



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 kehittämässä 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 sekvenssistratigrafiaa maamme paleoproterotsooisen kallioperän sedimenttisten ja vulkaanisten kivien kerrostumishistorian selvittämiseksi. Metamorfinen 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, esimerkkinä 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 globaali muutostutkimuksessa. 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-elektronimikroskoopilla 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. Materiaalialueanalyysikeskukseen (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 mineraaliallyttistä tutkimusta varten. Sen geokemian laboratorioissa voidaan suorittaa kivi- ja maaperänäytteiden liuotus, mineraalien separointi- ja adsorptiotutkimuksia sekä analyysitoimintaa käyttäen mm. FAAS-, GAAS-, FTIR-, LECO- ja spektrofotometrisiä 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. Isooppi- 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 geotieteilte 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 me 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 me 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