

Suomalaisen geotieteen voimanponnistus

■ ARI POIKONEN

From the Earth's core to Outer Space. Toimittanut Ilmari Haapala. Soringer Verlag 2012.

From the Earth's core to Outer Space on laajennettu ja paranneltu englanninkielinen laitos vuonna 2009 suomen kielellä julkaistusta, Ilmari Haapalan ja Tuija Pulkkinen toimittamasta kirjasta *Maan ytimestä avaruuteen*. Kirja koostuu artikkeleista, jotka pohjautuvat Suomalaisen Tiedeakatemian 100-vuotisjuhlavuonna 2008 pidetyn kahden geotieteelliseen symposiumin esitelmiin.

Kirjan sisältö jakautuu neljään teemaan, jotka ovat muuttuva maankuori, muuttuva Itämeri, ilmastomuutos ja planeetta maa – kolmas kivi auringosta. Kirjan sisällön aikaskaala on maallikon näkökulmasta huikea. Satu Mertasen ja Lauri Pesosen artikkelissa käsitellään erilaisten supermantereiden muodostumisia ja hajoamista 2,45–1,04 miljardia vuotta sitten. Artikkelit edustaa geotieteen haaraa, jota kutsutaan paleomagnetismiksi. Paleomagnetismi tutkii Maan muinaista magneettikenttää, jonka suunta ja voimakkuus voidaan mitata magneettisia mineraaleja sisältävistä kivistä. Seuraavat artikkelit keskittyvät maankuoren rakenteeseen ja kehitykseen Suomen alueella. Pekka Heikkinen esittelee seismologian näkökulman, jossa syväseismisillä luotauksilla määritetään maapallon kuoren ja vaipan välisen rajapinnan syvyys. Tätä kutsutaan löytäjän mukaan Mohorovicicin rajapinnaksi eli ammatikielellä Mohoksi. Maankuoren keskimääräinen paksuus manneralueilla on 41 km. Suomessa ensimmäinen vuonna 1981 tehty taittumisloukaus yllätti seismologit, koska maankuori oli erittäin paksu, paikoittain yli 60 km. Myöhemmät syväseismiset luotaukset ovat vahvistaneet havainnon. Raimo Lahtinen esittää vakuuttavan tulokinnan Suomen prekambriksen (ikä 4 570–540 milj. vuotta) kallioperän alkuperästä ja kehityksestä. Artikkelissaan hän käyttää hyväksi tuoreimpia geologisia, geofysikaalisia ja geokemiallisia tutkimustuloksia. Tinkimättömän tieteellisen esitystavan takia artikkeli sisältää suuren määrän geologista erityissanastoa, joka saattaa muodostua osalle lu-

kijoista ylittämättömäksi esteeksi.

Seuraavissa artikkeleissa geologiaan tulee myös taloudellinen näkökulma. Hugh O'Brien ja Marja Lehtonen kuvaavat Itä-Suomen vanhan (arkeisen) kallioperän rakenteen ja synnyn, mikä selittää timantteja sisältävien kimberliitti-piippujen esiintymisen tuolla alueella. Vielä 1980-luvulla timanttien esiintymistä Suomen kallioperässä pidettiin yleisesti mahdottomana. Geologit eivät osanneet etsiä kimberliittejä, koska kivilaji ei esiintynyt maastossa samanlaisina irtolohkareina kuin metalliset malmit. Vaikka yksityinen kaivosyhtiö löysikin ensimmäisen kimberliitin Itä-Suomesta jo 1960-luvun puolivälissä, ei tietoa kuitenkaan allalla liiemmin levitetty. Maaperän tutkimiseen perustuvan etsintämenetelmän toivat Suomeen ulkomaiset kaivosyhtiöt 1990-luvulla, jonka jälkeen potentiaalisia timanttiesiintymiä alkoikin löytyä. Pekka Nurmen ja Pasi Eilun artikkeli on kattava esitys Suomen ja Fennoskandian mineraaliesiintymistä ja niiden syntymekanismista. Artikkelissa kuvataan myös tarkemmin erityyppisiä suomalaisia malmiesiintymiä, kuten Talviavaaran nikkeliesiintymä. Lopuksi kirjoittajat esittävät Suomen mineraalistrategiasta (2010) peräisin olevan ennusteen, jonka mukaan Suomen kaivosten metallisten malmien tuotanto kasvaa vuoteen 2020 mennessä 70 milj. tonniin vuoden 2004 tasosta (4 milj. tonnia). Talviavaaran kaivoksen ympäristöönnettomuus saattaa kuitenkin aiheuttaa tarkistuspaiteita strategian mukaisiin ennusteisiin. Muuttuvan maankuoren osuuden päättävät Tapani Rämön artikkeli isotooppi-geologiasta ja Juhani Kakkurin esi-

tys Fennoskandian maannoususta.

Seuraavissa artikkelisarjoissa kantavana teemana on ajan hengen mukaisesti muutos. Ensimmäinen neljän artikkelin sarja keskittyy muuttuvaan Itämereen ja niitä seuraavat viisi artikkelia ilmastonmuutokseen. Itämerta käsitellään monesta näkökulmasta. Matti Leppäranta käsittelee Itämeren jääolosuhteita ja niissä tapahtuneita muutoksia viime vuosisadan alusta lähtien. Pentti Mälkin ja Matti Perttilän artikkeli keskittyy Itämeren veden vaihtuvuuteen ja happiolosuhteisiin.

Ilmastonmuutos on tutkijan näkökulmasta selvästi hankala aihe, koska taustalla vaikuttaa poliittisten päätöksentekijöiden, ympäristöliikkeiden ja talouselämän huoli ilmastonmuutoksen laajemmista yhteiskunnallisista ja taloudellisista vaikutuksista. Poliittisella päätöksenteolla ja medialla on usein taipumus hakea monimutkaisiin ongelmiin yksinkertaisia ratkaisuja, mikä johtaa helposti tieteelle vieraaseen konsensuksen vaatimukseen sellaisissakin asioissa, joissa tietämys on puutteellista tai tutkijoiden näkemykset hajoavat. Osuva luonnehdinta tällaiselle politiikan ja erilaisten yhteiskunnan intressien ristipaineissa tapahtuvalle tutkimukselle on ns. postnormaalien tieteiden käsite (ks. Heinonen ja Raevaara: *Tieteessä tapahtuu* 5/2012).

Johdatuksena varsinaista ilmastonmuutosta käsitteleviin artikkeleihin on Matti Perttilän kirjoitus meren hiilidioksidista. Artikkelissa kuvataan hiilidioksidin kemialla ja taseita meressä ja selitetään meren happamoitumisen mekanismit. Tiedetään, että meri toimii suurena hiilidioksidin nieluna ja lähtee-

nä, mutta hiilidioksidin kulkeutuminen meren ja ilmakehän rajapinnan läpi on monimutkainen prosessi, josta on olemassa vähän mitattua tietoa. Artikkelissa olisi voitu ottaa kantaa myös hiilidioksidin ja lämpötilan väliseen kausallisuuteen, mikä on yksi keskeinen väittelyn aihe ilmastokeskustelussa. Etelämantereen ja Grönlannin jääkairauksissa on havaittu, että historiallisessa aineistossa hiilidioksidin nousua edeltää lämpötilan nousu eikä päinvastoin. Sama syyseuraussuhde on löydetty aivan äskettäin myös viime vuosikymmenen globaalista mittausaineistosta.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista Itämeren biologiaan on kirjoittanut Markku Viitasalo. Esko Kuusiston artikkeli vastaa yhteiskunnan huoleen vesivarojen riittävydestä ilmaston lämmitessä. Ilmakehän aerosolihiukkasten roolista ilmastonmuutoksessa on kirjoittanut Markku Kulmala. Valtamerien ja metsien tuottamat pienhiukkaset toimivat jossain määrin ilmaston lämpötilan nousua hillitsevänä tekijänä, mutta niiden vaikutuksia ei vielä toistaiseksi ole kyetty arvioimaan tarkasti. Epätäydellisessä palamisprosessissa syntyvä noki taas absorboi auringon säteilyä ja vaikuttaa siten ilmastoa lämmittävästi. Jouni Räisäsen artikkeli käsittelee kasvihuoneilmaston voimistumista Pohjois-Euroopassa ilmastomallien ennusteiden perusteella. Artikkelissa esitetään 20 ilmastomallin keskimääräinen, kuluvan vuosisadan loppuun asti ulottuva ennuste maapallon lämpötilalle ja sadannalle. Pohjana on käytetty hallitusten välisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) keskimääräistä päästökkenaariota (SRES A1B). Keskimääräinen ennuste Etelä-

Suomen lämpötilan nousulle vuosisadan loppuun mennessä on 3,7 °C vaihteluvälin ollessa 2–6 °C. Artikkelissa todetaan, että kaikkia ilmastoon vaikuttavia keskeisiä ilmiöitä, kuten pilvisyyttä, ei malleilla kyetä realistisesti simuloimaan. Ennusteen luotettavuutta heikentää merkittävästi tulosten suuri hajonta, joten artikkelissa olisi voinut olla jonkinlainen arvio eri mallien todennetusta ennustekyvystä. Suurin haaste ilmastomallien luotettavuuden todentamiselle on havaintoaineistossa olevan antropogeenisen signaalin erottaminen ilmaston luonnollisesta vaihtelusta, joka aiheutuu pääosin auringon aktiivisuuden muutoksista, merivirroista ja niiden monimutkaisista vuorovaikutusmekanismeista ilmakehän kanssa.

Seuraavat kaksi artikkelia antavat käsityksen ilmaston luonnollisen vaihtelun laajuudesta ja jaksollisuudesta geologisella aikajanelalla. Juha Karhu aloittaa tarkastelunsa maapallon muinaisesta ilmastosta. Ennen hapen ilmaantumista maapallon ilmakehään noin 2,4 miljardia vuotta sitten, hiilidioksidin ja metaanin osuus ilmakehässä kasvaa ajassa taaksepäin siirryttäessä. Näiden kasvihuonekaasujen osuus ilmakehässä oli tuolloin suurempi kuin nykyään ja niiden ilmakehää lämmittävä vaikutus kompensoi tuolloin vielä nuoren auringon heikompa säteilytehoa. Hapen osuus ilmakehässä kasvoi mahdollisesti hyppäyksittäin, kunnes se saavutti likimain nykyisen tasonsa noin 540 miljoonaa vuotta sitten. Antti Ojala jatkaa artikkelissaan maapalloon ilmastohistorian kuvaamista edellisen 11 650 vuotta sitten päättyneen jääkauden jälkeisellä, nykyaikaan ulot-

tuvalla holoseenikaudella. Historiallisen lämpötilan rekonstruointi perustuu mm. Grönlannin jääkairauksiin ja Suomessa tehtyihin järvisedimenttitutkimuksiin. Aikakauden toistaiseksi lämpimin jakso Fennoskandian alueella koettiin 5 500–7 500 vuotta sitten, jolloin ilmasto oli noin 2 °C nykyistä ilmastoa lämpimämpi. Tämän jälkeen ilmaston lämpötila kääntyi hitaaseen laskuun. Viimeisen 2000 vuoden lämpimin aikajakso on toistaiseksi keskiajan lämpökausi vuosina 900–1 200. Ilmasto Fennoskandiassa oli tuolloin 0,5–0,8 °C nykyistä lämpimämpi, mikä mahdollisti muun muassa ohranviljelyn viikinkien asuttamissa siirtokunnissa Grönlannissa. Tätä ajanjaksoa seurasi ns. pieni jääkausi, jolloin ilmasto oli noin 1 °C nykyistä kylmempi. Pienen jääkauden katsotaan päättyneen 1800-luvun puolivälissä, jonka jälkeen ilmasto on alkanut jälleen lämmetä. Monet geotieteilijät pitävätkin tätä lämpötilan hidasta nousua ainakin osin ilmaston luonnollisena palautumisena pienestä jääkaudesta. Luonnollisen vaihtelun aiheuttajiksi on esitetty auringon poikkeuksellisen korkeaa aktiivisuutta viimeisen sadan vuoden aikana ja valtamerien ns. termohaliinikieron jaksollisuutta, joka ilmenee pohjoisella pallonpuoliskolla Golfvirran lämmönsiirron säännöllisinä muutoksina.

Miljoonien vuosien taakse ulottuva geologinen ilmastohistoria antaa realistisen kuvan ilmaston luonnollisesta vaihtelusta ja osoittaa myös ilmakehän hyvän itsesäätelykyvyn rajustikin muuttuvia luonnonolosuhteita vastaan. Ilmaston luonnollisten vaihtelujen puutteellinen tuntemus onkin

mallien ennusteisiin painottuvan ilmastotutkimuksen suurimpia kiistanaiheita.

Viimeinen artikkeliryhmä tarkastelee maapalloa kosmisesta näkökulmasta. Heikki Nevanlinnan ja Hannu Koskisen artikkelit käsittelevät avaruussäätä ja sen määrävää auringon aktiivisuutta. Nevanlinnan artikkeli painottuu geomagneettisen kentän ilmiöihin. Koskisella on laajempi näkökulma alkaen historiasta sekä päätyen avaruussään vaikutuksiin maan pinnalla ja avaruudessa oleviin tekniisiin järjestelmiin. Markku Poutasen artikkeli avaruusgeodesiasta on hyvä tietopaketti kaikille paikatiedon teoriasta ja GPS:n toimintaperiaatteista kiinnostuneille. Kaksi viimeistä artikkelia jättävät jo maan taakseen. Risto Pellisen aiheena on planeetta Mars, joka on nyt erikoisen ajankohtainen *Curiosity*-mönkijän laskeuduttua planeetalle viime kesänä (2012). Ensimmäistä miehitettyä lentoa Marsiin on suunniteltu 2030-luvulle. Retkikunnassa olisi kuusi tarkoin testeihin valittua henkilöä ja edestakaisen matkan pituus olisi lähes kolme vuotta, joista runsas vuosi kuluisi Marsin pinnalla. Kirjan viimeisessä, Harry J. Lehdon kirjoittamassa artikkelissa etsitään avaruudesta elämää. Kirjoitus on mielenkiintoinen yhteenveto tämänhetkisestä tietämyksestä sekä elämän etsinnässä käytetyistä menetelmistä ja laitteista.

Kirja välittää hyvin lukijalle suomalaisen geotieteen nykytilan ja sen keskeiset tutkimuslinjat. Vaikka kirjoittajat ovat oman alansa erikoisasiantuntijoita, ovat artikkelit kuitenkin riittävän yleistajuisia kaikille matemaattis-luonnontieteelliset perusteet hallitse-

ville lukijoille. Geologian runsas vieraskielinen käsitteistö vaatii lukijalta kuitenkin geologisiin aikakausiin ja prosesseihin liittyvien termien selvittämistä. Ongelma on jo ennakoitu lisäämällä kirjaan liitteet geologisesta aikataulusta ja maan sisustan kerrosrakenteesta. Muiden termien merkitys selviää vaivattomimmin internetin haku-koneilla ja wikipedia-tyyppisten yleisten e-tietokirjojen avulla.

Kirjoittaja on geofyysikko ja dosentti.