

LIIKAA LYIJYÄ - KERTOMUS SIITÄ, KUINKA KIVIEN IÄN MÄÄRITTÄMINEN JOHTI LYIJYTTÖMÄÄN BENSIINIIN



Käsitys maapallon ja mantereiden kehityksestä nojaa paljolti kivistä tehtäviin iänmäärityksiin. Tieto siitä, minkäikäistä kallioperä jalkojen alla on, ei välttämättä tunnu keskeiseltä jokapäiväisessä arjessa. Kivien iän määrittäminen johti kuitenkin sattumalta löytöön, joka on vaikuttanut meidänkin elinympäristöömme ja terveyteemme.

Paljasjalkainen mies seisoo laboratoriossa hieman kumarassa asennossa, ilman paitaa, kädet tarttuneena lattiaharjan varteen. Housujen puntit on kääritty nilkkojen ylle, toisessa ranteessa on kello. Mies on **Clair Patterson** (1922–1995), yhdysvaltalainen geokemisti. Valokuva on julkaistu [artikkelissa](#), jonka otsikon voisi kääntää seuraavasti: ”Tärkein tieteilijä, josta et ole koskaan kuullut”. Kuvan yhteydessä hänen kuvaillaan menevän äärimmäisyyksiin pitäessään laboratorionsa puhtaana.

Clair Patterson syntyi kesäkuun 2. päivänä vuonna 1922 Mitchellvillen kaupungissa, joka sijaitsee maantieteellisesti Yhdysvalto-

jen keskellä Iowan osavaltiossa. Hänen oikea etunimensä oli Claire, mutta hän itse käytti usein nimestään lyhennettyä versiota (Knell & Lewis 2001, 10), joten tässä artikkelissa seuraamme tätä käytäntöä. Pattersonin henkilöhistoriaa ja uraa koskevat tiedot perustuvat paljolti **Shirley K. Cohenin** tekemään laajaan [haastatteluun](#).

Patterson kiinnostui kemiasta jo lapsesta, kun hän sai äidiltään kemian tiedekoe-paketin (Tilton 1998, 4). Kiinnostusta ylläpiti myös noin 12–13-vuotiaana saatu lupa rakentaa kotitalon kellariin pieni laboratorio sekä hieman myöhemmin hänen setänsä lahjoittama kemian laboratoriotyökirja. Lopulta

Clair Patterson huomasi, että tutkimuskohteiden ulkopuolista lyijyä pääsi analyysin sekaan. Hän pyrki pitämään laboratorionsa äärimmäisen puhtaana.

Laboratoriokokeissa saadut tulokset eivät kuitenkaan vastanneet laskennallisia tuloksia: lyijyä oli aivan liikaa.

vuonna 1943 Patterson valmistui Grinnellin yliopistosta pääaineenaan kemia.

Toisen maailmansodan aikana Patterson ja hänen vaimonsa, kemisti **Lorna ”Laurie” McCleary**, osallistuivat Yhdysvaltojen ydinaseen kehittämiseen tähtäävään Manhattan-projektiin. Pattersonin rooli projektissa oli työskennellä aseeseen tarvittavan uraanin 235-isotoopin erottamisen kanssa. Manhattan-projektin aikana Patterson kiinnostui massaspektrometreistä, analyysilaitteista, joilla uraanin eri isotoopit oli mahdollista erottaa.

Manhattan-projektin aikaan Patterson on kertonut ajatelleensa vain tekevänsä työtä, mutta pohtineensa myöhemmin asian eettisyyttä ja kutsunut projektia ”kauheaksi rikokseksi”. Projekti kuitenkin opetti hänelle uusia näkökulmia ja tapoja ajatella, joista oli hyötyä myöhemmässä tutkimuksessa.

Sodan jälkeen Patterson palasi yliopistomaailmaan ja aloitti tutkijana Chicagon yliopistossa. Myös Manhattan-projektissa työskennellyt **Harrison Brown** oli vuonna 1946 aloittanut samassa yliopistossa apulaisprofessorina. Brownilla oli idea tutkimukseen, johon hän tarvitsi jonkun, joka osasi käyttää

massaspektrometriä. Kun hän kuuli Pattersonin aloittaneen Chicagon yliopistossa, Brown houkutteli hänet ja toisen nuoren tutkijan, **George Tiltonin**, tarttumaan projektiin, jonka tavoitteena oli kehittää kivien iänmäärittelyyn liittyvää analyysimenetelmää.

Pattersonin ja Tiltonin tutkimuskohteena oli monissa kivissä esiintyvä zirkonimineraali. Zirkoni on yhä nykyään erittäin paljon käytetty mineraali etenkin vanhojen kivien iän määrittämisessä. Kun zirkoni kiteytyy kiviläpistä, sen kiderakenteeseen päätyy pieniä määriä uraania, muttei uraanin radioaktiivisen hajoamisen tuotetta lyijyä. Ajan myötä mineraalin sisällä oleva radioaktiivinen uraani hajoaa tietyn hajoamisjärjän kautta lyijyksi. Mittaamalla mineraalin sisältämän uraanin ja lyijyn eri isotooppien määrasuhteet, voidaan niiden perusteella laskea, milloin zirkoni muodostui.

Kiviläpistä kiteytyvien kivien, kuten graniittien, kohdalla kiven sisältämät zirkonit antavat näin myös iän itse kiven muodostumiselle. Tätä uraaniin ja lyijyyn pohjautuvaa analyysimenetelmää kutsutaan kirjallisuudessa uraani-lyijy-ajoitukseksi tai uraani-lyijy-menetelmäksi.



Lyijy voi suurina pitoisuuksina vaikuttaa haitallisesti esimerkiksi keskuhermostoon ja sisäelimiin. Kuvassa pinnalta hapettunutta lyijyä sekä puhdas lyijykuutio.

Pattersonin ja Tiltonin tavoitteessa oli haastetta, sillä heidän piti analysoida pitoisuuksia, jotka olivat moninkertaisesti pienempiä kuin siihen mennessä oli koskaan määritetty. Myöskään tutkimusolosuhteissa ei ollut kehumista. **George R. Tilton** on kuvaillut lähtökohtien olleen vaikeat: ”Patterson aloitti lyijymittaukset vuonna 1948 hyvin pölyisessä laboratoriossa Kent Hallissa, yhdessä kampuksen vanhimmista rakennuksista” (Tilton 1998, 6).

Tutkimusryhmän päätavoite oli zirkoneita suurempi: maapallon tarkan iän selvittäminen. Projektia johtanut Brown ajatteli, että meteoriittien tutkimuksen ja niiden isotooppikoostumuksen kautta voisi olla mahdollista päästä tarkemmin käsiksi myös maapallon

kehitykseen ja ikään. Valtaosa meteoriiteista on nimittäin planeetanrakennuksesta ylijääneitä kappaleita, joiden koostumus ei ole juuri muuttunut miljardien vuosien saatossa.

Laboratoriokokeissa saadut tulokset eivät kuitenkaan vastanneet laskennallisia tuloksia: lyijyä oli aivan liikaa. Se tarkoitti, että varsinaisten tutkimuskohteiden ulkopuolista lyijyä oli jotenkin päätynyt analyysien sekaan. Tuloksissa alkoi olla järkeä vasta kun Patterson kumppaneineen pystyi eristämään näytteiden käsittely- ja analyysitilat ulkomaailmasta – ja analysoijasta itsestään. Tästä saivat alkunsa käytännöt, jotka ovat edelleen käytössä moderneissa geokemian tutkimuslaboratorioissa (Gieryn 2018).



KUVAN LÄHDE: CALTECH IMAGES COLLECTION / C. NEWTON

Vuonna 1956 Clair Patterson määrittä kiviä iän perusteella maapallon tarkan iän.

Kuva on kesältä 1957.

MAAPALLON IKÄ SELVIÄÄ

Euroopassa käsitys maapallon iästä pohjautui pitkään kristilliseen maailmankuvaan, jonka mukaan maapallo oli noin 6 000 vuotta sitten syntynyt, melko muuttumaton planeetta. Monia geologisia muodostumia selitettiin äkillisten katastrofien kautta syntyneinä. Tämä käsitys alkoi muuttua vasta 1700-luvun lopussa, kun esimerkiksi skotlantilainen **James Hutton** (1726–1797) ehdotti, että maankamaraan muodostumia

luovat ja muokkaavat geologiset prosessit tarvitsivat paljon aikaa. Geologi **Charles Lyell** (1797–1875) taas esitteli vuonna 1830 julkaistussa kirjassaan käsitteen rajattomasta ajasta (Eicher 1951, 7).

Huttonin ja Lyellin aikana ei kuitenkaan ollut mahdollista määrittää geologisten muodostumien tarkkoja ikä. Fossiileja sisältäviä kerrostumia voitiin vertailla toisiinsa (Knell & Lewis 2001, 4–5), mutta näidenkään kerrostumien tarkkaa ikää ei tiedetty. 1800-luvun

lopussa ja 1900-luvun alussa esitetyt arviot maapallon iästä vaihtelivat muutamasta miljoonasta vuodesta noin 1,5 miljardiin vuoteen (Eicher 1951, 14).

Maapallon tarkan iän määrittämisen kannalta keskeinen asia oli radioaktiivisuuden keksiminen 1800-luvun lopussa sekä eri tutkijoiden tuottama tieto radioaktiivisuudesta 1900-luvun alussa.

Aivan 1900-luvun alussa **Ernest Rutherford** teki ensimmäisen iänmäärityksen mineraalista. Saatu tulos oli 500 miljoonaa vuotta. (Knell & Lewis 2001, 8). Käytetyssä menetelmässä oli kuitenkin rajoituksensa, ja se antoi mineraalille varsinaisesti vain sen minimi-iän. Tiedon ja menetelmien kehitys alkoi viedä kohti tarkentuvaa käsitystä geologisten prosessien vaatimasta ajasta, maapallon iästä ja planeettamme eri kehitysvaiheista.

1950-luvulla Clair Patterson oli saanut hiottua uraani-lyijy-menetelmän siihen pisteeseen, että sitä oli mahdollista käyttää luotettavasti meteoriittien sisältämän uraanin ja lyijyn mittaamiseen. Vuonna 1956 julkaisutussa artikkelissa (Patterson 1956) maapallo

Samankaltaiset menetelmät, joita Patterson käytti maapallon iän selvittämiseen, ovat olleet avainasemassa myös Suomen kallioperän kehitysvaiheiden selvittämisessä.

sai vihdoinkin nykyistä käsitystä vastaavan iän: $4\,550 \pm 70$ miljoonaa vuotta. Tulos teki maapallosta yli miljardi vuotta vanhemman kuin tuohon aikaan yleisesti vallalla ollut käsitys oli ollut (Tilton 1998, 7–8).

Tämän jälkeen maapallon ikä on hieman tarkentunut ja esimerkiksi ikään liittyvä epätarkkuus pienentynyt, mutta Pattersonin saama ikä on edelleen linjassa uudempienkin tulosten kanssa ja hänen tekemää työtä pidetään merkittävänä saavutuksena maapallon ikään liittyvässä tutkimuksessa.

Samankaltaiset menetelmät, joita Patterson käytti maapallon iän selvittämiseen, ovat olleet avainasemassa myös Suomen kallioperän kehitysvaiheiden selvittämisessä. Pattersonia kaksi vuotta aiemmin Espoossa syntynyttä **Olavi Kouvoa** (1920–2017) voisi kutsua Suomessa tehtävien kallioperän iänmääritysten pioneeriksi (Karhu & Huhma 2017).

Tällä hetkellä Suomen kallioperän pääkehitysvaiheet ovat melko hyvin tiedossa. Tiedämme esimerkiksi sen, että Suomen vanhimmat, yli 2 500 miljoonaa vuotta vanhat, kalliialueet sijaitsevat Itä- ja Pohjois-Suomes-

Ilman perustutkimusta soveltavan tutkimuksen potentiaaliset kohteet kulutetaan loppuun ja tiede jumittuu paikalleen.

sa. Yksityiskohdat kallioperämme kehityksestä tulevat kuitenkin vielä tarkentumaan. Esimerkiksi tällä hetkellä Suomen vanhimman kiven asemaa pitävä Siuruan gneissi paljasti 3 500 miljoonan vuoden ikänsä tutkijoille vasta parikymmentä vuotta sitten.

LABORATORIOKONTAMINAATIOSTA LYIJYKIELTOON

Kun Clair Patterson havaitsi, että ympäristössä oleva lyijy vaikuttaa hänen tekemiinsä laboratorioanalyysiin, hän kiinnostui siitä, miksi lyijyä on ympäristössä niin paljon. Etenkin, kun lyijy on myrkyllinen metalli, joka suuri-na pitoisuuksina vaikuttaa haitallisesti esimerkiksi keskushermostoon ja sisäelimiin. Lyijyä esiintyy ympäristössä luontaisestikin, mutta ihmistoiminta, kuten eri teollisuuden alat, voivat kasvattaa lyijyn määrää merkittävästi.

Ihmisen ja lyijyn suhde on pitkä, ja sitä on louhittu tuhansia vuosia eri tarkoituksiin. Esimerkiksi Rooman valtakunnassa lyijyä käytettiin keramiikan lasitteena, ruokailuvälineisiin ja vesiputkiin, ja on myös arveltu, että tästä

syystä antiikin Roomassa lyijymyrkytykset olivat yleisiä. Latinaksi lyijy on *plumbum*, josta juontuu sekä lyijyn kemiallinen merkki, Pb, että englannin putkistoa tarkoittava *plumbing*-sana. Polttoaineeseen lyijyä alettiin lisätä ensimmäisen kerran vuonna 1922 Yhdysvalloissa.

Vuonna 1965 Patterson julkaisi *Archives of Environmental Health* -julkaisussa tutkimuksen otsikolla *Contaminated and Natural Lead Environments of Man*. Tutkimuksessaan Patterson nostaa esiin havaintonsa siitä, että lyijyä on ympäristössä monta kertaa enemmän kuin mitä voisi olettaa tulevan luontaisista lähteistä. Artikkelinsa yhteenvedossa Patterson toteaa Yhdysvaltojen asukkaiden lyijyaltistuksen olevan vakava ja ehdotti useita toimenpiteitä, kuten merkittävimpien lyijyn lähteiden poistamista, tilanteen parantamiseksi (Patterson 1965, 358).

Pattersonin tuloksia ei kuitenkaan hyväksytty mukisematta. Hänen varoituksiinsa reagoitiin esimerkiksi syyttämällä häntä kiihkoilijaksi (Tilton 1998, 10–11). Tutkimusartikkeleiden julkaisemisen lisäksi Patterson



Vaalea Siuruan gneissi pilkistää kasvuston alta.

kirjoitti muun muassa Kalifornian silloiselle kuvernöörille **Pat Brownille** ilmaistakseen huolensa ilmakehässä olevan vaarallisen lyijymäärän vuoksi (Tilton 1998, 11). Patterson edisti asiaa myös koko maan laajuudella. Kannanotoissaan hän nosti esiin huolensa siitä, että Yhdysvaltojen terveysviranomaiset työskentelivät yhteistyössä teollisuuden kanssa (Tilton 1998, 12.) Myöhemmissä tutkimuksissaan Patterson kollegoineen osoitti, että teollinen vallankumous oli vaikuttanut ilmakehän lyijypitoisuuteen ja isotooppi-tutkimuksilla he pystyivät osoittamaan sen,

mistä tietyille alueille kerääntynyt lyijy oli peräisin (Tilton 1998, 12; Smith 2015).

Lopulta lyijyn käyttöä alettiin rajoittaa. Esimerkiksi polttoaineissa lyijyn määrän vähentäminen alkoi 1970-luvun alussa, ja Yhdysvalloissa sen käyttö kiellettiin kokonaan vuonna 1987. (Tilton 1998, 15). Kuitenkin vasta elokuussa 2021 lyijyllisen polttoaineen käyttö oli tullut päätökseen maapallon jokaisessa maassa.

Tässä yhteydessä on hyvä lyhyesti mainita siitä, että lyijyn myrkyllisyys oli huomattu toki jo paljon Pattersonia aiemmin. Asia



KUVAN LÄHDE: WIKIMEDIA COMMONS

Polttoaineeseen alettiin lisätä Yhdysvalloissa lyijyä vuonna 1922. Vuonna 1987 se kiellettiin. Kuvassa autoliikennettä Kaliforniassa 60-luvulla.

oli tiedossa jo antiikin aikana, mutta vasta 1800-luvulla ymmärrys lyijyn vaikutuksesta terveyteen alkoi laajemmin kasvaa. Terveysvaikutusten vuoksi valkoisen lyijymaalin käyttö kiellettiin jo 1920-luvulla useissa maissa, kuten Ruotsissa, Itävallassa, Norjassa ja Suomessa – mutta esimerkiksi Yhdysvalloissa lyijyä sisältävää maalia sai käyttää valtaosassa osavaltioita vielä vuonna 1970. Lyijyyn liittyvien asenteiden ja sen käytön hitaasta muutoksesta kertoo myös se, että ennen Pattersonia lyijyn vaarallisuutta oli tuonut

esiin jo 1900-luvun alkupuolella esimerkiksi kansanterveyden parissa työskennellyt tutkija **Alice Hamilton** (1869–1970) (Hamilton 1943, 9–11).

Lyijyllä on monia haitallisia terveysvaikutuksia. On jopa esitetty, että lyijyn korkeat taustapitoisuudet ovat vaikuttaneet ennen rajoituksia syntyneillä ihmisillä negatiivisesti heidän älykkyydosamääräänsä. Yhdysvalloissa 1970-luvun lopussa tehdyn tutkimuksen mukaan veren lyijypitoisuudet laskivat rinnakkain polttoaineessa käytetyn lyijyn mää-

rän kanssa. Lyijyyn liittyvät ympäristö- ja terveysongelmat eivät kuitenkaan valitettavasti ole ohi. Esimerkiksi lyijyä sisältävien akkujen epäasiallinen kierrättäminen aiheuttaa merkittävän vaaran monessa maassa.

PIDETÄÄN PERUSTUTKIMUKSESTA HUOLTA

Se, että pyrkimykset Maan iän selvittämiseen johtivat lopulta myös lyijyttömään bensiiniin, on erinomainen esimerkki siitä, että tieteellisellä perustutkimuksella on toisinaan laajoja, varsinaisen tutkimusaiheen ulkopuolelle ulottuvia vaikutuksia. Näitä on kuitenkin mahdoton ennustaa esimerkiksi rahoitusta haettaessa.

Perustutkimuksen rahoittamisen tärkeyttä on nostettu esiin monissa muissakin viimeaikaisissa puheenvuoroissa (Lilja & Kivistö 2021; Tirronen 2024). Ilman perustutkimusta soveltavan tutkimuksen potentiaaliset kohteet kulutetaan loppuun ja tiede jumittuu paikalleen.

Esimerkiksi Kiinassa tämä on ymmärretty, mutta länsimaissa suunta näyttää olevan toinen. Toivomme, että emme Suomessakaan jäisi jälkeen muusta maailmasta uuden tiedon synnyttämisessä. Siinä ohessa löytyvien potentiaalisten sovellusten määrä on loputon.

—
Elina Lehtonen FT on tietokirjailija ja geologi, joka työskentelee tutkijana ja koordinaattorina

Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen osastolla.

Jussi S. Heinonen FT on tietokirjailija ja geologi, joka työskentelee johtavana tutkijana Åbo Akademiassa. Hän on myös Helsingin yliopiston dosentti ja vieraileva tutkija geotieteiden ja maantieteen osastolla.

Elina Lehtonen ja Jussi S. Heinonen puhuvat artikkelin aiheesta Tieteen päivillä Helsingissä 12.1.2025.

KIRJALLISUUS

- Eicher, Don L. 1951. Geologic Time. The Prentice-Hall Foundations of Earth Sciences, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Gieryn, Thomas F. 2018. Ultra Clean Lab. Teoksessa: Gieryn, Thomas F., Truth-Spots: How Places Make People Believe. University of Chicago Press, Chicago.
- Hamilton, Alice 1943. Exploring the Dangerous Trades: The Autobiography of Alice Hamilton, M.D. Little, Brown and Co, Boston.
- Karhu, Juha & Huhma, Hannu 2017. In Memoriam: Olavi Kouvo 1920–2017. *Geologi*, 69(3), 114–115.
- Knell, Simon J. & Lewis, Cherry L. E. 2001. Celebrating the age of the Earth. Teoksessa: Lewis, Cherry, L. E. & Knell, Simon J. (toim.), The Age of the Earth: from 4004 BC to AD 2002. Geological Society, Lontoo, Special Publications, 190, 1–14.
- Patterson, Clair C. 1965. Contaminated and Natural Lead Environments of Man. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 11(3), 344–360. <https://doi.org/10.1080/00039896.1965.10664229>
- Patterson, Claire 1956. Age of meteorites and the earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 10(4), 230–237. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(56\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(56)90036-9)
- Tilton, George R. 1998. Clair Cameron Patterson 1922–1995. Biographical Memoir. National Academy of Sciences. National Academies Press, Washington D.C.