin jakautumiskertoimia kuparin ja kuonan välillä hapen osapaineen funktiona. Jatkossa tehdään vielä yksi koesarja, jonka tavoitteena on selvittää hivenaineiden jakautumista Cu-Ni-seoksen ja rautasilikaattikuonan kesken spinelli- ja mulliittikaksoissaturaatioissa. Väitöskirjatyöskentelyn tuloksena on tähän mennessä alle kolmessa vuodessa syntynyt 19 vertaisarvioitua tieteellistä artikkelia, kuusi vertaisarvioitua konferenssijulkaisua ja neljä muuta tieteellistä julkaisua. Klemettinen on myös ohjannut neljä diplomityötä. Väitöstilaisuus on suunniteltu vuoden 2021 alkuun.

Lopuksi verkottumista tarjoilun kera

Tilaisuuden lopuksi vietettiin vielä viihtyisiä tovi runsaan tarjoilun, keskustelun ja verkottumisen parissa ennen paluuta tutkimustyön ja sen tulosten hyödyntämisen pariin. ▲

Tilaisuus päättyi tarjoilun kera tapahtuneeseen verkostoitumiseen.





Syysretkiläiset täyttivät Sotkamon hopeakaivoksen rikastamon valvomon.

Kaivos- ja louhintajaoston syysretki

TEKSTI: **MARI HALONEN**
KUVAT: **LEENA K. VANHATALO**

Kaivos- ja louhintajaosto järjesti perinteisen kotimaan syysretken 30.9.–1.10.2019. Tänä vuonna teemana oli kaivoksen elinkaari ja pääsimme tutustumaan toiminnan eri vaiheissa oleviin kaivoskohteisiin iloisessa Itä-Suomessa. Matkakohteina olivat toimintaansa aloittleva kaivos Sotkamo Silver, täydessä tuotannossa oleva Terrafamen kaivos sekä toimintaansa lopetteleva Pyhäsalmen kaivos. Näiden kaivoskohteiden lisäksi bonuskohteena oli Normet Oy:n Iisalmen tehdas.

Linja-auto nouti retkeilijät maanantaiaamuna Iisalmen hotelli Koljonvirran edestä, josta suunta oli kohti ensimmäistä kohdetta Pyhäsalmen kaivosta. Vastaanotto kaivoksella oli oikein lämmin ja varusteiden vaihduttua siirryimme kaivoshissillä kohti syvyyksiä. Pyhäsalmissä saimme isänniltämme hyvin kattavan katsauksen mm. kaivoksen lopetussuunnitelmiin ja mahdollisiin tuleviin toimintoihin alueella kaivoksen lopetettua toiminnan. Monelle retkeilijälle konkretisoituivat vierailun aikana kaivoslaki ja kaivoksen loppuun ajamisen monipuoliset haasteet. Vierailun



Pyhäsalmen kaivoksessa huoltotiloihin tutustumassa



Retkelle osallistujat yhteiskuvassa Terrafamen avolouhoksen partaalla.



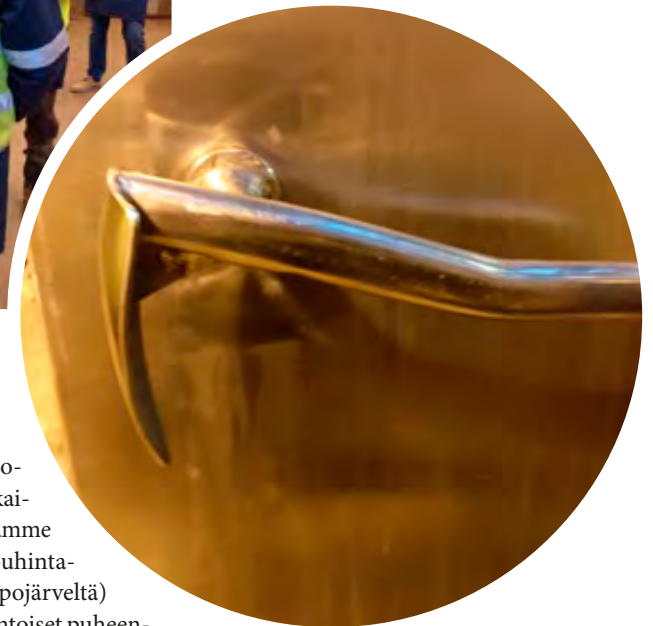
Hissikyntiä odottamassa Pyhäsalmen kaivoksella

päätteeksi nautimme mahtavan lounaan kaivoksen ruokalassa.

Seuraavaksi suuntasimme kohti Iisalmea ja Normetin tehdasta, jossa mielenkiintoisen tehdaskierroksen lisäksi kuuntelimme esityksen suhdanteiden vaikutuksista yrityksen toimintaan. Myös vastuullisuus oli nostettu hienosti esityksen teemaksi. Normetin vierailun jälkeen siirryimme majoituspaikkaamme Vuokatin Holiday Club Katinkultaan. Illan päätti yhteinen vuorimieshengessä nautittu illallinen, jonka aikana nostimme perinteisesti maljoja, pidimme puheita ja jopa muutama juomalaulukin raikui iloisin tunnelman saattelmana kabinetissa.

Tiistaina aamiaisen nautittuamme hyppäsimme jälleen bussiin ja suuntasimme kohti Sotkamo Silverin kaivosta, jossa

saimme kuulla uuden, tuotantoon käynnistävän kaivoksen kuulumisia. Isäntämme (sekä kaivokselta että louhinta-urakan urakoitsijalta Tapojärveltä) pitivät erittäin mielenkiintoiset puheenvuorot oman toimintansa erityispiirteistä. Vierailu huipentui rikastamokierrokselle, jonka aikana saimme erinomaisen käsityksen kaivoksen rikastamon toiminnasta. Lounaan nautimme Sotkamossa matkalla Terrafamen kaivokselle. Myös siellä isäntämme olivat panostaneet laadukkaisiin puheenvuoroihin, jotka tarjosivat mielenkiintoisia kuulumisia mm. kaivoksen työllisyys- ja taloudellisista vaikutuksista Kainuun ja Suomen talouteen sekä lähitulevaisuuden suunnitelmista (mm. akkukeemikaalitehtaan etenemisestä). ▲



Retka = ruokalan ovenkahva Pyhäsalmen kaivoksessa

Teknologioiden arvottamismenetelmä mahdollistaa hyötyarvioinnin jo tuotteen konseptointivaiheessa

Tampereen yliopiston teollisuuden tohtorikoulussa (DSII) yhdessä Sandvik Mining and Construction Oy:n kanssa kehitetty Technology Value Mapping (TVM) -menetelmä mahdollistaa uusien teknologioiden kustannustehokkaan ja aiempaa luotettavamman arvottamisen jo konseptointivaiheessa. TVM-menetelmä on teollisuudessa kehitetty käytännön työkalu teknologiajohtamisen ja hyötyjen arvioinnin avuksi. Sandvik panostaa vahvasti uusien teknologioiden tutkimukseen ja käyttöönottoon, minkä vuoksi jatkuvalla teknologioiden arvioinnille ja arvottamiselle on tarvetta.

Diplomi-insinööri Janne Mämmelän väitöskirjatutkimuksen tavoitteena oli kehittää uusi teknologioiden arvottamismenetelmä valmistavan teollisuuden tarpeisiin. Päämääränä oli parantaa teknologian arvottamisen luotettavuutta ja kustannustehokkuutta. Työn uutuusarvo on poikkitieteellisessä lähestymistavassa, jossa suunnittelutieteen teorioita yhdistetään teknologian arvottamisen tutkimukseen. Tällä poikkitieteellisellä lähestymistavalla voidaan tapaustutkimusten mukaan parantaa organisaation oppimista ja kommunikaatiota teknologiapäätöksiä tehtäessä. Työn ohjaajina toimivat Sandvikin puolelta Pasi Julkunen ja prof. Tero Juuti Tampereen yliopistosta.

Menetelmä keskittyy hiljaisen, kokemusperäisen tiedon keräämiseen ja mallintamiseen, mikä parantaa arvioinnin tukena käytetyn tiedon luotettavuutta. Teknologian vaikutusten ymmärtämiseen käytetään tuotteen ominaisuuksia ja käyttäytymistä sekä näiden välisiä kytköksiä, dispositioita, liiketoimintaympäristössä. Lopputuloksena syntyi kuusivaiheinen Technology Value Mapping (TVM) -menetelmä, joka sisältää seuraavat vaiheet:

1. Alustavat tavoitteet ja rajaukset teknologian arvioimiseen
2. Tavoitteet liiketoimintaympäristöstä
3. Hiljaisen, kokemusperäisen tiedon kerääminen ja mallintaminen
4. Teknologian teknisen potentiaalın arviointi

5. Teknologian liiketoimintavaikutusten arviointi

6. Teknologian arvon kommunikointi

TVM-menetelmää testattiin ja kehitettiin Sandvik Mining and Construction Oy:n Tampereen tehtaalla kolmessa osatutkimuksessa, joissa arvioitiin:

- metallien 3D-tulostuksen hyötyjä kallioporakoneissa,
- porauspuomiston painon vaikutuksia koko laitteen suorituskyvyn kannalta sekä
- eri nivelratkaisujen hyötyjä pultituslaitteen puomistossa.

Ensimmäisessä tapaustutkimuksessa arvioitava teknologia oli metallituotteiden ainetta lisäävä valmistus, tutummin 3D-tulostus, ja erityisesti pinnoitus kallioporakoneiden suorituskyvyn lisääjänä. Arvioinnissa keskityttiin uuden teknologian potentiaaliin lisätä porakoneen porausnopeutta ja pidentää huoltoväliä. Tutkimuksessa havaittiin, että erityisesti huoltovälin pidentämisessä menetelmällä on potentiaalia tiivistepintojen parantamisessa, mutta nykytasolla metallituotteiden ainetta lisäävän valmistuksen menetelmät ovat vielä liian heikkolaatuisia tarkkuusvalmistusta vaativaan suunnittelukohteeseen sovellettaviksi. Lisäävä valmistus muistuttaa käytännön toimenpiteenä hitausta, jolloin muodostuvaan materiaaliin jää lähes aina epäjatkuvuuskohtia, mitkä puolestaan toimivat alkusäröinä kappaleiden hajoisissa.

Toisessa tapaustutkimuksessa tutkittiin tunneliporauslaitteen puomiston kevytrakkenneratkaisujen vaikutusta erityisesti poralaitteen käyttäjän liiketoiminnan parantamisessa. Tutkittavana teknologiana oli Tampereella kehitetty aiempaa keveämpi syöttöpalkki. Pääkysymyksenä oli selvittää, kuinka paljon painoa tulisi vähentää puomistosta, jotta koko laitteen suorituskykyä voitaisiin parantaa tai olisi mahdollista käyttää muualla laitteessa pienempiä komponentteja. Tutkimuksen tuloksena saatiin selville suunnittelun tueksi tiettyjä painoluokkia, joiden kautta on mahdollista päästä asetettuihin tavoitteisiin. Varsinaisten teknisten ratkaisujen kehittäminen jatkuu edelleen.

Kolmannessa tapaustutkimuksessa kohteena oli uusien nivelratkaisukonsep-

tien arviointi pultituslaitteen puomistossa. Tämän osatutkimuksen tavoitteena oli arvioida, mikä uusista konsepteista tarjoaisi kokonaissuorituskyvyn kannalta parhaan ratkaisun. Arviointikriteereinä olivat esimerkiksi asiakasominaisuuksina ulottuvuus ja käytettävyys sekä Sandvikin kannalta tietysti valmistettavuus ja valmistuskulut. Arvioiduista konsepteista löytyi selkeä voittaja sekä asiakkaan että Sandvikin kannalta.

- Kuten tehdyt tapaustutkimukset osoittavat, niin menetelmä mahdollistaa teknologian hyötyjen arvioinnin niin kohdeyrityksen, asiakkaan kuin alihankintaverkostonkin kannalta, Mämmelä toteaa.

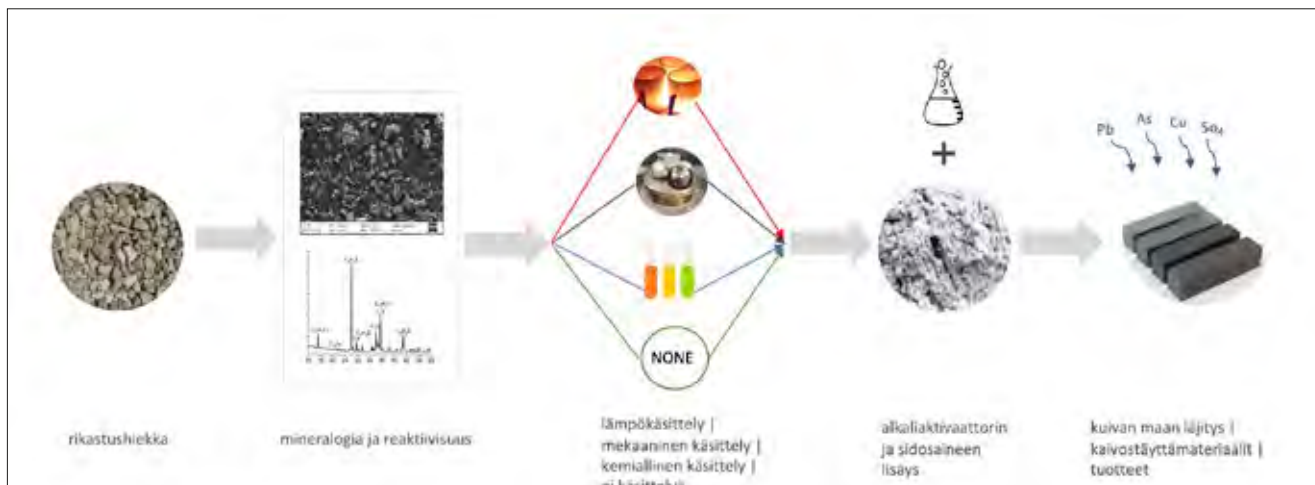
Teknologioiden arviointi TVM-menetelmässä perustuu suurelta osin workshoppeissa kerättyyn ja mallinnettuun hiljaiseen tietoon tuotteesta ja liiketoimintaympäristöstä. Tuoteymmärryksen mallintamisella saavutettiin parempi yhteinen näkemys tuotteen ja teknologian arvontuotosta. TVM -menetelmä parantaa teknologian arvottamisen luotettavuutta sekä kustannustehokkuutta. ▲



Janne Mämmelä

Syntynyt 1989, Pulkila
Diplomi-insinööri (koneensuunnittelu, auto- ja työkonetekniikka) 2014, Oulun yliopisto
Tekniikan tohtori 2020, Tampereen yliopisto

Kaivosjätteiden varastointiin ympäristöystävällisempi menetelmä



Kaivosteollisuus on yksi suurimmista ja samalla merkittävimmistä teollisuuden aloista maailmassamme. Kasvava maapallon väkimäärä kasvat-
taa raaka-aineiden kysyntää, mikä on väistämättä johtanut ja johtaa tulevaisuudessa kaivosteollisuuden lisääntyneeseen tarpeeseen yhteiskunnassamme. Samalla kun kaivosteollisuus tuottaa arvokkaita metalleja ja mineraaleja yhteiskuntamme tarpeisiin, syntyy runsaasti erilaisia sivuvirtoja kuten jätevetä, sivukiveä ja rikastushiekkaa. Suurin yksittäinen kaivosteollisuuden synnyttämä jätejake on hienojakoinen rikastushiekka, jota muodostuu, kun arvoaines erotetaan maaperästä louhitusta kiviaineksesta erillään erilaisin prosessivaiheihin. Globaali rikastushiekan kokonaistuotanto vuosittain on arviolta yli 7 miljardia tonnia. Koska rikastushiekoille ei ole tällä hetkellä olemassa taloudellista arvoa, ne jäävät pääasiassa hyödyntämättä ja suurin osa syntyvistä rikastushiekoista varastoidaan niille varatuille läjitysalueille kaivosten läheisyyteen, tyypillisesti rikastushiekka-altaisiin veden alle. Kaivosteollisuuden kasvun myötä myös ympäristötietoisuus on lisääntynyt. Yksi tärkeimmistä ympäristöä suojelevista toiminnoista on huolehtia rikastushiekkojen turvallisesta varastoinnista kaivoksen toiminnan aikana ja vielä pitkään kaivoksen toiminnan jälkeen.

Rikastushiekan ominaisuudet riippuvat mm. siitä, missä päin maailmaa kiviainesta louhitaan eli millainen on kiviaineksen mineralogia. Useimmat arvokkaat metallit ovat sitoutuneena maaperässä sulfidi- eli rikkipitoisiin mineraaleihin. Sulfidien lisäksi rikastushiekat voivat sisältää runsaasti erilaisia raskasmetalleja. Kun sulfidim mineraali louhitaan maaperästä maanpinnalle, se hapettuu ja muodostaa happoa ollessaan kosketuksissa hapen ja veden kanssa. Hapon muodostumisen seurauksena on ympäristön pH-arvon lasku. Kun ympäröivän veden pH laskee, rikastushiekan sisältämät raskasmetallit liukenevat veteen ja voivat kulkeutua ympäristöön. Tällöin puhutaan happamista kaivosvesistä, jotka voivat aiheuttaa vakavia ympäristöongelmia ilman tarkkaa kontrollia kaivosalueilla. Hapettumista voi muodostua joko lyhyellä tai pitkällä aikavälillä, joten ongelmia voi syntyä sekä kaivoksen toiminnan aikana että pitkään kaivoksen sulkemisen jälkeenkin.

Koska rikastushiekoja syntyy maailmassa runsaasti, ja syntyvien hiekkojen varastointi on haastavaa, rikastushiekkojen varastoimisen kehittäminen kiinnostaa tutkijoita ja teollisuuden edustajia ympäri maailman. Lisäksi erilaisia rikastushiekoille soveltuvia kierrätys- ja hyödyntämismenetelmiä tutkitaan parhaillaan kiivaasti. Osa kaivoksilla syntyvistä rikastushiekoista hyödynnetään jo kaivostäytössä. Kaivostäytös-

sä rikastushiekka sekoitetaan sidosaineen ja veden kanssa ja muodostunut massa pumpataan kaivokseen täytteeksi. Tällä hetkellä sementti on yleisin kaivostäytössä käytetty sideaine, mikä ei ole ympäristönäkökulmasta kestävä vaihtoehto, koska sementin valmistus aiheuttaa runsaasti hiilidioksidipäästöjä ilmastoon. Myös mahdollinen sulfidimineraalien aiheuttama hapon muodostuminen voi aiheuttaa ongelmia sementtimateriaalin pitkäaikaiskestävyydelle ajan myötä, jonka vuoksi vaihtoehtoisia sementtiä korvaavia sideaineita kuten metalliteollisuuden kuonia on tutkittu ja tutkitaan kaivostäytössä.

Oulun yliopiston Kuitu- ja Partikkeli-tekniikan tutkimusyksikössä tutkitaan erilaisia rikastushiekkojen hyödyntämismenetelmiä. Marraskuussa 2019 valmistuneessa väitöskirjassa ”Sulfidisten rikastushiekkojen stabilointi erilaisin menetelmin. Raskasmetallien ja sulfaattien sitoutuminen” käsitellään erilaisia menetelmiä, joilla haitalliseksi luokiteltua sulfidi- ja raskasmetallipitoista rikastushiekkaa voidaan käyttää materiaalina ekobetonissa. Kyseinen rikastushiekka sisältää sekä rikkiä että raskasmetalleja kuten kuparia, nikkeliä ja arseenia. Varastoinnin kannalta haastavin komponentti on arseeni, koska se voi olla hyvin liukoinen erilaisissa ympäristöolosuhteissa johtuen arseenin kemiallisista ominaisuuksista, jolloin sen sitominen kiinteään kappaleeseen

on haastavaa. Arseenin lisäksi liukoisten sulfaattien määrä on kyseisessä hiekassa korkea ja vaatii omalta osaltaan sopivat olosuhteet niiden sitoutumiseksi materiaaliin.

Tutkimus osoittaa, että sekoittamalla kyseistä rikastushiekkaa sopivan sidosaineen ja nesteen kanssa muodostuu lujittunut kappale, joka sitoo samalla ympäristölle haitallisia raskasmetalleja ja sulfideja rakenteeseensa. Muodostuneen materiaalin lujuutta voi säädellä muuttamalla sideaineen ja rikastushiekan pitoisuussuhdetta. Sidosaineeksi soveltuvat erilaiset sementtiä korvaavat materiaalit kuten metalliteollisuuden kuonat. Materiaali soveltuisi lujuuden puolesta mm. kaivostyön raaka-aineeksi tai edelleen hyödynnettäväksi kaivosympäristössä rakennusmateriaalina. Menetelmää edelleen kehittämällä rikastushiekkoja voisi varastoida tulevaisuudessa yhä turvallisemmin ja varastointi voisi tapahtua esimerkiksi kuivalle maalle.

Tutkimus kokoa yhteen erilaisten sidosmenetelmien etuja ja haasteita erilaisten komponenttien sitomisessa, jolloin tuloksia voidaan käyttää hyvin erityyppisten rikastushiekkojen varastoinnin/hyödyntämisen kehittämisen taustalla. Sopivaa menetelmää kehitettäessä tulee aluksi tutkia lähtöaineen eli rikastushiekan ominaisuudet. On tutkittava, mitä alkuaineita ja mineraaleja rikastushiekka sisältää ja selvitettävä, mitä lisäaineita tarvitaan, joilla saadaan aikaan hyvä seos ja löydetään sopiva kemiallinen ympäristö, jotta valmistettu materiaali on riittävän luja ja ympäristölle kelvollinen. Tulevissa tutkimuksissa testataan erilaisia sideaineita riippuen siitä, missä päin maailmaa rikastushiekka syntyy ja mitä sideaineita alueella on siten mahdollista hyödyntää. Näin menetelmää voidaan soveltaa globaalisti kullekin syntyvälle rikastushiekalle sopivaksi. ▲



Kirjoittaja: TkT Jenni Kiventerä

Väitöskirja: "Stabilization of sulphidic mine tailings by different treatment methods. Heavy metals and sulphate immobilization."

jenni.kiventera@oulu.fi, p. 050 5771633,

Väitöskirjan osoite:

<http://urn.fi/urn:isbn:9789526223964>



**PAIKALLINEN TOIMIJA
VAHVASTI LAPISTA**

WWW.TAPOJARVI.COM

**KIERTOTALOUDEN
EDELLÄKÄVIJÄ**



TAPOJÄRVI

Veikko Lindroos

in memoriam

Emeritusprofessori **Veikko Lindroos** (7.10.1938–27.11.2019) menehtyi marraskuun lopulla vaikean sairauden uuvuttamana. Hän oli Teknillisen korkeakoulun pitkäaikainen metalli- ja materiaaliopin professori.

Veikko Lindroos nimitettiin apulaisprofessorin virkaan vuonna 1970 ja professorin virkaan vuonna 1974. Eläkkeelle hän jäi vuonna 2003. Aloittaessaan professorina Lindroos oli vasta 31-vuotias, kun tuolloin professorien keskimääräinen nimitysikä Suomessa oli 47 vuotta. Virassa hän seurasi maineikasta professori Heikki Miekk-ojaa, joka oli luonut perustan metalliopin opetukselle ja tutkimukselle Suomessa.

Veikko Lindroosin aikana tutkimukseen perustuva opetus jatkui Miekk-ojan viitoittamalla tiellä ja oli tärkeässä asemassa metalli- ja materiaaliopin laboratoriossa. Valmistuvista opiskelijoista jopa 10–20 prosenttia jatkoi tutkimuksen parissa tavoitteenaan jatkotutkiminto.

Lindroosin poikkeuksellisen pitkän professoriuran aikana laboratorion painopisteessä tapahtui vähitellen muutos, kun perinteisen metalliopin rinnalle tulivat elektroniikan materiaalit ja erityisesti piiteknologia.

Piiteknologian uranuurtaja

Veikko Lindroos oli vakuuttunut piiteknologian tulevaisuudesta ja siitä, että materiaalia on mahdollista valmistaa myös Suomessa. Innostuksen tähän hän sai vierailullaan kansainvälisessä piiteknologian konferenssissa 1970-luvun alussa. Tutkimusalue oli hänelle tuttu, sillä hän oli tehnyt jo vuonna 1965 diplomityön erilliskiteiden kasvatuksesta.

Vuonna 1973 Lindroos teki kauppa- ja teollisuusministeriöön esityksen puolijohdemetallurgisen tuotannon aloittamisesta Suomessa. Aluksi tutkimustyötä tehtiin korkeakoulun varoin. Monien vaiheiden jälkeen hanke sai KTM:n tutkimusrahoitusta. TTK:n laboratorioon rakennettiin pilot-tuotantolinja ja tuotteita koemarkkinoitiin onnistuneesti. Tämän jälkeen teknologia

siirrettiin Outokumpu-konserniin, vuonna 1985 perustettuun Okmeticiin, jossa tuotanto käynnistyi vuonna 1987.

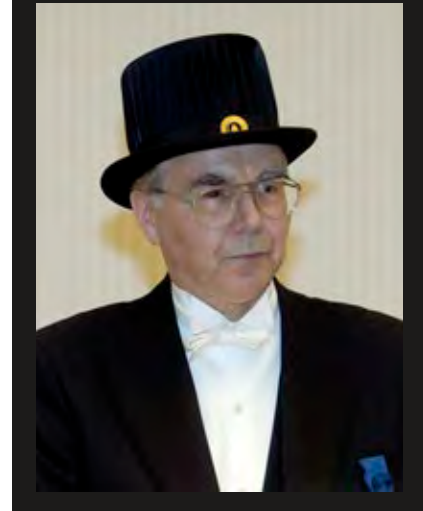
Piiteknologian lisäksi professori Lindroos vei innostuneesti ideoita kaupalliseen käyttöön muillakin sovellusaloilla. Näistä mainittakoon röntgendiffraktioon perustuvan kannettavan jännitysmittauslaitteiston kehittäminen, jota hän teki omistamassaan Mexpert Oy:ssä. Myöhemmin teknologia myytiin Stresstech Oy:lle, joka on sittemmin vienyt teknologian globaaleille markkinoille.

Fysikaalisen metallurgian alalla TTK:n laboratorio osallistui Lindroosin johdolla muun muassa uusien voimakkaiden jauhemetallurgisten NdFeB-kestomagneettien kehittämiseen yhdessä Outokumpu Oy:n ja tarkoitukseen perustetun Neorem Magnets Oy:n kanssa. Onnistuneen kehitystyön tuloksena syntyi yksi Euroopan johtavista neodyymimagneettiyrityksistä. Nykyään supervahvoja neomagneetteja käytetään muun muassa tehokkaissa sähköautojen ja hissien moottoreissa sekä tuulivoimaloiden generaattoreissa.

Veikko Lindroos jäi eläkkeelle vuonna 2003. Hän totesi jäähyväispuheessaan, että materiaaliteknikan tutkimushankkeiden aikajänne perustutkimuksesta soveltamiseen ja eri vaiheiden kautta tuotannolliseen toimintaan on niin pitkä, että vain mittavalla yhtäjaksoisella professorin kaudella on mahdollisuus yrittää ja onnistuessaan toteuttaa suuria tutkimuskokonaisuuksia. Omalla esimerkillään hän näytti tämän olevan hyvinkin mahdollista.

Perintö jatkuu vahvana

Professori Lindroosin aikana metalli- ja materiaalitieteen laboratorion väitteli 19 jatko-opiskelijaa tohtoriksi. Lisäksi valmistui useampi sata diplomi-insinööriä. Julkaisuja Lindroosilla on yhteensä noin 250, joista yli sata on vertaisarvioitu. Emerituskaudella julkaisuja syntyi vielä kymmenkunta, sillä Lindroos osallistui aktiivisesti kirjoitusprojekteihin. Hän toimi muun muassa pääeditorina Handbook of Silicon



based MEMS Materials and Technologies -julkaisussa, josta tuli menestys. Toinen, uudistettu painos kirjasta otettiin vuonna 2015, ja kolmas laajennettu painos ilmestyy postuumisti 2020.

Professori Lindroosin aktiiviuran päättyessä laboratorioon nimitettiin materiaalitieteen professuuriin Ari Lehto alueenaan elektroniikan materiaalit. Lindroosin viran jatkajana aloitti professori Simo-Pekka Hannula, tutkimusalueenaan materiaalien mikrorakenne ja ominaisuudet. Sittemmin laboratorion professorijoukko täydentyi vielä kahdella: Jari Koskisen tutkimusala ovat materiaalien rajapintojen fysikaaliset ominaisuudet ja Roman Nowak keskittyy materiaalien mikromekaanisiin ominaisuuksiin. Professori Ari Lehdon jäätyä eläkkeelle elektroniikan materiaaleihin keskittyvään virkaan valittiin professori Sami Franssila.

Kun tarkastellaan näiden professorien nykyistä kotia Aalto-yliopistossa, on hämmästyttävää todeta, että he muodostavat nyt – yli viisitoista vuotta myöhemmin – lähes kokonaan nykyisen kemian ja materiaalitieteen laitoksen materiaalitieteen professorikunnan. Professori Lindroosin tutkimusperintöä on siis edelleen viemässä eteenpäin lukuisa joukko professoreita ja puolen laitoksen laajuinen tutkijajoukko.

Emeritusprofessori Lindroos säilytti läheiset yhteydet entisiin työtovereihin ja toimi aktiivisesti muun muassa Teknillisten tieteiden akatemiassa, jonka jäseneksi hänet oli nimitetty vuonna 1976.

Vuorimies-Veikko

Veikko Lindroos toimi 30 vuoden ajan Metallikerhon oltermannina 1973-2003. Metallikerhon piirissä hän tapasi silloisia ja entisiä oppilaitaan myös vapaa-ajalla, mikä vahvisti kerhon jäsenten yhteenkuuluvuutta ja verkostoa merkittävästi. Kerhon toimintaan osallistuivat kattavasti kaikki alaa opiskelevat teekkarit ja jatko-opiskelijat sekä monet jo teollisuuden palvelukseen siirtyneet alan vaikuttajat.

Veikko Lindroos oli aktiivisesti mukana myös Vuorimiesyhdistyksen toiminnassa. Hän oli Materia-lehden toimitusneuvoston jäsen 2000-luvun alkupuolelta sairastumiseensa asti. Hän järjesti paljon hyviä kirjoituksia lehteen ja kokosi lehteen oman erikoisalueensa teemanumeroita. Vuorimiespäiville Lindroos osallistui aina, kun suinkin mahdollista. Hän sai huomion osoituksena ansiokkaasta toiminnastaan vuoriteollisuudessa ja siihen liittyvän tutkimuksen alalla hopeisen Eero Mäkinen ansiomitalin Vuorimiespäivillä 2013.

Rakkaudesta höyrylaivoihin

Veikko Lindroos kertoi, kuinka hän pikkupoikana toisten samankokoisten kanssa juoksi kiireesti rantaan kuuluttuaan höyrylaivan vihellyksen. Pojat tekivät kokemusperäistä tutkimusta siitä, mikä laiva tekee korkeimmat aallot ilman kuormaa ajaes-



saan. Hän muisteli, että Enso-laiva pärjäsi hyvin tässä kilpailussa. Sen peräaalloissa oli upeaa uida. Veikolle höyrylaiva Enso tuli myöhemmin rakkaaksi harrastukseksi. Veikon kollega Seppo Yläsaari kutsui Veikon vieraakseen omalle höyrylaivalleen vuonna 1969. Seppo kertoi Gutzeitin luopuvan höyryhinaajistaan. Myös komea höyryhinaaja Enso oli kaupan, mutta sen höyrykattilan tuliputkien vaihto oli jätetty kesken. Veikko osti laivan sillä ehdolla, että Enson miehet asentavat kattilaan uudet tuubit ja katsastavat laivan sen jälkeen. Veikko ajoi vain muutaman matkan höyryllä ja asennutti sitten Ensoon dieselkoneen, jotta hänen

oli helpompi käyttää sitä. Höyrytekniikkaa ei kuitenkaan purettu laivasta, vaikka se dieselöitiin.

Eläkkeellä ollessaan Lindroos talkooryhmineen toteutti pitkäaikaisen haaveensa ja palautti laivan höyryllä käyväksi vuonna 2008. Kesäisin hänen ohjelmaansa kuului seilaaminen Saimaan kauniilla vesillä ja usein myös osallistuminen höyrylaivaregataan. TKK:n laboratorion henkilöstö saattoi useasti nauttia näistä retkistä, jotka alkoivat Veikon ja hänen vaimonsa Eevan mökiltä Ristiinasta ja veivät usein Astuvansalmen kalliomaalauksille, joita pääsi parhaiten ihailemaan vesiltä käsin.

Muistamme Veikko Lindroosia lämpimästi niin kollegana kuin ystävänä.

Simo-Pekka Hannula, Markku Tilli ja Ari Juva

Kirjoittajat ovat Veikko Lindroosin entisiä oppilaita.

Simo-Pekka Hannula on materiaalitieteen professori Aalto-yliopistossa.

Markku Tilli on Okmetic Oy:n eläkkeelle jäänyt tutkimusjohtaja.

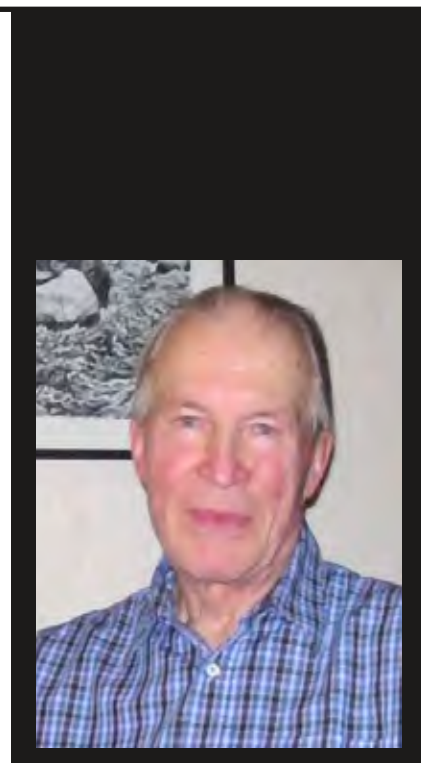
Ari Juva on jakanut Veikon kanssa höyrylaivavarustajan ilot ja murheet.

Eero Erkkilä

Maanviljelijän pojasta Outokumpu Oy:n kaivosteollisuuden toimialajohtajaksi

Kunnioitettu kaivoksenjohtaja Eero Ensio Erkkilä nukkui pois Kuopiossa 7.1.2020 lähes 90-vuotiaana. Hän syntyi 27.07.1930 Kiuruveden syrjäkylällä, jonne perheen isä oli vuonna 1923 muuttanut kunnan maatilalan hoitajaksi. Erkkilät olivat maanviljelijäsukua Oriveden Erjärveltä, mutta koska kaikille neljälle pojalle ei riittänyt maata kotitalalta, muutti Eeron isä Kiuruveden kunnalliskodin maatilalan hoitajaksi lähes 30 kilometrin päähän Kiuruveden keskustasta.

Eero aloitti Ruutanen supistetun kansakoulun alaikäisenä ja suoritti kaksi luokkaa ensimmäisenä vuonna. Alle 12-vuotiaana, vuonna 1942 hän sai kansakoulun päästötodistuksen. Vanhemmat suunnittelivat pojan koulutusta Kiuruveden keskikoulussa, mutta vanhemmille selvisi, että Raudaskylän keskikoulu voitiin suorittaa kolmessa vuodessa ja sodan aiheuttaman oppilaiden vähyyden vuoksi poika pääsisi ensimmäisenä vuosina asumaan kansanopiston asunto-



laan. Vanhempien päätöksen mukaisesti ja äidin viemänä Eero aloittikin keskikoulun Raudaskylässä 1942 opettajien tiukassa valvonnassa. Opettajien kehotuksesta, vaikka se ei kuulunut vanhempien suunnitelmaan, opinnot jatkuivat Raudaskylän lukiossa. Hän pääsi vuonna 1948 ylioppilaaksi. Koska luokalla oli 10 tyttöä ja 10 poikaa, Eero esitti ja sai luvan rehtorilta, että he voisivat marsia päätöstilaisuuteen kavaljeerimarssina eli poika ja tyttö vierekkäin. Sitä pidettiin silloin Raudaskylässä ennenkuulumattomana tekona.

Tuleva opiskelu-ura oli pitkään hämärän peitossa. Vaikkei hänellä ollut minkäänlaista käytännön kokemusta yhdestäkään kaivospaikkakunnasta, puhumattakaan itse kaivostyöstä, häntä kiinnostivat kaivosteollisuus ja ehkä myös komealta kalskahtava vuori-insinöörin titteli. Hänet hyväksyttiin Teknillisen Korkeakoulun karsintakursseille, mutta lähtöpäivänä saapuikin kirje, jossa ilmoitettiin, että hänet oli jo hyväksytty opiskelemaan. Opintosuunnalle otettiin 45 opiskelijaa ja vain viisi pääsi opiskelemaan suoraan ilman karsintakursseja.

Nuori teekkari löysi alivuokralaisasunnon Taka-Töölöstä Kuusitie 3:sta. Kolmen vuoden kuluttua hän pääsi muuttamaan Otaniemen Teekkarikylään, jossa taloja ei ollut vielä lämmitetty eikä vessoja ollut kuin yksi asuntotornia kohti. Kaikki nämä vaikeudet haihtuivat aktiiviseen teekkarihenkeen, sillä tavoitteena oli valmistua mahdollisimman nopeasti.

Ensimmäinen harjoittelupaikka löytyi 1949 Jyväskylältä Schaumanin vaneritehtaalta. Siellä hän pääsi perehtymään ensimmäistä kertaa teollisuuslaitoksen korjaus- ja uusien laitteiden asennustöihin. Vuonna 1950 harjoittelupaikkana oli Paakkilan asbestikaivoksen korjaamo. Kolmantena harjoittelukesänä hän pääsi Outokummun Mökkivaaran kaivoksella oikeisiin kaivostöihin. Erilaiset peruskaivostyöt, poraus, panostus, kivien siirto raappaamalla ja erilaiset tunnelien tukemistyöt tulivat käytännössä nuorelle teekkarille tutuiksi.

Vuonna 1952 aktiivinen rikastustekniikan professori Risto Hukki houkutteli ahkeran oppilaansa diplomityön tekoon rikastustekniikasta. Koska tutkimusaiheen tulokset ”Kokeellisessa tutkimuksessa vaahdotuksen reaktiokinetiikassa” eivät vastanneet odotuksia, hän joutui viemään työn loppuun ilman yksityiskohtaista professorin seuranta.

Valmistuttuaan Eero suuntasi, kolmen vuoden lykkäyksen jälkeen, valmiina diplomi-insinöörinä varusmiespalveluun Ouluun 1. Prikaatin jalkaväkikomppaniaan. RUK:n hyvin suoritettu palvelusaika poiki toisen jakson ns.santsarina eli seuraavan saapumiserän oppilaiden apukouluttajana.

Vakituisen työpaikan löytyminen olikin sitten vaikeampaa, vaikka RUK:ssa ollessa häntä oli pyydetty Vihannin kaivokselle, jossa hän oli upseerikokelaana vierailut. Monien yhteensattumien jälkeen Eero aloitti vuonna 1954 kaivosuransa Outokummun kaivoksella tutkimusinsinöörinä. Se oli alku Outokumpu-yhtiön pitkälle koulutusjaksolle, jossa kyvykkäitä insinöörejä koulutettiin eri tehtäviin yhtiön kaivoksilla. Seuraava kohde oli vuodesta 1955 Aijalan kaivos, jossa toimenkuvaan kuuluivat tutkimusinsinöörin tehtävien lisäksi turvallisuusasiat. Vihantiin hän siirtyi perheineen 1957, missä hänen koulutuksensa jatkui liittyen tutkimus-, turvallisuus-, suunnittelu- ja projekti-insinöörin tehtäviin.

Kolmekymmentäviisivuotiaana hänestä tuli 1965 Pyhäsalmen kaivoksen kaivososaston päällikkö. Siellä ura jatkui apulaiskaivoksenjohtajana ja lopulta kaivoksen johtajana. Vuonna 1982 tuli muutto Outokumpuun, kun hänet nimitettiin Outokummun kaivoksen paikallisjohtajaksi ja myöhemmin 1983 Outokumpu Oy:n kaivosteollisuuden toimialajohtajaksi. Palveltuaan Outokumpu Oy:ssä 33 vuotta Eero Erkkilä jäi täysin palvelleena eläkkeelle vuonna 1987.

Uransa aikana hän oli mukana Outokummun, Aijalan, Metsämöntun, Vihannin, Hituran, Pyhäsalmen, Keretin, Vuonoksen, Hammaslahden, Enonkosken ja vuodesta 1983 lähtien kaikkien Outokumpu Oy:n kaivosten kehittämisessä. Eläkkeelle jäätyään antamassaan haastattelussa hän oli onnellinen siitä, että oli saanut asua ja tehdä töitä eri paikkakunnilla ja olla mukana erityyppisissä kaivoksissa ja tavata hienoja kaivosihmisiä. Lisäksi hän oli mukana muuttamassa kaivostyötä miesvaltaisesta fyysisestä työstä korkean teknologian koneyöksi, mikä edellytti verkostoitumista nousevan kaivoskoneteollisuuden kanssa.

Vastuullista kaivostyötä kevensivät Eeron rakkaat harrastukset: kalastus, jo opiskeluaikana syttynyt intohimo Lapin retkeilyyn, vapaaehtoinen maanpuolustustyö ja kunnalliset sekä maakunnalliset luottamustehtävät. Eero oli Vuorimiesyh-

distyksen jäsen vuodesta 1954 ja toimi sen hallituksessa vuosina 1977-79.

Pitkäaikainen aviopuoliso Aune, os. Kejonen löytyi ensimmäisestä työpaikasta Outokummusta. Yksi kolmesta lapsesta sai elantonsa vuoriteollisuuden parissa. Ehkä edellisten sukupolvien kokemukset ovat viitoittaneet jo kolmannen sukupolven Erkkilän uraa vuoriteollisuuteen.

Eero oli myös erittäin taitava käsistään. Hän rakensi mm. työuransa alkuvuosina kanootin ja perheen huonekaluja, jotka kulkivat mukana läpi vuosikymmenten. Eläkevuosinaan hän perehtyi savolaismallisten puuveneiden tekoon ja rakensi niitä kymmenen kappaletta valikoiduille ystävilleen. Veneiden ohella Eero teki myös vaappuja vetouisteluun ja harrasti korukivien hiontaa. Niistä tehtyjä koruja on jaettu laajasti ystäväpiirille.

Eero Erkkilä oli suoraselkäisen suomalaisen miehen perikuva, joka vaati enemmän itseltään kuin muilta. Hän eli itse niin kuin toivoi muidenkin elävän. Hän oli sotilasarvoltaan insinööriluutnantti ja hänelle on myönnetty Suomen Valkoisen Ruusun ritarikunnan 1. luokan ritarimerkki ja Suomen Reserviupseeriliiton kultainen ansiomerkki. ▲

Kirjoittajat ovat Eero Erkkilän pitkäaikainen ystävä ja ammattivelji vuori-insinööri Arto Hakola sekä Eeron poika diplomi-insinööri Pekka Erkkilä

PoDoCo-tohtorit tukevat yritysten uudistumista

Kevään hakukierros on avoinna 15.4. asti.

TEKSTI: KAISA KAUKOVIRTA

Jo yli 150 tohtorille on myönnetty yritysten uudistamiseen tähtäävä apuraha PoDoCo-ohjelmasta.

”Erityisesti pienet ja keskisuuret yritykset ovat olleet aktiivisia ja menestyksekkäitä PoDoCo-ohjelmassa. Viime syksyn hakukierroksellakin 75 % rahoitetuista yhteistyöprojekteista kohdistuu juuri pienten ja keskisuurten yritysten liiketoiminnan uudistamiseen ja kehittämiseen tutkimuksen avulla”, sanoo PoDoCo-ohjelman päällikkö, tohtori Seppo Tikkanen.

Vuonna 2015 käynnistyneen ohjelman rahoitetut projektit edustavat useita eri tieteenaloja ja toimialasektoreita lääketieteestä materiaalitekniikkaan ja lasten emotionaalista kehitystä tukevista sovelluksista aktiivimagneettilaakerointiin. Tuorein metallinjalostaja, jolle on myönnetty PoDoCo-rahoitus, on Boliden Kokkola, jonka yhteistyö liittyy vahvojen sinkkiliuosten termokemialliseen laskennalliseen ja koekemialliseen tutkimukseen.

”PoDoCo-ohjelmasta on vuosien varrella rahoitettu mielenkiintoisia materiaalitutkimuksen yhteistyöprojekteja. Olisi hienoa saada näitä lisää, sillä olemme saaneet mukaan uusia säätiöitä ja rahoitusresurssimme ovat sen myötä parantuneet”, Tikkanen kertoo.

Sääennusteita korttelin tarkkuudella

Kaupungissa sääolosuhteet voivat muuttua korttelista toiseen, johtuen vaihtelevista pinnanmuodoista. Ilmaston ja ympäristön muuttuessa on entistä tärkeämpää ymmär-

tää paikallisia sääolosuhteita. Vaisalan PoDoCo-hanke toteutetaan yhteistyössä Ilmatieteen laitoksen kanssa. Maria Filioglou tutkii hankkeessaan Helsingin tuuliolosuhteiden ennusteiden osuvuutta muun muassa tuulen etämittaukseen tarkoitettujen Vaisalan uusien tuulilidar-laitteiden avulla.

”Hankkeesta odotetut tulokset luovat tärkeää tietoa Vaisalan Smart City -liiketoimintakonseptin kehitykselle. Tulosten avulla voidaan saada parempi ymmärrys siitä, miten kaupunkiympäristöjen sääennusteiden osuvuutta voitaisiin parantaa korttelimittakaavassa. Tulevat kansalaisten palvelut, kuten lentotaksit ja drone-kuljetukset, tarvitsevat aiempaa tarkempaa säätietia turvalliseen ja tehokkaampaan operointiin”, sanoo ilmailun liiketoiminnan kehityksestä vastaava Tapio Haarlaa Vaisalasta.

Huleveden hallintaa

Helsingin yliopiston tutkijatohtori Long Xie on tutkinut vertikaalisten kasvien mikrobilisäystä kuusi vuotta. PoDoCo-tutkimusta hän tekee kotimaisen pk-yrityksen InnoGreenin sisä- ja ulkokasviseinien kasvualustojen parissa.

”Toivomme, että tutkimuksen tulokset herättävät kuluttajien kiinnostusta kasviseiniin sekä tuottavat todisteita uuden, kehitteillä olevan ulkokasviseinärakenteen hulevesien hallinnasta. Tutkimus on elintärkeä, jotta InnoGreen voi tuoda markkinoille parhaan mahdollisen tuotteen urbaanin viherinfran luomiseen sekä kaupunkien

PoDoCo
Post Docs in Companies

PoDoCo

- Ohjelma tarjoaa yrityksille mahdollisuuden tutkia uusia strategisia avauksia, joihin tarvitaan erikoisosaamista.
- Ohjelma kestää 1-2 vuotta.
- Ensimmäinen vuosi on tutkimusaikaa ja toinen kohdennettua tutkimusaikaa.
- Säätiöt rahoittavat ensimmäisen vuoden tutkimuksen.
- Toisena vuonna yritys palkkaa tutkijan.
- Ohjelmaan voivat osallistua kaikki Suomessa toimivat yritykset.
- Yrityksille on tarjolla apua sopivan tutkijan löytymiseen.
- PoDoCo on DIMECC Oy:n rekisteröimä tavaramerkki.

hulevesien hallintaan ja luo pohjan onnistuneelle kansainvälistymiselle”, toteaa InnoGreenin perustajaosakas Mikko Sonninen.

Apurahat haettavissa

PoDoCo-ohjelman kevään apurahahakukierros on käynnissä 15. huhtikuuta asti. PoDoCo -ohjelmaa rahoittavat Suomen Kulttuurirahasto, Jenny ja Antti Wihurin rahasto, Maa- ja vesitekniikan tuki ry, Svenska Kulturfonden, Tekniikan edistämissäätiö, KAUTE-säätiö, Liikesivistysrahasto Maj ja Tor Nesslingin säätiö, Paulon säätiö, Svenska litteratursällskapet i Finland ja Helsingin Sanomain säätiö sijoittaen ohjelmaan vuosittain yhteensä lähes miljoona euroa. Tämä mahdollistaa arviolta 35 kokovuosiapurahan myöntämisen vuosittain. PoDoCo-ohjelmaa organisoii DIMECC.

Lisätietoja:

PoDoCo-ohjelman päällikkö, Seppo Tikkanen, DIMECC Oy, seppo.tikkanen@dimecc.com, puh. +358 40 840 2780

SEURAAVAN SUKUPOLVEN BLASTIQ™



YHDISTETYT TEKNOLOGIASOVELLUKSET RÄJÄYTYSTULOSTEN OPTIMOINTIIN



VÄHENNÄ PORAUKSEN JA
PANOSTUKSEN
KOKONAISKUSTANNUKSIA



LISÄÄ
TUOTTAVUUTTA



PARANNA
TURVALLISUUTTA



HELPOTA
VIRANOMAISVAATIMUSTEN
TÄYTTÄMISTÄ

Seuraavan sukupolven BlastIQ™ alusta on pilvipohjainen digitaalinen alusta, joka on suunniteltu erityisesti jatkuvaan räjäytystulosten parantamiseen.

Lähtien ennen räjäytystä tapahtuvasta mallintamisesta aina räjäytystulosten mittaamiseen ja analyysiin, BlastIQ™ alusta tuottaa dataa, vertailukohtia ja tietämystä, jota tarvitaan varmistamaan kestävien ja kustannustehokkaiden parannuksien tekemiseen räjäytystöissä

Saadaksesi lisätietoa BlastIQ™ alustasta sekä siitä, kuinka se voi tukea toimintaanne päivittäin, ota yhteyttä paikalliseen Orican edustajaan tai vieraile osoitteessa orica.com/BlastIQ





PERTTI VOUTILAINEN

Totuus, hyvyys ja kauneus

Filosofiin pohdiskeluihin taipuvaiset viisaat ovat aikojen kuluessa tehneet ehdotuksia luetteloksi hyveistä, joiden noudattaminen tekisi maailmasta paremman paikan elää. Tunnetuin näistä ehdotuksista lienee antiikin arvoina tunnettu luettelo, joka pelkistää asian kolmeen hyveeseen. Ne ovat totuus, hyvyys ja kauneus. Päätinpä pohdiskella, kuinka hyvin nämä kauniit sanat sopivat ihmisten nykyiseen arvomaailmaan.

Amerikassa on tarkkaan seurattu nykyisen presidentin puheita. Seurannan tuloksen kerrotaan osoittavan, että Trump on virkakautenaan tähän mennessä valehdellut yli 2000 kertaa. Eipä tunnu totuus olevan suuressa arvossa. Hyvyyden kanssa taitaa olla sama tilanne, kun diktaattorit eri puolilla maailmaa kiusaavat ja tappavat viattomia kansalaisia. Kauneuden tila on vaikeammin arvioitavissa, koska sen sanotaan asuvan katsojan silmässä. Luonto ja naiset toki ovat kauniita tänäänkin, mutta rappion merkinä pidän sitä, että taidemaalarit eivät enää osaa maalata näkemäänsä kankaalle samalla taidolla kuin keskiajalla osasivat. Abstraktien teosten esittämät risukasat eivät minun silmilläni katsottuina yleensä kovin kauniilta näytä. Lehti uutisen mukaan joku taiteilija oli teipannut seinälle banaanin, antanut tälle teokselle nimeksi ”globalisaatio” ja myynyt sen 110 000 eurolla. Kummallinen silmä on mielestäni sillä, joka tällaisen kauneuden päälle ymmärtää. Eivät siis antiikin hyveet oikein hyvin tunnu olevan sopusoinnussa nykyajan kanssa. Mutta vika on jossakin muualla kuin hyveissä. Enkä yritäkään väittää, että nuo vanhat opit olisivat riittävän operatiivisia tämän päivän puutteiden korjaamiseen. Tarvitaan täsmällisempiä osviittoja.

Kapitalistisen markkinatalouden sanotaan olevan rikki. Kriitikot väittävät, että rahan valta jyrää alleen kaikki tärkeät arvot. Kysytään, onko oikein, että maailman 2250 rikkainta omistaa 60 % kaikesta varallisuudesta. En tiedä tuohon kysymykseen oikeaa vastausta, mutta väitän, ettei kapitalismissa sinänsä mitään vikaa tarvitse olla, jos sitä oikein sovelletaan. Annetaan vaan liike-elämän pitää johtavana tavoitteenaan voiton tuottamista omistajan varallisuuden lisäämiseksi. Ja jätetään poliittisen järjestelmän tehtäväksi määrittellä arvot, joiden rajoissa voittoa voidaan tavoitella. Meillä on Suomessa tuore esimerkki tämän ajatuskulun toimivuudesta. Yhteiskunta kielsi Kuopion sellutehtaan rakentamisen, kun oikeus katsoi, että ympäristö voisi hankkeesta liikaa kärsiä. Joku voi protestoida ja väittää, että päätös on tehty liian tiukkojen kriteerien pohjalta. Mutta laillisuusyhteiskunnassa oikeusjärjestelmän päätös on pitävä. Ja pulinat pois.

On sääli, että kielessämme sana voitto on valikoitunut kuvaamaan yritysten taloudellista tulosta. Se panee ajattelemaan, että joku toinen on hävinnyt. Ja pahinta on pelätä, että juuri itse on

joutunut yrityksen kuppauksen kohteeksi. Ei siis ole ihme, että yritysten voitot monen mielestä ovat huono asia. Mutta totuus on päinvastainen. Vain voitollinen yritys on pystyvä vastaamaan ympäröivän yhteiskunnan asettamiin vaatimuksiin. Eikä kukaan investoi ainoastaan ympäristöä suojellakseen tai luodakseen työpaikkoja. Voittoa hän tavoittelee. Tästä asiasta Pekka Suomela kirjoitti hyvän jutun tämän lehden edelliseen numeroon. Se kannattaa lukea toiseenkin kertaan.

Lukea kannattaa myös Jussi Sipilän kirjoitus hämmennyksestä, jota julkisuudessa esitetyt laskelmat ilmähän hiilidioksidipitoisuudesta aiheuttavat. Asia on tietenkin äärimmäisen monimutkainen, mutta toivottavaa olisi, että kun maailman kaikki viisaat asiantuntijat on pantu asialle, laskelmien tulokset olisivat yksiselitteisempiä. Itse jäin joulun alla ihmettelemään uusinta arviota Suomen metsien kyvystä sitoa hiiltä. Edellisestä arviosta kyky oli pudonnut noin puoleen. Kun ennusteet tulevaisuudesta ovat näin huteralla pohjalla, kuinka voidaan odottaa, että päätöksentekijät osaavat toimia oikein. Asialla on kiire, mutta faktoja vielä tarvitaan. Ilmastohysteria on kovasti vaarallinen ilmiö, jos se johtaa hätiköityihin ja huonoihin päätöksiin. Epäonnistunut kokous Madridissa osoitti, että poliittinen riitely uhkaa syrjäyttää tosiasiat. Kunpa ei antiikin hyveistä ensimmäinen eli totuus jäisi kokonaan unholaan.

Onnistuin uutisvirrasta poimimaan hyvänkin tiedon. Suomalainen tutkijaryhmä on kehittänyt keinon valmistaa lihaa ilmasta. Jos tämä on totta, voitaisiin tuotantoeläinten määrää pienentää, ja niiden uloshengityksen hiilidioksidi vähemmän rasittaisi ilmakehää. Pelkäänpä kuitenkin, että tulevien sukupolvien lihasoppa jäisi kovin laihaaksi. Tällaisen tuotannon edellytykset tietenkin olisivat paremmat Intian saastuneissa kaupungeissa, joissa ilma on sakeampaa.

Maamme hallitus lupaa meille kaikkea hyvää. Kärsivällisyyttä kuitenkin vaaditaan kansalaisilta, kun käytännön toimet antavat odottaa itseään. Me kaikki tiedämme, että haasteet ovat suuria. Toivottavasti päättämättömyys ei ole merkki siitä, että rohkeus ei riitä vaikeiden päätösten tekemiseen. Nuori ministeri kertoi, että nyt ei katsota peruutuspeiliin, vaan rakennetaan uutta tulevaisuutta. Se on hyvä periaate, mutta kun hallituksen kokemuspohja on kovin ohut, kannattaisi ehkä sittenkin välillä vilkaista taaksepäinkin. Sieltä voisi oppia, ettei kannata uudelleen tehdä kaikkia niitä virheitä, joita edeltäjät ovat tehneet. Taitaa tämä kuitenkin olla liian hurskas toive.▲

Rippikoulussa pappi kysyi oppilailtaan: ”Jos te olette minun lampaitani, miksi minua voitte kutsua?” ”Pässiksi tietenkin”, vastasi eturivin tyttö.

Hipsu Hiilen ihmeelliset seikkailut

Osa 9: Bainiitti

Pienen pieni hiiliatomi Hipsu oli sopivaa kotiyhteisöä etsiessään päätyneet tasapainomaahan ja löytänyt sieltä rauta- ja hiiliatomien muodostaman yhteisön, jossa se ensi kertaa tuns viihtyvänsä pysyvämmin. Aktiivisena kaverina se oli houkuttellut yhteisönsä kokeilemaan erilaisia lämpötilan ja sen muutosten avulla aikaansaattavia rakenteita, joita tästä yhteisöstä löytyikin poikkeuksellisen paljon.

Erityisen ylpeä Hipsu oli viimeisimmän kokeilun tuloksena syntyneestä rakenteesta, joka oli kestävyysominaisuuksiltaan ylivertaisin Hipsun siihen mennessä tuntemista. (Myöhempi maailma oppi tuntemaan tämän rakenteen karkaistun teräksen päästömartensiittina, kertojan huom.). Sen saavuttaminen oli vain hiukan hankalaa, koska se edellytti kahta lämpötilan käyntikertaa ja muutenkin poikkeuksellista käyttäytymistä perusluonteeltaan mukavuu-denhaluiselta lämpötilalta.

Tuumiessaan mahdollisuuksia rauta-hiiliatomien yhteisössä tehdyn edellisen kokeen yhteydessä aikaan saadun päästömartensiittisen rakenteen synnyttämiseksi yhdellä lämpötilan käyntikeralla pienen pieni hiiliatomi Hipsu vaivasi perusteellisesti päätään. Se pohti mielessään muun muassa sitä, että suuremman yhteisön sisältä lämpötila ei ehkä pystyisi karkaamaan niin nopeasti kuin tähän mennessä muodostetuista pienistä kokonaisuuksista.

Se oli myös nähnyt kokeilujensa yhteydessä, että suuremmissa yhteisöissä lämpötilan avustama järjestäytyminen saattoi alkaa useammassa kohdassa yhteisöä samanaikaisesti. Tällä tavoin muodostuneet alkiot olivat muuten samanlaisia, mutta niiden suuntautuminen koko rakenteeseen nähden vaihteli. Kasvaessaan ne törmäsivät lopulta toisiinsa ja niiden väliin jäi alueita, joiden järjestäytyminen oli epäsäännöllisempää ja ikään kuin harvempaa alkioiden sisustaan verrattuna. Hipsu päätteli, että nämä harvemmat alueet saattaisivat helpottaa hiiliatomien järjestäytymistä lämpötilan muuttuessa rauta-hiiliyhteisössä.

Se sai myös kuulla, että sade ei ollutkaan niin harvinainen ilmiö tasapainomaassa kuin se oli ajatellut. Harvinaisen kuiva jakso oli vain sattunut sille kaudelle, jonka Hipsu oli toistaiseksi tasapainomaassa viettänyt. Sade ei myöskään useimmiten ollut sellainen kaatosade, jonka se oli ensimmäisenä maassa kohdannut, vaan leppeämpi ja viivyttävämpi. Tämän kuullessaan Hipsu tuns, että sillä oli koossa kaikki tarvittavat asiat seuraavan kokeen suorittamiseen.

Tasapainomaassa pitempään viipyneiden atomien päätellessä, että huomenna saattaisi sadella, Hipsu kutsui kiireesti koolle suurimman rauta-hiiliatomien yhteisön, jonka pystyi vajaan päivässä saamaan kokoon. Lämpötila kutsuttiin apuun ja sitä pyydettiin nousemaan niin korkeaksi, että kaikki hiiliatomit olivat jakautuneet yksittäisinä atomeina rauta-atomien joukkoon. Sitten odotettiin sadetta. Ja sade tuli, aluksi harvoina pisaroina, mutta voimistuen sitten jatkuvaksi, tasaiseksi, mutta ei kovin taajaksi pisaroiden virraksi.



Vettä pelkäävä lämpötila lähti nytkin lipettiin, mutta ei sellaisella kiireellä kuin kaatosateen yhteydessä. Hipsu seurasi tapahtumia kiinnostuneena. Suuren yhteisön sisällä, mistä lämpötilan karkaaminen kesti kauemmin, hiiliatomit lähtivät liikkeelle heti rautarakenteen muututtua. Ne ehtivät vaeltaa suuren, jo muuttuneen yhteisön harvemmin pinoutuneille alueille, johon ne muodostivat rautakarbideja. Seurauksena rakenteeseen ei päässyt muodostumaan yhtä suurta hiiliatomien ahdinkoa kuin kaatosateen synnyttämään rakenteeseen oli muodostunut. Kaikkein hitaimmin jäähtyneissä

yhteisön sisäosissa harvemmin pinoutuneet alueet olivat melkein kokonaan rautakarbidiin peittämiä. Lähempänä yhteisön reunoja harvempien alueiden karbidit olivat pienempiä, erillään toisistaan ja ahdinkoon jääneiden hiiliatomien määrä oli suurempi.

Yhteisön reunoilla, joista lämpötila pääsi karkuun nopeimmin, oli myös syntynyt rautakarbideja. Niitä muodostavat hiiliatomit eivät kuitenkaan olleet ehtineet harvemmin pinoutuneille alueille, vaan karbidialkiot olivat muodostuneet säännöllisesti pinoutuneiden rauta-atomialueiden sisälle. Ne olivat pienempiä, niitä oli tiheämmässä ja ahdinkoon jääneitä hiiliatomeja oli enemmän kuin yhteisön sisäosissa. Harvemmin pinoutuneilla alueilla ei karbideja juurikaan näkynyt.

Kaiken kaikkiaan kokeen tuloksena yhteisön reunoille syntynyt rakenne vastasi aika pitkälti sitä, mikä edellisessä kokeessa oli saatu aikaan lämpötilan uuden nostamisen avulla. Siten Hipsu saattoi päätellä ajatustensa olleen oikeansuuntaisia ja niihin perustuneen kokeensa onnistuneen. Tyytyväisenä se asettui paikalleen ja nautti hetkisen olostaan rauta-hiiliatomien yhteisössä. Myöhempien vaiheidensa yhteydessä, parin miljoonan vuoden päästä, se sai tietää, että kokeen tuloksena syntyneitä rakenteita kutsuttiin yleisnimellä bainiitti.

Yhteisön sisällä syntyneitä rakennetta, jossa rautakarbidiitit olivat muodostuneet harvemmin pinoutuneille alueille, kutsuttiin yläbainiitiksi, koska se oli muodostunut korkeammassa lämpötilassa. Yläbainiitti oli päästämättömän martensiitin tapaan kovaa, mutta haurasta ja murtui helposti karbidiin peittämiä harvempia alueita pitkin. Yhteisön reunoilla syntyneitä rakennetta, jossa rautakarbidiitit olivat säännöllisesti pinoutuneiden rauta-atomialueiden sisällä, kutsuttiin alabainiitiksi matalamman muodostumislämpötilansa vuoksi. Alabainiitti vastasi ominaisuuksiltaan pitkälti Hipsun aikaisemman kokeen synnyttäneitä päästömartensiittia.

Hipsu ei kuitenkaan malttanut lepäillä laakereillaan kovin kauan, kun se kerran oli päässyt onnistuneiden kokeiden makuun. Sille alkoi vähitellen valjeta, että rauta-hiiliatomien muodostama yhteisö tarjosi lähes rajattomasti mahdollisuuksia ja keinoja erilaisten rakenteiden ja ominaisuuksien saavuttamiseksi. Se tuns viihtyvänsä tässä yhteisössä ja päätti jäädä vielä joksikin aikaa kokeilemaan näitä mahdollisuuksia. Näiden kokeiden suunnittelusta ja tuloksista kerrotaan taas seuraavissa tarinoissa.. ▲



PEKKA SUOMELA
KAIVOSTEOLLISUUS RY
TOIMINNANJOHTAJA

Viisikon uudet seikkailut*

Suomen uusi hallitus toteuttaa pääministeri Sanna Marinin johdolla ohjelmaansa. Kyse ei ole Viisikon saunailloista taikka hallitusohjelman melko vaativista kaivoskirjauksista. Nostan sen sijaan esiin yhden hallitusohjelman kunnianhimoisimmista ja vaativimmista kokonaisuuksista eli kasvihuonekaasupäästöt, fossiilisten energialähteiden vähentäminen ja vähähiilisyiden tiekartat. Miten tässä asemoituvat teollisuus ja erityisesti kaivostoiminta?

Suomi pyrkii maailman ensimmäiseksi fossiilivapaaksi hyvinvointiyhteiskunnaksi. Hallitusohjelman mukaan hallitus toimii tavalla, jonka seurauksena Suomi on hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen. Tämä tehdään nopeuttamalla päästövähennystoimia ja vahvistamalla hiilinielua.

Teollisuuden kannalta tarkasteltuna hallituksen keinona on yhteistoiminta hallituksen ja teollisuuden välillä. Hallitusohjelman mukaan Suomeen laaditaan yhteistyössä toimialakohtaiset teollisuuden vähähiilisyteen johtavat tiekartat, jotka sovitetaan yhteen uusien ilmastotoimien kanssa.

Työ- ja elinkeinoministeriön 28.1.2020 järjestämä tiekarttatyön väliseminaari päivitettiin tiekarttatyön tilannetta. Ministeri Mika Lintilä painotti, että hallituksen tavoite on poikkeuksellisen kunnianhimoinen. Koko EU liikkuu samaan suuntaan, kun komission julkaisema Green Deal alkaa konkretisoitua. Kysymys on ennen kaikkea energiasta, sen saatavuudesta ja hinnasta sekä prosessin kehittämisestä ja uudistamisesta. Ministeri Lintilä vertasi vähähiilitiekarttoja energiategohokkuussopimuksiin, joiden osalta Suomessa on hyviä kokemuksia ja myös tulokset ovat erinomaiset. Mutta samalla kysymys on myös raaka-aineiden saatavuudesta. Ministeri Lintilä korosti teknologisen osaamisen Suomelle tarjoamia mahdollisuuksia ja siis kädenjäljen merkitystä. Markkinanäkymät ovat valtavat.

Hallituksen ilmastokokouksessa helmi-

kuun alussa puolestaan julkaistiin tiekartta, joka määrittelee kansakunnan ilmastotoimien valmistelun aikataulun ja tavoitteet sekä linjaa uusia hiilineutraaliutta tukevia toimia. Puhutaiden investointien vauhdittamiseksi hallitus on päättänyt alentaa teollisuuden sähköveron EU:n minimiin asteittain 2021 alkaen. Ratkaisu tukee teollisuuden sähköistymistä ja luo ennustettavuutta yrityksille, jotta yritykset uskaltavat investoida Suomeen. Kaivoksiahan tämä hallituksen linjauks ei tunnetusti koske - päinvastoin.

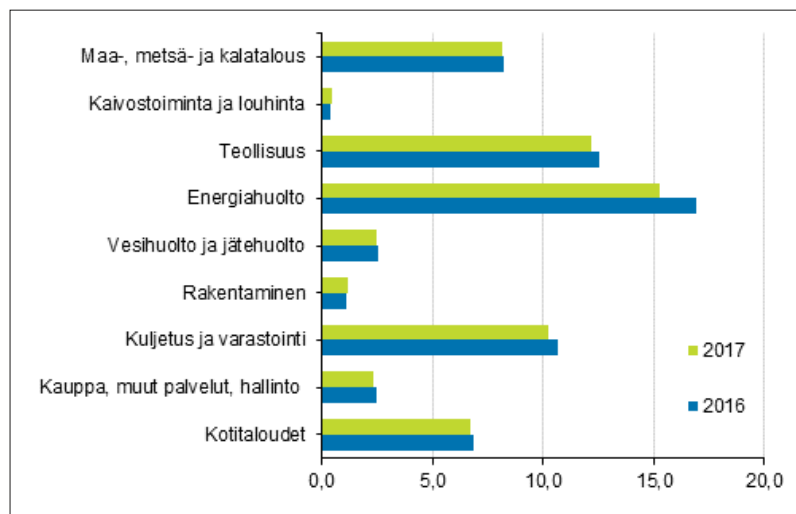
Kaivosteollisuuden osalta ilmastopäästöjen pienentäminen vaatii aikaa ja merkittäviä investointeja. Tämän vuoksi on tärkeää, että toiminnan edellytykset turvataan. Kaivospolitiikan tulisi olla uskottavaa, jotta investoinnit olisivat mahdollisia. Varsinainen kaivostoiminta voidaan jo nykyteknologialla muuttaa hiilivapaaksi ja tarvittaessa nopeastikin. Siihen

tarvitaan voimaperäistä sähköistämistä sekä kuljetukseen uusia ratkaisuja.

Miksi kaivosteollisuuden osalta ei sitten laadita omaa karttaa? Vastaus on toisaalta hallitusohjelman kirjauksissa, mutta myös siinä, että teknologiateollisuuden tiekartassa haetaan koko arvoketjun vaikutusta. Kaivosteollisuus on tärkeässä roolissa, kun pohditaan teknologian ja laitteiden elinkaaren hiilijalanjälkeä. Hallituksen näkökulmasta kyse on myös kokonaisuuden hallinnasta – ei haluta liikaa hajanaisia yksittäisselvityksiä.

Aika näyttää, onko kasvu mahdollista ilman, että päästöt kasvavat. Asiantuntijat uskovat, että tällainen irtikytkentä on mahdollista. ▲

*= Five Go Adventuring Again (1943) – Viisikon uudet seikkailut (suom. Inkeri Hämäläinen)



Kasvihuonepäästöt toimialoittain 2016 ja 2017, miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Kaivostoiminnan välittömät kasvihuonepäästöt ovat noin 0,4 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia, ja välilliset noin 0,2 miljoonaa tonnia. Lähde Tilastokeskus (Suomen virallinen tilasto (SVT): Ilmapäästöt toimialoittain [verkkojulkaisu]).

http://www.stat.fi/til/tilma/2017/tilma_2017_2019-10-08_tie_001_fi.html



KIMMO JÄRVINEN
TOIMITUSJOHTAJA
METALLINJALOSTAJAT RY
P. 043 825 7642

Ruotsin hannuhanhet tekivät sen taas

Minulla, kuten niin monella muullakin suomalaisella, on suvussa niitä, jotka muuttivat Ruotsiin leveämmän toimeentulon perässä 1960-luvulla. Muistan edelleen selvästi, kuinka nuorena miehenä pientä kateutta tuntien kuuntelin ruotsinserkkujeni (joita minulla on 5) vanhempien kertomuksia siitä, kuinka heille avautui aivan eritasoinen elämä välittömästi heidän muutettuaan Porista Borlängeen töihin SSAB:n terästehtaalle.

Hieman samansuuntaisia tuntemuksia koin viime viikolla osallistuessani pohjoismaisten europarlamentaarikkojen järjestämään kiertotalousseminaariin Brysselissä. Ylpeyttä tunsin kyllä silloin, kun meidän loistava **Henna Virkkusemme** avasi tilaisuuden ja myös silloin, kun hän esitteli suomalaisen loistavan innovaatioyrityksen Infinited Fiber:in. Sen perustaja-omistaja **Petri Alava** kertoi kehittäneensä biopohjaisen tekstiilikuidun, jonka valmistus on kestävä kehityksen malliesimerkki ja joka korvaa ympäristölle huomattavaa räsästä aiheuttavan puuvillakuidun vaateteollisuudessa.

Mutta kateus hiipi syvälle sisimpääni (vaikka kuinka koin sitä estää vakuuttamalla itselleni, että myös suomalaisia kestävä kehityksen mukaisia kaivostuotteita ja metalleja tarvitaan tähän ruotsalaiseen liiketoimintahankkeeseen), kun Northvolt-yrityksen hymyilevä ja pirteä PR-johtaja **Emma Wiesner** kertoi heidän liiketoimintasuunnitelmistaan ja vaikuttamisen viesteistään EU-instituutioiden suuntaan.

Northvolt on se yritys, joka 2016 päätti ryhtyä tekemään sähköautojen akkuja eurooppalaisille markkinoille Ruotsissa. Yrityksen perustivat rohkeat henkilöt, jotka Teslalla perusasiat opittuaan palkkasivat Japanista akkuteollisuuden ammattilaisia ja ryhtyivät suunnittelemaan ja lobbaamaan ns. gigafactory'a Ruotsiin. Kyseessä on yritys, joka oli aktiivisesti mukana perustamassa European Battery Alliance (EBA@250)-yhteenliittymää yhdessä InnoEnergy-verkoston rakentajan kanssa ja sitouttamassa eurooppalaisen autoteollisuuden (eli tulevat asiakkaansa) kehitystyöhön. EBA sai aktiivisella vaikuttamistyöllään EU-instituutiot vakuuttamaan siitä, että juuri tämän teknologian kehittäminen on kriittistä EU:n teollisuuden ja erityisesti liikenne- ja työkalu- ja -välineiteollisuuden kehittämiseksi siinä määrin,

että EU-komission **Maros Sefkovic**, silloinen komission energiaunionista vastaava executive vice-president käynnisti työn akkuteollisuuden arvoketjun määrittämiseksi kriittiseksi ja sen rahoitusmahdollisuuksien helpottamiseksi.

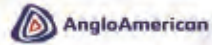
Tällä hetkellä Northvoltin suunnitelmissa on Ruotsin Skellefteån tehtaan jälkeen rakentaa akkutehtaat Saksan Salzgitteriin ja Puolan Gdanskiin sekä Li-akkujen tutkimus- ja kierrätyslaboratorio Ruotsiin. Ja kaikki tämä on tarkoitus perustaa kestävä kehityksen mukaisiin prosesseihin ja raaka-aineisiin. Lienee sanomattakin selvää, että Suomella on edelleen loistava mahdollisuus toimia Northvoltin alihankkijana ja raaka-ainetoimittajana.

Esimerkkinä Northvoltin vaikuttamisen korkeasta osaamisesta on Emman esittämä vaikuttamissuunnitelma. Northvoltin mukaan Eurooppa tarvitsee selkeät ja yhdenmukaiset pelisäännöt ns. Urban mining -liiketoiminnalle. Ecodesign-tuotedirektiivissä tulee huomioida akkujen kierrätettävyyttä. Uuden EU-komission työohjelmassa oleva EU:n akkudirektiivi tulee laatia siten, että akkujen valmistuksen raaka-aineiden hankinnalle asetetaan selkeät kestävyyskriteerit ja käytettyjen akkujen sekä akkumetallien kierrätys- ja kuljetuskriteeristö tulee saattaa yhtenäiseksi vähintäänkin EU:n sisämarkkinoilla.

Suomessa ministeri **Mika Lintilä** on ansiokkaasti pyrkinyt saamaan Suomen mukaan eurooppalaisen akkuteollisuuden kehitykseen. Suomella on merkittävä mahdollisuus olla osa Northvoltin kaltaisten edelläkävijäyritysten menestystarinaa. Tämä edellyttää kuitenkin nopeaa ja määrätietoista toimintaa. Tarrautamalla vanhoihin totuksiin emme pysy mukana kehityksessä, ja nyt on aika osoittaa, että Suomikin pystyy joustavaan toimintaan nopeasti muuttuvassa liikemaailmassa. Metallinjalostusteollisuuden ja kaivosteollisuuden kannalta tänä keväänä suunniteltavat ilmastonmuutoksen torjuntaa ja teollisuuden päästöjen vähentämistä edistävät energiaverouudistus ja päästökaupan epäsuorien kustannusten kompensatiolain jatkaminen ovat niitä toimia, joilla saavutamme ilmasto- ja työllisyystavoittemme. Molemmat päätökset tukisivat myös uusien teollisten investointien tekemistä Suomeen.▲



**ILMASTONMUUTOS TORJUTAAN METALLEILLA
- GLOBAALIA HUIPPUTEKNOLOGIAA
KOTIMAISISTA RAAKA-AINEISTA**
AA SAKATTI MINING OY



Teräspalvelukeskus

Miilux® OY

Hannu Rantasuo
Mikko Harjula
Harri "Hemmi" Hutka
Juha Huttunen

044 7713 695
050 4347 030
050 4302 873
044 7713 694

www.miilux.fi



OTANMÄKI MINE OY

Addr. Kiilakiventie 1, FI-90250 Oulu, Finland
Tel. +358-8-3110320 • GSM: +358-44-5593501 • jjylanki@otanmaki.fi
www.otanmaki.fi



**Kuljetinhihnat ja tarvikkeet.
Asennus- ja huoltopalvelut.**

www.contitech.fi

ContiTech

Aalto-yliopistosta valmistuneita 2019

Metallurgian tutkimusryhmä, valvoja prof. Ari Jokilaakso:

David Sibarani: Thermal conductivity of sulphidic mattes as a function of temperature.

Jere Partinen: Konvertoinnin ja anodiinien optimointi alkuainejakaumien suhteen

Lotta Kleemola: Precious metals reaction mechanisms in copper matte - slag system

Riina Aromaa: REE distribution kinetics in copper matte - slag system

Marja Rinne: Pyrometallurgical treatment of jarosite leach residue by using non-fossil reductant

Salli Aikio: Hot rolling scale and effect of pickling on surface quality of AHSS steels

Mineraalien prosessointi ja kierrätys tutkimusryhmä,

valvoja prof. Rodrigo Serna:

Juho Nissi: Development of Safety Protocols in Aalto University LIB Recycling Laboratory

Ilmoittajamme tässä lehdessä:

AA Sakatti Mining	75	Palsatech Oy	4
ABB	3	POHTO	4
Agnico Eagle Finland Oy	2.kansi	Pyhäsalmi Mine Oy	4
AGA/Linde	46	Sandvik	50
Arctic Drilling Company Oy	6	Sibelco	37
Astrock Oy	76	Stress Measurement	23
Atlas Copco	32	Suomen Rakennuskone	49
Aurubis	6	Suomen TPP Oy	4
Avesco	44	Tapojärvi	65
Boliden	54	Yara Suomi	37
Brenntag Nordic Oy	57		
Geovisor	6		
ContiTech Finland Oy	75		
Epiroc Finland Oy	3.kansi		
Eurofins Mineral Testing	75		
Expomark	29		
Flowrox Oy	19		
Forcit Oy	19		
GRM Services Oy	14		
Jyväskylän Messut	33		
Oy KATI Ab	6		
Kokkolan Satama Oy	32		
Metso Minerals Oy	takakansi		
Miilux Oy	75		
New Paakkola Oy	23		
Nordkalk Oy Ab	14		
Normet Group Oy	24		
Orica	70		
Otanmäki Mine	75		
Oulun yliopisto (OMS)	24		



VUORIMIESYHDISTYKSEN TOIMIHENKILÖITÄ 2019

PUHEENJOHTAJA

DI Jari Rosendal, 040 595 1456,
etunimi.sukunimi@kemira.com

VARAPUHEENJOHTAJA

TkT Kalle Härkki, 040 513 3383,
etunimi.harkki@outotec.com

PÄÄSIHTEERI/ Secretary General

TkL Ari Juva Adjutantinkatu 8 b 19,
02650 Espoo, 0400 457 907
etunimi.sukunimi@vuorimiesyhdistys.fi

WEBMASTER

TkT Topias Siren, 050 354 9582
topias@smcoy.fi

RAHASTONHOITAJA/Treasurer

DI Leena K. Vanhatalo, 050 383 4163
leena.sukunimi@vuorimiesyhdistys.fi

GEOLOGIJAOSTO

FM Leena Rajavuori, pj,
Leena.Rajavuori@agnicoeagle.com,
puhelin: 040 350 1127
FM Jouko Nieminen, sihteeri, GTK,
0400 714582, etunimi.sukunimi@gtk.fi

KAIVOS- JA LOUHINTAJAOSTO

DI Mari Halonen pj, 040 869 0417
etunimi.sukunimi@forcit.fi
DI Simo Laitinen, sihteeri, 050 411 8400
etunimi.sukunimi@yit.fi

RIKASTUS- JA PROSESSIJAOSTO/

Ins. Simo Pyysing, pj,
040 3505542 etunimi.sukunimi@mail.weir
DI Sini Anttila, sihteeri, 0407091776
etunimi.sukunimi@terrafame.com

METALLURGIJAOSTO/

DI Lauri Närhi pj, 040 189 6868
etunimi.sukunimi@outotec.com
DI Miia Pesonen sihteeri, 040 176 4301
etunimi.sukunimi@boliden.com

Vuosikokous Marina Congress Centerissä ja Vuorimiespäivät Dipolissa 27.-28.3.2020



Tätä kirjoittaessani tammikuun puolivälissä Vuorimiespäivien järjestelyt olivat vielä kovasti kesken, mutta tätä lukiessasi kaikki on toivottavasti valmista ja hyvät Vuorimiespäivät kohta edessä! Ensimmäistä kertaa perjantain illallistanssiaiset ja lauantain iloinen lounas molemmat järjestetään Dipolissa.

Viime vuonna ilmoittautumis- ja varausjärjestelmämme oli uusi ja osittain vielä raakile. Se saikin osakseen paljon arvostelua. Olemme tehneet parhaamme sen kehittämiseksi. Toivottavasti kaikki ovat tällä kertaa saaneet paikkansa

varatuiksi helpommin ja selkeämmin. Vuorimiespäivien jälkeen kokoamme palautetta järjestelmän toimivuudesta ja muistakin järjestelyistä voidaksemme jatkossa entisestään parantaa niitä.

Tämä vuosi on myös yhteistyömessujemme vuosi. Toukokuussa 6.-7.5.2020 pidetään Oulussa Pohjoinen Teollisuus 2020, missä kaivos- ja metalliteollisuudella on keskeinen osuus. Tapahtuman järjestää Expomark. Marraskuussa 18.-19.2020 ovat Jyväskylän Messujen järjestämät FinnMateria 2020 –messut Jyväskylässä. Molemmat messut ovat Vuorimiesyhdistykselle tärkeitä. Olemme mukana niiden suunnittelussa ja saamme myös osamme niiden onnistumisesta. Messujen näyttelypaikkojen myynti on sujunut hyvin, joten vireät messut ovat tulossa! Kummasakin tapahtumassa on myös paljon mielenkiintoista oheisohjelmaa, joten laittakaa messut kalentereihinne!

Tulethan Vuorimiespäiville ja messuille tapaamaan tuttuja ja kuulemaan alan kuulumiset!

ARI JUVA
PÄÄSIHTEERI



**Astrock can take care of geophysics needed for
mineral exploration as a whole**

www.astrock.com

Lisää tuottoa investoinnillesi



United. Inspired.

Keskimme poraterän uudelleen

Powerbit Underground saattaa näyttää tavalliselta poraterältä. Sitä se ei kuitenkaan ole. Kaikki siinä on uutta: Teräs, josta se on valmistettu. Nastojen muoto. Huuhtelureikien asemointi.

Kukin osatekijöistä on yhtä tärkeä. Ja kun kaikki osatekijät ovat kohdallaan, sinulla on käsissäsi täydellinen resepti tuottavaan poraamiseen.



Metson uusi Kevytlava-ratkaisu lisää materiaalikuljetusten kustannustehokkuutta

Metson uusi Kevytlava-ratkaisu yhdistää kumin ja lujan teräksen edut. Kevytlavalla voit kuljettaa kaivoksissa ja louhoksilla enemmän materiaalia samalla kokonaispainolla ja lisätä näin työskentelyn kustannustehokkuutta ja samalla ergonomiia.

Materiaalikuljetukset ovat yksi kaivos- ja louhostoiminnassa eniten kustannuksia synnyttäviä toimintoja. Metson Kevytlava on kiviautoihin suunniteltu, kevytrakenteinen ja kumivuorattu ratkaisu. Joustava kumi vaimentaa jopa 97% lavaan kohdistuvista iskuista.

Metson Kevytlava painaa 20-30% vähemmän kuin perinteinen teräslava. Käyttökohteesta riippuen hyötykuormaa voidaan lisätä näin useilla tonneilla kuormaa kohti.

Kumivuorauksella saavutetaan myös merkittäviä terveys- ja turvallisuusetuja, kun kuljettajan työolot parantuvat melun ja värinän vähentyessä.

Kysy lisää Kevytlavasta asiantuntijoiltamme:

Timo Sarvijärvi, puhelin 050 317 0906
Joakim Colpaert, puhelin 045 317 5198
Jouko Tolonen, puhelin 050 355 7580
Sauli Pekkala, puhelin 040 595 8065

