

Suomen kallioperägeologian ja malmitutkimuksen kehitys

GABOR GAÁL

Johdanto

Suomi on luonnonkaunis pohjoinen maa Euroopan vanhimmalla kallioperällä, jota peittää ohut jääkausien synnyttämä ja muokkaama maaperä. Suomen geologia on kehittynyt ja saanut erikoispiirteensä näistä luonnon perustekijöistä. Suomen geologia on sen kehityksen alusta lähtien erikoistunut kahteen alaan, kallioperägeologiaan ja maaperägeologiaan. Molempien alojen historian arviointi yhdellä rupeamalla kävisi kuitenkin vaikeaksi, joten tämä kirjoitus keskittyy kallioperägeologian ja malmitutkimuksen kehitykseen.

Luonnonrakas Suomen kansa on aina ollut kiinnostunut kivistä, mineraaleista ja maaperästä, etsittiinhän viisasten kiviä Pohjolasta jo keskiajasta alkaen. Geologia tieteenä sai Suomessa alkunsa 1800-luvun loppupuolella. Vuonna 1852 perustettiin Helsingin yliopistoon geologian ja mineralogian professorin virka, joka tosin täytettiin vasta 1877. Tärkeimmät perusinstituutiot saivat alkunsa geologian opetuksen varmistumisen jälkeen: vuonna 1885 perustettiin Geologinen Komissioni, Geologisen tutkimuslaitoksen ja sittemmin Geologian tutkimuskeskuksen edeltäjä, ja pian sen jälkeen, vuonna 1886 Suomen Geologinen Seura. Akateeminen geologia sai lisää kasvupisteitä myöhemmin ja geologian laitoksia perustettiin Åbo Akademiassa 1918, Helsingin teknillisessä korkeakoulussa 1937, Turun yliopistossa 1958 ja Oulun yliopistossa 1962. Luetellut instituutiot ovat vakiintuneita tekijöitä geologian alalla vaikka geologeja on toiminut muissakin työpaikoissa.

Suomen kallioperägeologia on tuottanut kansainvälisesti tunnustettuja tiedemiehiä, jotka tekivät Suomen geologian maailmalla tunnetuksi. Tunnetuin tiedemies alallamme on eittämättä Pentti Eskola, joka julkaisi 1915 teoksensa metamorfisten kivien mineralogian ja kemiallisen koostumuksen välisistä suhteista, josta hän myöhemmin kehitti mineralogisen fasiesopin. Eskolan tieteellinen toiminta ja opetustyö Helsingin yliopistossa ovat syvästi vaikuttaneet Suomen kallioperägeologiaan, jonka vahvimmaksi osaamisalueiksi ovat sittemmin muodostuneet mineralogia, petrologia ja geokemia. Vuosina 1893–1933 J.J. Sederholm, Geologisen tutkimuslaitoksen pitkäaikainen johtaja, nousi prekambrian geologian ja kartoituksen sekä gra-

niittitutkimuksen kansainvälisesti tunnetuimmaksi hahmoksi. Vuoden 1913 jälkeen Suomeen on kasvanut metallikaivosteollisuus, jonka johtohenkilönä samoin kuin Outokumpu Oy:n ensimmäisenä johtajana oli geologi Eero Mäkinen. Mäkinen myötävaikutti siihen että Suomen geologian yhdeksi päätehtäväksi on muodostunut malmietsintä ja malmitutkimus. Toisen maailmansodan jälkeen epäorgaanisen kemian kehityksen ja isotooppitutkimuksen synnyn myötä Helsingin yliopiston kaksi tiedemiestä, Thure Sahama ja Kalervo Rankama, loivat merkittävän uran ja saivat kansainvälistä tunnustusta. Thure Sahama on merkinnyt nimensä geologian tieteen historiaan urauurtavilla töillään mineraalikemian, mineralogian ja vulkanologian alalla. Kalervo Rankama taas suoritti pioneeritöitään geokemian ja isotooppigeologian alalla sekä oli kansainvälisellä tasolla aloitteentekijänä luotaessa prekambrian tutkimuksen alaa. Eskola, Sederholm, Mäkinen, Sahama ja Rankama ovat merkkihenkilöitä, jotka viitoittivat tietä Suomen geologialle 1960-luvun jälkeenkin.

Kallioperätutkimus

Geologinen tutkimuslaitos 1945–1960

Toivuttuaan toisen maailmansodan ja sen jälkeisen pula-ajan vuosista, Geologinen tutkimuslaitos muodostui kallioperägeologian kehityksen pääpaikaksi. Sille tuli kasvava rooli geologiensa voimaisesti suurimpana työnantajana. Tällaisena se vaikutti suuresti myös akateemiseen tutkimukseen ja opetukseen luovuttamalla resursseja ja tutkimusaiheita yliopistoille. Osa Suomen geologian yliopistoprofessoreja pohjusti uransa Geologisen tutkimuslaitoksen palveluksessa. Geologisen tutkimuslaitoksen tärkein rooli oli ja on edelleenkin toimia sovelletun geologian laitoksena, menetelmäkehittäjänä, maan geologisen kartoituksen suorittajana, geotietojen kerääjänä ja säilyttäjänä. Ennen vuotta 1960 Geologinen tutkimuslaitos Aarne Laitakarin johtamana saavutti tulevaisuuden töiden kannalta tärkeitä virstanpylväitä. Vuonna 1951 Mauno Purasen johdolla aloitettiin, ensimmäisinä maailmassa, systemaattiset geofysikaaliset lennot ja aeromagneettisten, aerosähköisten ja aeroradiometrinen karttojen tuottaminen aloitet-

tiin. Lentogeofysiikka tuli malminetsinnän hyväksi avuksi ja malminetsintätoiminta saavutti ennennäkemättömät mitat Aarno Kahman johdolla. Suuri askel eteenpäin oli iänmäärityslaboratorion perustaminen Olavi Kouvon johdolla vuonna 1962. Suomen kallioperän ikäjakautuman pääpiirteet onnistuttiin määrittämään 1960-luvun loppuun mennessä. Tämä menetelmäkehitys on tapahtunut kansainvälisessä yhteistyössä ja ilman käyttöönotettuja isotooppimenetelmiä ei voida nykyään prekambriin geologiaa ajatellakaan. Lentogeofysiikka ja isotooppitutkimukset tulivat hyvään tarpeeseen kallioperäkartoituksen kehittämisessä. Jo Sederholmin aikana käyttöönotettuja kallioperäkartoitusmenetelmiä kehitettiin edelleen hyväksikäyttämien uusimpia tutkimuksia. Kokenut kaarti kartoitusgeologeja Ahti Simosen ja Mauno Härmeen johdolla tuotti 24 kallioperäkarttaa mittakaavassa 1:100 000 pääasiassa Etelä-Suomesta. Suomen edellinen kallioperäkartta, joka ilmestyi Sederholmin toimittamana 1930, uusittiin ja Ahti Simonen julkaisi Suomen kallioperäkartan selityksineen mittakaavassa 1:5 000 000 vuonna 1960.

Organisaatioiden kehitys vuoden 1960 jälkeen

Sodan jälkeisenä aikana Geologisen tutkimuslaitoksen henkilöstön määrä ja rahoitus lähti eksponentiaaliseen kasvuun. Vuoden 1960 lopussa, Aarne Laitakarin johtajakauden päättyessä, laitoksen henkilökunnan määrä oli 150. Vladi Marmon aikana vuoteen 1970 mennessä henkilöstön määrä nousi 260:een ja Herman Stigzeliuksen johtajakauden aikana, vuoteen 1980 mennessä se oli jo vajaa 800 työntekijää. 1970-luvun alussa Geologinen tutkimuslaitos (vuodesta 1980 Geologian tutkimuskeskus) tuli Suomen geologian ylivoimaiseksi tekijäksi ja se hallitsi Suomen geologian kehitystä. Samanaikaisesti, sodan jälkeisenä aikana on vaikuttanut toinen vahva geologinen organisaatio: Outokumpu Oy, Malminetsintä. Sen henkilökunnan määrä kasvoi vuodesta 1952 10:stä 150:een vuoteen 1960 ja saavutti huippunsa vuonna 1975 250:llä työntekijällä. Tämän jälkeen henkilöstön määrä laski nopeasti ja oli vuoden 2001 loppuun mennessä 0. Toinen malminetsintäorganisaatio, Rautaruukki Oy on toiminut 1960-luvulta vuoteen 1985 muutaman kymmenen hengen vahvuudella organisaatiolla. Yliopistojen rooli oli tärkeä sovellettujen geologisten organisaatioiden rinnalla. Olemassa olevien ja vakiintuneiden laitosten, Helsingin yliopiston, Åbo Akademin ja Teknillisen korkeakoulun geologian laitosten lisäksi perustettiin geologian laitoksia vuonna 1958 Turun yliopistoon ja vuonna 1962 Oulun yliopistoon.

Kallioperägeologian kehitys 1960–1980

Geologisessa tutkimuslaitoksessa vuonna 1960 käyttöön otetut menetelmät ja muu alueellinen kartoitus – kallioperäkartoitus, geofysikaaliset lennot, malminetsintä, ja uusina komponentteina geokemiallinen kartoitus ja turvetutkimus – vyöryivät eteenpäin mamenttilauman tavoin. Hyvä puoli tässä oli, että tehokkuus ja sen mukaan kartoitettujen alueiden laajuus kasvoi, vaikka samalla tehokkuus johti osittain rutinoitumiseen ja kaavamaisuuteen. Geotieteellinen kartoitus tuotti enemmän tietoja kuin osattiin heti sulattaa ja tulkita. Vaikutelmani on, että sato on kypsynyt vasta vuoden 1975 jälkeen, jolloin uudet tiedot pystyttiin integroimaan Suomen geologian kokonaiskuvaan. Joka tapauksessa survey-toiminta teki ison harppauksen eteenpäin. Geofysikaaliset korkealennot saatiin päätökseen ja matalalennot alkoivat 1972. Kautta on leimannut geokemiallisen kartoituksen nopea edistyminen. Tällä alalla Geologinen tutkimuslaitos oli maailman johtavia organisaatiota ja etenkin Kalevi Kauranteen, Alf Björklundin ja Tapio Koljosen ansiosta saatiin ensimmäinen koko maata kattava geokemiallinen aineisto, josta myöhemmin vuonna 1992 ilmestyi Suomen geokemiallinen atlas. Miltei vastapainoksi Geologisen tutkimuslaitoksen massiiviselle kartoitustoiminnalle kehittyi geologinen tutkimus yliopistoissa, etenkin Turun yliopiston ja Oulun yliopiston uusissa laitoksissa, joissa tuoreiden professorien, Kaarlo Neuvosen, Heikki Papusen, Juhani Seitsaaren, Tauno Piiraisen ja kauden loppupuolella Kauko Laajoen tuoma into ja kokemus antoivat Suomen geologialle vauhtia ja hyviä ammatti-ihmisiä. Turun yliopistossa kehitettiin paleomagneettisia menetelmiä ja annettiin perinteistä kallioperägeologian, mineralogian ja petrologian koulutusta korkealla ammattitaidolla. Heikki Papunen antoi arvokkaan kontribuutionsa Suomen malmigeologiaan etenkin mafisiin ja ultramafisiin kiviin liittyviin Ni-Cu-PGE mineralisaatioita koskien. Oulun yliopistossa opetus ja tutkimus erikoistuivat Pohjois-Suomen kallioperän kehitykseen ja siihen liittyvän emäksisen magmatismien malmimuodostumiseen, etenkin kerosintruusiossa. Ensimmäisenä Suomessa, Oulun yliopistossa annettiin Gabor Gaálin toimesta vuodesta 1970 lähtien erikoistunutta rakennegeologian opetusta. Helsingin yliopistossa Pentti Eskolan kausi päättyi 1953 ja häntä seurasi vihkiytynyt malmien asiantuntija Martti Saksela, joka kasvatti 1966 saakka taloudellisen geologian seuraavaa sukupolvea. Häntä seurasi Heikki Tuominen. Hänen näkemyksensä tektoniikasta ja yleensä pre-

kambrin geologian kehityksestä poikkesi edeltäjänsä käsityksestä. Thure Sahaman ja Kalervo Rankaman paras luomiskausi oli jo takanapäin, joten heidän panoksensa ei ollut enää merkittävää Helsingin yliopiston opetuksen kannalta. Gaál antoi prekambrian geologian ja rakennegeologian opetusta vuodesta 1978, muttei viihtynyt kauan ja lähti vuoden 1981 lopussa Brasiliaan. Suunnanvaihdos Eskolan jälkeen ei siis mennyt ilman järkytystä, ja laitos oli eräänlaisessa suvantovaiheessa Eskolan vahvan kauden jälkeen. Tilanne oli toinen Helsingin Teknillisen korkeakoulun taloudellisen geologian laboratoriossa, jossa aktiivinen toiminta Aimo Mikkolan johdolla antoi laitokselle johtavan roolin maan taloudellisen geologian alalla. Asiat olivat hyvin myös Åbo Akademiassa jossa vakiintunut opettajavoima tuotti pystyviä ammattigeologeja. Laitos on vanhasta ajasta lähtien erikoistunut Lounais-Suomen ja Ruotsin geologiaan ja taloudelliseen geologiaan. Adolf Metzgerillä oli vahvat siteet teollisuusmineraali-alaan ja hänen seuraajansa Nils Edelman oli ehkä aikakautensa monipuolisin geologi, jonka julkaisut käsittävät geologian melkein kaikki alat ja jopa 1:100 000 geologisia karttalehtiäkin. Sekä Metzgerillä että Edelmanilla oli hyvät tiedot rakennegeologiasta, mikä ei ollut siihen aikaan tavallista Suomessa.

Suomen kallioperä kansainvälisen tutkimuksen kohteena

1970-luvun puolivälissä Suomen monessakin mielessä eksoottinen kallioperä houkutteli lukuisia ulkomaisia tutkimusryhmiä Suomeen. He jättivät jälkeensä kansainväliseen kirjallisuuteen ja vaikuttivat suuresti Suomen kallioperän tunnetuksi tekemiseen maailmalla. Ensin tulivat britit Glasgowin yliopistosta (Don Bowes, Alaric Hopgood, Peter Ward, Adrian Park) ja kehittivät rakennegeologian, tektoniikan, metamorfoosin ja malmigeologian menetelmiä tuoden merkittävästi uutta; mm. monivaiheisen deformaation ja metamorfoosin sekä laattatektonisen deformaation ymmärtämiseen. Sittem, melkein samanaikaisesti, ranskalaiset tutkijaryhmät Rennesin (Jean-Pierre Brun, Sylvain Blais, Hervé Martin), Nancy (Pierre Barbey) ja Montpellierin (Jean-Michel Bertrand) yliopistoista tekivät maastotöitä Itä-Suomen vihreäkivivyöhykkeillä ja Lapin granuliittivyöhykkeellä. Heidän laboratoriotyönsä toivat uusia näkemyksiä ja menetelmiä isotooppi-geologian ja litogeokemian alalla. Tällä kaudella myös tutkijat Saksasta, Mainzin yliopistosta (Alfred Kröner) ja Kielin yliopistosta (M. Raith ja muut) ottivat arkeisen kallioperän ja La-

pin granuliittivyöhykkeen tutkimuskohteiksi. Hollandilainen tutkijaryhmä Vrije Universiteit Amsterdamista (László Westra, Jacques Touret, José Van Duin, Maarten Ploegsma, Jan Schreurs, Peter Verhoef, Eugene Dietvorst) suoritti systemaattisia tutkimuksia Etelä-Suomen kallioperästä selvittämällä metamorfoosin ja deformaation suhteita.

Geologia ei pääty valtakunnallisen rajaan ja koko prekambrian kilven ymmärtäminen tuli välttämättömäksi Suomen geologian kehityksen kannalta. SGU:n (Sveriges geologiska undersökning) aloitteesta syntyi yhteispohjoismainen yhteistyö, Pohjoiskalottiprojekti, joka integroi Gunnar Kautskyn johdolla silloin saatavissa olevia geotieteellistä aineistoa vuosina 1980–1986. Teknis-tieteellinen yhteistyö loi kontakteja itään, ja yhteistyössä Neuvoston tiedeakatemian instituuttien kanssa saatiin tutustua kallioperämme jatkeeseen idässäkin. Tutkimukset veivät vähitellen synteessin syntyyn ja 80-luvun loppupuolella Ruotsin Lundin yliopisto (Roland Gorbatschev yhteistyössä Gabor Gaálin kanssa) osallistui merkittävällä panoksella Suomen prekambrian kallioperän tietojen integrointiin Baltian (myöhemmin Fennoskandian) kilven muuhun osaan.

Vuorovaikutus suomalaisten geologian ja monikansallisen joukon välillä tapahtui kentällä ja laboratorioissa ja tulokset näkyvät monissa yhteisjulkaisuissa. Niitä on esitetty kansainvälisissä konferensseissa Suomessa ja ulkomailla. Merkittävin foorumi oli IUGS-UNESCO:n IGCP projektien järjestämät lukuisat tilaisuudet Suomessa ja ulkomailla.

Organisaatioiden kehitys 1980 jälkeen

Geologian tutkimuskeskuksen henkilöstön määrä ja budjetti pysyi likipitäen samalla tasolla ja Herman Stigzeliuksen aikana suureksi kasvanut Geologian tutkimuskeskus pääsi Suomen geologiassa monopoliasemaan. Samalla laitoksen organisaatiossa alkoi ilmetä elefantitautin oireita. 1970–1997 on vallinnut ylijohdajan alla autokraattinen ja staattinen valtarakenne, jossa osastot muodostivat valtakeskuksia geotieteellisten alojen mukaisesti (Kallioperä-, Malmi-, Maaperä-, Geofysiikka- ja Geokemia-osastot sekä Hallinto). Tämä organisaatio osoittautui geologian kehityksen kannalta kestävämmäksi. Ensinnäkään se ei edistänyt ajan vaatimaa alojen ja tietojen integraatiota, toiseksi se ei ollut synkronista suureksi kasvaneiden Espoon, Kuopion ja Rovaniemen aluetoimistojen kanssa. Kalevi Kauranteen ja Veikko Lappalaisen johtajakausilla ylijohdaja joutuikin jakamaan

valtaa kahden tutkimusjohtajan Lauri Hyvärisen ja Kauko Korpelan kanssa, mutta tämäkin ratkaisu osoittautui kestävämmäksi. Raimo Matikaisen ylijohtajakaudella rahoittaja, kauppa- ja teollisuusministeriö, alkoi yhä enemmän puuttua peliin. Alkoi johtajakoulutus, strategian kehitys ja organisaatiomuutosten aikakausi, josta ajan hengen mukaisesti tuli jatkuva prosessi. Johto tuli monipuolisemmaksi ja demokraattisemmaksi. Hinnaksi tuli kuitenkin johdon kasvu. Ylijohtajan alaisuudessa oli talousjohtaja, johtaja, kaksi tutkimusjohtajaa, 2–4 ohjelmajohtajaa, 3 aluejohtajaa ja GTK palvelukeskuksen johtaja. Itse asiaa, eli kartoitus- ja tutkimustyötä suoritettiin aluetoimistojen projekteissa, joille annettiin ao. projektin puitteissa rahaa ja toiminta-aikaa. Varsinainen toiminta tapahtui Espoon, Kuopion ja Rovaniemen aluetoimistoissa Gabor Gaálin, Kari Pääkkösen ja Ahti Silvennoisen johdolla sekä GTK palvelukeskuksessa Harri Sandströmin johdolla. Kallioperägeologian ja malmitutkimuksen kehitys jatkui aluetoimistojen ja niissä toimivien projektien varassa. Vuonna 2004 astui uusi ylijohtaja Elias Ekdahl remmiin. Hänen kaudestaan tämän kirjoituksen tarina ei enää kerro.

Yliopistossakin tapahtui vähäisempiä muutoksia. Vuonna 1982 Helsingin yliopiston geologian ja mineralogian professoriksi nimitettiin Ilmari Haapala. Toiminta palautui perinteisille kallioperägeologian aloille ja keskittyi suurin osin graniittitutkimuksiin ja petrologiaan. Laitoksen toiminta tasoittui ja opettajakunta uusiutui. Stabiilien isotooppien tutkimus vahvistui Juha Karhun tullessa professoriksi vuonna 2001. Turun yliopiston geologian laitos oli edelleen erikoistunut malminmuodostuksen tutkimiseen, nyt Krister Sundbladin johdolla, mutta vanhat projektit, kuten Lapin ultramafiittien tutkimus, jatkuivat. Uutena toimintana on graniittitutkimus Olav Eklundin vetämänä. Uutena kehityksenä on myös mainittava eräät Risto Kilpeläisen korkeatasoiset rakennetutkimukset. Åbo Akademin geologian laitoksen aktiviteetti Carl Ehlersin johdolla keskittyi edelleen Lounais-Suomen kallioperään. Laitoksen henkilöresurssit ovat vähentyneet mutta voimien yhdistäminen Turun yliopiston kanssa Geocenterissä auttaa. Oulun yliopisto jatkaa vanhaa linjaansa tutkimalla mafisia-ultramafisia kiviä ja PGE malmeja Tuomo Alapietin johdolla. Eero Hanski opettaa geokemiaa ja Kauko Laajoki on edelleen prekambrian aktiivinen ja kansainvälisesti tunnustettu tutkija. Helsingin Teknisellä Korkeakoululla perustettiin vuoden 2005 alusta Geoympäristötekniikan

laboratorio, kun teknillisen geologian ja sovelletun geofysiikan oppituolit siirrettiin Rakennus- ja ympäristötekniikan osastolle. Laboratorion johdossa on Kirsti Loukola-Ruskeeniemi ja geofysiikan opetus ja tutkimus jatkuvat Markku Peltoniemen johdolla.

Kallioperägeologian kehitys 1980 jälkeen

Uusi näkemys Suomen kallioperän synnystä Fennoskandian kilven osana kiteytyi 1980-luvun loppupuolella. Näkemys on johtanut uuteen tulkintaan Suomen kallioperästä. Suomen Geologisen Seuran 1998 julkaisemassa Martti Lehtisen, Pekka Nurmen ja Tapani Rämön toimittamassa synteesissä *Suomen kallioperä* tarkastellaan Suomen prekambrian 3000 vuosimiljoonan historiaa globaalitektoniikan näkökulmasta. Tunnistetaan, että geologiset prosessit olivat ainakin paleoproterotsooisesta ajasta lähtien samankaltaisia kuten nykyäänä. Kallioperässämme nähdään samankaltaisia laattatektonisia piirteitä kuin fanerotsooisessa kallioperässä. On todistettu ofoliitteja; on havaittu laajoja, jopa satoja kilometrien pituisia ylityöntöjä; on tunnistettu passiivisia ja aktiivisia mannerreunoja, subduktioita ja samoja prosesseja, jotka nykyäänkin näissä kuorirakenteissa toimivat.

Geologian tutkimuskeskuksen tuorein Suomen kallioperäkarta 1:100 000 (1997) heijastaa jo mainittuja näkemyksiä. Suomen kallioperägeologian kehitys jatkuu siltä pohjalta jonka viimeaikaiset työt ja hankkeet ovat saavuttaneet Hannu Huhman, Tapio Koistisen, Kalevi Korsmanin, Ilmo Kukkonen, Yrjö Kähkösen, Tapani Rämön, Erkki Luukkosen, Mikko Nirosen, Peter Sorjonen-Wardin ja muiden tutkijoiden ansiosta.

Malmitutkimus

Varsinainen malminetsintä Suomessa alkoi vuonna 1908 Rääkkylän Kivisalmen lohkaareista joka johti vuonna 1910 Outokummun kupariesiintymän jäljille. Outokummun Cu-Zn-Co-Au kaivos avattiin vuonna 1913 ja niin alkoi Suomen kansallinen kaivostoiminta. Tästä lähtien malminetsintä ja malmitutkimus vakiintui, kartoituksen ohella, Suomen geologian yhtenä perustehtävänä joskus jopa päätehtävänä.

1951–1972: Malminetsinnän korkeasuhdanne

Vuonna 1951 perustettiin kauppa- ja teollisuusministeriön aloitteesta Outokumpu Oy:n Malminetsintä. Tätä seurasi 1960-luvun alkupuolella Rautaruukki Oy:n Malminetsinnän perustaminen. Vilk-

kaan toiminnan tuloksena vuosien 1951 ja 1972 välillä löytyi noin 20 kaivostoimintaan johtanutta malmiesiintymää, eli keskimäärin yksi taloudellinen malmiesiintymä vuosittain. Tuloksena avattiin suuri joukko metallikaivoksia: Otaniemi, Kärpäs-vaara, Misi, Rautuvaara, Vihanti, Kotalahti, Korsnäs, Pyhäsalmi, Kemi, Telkkälä, Vammala, Nivala, Vuonos, Tervola, Virtasalmi, Enonkoski, Kitula, Pahtavuoma, Hammaslahti ja lopuksi Saattopora. Tämä loistava tulos saavutettiin tehokkaalla menetelmällä, joka lähti suorasta malmiviitteestä liikkeelle ja eteni toimintasarjalla: kansannäyte – lohkarie-etsintä – paikallinen geologinen/geokeemiallinen kartoitus – maastogeofysiikka – kaivaus/kairaus – inventointi.

Vaikka rutiininomainen malminetsintä oli valalla, oli herännyt usko, että myös tieteellinen ote malminetsinnässä voisi johtaa uusiin löytöihin. Modernin malminetsintälaboratorioiden perustamisen myötä Outokumpu Oy:n Malminetsinnässä suoritettiin tieteellisiä malmitutkimusohjelmia kuten nikkeli-ohjelmaa, koboltti-ohjelmaa ja geokemiallista menetelmäkehitystä. Potentiaalisilla alueilla suoritettiin myös laaja-alaisia teemat- tisia kartoituksia ja systemaattisia kairauksia kuten Outokummun alueella ja Haukivedellä. Merkittävimmät tulokset julkaistiin. Koboltti-ohjelma johti Vuonoksen Cu-Zn-Co esiintymän löytöön ja nikkeli-ohjelma ja Haukiveden kartoitus Laukun- kankaan Ni-Cu esiintymän löytöön. Menestyksel- lisen malminetsinnän tulokset kokosi Aarno Kah- ma vuonna 1973 Geologisen tutkimuslaitoksen en- simmäisessä Suomen metallogeenisessä kartassa 1:2 000 000 mittakaavassa.

1972–1985: Löytöjen aallonpohja

Pahaksi pettymykseksi vuoden 1972 jälkeen edel- listen vuosien aikana kehitetty malminetsintä- menetelmä ei enää johtanut toivottuihin tuloksiin. Malmia ei löytynyt enää ”kaivonpojasta” ja kan- sannäytetoimintakin oli hiipunut. Taloudellisten löytöjen määrä laski rajusti ja oli pakko todeta, että helposti löydettävät esiintymät oli paikannet- tu. Vuoteen 1985 mennessä useampien kaivosten malmivarat ehtyivät. Myös metallihintojen alene- misen johdosta kiinnostus malminetsintää kohtaan väheni kautta maan. Rautamalmien etsintäkohde- kartan laatiminen Suomen alueesta (RAETSU 1980–1983) johti Rautaruukki Oy Malminetsin- nän lopettamiseen vuonna 1985. Sen henkilökunta ja aineistot siirtyivät Outokumpu Oy:lle. Malmin- etsintä Outokummussa jatkui vähenevillä resurs- seilla kunnes Outokumpu Oyj päätti vuoden 2001

loppupuolella luopua perusmetallien kaivostoimin- nasta ja samalla malminetsinnästä. Arvokas Outo- kumpu Oy:n ja aikaisemmin kerätty Rautaruukki Oy:n geologinen aineisto siirrettiin vuoteen 2006 mennessä kokonaan GTK:n arkistoihin.

Valtiovalta ryntäsi taas apuun. Kuten lama-ai- kana on paras tehdä, nyt panostettiin tutkimuk- seen. Kauppa- ja teollisuusministeriö perusti Poh- jois-Suomen Malmigeologisen Toimikunnan jonka tehtävänä oli vuosina 1971–1977 suuren määrära- han turvin mobilisoida yliopistot malmitutkimuk- siin. Toimikunnan merkittävimmät hankkeet olivat Koillismaan projekti, Pohjois-Suomen malminet- sintää palveleva maaperätutkimus Oulun yliopis- tossa, ERTS projekti Helsingin yliopistossa, Lap- in rautamalmiprojekti Åbo Akademiassa Rudyard Fritschin johdolla, Lapin nikkeli-ohjelma Turun yli- opistossa, Pohjois-Suomen geofysikaalinen tulkinta Oulun yliopistossa sekä rikki-isotooppitutkimus ja Pohjois-Suomen malmitiedostoprojekti Teknilli- sessä korkeakoulussa. KTM:n rahoitus jatkui vielä vuoden 1977 jälkeenkin Oulun yliopistossa (Kuh- mon vihreäkivivyöhykkeet -projekti) ja Helsingin yliopistossa (prekambriset porfyrymalmiesiinty- mät -projekti).

1985 jälkeen: Malmilöytöjen paluu

Näyttöjen puutteesta huolimatta vuosina 1972– 1985 Kauppa- ja teollisuusministeriön rahoitus siis jatkui ja se johti siihen että yliopistoissa ja GTK:ssa malminetsinnallinen tutkimusote vah- vistui. 1980-luvulla rutiiniomaisen malminetsin- nän avuksi tuli tieteellisesti ohjattu malmitutki- mus. Malminetsinnän perustana on nyt geologi- sen ympäristön tarkkaan tietämykseen pohjautuva metallogeeninen mallinnus, josta on hyvänä esi- merkkinä vuonna 1993 Elias Ekdahlin julkaisema yhteenveto Raahen-Laatokan vyöhykkeestä. Uusi lähestymistapa johti näyttäviin tuloksiin. Suurin uutuus oli, että Suomen kallioperästä on löytynyt odottamaton määrää kultaa. Ensimmäisenä vuonna 1985 paikannettiin Pahtavaaran kultaesiintymä. Tä- män jälkeen löytyi vuonna 1987 prekambrisen porfyryityypin epitermaalisen muuttumisvyö- hykkeeseen liittyvä Kutemajärven kultaesiintymä (johon ensimmäinen viite saatiin KTM:n rahoit- taman porfyryriprojektin tutkimuksissa Helsingin yliopistossa). Vuonna 1995–1997 löytyi Suuri- kuusikko, Euroopan suurin kultaesiintymä. Tähän päivään mennessä tunnetaan Suomessa noin 200 kultaesiintymää! Myös kerrosintrusioiden tut- kimus johti useihin malmilöytöihin, suurin näis- tä on Koitelaisen Ni-Cu-PGE esiintymä Lapis-

sa, joka paikannettiin vuonna 1987. Aikaisemmin, vuonna 1986 löytyi Suhangon kerrosintrusion kontaktialueella rikas Ni-Cu-PGE-Au esiintymä. Paljon etsittyä komatiitteihin liittyvää nikkeliä ei ole vielä löytynyt mutta Kotalahden ehtyneen nikkeli-kaivoksen ympäristöstä löytyi vuonna 2000 Rytikyn Ni-Cu esiintymä. Malmitutkimus vuoden 1972 jälkeen loi paljon uutta ja vanhasta ja uudesta aineistosta julkaisi vuonna 2002 Boris Saltikoff Geologian tutkimuskeskuksessa Suomen uusitun metallogeenisen kartan mitta-kaavassa 1:1 000 000, jonka seuraksi tuli vuonna 2006 yksityiskohtainen Suomen metallogeenian selostus. Nämä teokset ovat ponnauslauta uusiin, vielä tuntemattomien malmiesiintymien löytöihin.

Näin jälkikäteen arvioiden voidaan todeta, että Pohjois-Suomen Malmigeologisen Toimikunnan panostus kantojeda hedelmää. Ei ole sattuma, että merkittävimmät malmilöydöt tehtiin Pohjois-Suomessa ja vieläkin samoissa metallogeenisissä yksiköissä, joita Pohjois-Suomen Malmigeologisen Toimikunnan toimesta tutkittiin 1971–1977. Metallihinnat ovat pilvissä ja kaivostoiminta on Suomessa elpymässä, tällä kertaa kansainvälisin voimin. Kaivoslaki muuttui vuonna 1996 ja kansainväliset kaivosyhtiöt tulivat Suomeen, joten uudet tekijät toivat kaivossektoriin uusia ajatuksia. Suomen kallioperä on nykyään Euroopan malmiottollisin alue – ja olosuhteet ovat kansainväliselle kaivostoiminnalle suotuisat. Menneillä oleva vilkas malminetsintä- ja kaivosinvestointitoiminta antaa perusteltua toivoa siihen, että lähivuosina metallikaivostoiminta Suomessa pääsee vauhtiin ja sen mukaan malminetsintä säilyy, edes jonkin aikaa, Suomen geologian yhtenä perustehtävänä.

Kansainvälistyminen ja ympäristögeologia

Suomi kulkee kansainvälistymisen tietä. Tämä kehitys alkoi Suomen liittymisellä Euroopan Unioniin vuonna 1995. Liittymisen jälkeen Suomen geologian kansainväliset yhteydet ovat tulleet niin monitahoisiksi, että niiden analyysi ja edes osapuolien luetteleminen käy näin lyhyissä puitteissa mahdottomaksi. Suurimpana vaikutuksena on ollut ympäristögeologian nousu EU:n ja ylipäänsä kansainvälisen rahoituksen myötä. Tässä kehityksessä kahtiajakko kallioperägeologiaan ja maaperägeologiaan on tullut merkitykselliseksi ja samalla monitieteellisyys korostunut. Nykyäänkin geologit hakevat rooliaan yhteiskun-

nassa ja valtaavat uusia toimintakenttiä. Perinteisen raaka-ainehuollon (metallit, teollisuusmateriaalit, energiakantajat) ja pohjaveden tutkimuksen ohella kehitettiin uusia tuotteita etupäässä ympäristösektorista. Uudet alat ja tuotteet ovat paleoilmastotutkimus, ilmastomuutoksen vaikutus pohjaveden määrään ja koostumukseen, ydinjättesijoitus, kunnallis- ja teollisuusjätteen sijoitus, saastuneiden maiden tutkimus, rannikkovyöhykkeiden tutkimus, geohazardit, kaivosympäristötutkimus, geokemian ja terveyden välinen yhteys (”geomedicine”), ympäristövaikutusten arviointi (YVA) ym. Näiden tutkimusten kehittäminen ja rahoitus on tapahtunut osittain, joskus kokonaankin, EU-rahoilla. Geologian tutkimuskeskus on osallistunut EU-tutkimuksiin neljänestä puiteohjelmasta (1992–1998) alkaen. Ensimmäinen suurhanke, jonka koordinoiti tapahtui Suomessa, oli Palmottu uraani-analogitutkimus 1996–2000, jonka Runar Blomqvist veti kunnialla läpi. Tämän jälkeen GTK on osallistunut kymmeneen EU-hankkeisiin, joista esimerkiksi voidaan mainita Baltic Sea System Studies – BASYS, Assessment of environmental risks by airborne geophysical techniques validated by geophysical field measurements – AERA tai Phare-hanke „Survey of the Chemical Status of Groundwaters in Hungary”. Yliopistoille näyttää sopivammalta kansainvälinen yhteistyömuoto UNESCO-IUGS:n IGCP:n kautta, jossa on toistaiseksi rahoitettu enemmän perustutkimusta. Sen sijaan Teknillisen korkeakoulun Geoympäristötekniikan laboratorion profiilille sopii paremmin osallistuminen EU-ympäristötutkimukseen esimerkiksi ”Risk assessment and risk management procedure for arsenic in the Tampere region – RAMAS” hankkeessa. Soveltamisesta hyvä esimerkki on geokemiallisen kartoituksen hyödyntäminen ympäristöalalla kansainvälisissä hankkeissa (Kola Ecogeochemistry, Barents Ecogeochemistry, FOREGS Geochemical map of Europe) Geologian tutkimuskeskuksessa Reijo Salmisen johdolla.

Suomalaista kallioperäkartoitus- ja malmitutkimusta ja geokemian osaamista on käytetty ja käytetään hyväksi myös Geologian tutkimuskeskuksen maksullisissa hankkeissa Euroopan ulkopuolellakin Brasiliassa, Keniassa, Mosambikissa, Tansaniassa, Ugandassa ja Zambiassa. Suomi on näiden hankkeiden kautta osallistunut yhtenä päätekijänä Afrikan geologisen kartan uusimiseen Maailmanpankin ja pohjoismaisen kehitysyhteistyön rahoittamana. Nämä hankkeet tuovat uutta menetelmäkehitystä ja kokemusta Suomeenkin.

Johtopäätökset

Tieteissä, perustutkimuksessa ja sovelluksissa on maailmalla kaikilla aloilla menossa kasvava kilpailu. Geologikin joutuu selittämään yhteiskunnalle mitä hän tekee ja mitä hyötyä siitä on. Viimeaikainen kehitys osoittaa, että geologia on onnistumassa tässä ja sen yhteiskunnallinen merkitys on nousussa. Suomessa tuntuu EU:n myönteinen vaikutus ja kansainvälistyminen, jonka tärkein seuraus on ympäristösektorin vahvistuminen geotieteissä. Suomen myönteinen erikoispiirre on malminetsinnän menestys, joka on seurausta sekä kauppa- ja teollisuusministeriön tukeman Geologian tutkimuskeskuksen määrätieteisestä toiminnasta kotimaassa että kansainvälisen kaivosteollisuuden meneillään olevasta korkeasuhdanteesta maailmalla. Tämä trendi näyttää jatkuvan ainakin lähivuosina. Myös pidemmälle ajatellen malmin kestävä käyttö on välttämätöntä, ja Suomi on tällä alalla avainasemassa Euroopassa. Toivottavaa on, että ympäristösuojelu ja kaivostointi löytävät yhteisen sävelen. Tässäkin kehityksessä geologisten prosessien ymmärtäminen olisi tärkeää.

Suomen geologian kehityksessä on ilmennyt 1960 jälkeen negatiivisiakin piirteitä. Geologian tutkimuskeskuksen ja yliopistojen välillä on vallinnut epätasapaino. Yliopisto-opetus ja -tutkimus Suomessa kehittyivät sirpaleisena pikkulaitoksissa monessa yliopistossa. Yliopistouudistus tukee suuria yksiköitä, ja pienet laitokset, miten tärkeätä yhteiskunnallista merkitystä niillä saattaa olla, jäivät suurten jalkojen alle. Kilpailu määrärahoista ei ole pienten laitosten eduksi. Näin yliopisto tahtomattakin muodostui geologialle huonoksi isännäksi. Mutta yhteistyössä eri yliopistojen geologisten laitosten välillä on ollut myös toimimisen varaa. Kauppa- ja teollisuusministeriö oli hyvä isäntä Geologian tutkimuskeskukselle ja siellä kehitys on ollut suotuisaa. Valtionvallan toimesta on tehty aloite, ja vuoden 2007 alussa yliopisto ja Geologian tutkimuskeskus allekirjoittivat GEONET-yhteistyösopimuksen. Tulevaisuus näyttää kuinka kasvanutta epätasapainoa Geologian tutki-

muskeskuksen ja yliopiston laitosten välillä pystytään hoitamaan niin, että molemmat osapuolet hyötyvät tulevista toimenpiteistä. Toinen negatiivinen trendi geologian koko kehityksen aikana on ollut kahtiajako kallioperä- ja maaperägeologiaan. Viime vuosien kehitys kuitenkin osoittaa parempaa suuntaan hyvänä esimerkkinä Helsingin yliopiston geologian laitos, jossa kahtiajako on poistunut.

Kiitosmaininnat

Kirjoitus ei pyri täydellisyyteen ja se perustuu henkilökohtaisiin havaintoihin sekä kokemuksiin Suomen geologiasta 1961 lähtien. Tekijä on toiminut Outokumpu Oy:n tutkimusgeologina, Pohjois-Suomen Malmigeologisen Toimikunnan tutkimuspäällikkönä, Helsingin yliopiston apulaisprofessorina, Oulun yliopiston dosenttina, Geologian tutkimuskeskuksen valtiongeologina, sittemmin tutkimusjohtajana ja Espoon yksikön johtajana. Hän on tuntenut tai tuntee 1960-luvulta alkaen Suomen geologian ja malmitutkimuksen päätekijät. Hän kiittää entisiä esimiehiä ja kollegoja, edesmenneitä tai keskuudessamme olevia, joilta on oppinut ja saanut vaikutelmia sekä tukea: Pauli Isokangas, Paavo Haapala, Kalevi Kauranne, Raimo Matikainen, Aimo Mikkola, Herman Stigzelius, Heikki Paarma, Tauno Piirainen, Juhani Seitaaari, Heikki Tuominen, Erkki Viluksela, Heikki Wennervirta ja Veikko Vähätalo. Lisäksi hän kiittää kunnioittaen niitä lukuisia kollegoja ja ystäviä, joita on mahdotonta tässä mainita erikseen ja joiden kanssa tehty yhteistyö on vaikuttanut Suomen kallioperägeologian ja malmitutkimuksen edistämiseen.

Gabor Gaál

Professori, Tutkimusjohtaja,
Geologian tutkimuskeskus 2003 asti
nykyinen osoite:
MAESTOSO AB, 24040 Tjörnarp, Box 60,
Ruotsi
ggaal@telia.com

TV2:n dokumenttiprojekti esittää
Mikko Pielan dokumentin geologi Väinö Auerista
Väinö Auer (1895–1981) 25.9.2007.