

## Järjestystä monimuotoisena vellovaan hivenainetutkimukseen

■ PEKKA NUORTEVA

Alina Kabata-Pendias & Arun-B. Mukherjee: *Trace Elements from Soil to Human*. Springer 2007.

Alkuaineiden virtaus maaperästä eliöstöön kuuluu elämän keskeisiin perustapahtumiin. Tuo ihmistäkin koskettava virtaus tiedostettiin jo vuosituhsia sitten ja kirjattiin pyhiin kirjoihin sanontana: "Maasta olet sinä tullut, maaksi olet sinä jälleen tuleva." Myöhemmin tuo vaistomaisesti omaksuttu alkukäsitys jäsenettiin kemiallis-biologisen tutkimuksen avulla. Saatiin peruskuva siitä, miten pääravinteet virtaavat maaperästä eliöstöön. Saatiin myös tuntuma siihen, millainen rooli eri ravinteilla on heterotrofisten eliöiden toimeentulossa ja menestyksessä.

Saadun perustiedon pohjalta ihmiselle avautui mahdollisuus parantaa peltojen satoisuutta keinolannoituksella. Sen seurauksena

viljelykasvit rehevöityivät ja tuottivat ihmiselle syötävää entistä runsaammin ja samalla entistä ravinteikkaampana. Nälänhädät väistyivät ja saavutettua edistystä voitiin aiheellisesti juhlia tieteen suurvoittona.

### Hivenaineiden olemus

Satoisuuden lisääminen onnistui jo sillä, että peltomaahan lisättiin helppoliukoisessa muodossa kasvien tarvitsemia pääravinteita. Pääravinteiden seassa vähämääräisiä tai hivenpitoisuuksina esiintyvien alkuaineiden merkityksen selvittelyyn päästiin vasta myöhemmin. Kemiallisten analyysimetodien tarkkuus ei nimittäin ensi hätään ollut riittävä. Tilanteen korjaannuttua hivenaineiden merkitys havaittiin odotettua suuremmaksi. Samalla paljastui tietynlainen ero pääravinteiden ja hivenaineiden välillä: Pääravinteiden merkitys painottuu kasvien ja muidenkin eliöiden perusmassan rakentumiseen, hivenaineiden merkitys taas erilaisten fysiologisten toimintojen hienosäätelyyn – aineenvaihdunnan, entsyymien ja hormonien toiminnan ohjailuun ja solujen elinkaaren pidentämiseen. Lisäksi havaittiin, että hivenaineet toimivat yleisesti toistensa antagonistina tai synergisteinä.

Hivenaineiden terveyttä ylläpitävä vaikutus ulottuu ihmiseenkin. Jo 1970-luvulla tutkimus avasi ihmisille mahdollisuuden kohentaa terveyttään kohdistamalla ruokailuaan runsaasti hyödyllisiä hivenaineita sisältäviin elintarvikkeisiin tai nauttimalla lääketeollisuuden valmistamia ja näyttävästi markkinoituja hivenainepillereitä. Hivenaineterapiaa ohjaavia kansantajuisia opaskirjojakin ilmestyi (esim.

S. Turunen: *Ihmisen ravitsemus*, 1982; J. Jaakkola: *Parantavat vitamiinit ja hivenaineet*, 1987). Värikäs julkinen keskustelu suomalaisten kansanterveyttä vakavasti heikentäneen seleeninpuutoksen torjumisen taktiikasta herätti ihmiset tajuamaan hivenainepuutosten suuren merkityksen. Hivenaineiden julkisuudessa saama huomio loi kansalaisissa illuusion, että tiedämme jo hivenaineista lähes kaiken tarpeellisen ja pystymme siten hallitsemaan niihin liittyvät ongelmatkin.

### Järjestystä tuhansien tutkimusten tulvaan

Tosiassissa tietämyksemme hivenaineista on kuitenkin erittäin puutteellista. Hivenaineiden toimintakenttä ei nimittäin rajoitu vain ihmisen ravitsemukseen, vaan se käsittää maapallomme koko elonkehän miljoonine eliölajeineen.

Vaikka tutkimuksia on julkaistu useita tuhansia, on niiden kattavuus elonkehän mittasuhteissa jäänyt heikoksi ja tutkimuksen painopiste on yksipuolisesti kohdistunut peltomaihin ja ihmisen ravitsemukseen. Erillistutkimusten suuri määrä hukuttaa näkymättömiin hivenainetutkimuksen holistiset lainalaisuudet. Onkin syntynyt tarve koota kertynyt tulosaineisto seläläiseen järjestykseen, että perustotuudet saataisiin paremmin esille ja jatkotutkimuksille löydettäisiin mielekäs suunta.

Tässä tilanteessa on ilahduttavaa, että professori Alina Kabata-Pendias Puolasta ja tohtori Arun Mukherjee Suomesta ovat rohkaissut mielensä ja lähteneet ryhtymään sekavana vellova hivenainetietämystä edes jonkinlaiseen holistiseen järjestykseen.

Kabata-Pendias tarttui tähän työhön sillä pätevyydellä, joka hänellä oli maaperätieteen ja kasvinviljelyn professorina ja alan kansainvälisesti arvostettuna tutkijana. Tohtori Arun Mukherjee taas on Helsingin yliopistossa väitellyt hivenaineiden biogeokemian ja ympäristönsuojelun tutkija, joka on painottanut toimintansa tieteellisten yleiskatsausten laadintaan. Intiassa syntynyt, mutta Suomessa vuosikymmenet asunut Mukherjee on toiminut Viikissä Ympäristötieteen laitoksella ja on kirjannut ansioluetteloonsa yli 80 kansainvälisesti merkittävää ympäristönsuojelullista julkaisua.

Työhön ryhdyttyään Kabata-Pendias ja Mukherjee joutuivat toteamaan hivenainekysymyksen haarovan niin monenlaisiin suuntiin, että se on pakko käsitellä osio kerrallaan. Alkupalakseen tekijät valitsivat alan klassisen juonteen eli edellä kuvaillun alkuaineiden virtauksen peltojen maaperästä ihmiseen. Suorittamansa rajauksen he ilmaisevat jo kirjansa nimessä: "Trace Elements from Soil to Human". Kirjaa lukiessa voi kuitenkin todeta, että tekijät ovat ottaneet alkupalaansa mukaan myös vesiekosysteemiin kulkeutuvat hivenaineet. Tämä on loogisesti oikea aluerajaus, koska peltomaan ravinteet ja hivenaineetkin todella virtaavat kahteen suuntaan: toisaalta viljelyskasvien kautta ihmiseen, toisaalta haitallisena valumana vesistöihin (ravinnevirtojen bifurkaatio). Aluerajaus on perusteltu myös siksi, että sen puitteissa nousee esiin keinolannoituksen rooli.

### Viisikymmentäviisi hivenainetta

Kabata-Pendiasen ja Mukherjeen työn päätavoitteena on siis ollut

hajallaan olevan hivenainetietouden ryhmittäminen siten, että joihinkin hiveaineisiin törmänneet luonnonilmiöiden tutkijat voivat kirjan avaamalla saada käsityksen tapaamiensa hivenaineiden vaikutuskirjosta. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi Kabata-Pendias ja Mukherjee ovat esitelleet erikseen kutakin hivenainetta koskevan tietämyksen. Esiteltäviä hivenaineita heillä on peräti 55.

Hivenaineiden määrä huimaa biologeja, jotka ovat tottuneet tutkimuksissaan rajaamaan tarkasteltujen hivenaineiden lukumäärän 5–15 aineen tasolle. Tuollaisen rajauksen jälkeen biologien on ollut pakko elätellä uskoa, että he ovat osanneet ottaa mukaan kaikki ne hivenaineet, joilla on todellista merkitystä. Pohjimmaisena syynä tuollaisiin rajauksiin on ollut tarve pitää tutkimusbudjetti kurissa. Kabata-Pendiaksella ja Mukherjeella ei ollut tarvetta ottaa kantaa hivenainevalinnan mielekkyyteen. Hehän esittelivät kaikki hivenaineet isotooppeineen päivineen. Heidän esittelyistään ilmenee kuitenkin, että monilla biologisesti merkitysettömiksi katsotuilla hivenaineilla on sittenkin ollut voimallisia ja laadultaan yllättäviä vaikutuksia. Lisäksi joitakin harvinaisina syrjityjä hivenaineita on löytynyt huomattavan korkeina pitoisuuksina odottamattomista paikoista.

Kabata-Pendias ja Mukherjee ovat laatineet jokaisen hivenaineen esiintymisestä ja vaikutuksista noin kymmeneksi luvuksi jäsennellyn kuvauksen. Lukujen määrässä ja otsikoinnissa he ovat joustaneet sopivasti kustakin hivenaineesta tarjolla olevan aineiston ja erikoistarpeiden määräämällä tavalla. Useimmiten on mukana johdanto

(aineen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet), tavallisimmat yhdisteet, esiintyminen kallioperässä, aineen teollinen käyttö, esiintyminen maaperässä, vesissä, ilmassa, kasveissa sekä eläimissä ja ihmisessä. Viimeksimainituista on kuvattu myös fysiologia ja terveysvaikutukset. Kuvauksia on runsaasti täsmennetty ja havainnollistettu taulukoilla ja diagrammeilla. Joissain tapauksissa (esim. Mn) on onnistuttu kuvaamaan hivenaineen toiminnalliset peruspiirteet.

#### **Kiitosta ansaitseva suurtyö**

Ainekohtaisen tarkastelun lisäksi teoksessa on ansiokas jakso, missä kerrotaan, millaisia hivenainekoostumuksia tavataan biosfäärissä, maaperässä, vesissä ilmassa, kasveissa ja ihmisissä. Tämä luku on monipuolinen ja mielenkiintoinen avaus hivenaineiden synekologiaan. Esimerkiksi taulukoissa 1-5-2 ja 1-5-3 kerrotaan, minäkalaisista maaperistä eri hivenaineet löytyvät ja mitkä hivenaineet toimivat yhdeksän eri pääravinteen antagonisteina tai synergisteinä. Taulukossa 1-6-1 taas kerrotaan, mitä sairauksia eri hivenaineiden puutos tai ylitarjonta aiheuttavat ihmisessä. Arvokkaita ja käyttökelpoisia ovat myös monet taulukot, joissa kerrotaan hivenaineiden aiheuttamista ympäristönsuojelullisista haitoista.

Kaiken kaikkiaan Kabata-Pendias ja Mukherjee ovat suorittaneet kiitosta ansaitsevan suurtyön, joka antaa hivenaineiden kanssa tekemisiin joutuville tutkijoille ensi käden tiedon jokaisen hivenaineen esiintymisestä ja merkityksestä. Lisäksi he osoittavat hivenainetutkimuksen parissa työskenteleville runsaasti lisätutkimusta kaipaavia kohteita.

#### **Suomenkielisten tutkimusten syrjintä**

Käsitteellisen teknisessä toteuttamisessa tekijät ovat joutuneet suorittamaan suuren joukon rajauksia ja valintoja. Enimmäkseen he ovat onnistuneet ratkaisuisaan. Mukana on pari sellaista ratkaisua kaipaavaa tiedemaailman ongelmaa, joita on hedelmällistä tarkastella Kabata-Pendiaksen ja Mukherjeen kirjan näkökulmasta.

Näistä ensimmäinen koskee suomenkielisten julkaisujen ottamista mukaan tieteellisesti korkeatasoisiin kansainvälisiin katsauksiin. On tietenkin itsestään selvää, etteivät suomenkieltä taitamattomat tutkijat voi ottaa niitä huomioon.

Vaan mitä tekee suomenkielen hallitseva tutkija laatiessaan kongressikielistä katsausta? Toimiiiko hän tiedeyhteisön omaksumien käytäntöjen vastaisesti esittäessään lähdeviittauksen sellaiseen tutkimukseen, jonka kieltä ei juuri kukaan pysty ymmärtämään? Vai tekeekö hän moraalisen virheen vaiteksaan tiedossaan olevista, päteviksi katsottavista ja painoasuisina julkaistuista tutkimustuloksista?

Kabata-Pendias ja Mukherjee olivat monien muiden tavoin pyytäneet tiukan kansainvälisyyden linjalla. Se oli heidän ratkaisunsa, eikä heitä voi siitä syyttää. Tämä ratkaisu merkitsi kuitenkin muun muassa sitä, että Martti Kurjen kolmiosaisena julkaisema mahtava tutkimus *Suomen peltojen viljavuudesta* (1963, 1972 ja 1982) hivenaineepitoisuuksien alueellista vaihtelua kuvaavine karttoineen ja diagrammeineen jäi liitettämättä osaksi kansainvälistä tietopääomaa. Näin kävi, vaikka Kurjen tutkimus ylitti laajuudessaan ja täsmällisyydessään useimmat kan-

sainvälisen kentän tulospöortit täästä aihepiiristä.

Kielellisen diskriminoinnin vuoksi kansainvälinen tiedeyhteisö jäi tällä kertaa myös vaille tietoa siitä, miten suomalaisten vaarallisen alhaiseksi havaittu ja kansanterveyttä heikentävä seleenipitoisuus saatiin parannetuksi keinolannotteisiin lisätyn seleenin avulla. Eikä tiedeyhteisö saanut myöskään kuulla siitä, miten seleenin yliannostus todettiin ja katkaistiin.

Venäjä on suuren kansan kieli, mutta sekin syrjäytetään kansainvälisessä tieteenharjoituksessa varsin usein. Näin tekivät myös Kabata-Pendias ja Mukherjee, jotka jättivät huomiotta esimerkiksi petroskoilaisen professori Matti Toikan laajan ja arvokkaan hivenainetutkimuksen (*Mikroelementti v biosfere Karelii i sopedelnih raionov I–II*, 1976).

Globalisoituvassa tiedeyhteisössä olisi syytä herätä huomaamaan, että kielellisellä diskriminoinnilla menetetään arvokasta tietoa.

### **Internetillä synnytetty kulttuurikatkos**

Kabata-Pendiaksen ja Mukherjeen teoksen kolmituhantinen kirjallisuusluettelo koostuu valtaosaltaan viittätoista vuotta nuoremmista tutkimuksista, ja niistäkin huomattava osa on peräti 2000-luvulta. Tämä kertoo tutkimustoiminnan viimeaikaisesta aktivoitumisesta, mutta myös Internetillä suoritettujen kirjallisuushakujen helpoudesta ja tehokkuudesta. Vanhempien aikojen tutkimustuloksia Internetin haut nostavat esiin kitsaaminen, usein ei ollenkaan. Tämän vuoksi useimpien nykypäivinä ilmestyneiden biologisten kirjallisuusluetteloiden ikäpainotus on

vinoutunut samaan malliin kuin Kabata-Pendiaksen ja Mukherjeen kirjassa.

Vanhoiden tutkimustulosten viroksuminen synnyttää kuitenkin ongelman, jota voidaan sanoa kulttuurikatkokseksi. Käytännössä tämä ilmenee siten, että varhaisempina vuosina tehdyt, arvokkaita oivalluksia sisältävät perusselvitykset eivät pääse nousemaan vuosikymmenien takaisista tieteellisistä aikakauskirjoista nykyisen tutkijapolven käyttöön. Tekee mieli puhua elävänä haudatusta tutkimustiedosta.

Kabata-Pendiaksen ja Mukherjeen kirjasta voi tämän kulttuurikatkoksen seurauksena nostaa esiin sen sekavan haparoinnin, joka vaivaa elohopean haittoja kuvaavaa tekstiä. Selkeyttävä peruskäsitys metyylielohopean aiheuttamasta Minamata-sairaudesta saatiin jo 1960-luvulla. Tutkimustulokset julkaistiin vuonna 1968 M. Kutsunan toimittamana Kumamoton yliopiston laajana yhteenvetona. Jo tuolloin oli oivallettu epäorgaanisen elohopean ja metyylielohopean välinen suuri toksisuusero ja siihen liittyvä vesien pohjalietteessä olevien mikrobien toteuttama biometyylaatio, joka muunsi epäorgaanisen elohopeasaasteen huippumyrkylliseksi ja ravintoketuissa tehokkaasti kaloihin bioakumuloituvaksi metyylielohopeaksi. Todetuksi tuli myös kaloista ihmisiin siirtyvän metyylielohopean neurotoksisuus sekä kuolleiden ja sairastuneiden suuri määrä. Tuo raportti oli niin iskevä, että se herätti koko maailman ymmärtämään ympäristönsuojelutoimien tarpeellisuuden.

Suomessa tämä tutkimustieto näyttäytyi kirjoissa *Elohopea Suomen luonnossa ja hallintokoneis-*

*tossa* (1976), *Elohopeasade* (1979), kymmenissä tieteellisissä julkaisuissa ja sadoissa kansantajuisissa artikkeleissa. Kulttuurikatkos vie Kabata-Pendiaksen ja Mukherjeen kirjassa Minamata-sairaudelta sen iskevyyden eikä uusien tutkimustulosten esittely pysty täysin korvaamaan menetettyä.

Kulttuurikatkos on varsin laajalle levinnyt, tieteellisiä tutkimustuloksia unholaan siirtävä ilmiö. Olen törmännyt tähän ilmiöön opinnäytetöitä ohjattessani ja kansainväliin kongresseihin osallistuessani. On masentavaa toimia ilonpilajana, joka kertoo uuden lainalaisuuden oivaltajalle, että oivallus on kylä sinänsä hieno, mutta ei valitettavasti ihan uusi, vaan 30–50 vuotta sitten tehdyn oivalluksen toisinto. Mielestäni tiedeyhteisön olisi syytä ryhtyä toimiin kulttuurikatkoksen eliminoimiseksi. Tämä voitaisiin saavuttaa lisäämällä vanhojen tutkimusten saatavuutta Internetissä. Sitä kai yritetäänkin, mutta tahtia olisi syytä kiristää.

### **Elonkehän hivenaineet haaste biologielle**

Voidaan sanoa, että Kabata-Pendiaksen ja Mukherjeen mahtava kirja on käyttökelpoinen ja arvokas tienviitta ja lähtökohta niille tutkijoille, jotka lähtevät syventämään tietämystä siitä, miten maaperän hivenaineet siirtyvät kasvien kautta kotieläimiin ja ihmisiin tai karkaavat vesistöihin. Sitävastoin he eivät ainakaan toistaiseksi ole ojentaneet auttavaa kättään niille tutkijoille, jotka pyrkivät selvittämään hivenaineiden virtailua ja merkitystä metsissä sekä alkuperäisen luonnon muissakin eloyhteisöissä.

Kun luonnon eloyhteisöt koostuvat miljoonista eliölajeista on

ajatus niiden parissa liikkuvien hivenainevirtausten tutkimisesta ja kuvaamisesta sen suuruusluokan yritys, että sitä voi parhaiten luonnehtia sanalla mahdoton.

Monet vetäytyvät syrjään tuolaisesta hankkeesta toteamalla, ettei se ei ole vain mahdoton vaan myös tarpeeton. He ajattelevat lähinnä, että evoluutio on muovannut elonkehän eloyhteisöihin niin tehokkaat ja vuosimiljardien ajan hyvin toimineet säätelyjärjestelmät, ettei elonkehästä kannata pitää huolta. Sen voi kaikessa rauhassa jättää toimimaan ja korjaamaan häiriöitä itsekseen.

Monet ihmistoimet kuitenkin vaikuttavat voimallisesti luonnon eloyhteisöihin. Tällöin hivenainoiden virtailuihin saattaa syntyä

pahojakin häiriöitä, myös sellaisia, jotka välittömästi tai välillisesti vaikuttavat ihmisenkin menestykseen. Tiedetään esimerkiksi, että muutokset metsäpuiden hivenainepitoisuuksissa saattavat heikentää niiden vastustuskykyä niin pahasti, että tuhohyönteiset pääsevät iskeytymään niihin tappavana joukkona. Toisaalta tiedetään, että metsämaassa liian runsaina esiintyvät myrkylliset hivenmetallit saattavat kulkeutua metsäpuiden siiviläputkista ravintoaan imeviin kirvoihin niin suurina pitoisuuksina, että kirvojen ulosteita toukkiensa ravinnoksi keräävien kekemuurahaisten, kimalaisten ja mehiläisten toukkien kuolleisuus lisääntyy ja kannat pienenevät. Tämän seurauksena muura-

haisten kurissa pitämät perhostuholaisten kannat saattavat kasvaa. Toisaalta kimalaisten ja mehiläisten pölyttämien kukkakasvien olemassaolo saattaa vaarantua. Tämä on pahemman suuruusluokan vaara kuin ilmaston globaalinen lämpeneminen (vrt. *Lounais-Hämeen Luonto* 34 s. 6–11, 2007).

Hivenaineet muodostavat kaiken kaikkiaan biologeille erittäin monivivahteisen ja tärkeän tutkimushaasteen. Työtehtävistä ei tule olemaan puutetta. Toivottavasti ei myöskään tutkimusresursseista.

Kirjoittaja on Helsingin yliopiston ympäristönsuojelun emeritusprofessori.

## KOKOUSPAIKKA KESKELLÄ KAUPUNKIA



Tieteiden talo

varaukset@tsv.fi  
puh. (09) 228 69221  
tai (09) 228 69265  
www.tieteidentalo.fi

**Ryhmätiloja ja luentosaleja  
18–135 hengelle**

**Vastaanottotiloja  
ja näyttelysali**

**Ajanmukaiset laitteet  
ja verkkoyhteys  
sekä vahtimestarin palvelut  
sisältyvät edullisiin hintoihimme.**

**Kokoustarjoilut**

**Tiedekahvilasta**

**Kahvila on auki  
ma–to 8.30–18.00, pe 8.30–16.00  
Salaatti- ja keittolounas klo 11.30–14**

**Iltaisin ja viikonloppuisin tilauksesta.**

**KIRKKOKATU 6, 00170 HELSINKI**



Tiedekahvila

tarjoilu@tiedekahvila.fi  
puh. (09) 228 69280  
www.tiedekahvila.fi