

Kun mannerlaatat lähtivät liikkeelle

Sven-Erik Hjelt

Vuonna 2005 tuli kuluneeksi 90 vuotta Alfred Wegenerin klassisen teoksen *Entstehung der Kontinente und Ozeane* ensipainoksen ilmestymisestä. Teos käynnisti tapahtumasarjan, joka on muuttanut maailmankuvaamme vähintään yhtä paljon kuin suuren juhlinnan kohteena olevan teoreetikko Einsteinin ajatukset. Kesti viisi vuosikymmentä, ennen kuin Wegenerin käsitys mantereiden vaeltamisesta sai vahvistuksen uusista ja monipuolisista geofysikaalisista mittauksista.

Wegener syntyi marraskuun 1. päivänä 1880, siis 125 vuotta sitten, ja kuoli Grönlannin jäätikölle marraskuussa 1930, 75 vuotta sitten. Viime vuotta voitiin siis perustellusti kutsua myös litosfääritutkimuksen merkkivuodeksi.

Tutkiessaan vuonna 1910 maailmankarttaa Wegener havaitsi, kuten moni ennen häntä, Atlantin rantaviivojen keskinäisen kongruenssin eli yhteensopivuuden, samankaltaisuuden. Mantereiden liike alkoi käsitteenä elää Wegenerin mielessä unohtuen kuitenkin joksikin aikaa. Seuraavan vuoden syksynä hän tutustui (omien sanojensa mukaan sattumalta) paleontologiseen aineistoon, joka esitteli ajatuksen Brasilian ja Afrikan välisestä maakannaksesta. Kansas olisi sittemmin vajonnut meren syvyyteen. Samanlaisia ajatuksia esiintyi Atlantin pohjoisosien sekä Aasian ja Australian flooran ja faunan samankaltaisuuksia selitettäessä.

Tutkiessaan lisää geologista ja paleontologista aineistoa hahmottui Wegenerin mielessä supermanner Pangaea. Tämä saatiin aikaan siirtämällä Amerikka ja Grönlanti Euroopan ja Afrikan viereen sekä Australia Afrikan viereen, ei kuitenkaan rannikkoja vaan mannerjalustan 200 metrin syvyyskäyriä pitkin. Lisäksi Himalajan tasoittamiseksi Aasiaa oli venytettävä vetämällä Intian eteläkärjestä.

Wegener oli valmis esittelemään ideaansa. Hän esitelmöi Frankfurt am Mainin Geologisen Yhdistyksen kokouksessa 6. päivä tammikuuta 1912 otsikolla "*Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane) auf geophysikalischer Grundlage*". Neljä päivää myöhemmin Marburgin Luonnontieteellisen Edistymisen Seura sai kuulla esityksen aiheesta "*Horizontalverschiebungen der Kontinente*".

Vasta teoriansa kehittämisen jälkeen Alfred Wegener sai tietää toisen tutkijan, F. B. Taylorin töistä, jotka olivat ilmestyneet vuonna 1910. Niissä lähtökohtana olivat Euraasian tertiääriset vuorijonot sekä ns. kutistuvan maan teoria. Taylor selitti myöhemmässä paperissa manner-ten siirtyneen vuorovesivoimien vaikutuksesta liitukaudella, kun Maa kaappasi Kuun kiertolaisekseen. Taylor ei jostain syystä kehittänyt ajatuksiaan tästä edelleen ja niin moderni mannerlaattojen liiketeoria on kirjautunut Wegenerin nimiin.

Teorian kehittelyn katkaisivat Grönlannin tutkimusretki 1912 sekä sotapalvelus. Pidentetyn sairalomien aikana 1915 valmistui Wegenerin pääteos *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Kirjasta ilmestyi neljä lisäpainosta vuosina 1920, 1924, 1929 ja 1936. Wegener teki neljään ensimmäiseen painokseen runsaastikin täydennyksiä. Kuitenkin jo vuonna 1928 hän totesi aihetta koskevan kirjallisuuden paisuneen lukumäärältään niin suureksi, että yhden ihmisen olisi vaikea hallita enää kokonaisuutta. Kurt-veljen toimittama 5. painos onkin täysin korjaamaton versio 4. painoksesta Alfredin toivomusten mukaan.

Vuonna 1924 ilmestyi pääteosta täydentämään Wegenerin ja aikansa tunnetuimpiin kuuluneen ilmastotutkijan Vladimir Köppenin, Wegenerin aapiukon, yhteinen kirja menneisyyden ilmastosta. Teoksen liitteenä oli merkittävä käyrästä, joka esittää Auringon säteilyn jakau-

tumista Maapallon eri leveysasteilla. Näiden ns. insolaatiokäyrien avulla voitiin ymmärtää jääkausien vaihteluita. Käyrien tekijä oli tähtitieteilijä Milutin Milankovic, jolle sekä Köppen että Wegener olivat suuria ihanteita tutkijoina. Mielenkiintoista on, että Milankovicin säteilyteoria joutui samalla tavalla pitkäksi aikaa takalalle kuin Wegenerin kehittämä mannerlaattojen liiketeoria.

Paljon vastustajia, vähän tukijoita

Wegenerin pääteoksen ilmestyessä hallitsi geologiassa käsitys, jonka mukaan kallioperä liikkui vain pystysuuntaisesti. Vuoristot olivat syntyneet Maapallon jäähtyessä ja rypistyessä pinnaltaan kuin kuiva omena. Mantereet olivat revenneet erilleen jonkin suuren katastrofin vaikutuksesta, mikä selitti mannerreunojen samankaltaisuudet.

Ajatus mannerlaattojen vaakasuuntaisista liikkeistä Maan pinnalla ei kuitenkaan ollut uusi. Atlantin rannikoiden kongruenssista on keskusteltu aina Francis Baconin ajoista lähtien. Wegener yritti myös pohtia mannerliikkeiden syitä. Hän yhdisti kaksi ilmiötä, vuoksi- ja luodevoiman sekä Maapallon litistyneisyydestä aiheutuvan Eötvös-kiihtyvyyden, jota kutsuttiin nimellä "Polarflucht".

Tuon ajan suuria auktoriteetteja geofysiikassa oli Sir Harold Jeffreys Cambridgessä. Hän osoitti laskennallisesti, että Wegenerin ehdottamat ilmiöt eivät riittäneet energeettisesti liikuttamaan mantereita esitetyllä tavalla. Tämä sai useimmat geofysikotkin vastustamaan Wegenerin uusia ajatuksia. Pääteoksensa 4. painoksessa Wegener toteaa kysymyksen liikevoimista olevan vielä vailla ratkaisua. Varmaa hänen mielestään oli ainoastaan se, että mantereita liikuttavat voimat ovat samoja kuin ne, jotka synnyttävät vuoristoja.

Pääteos käännettiin 1920-luvulla englanniksi, venäjäksi, ranskaksi, espanjaksi sekä ruotsiksi. Vasta kirjan kolmannen painoksen englanninos viriitti aiheesta laajemman keskustelun anglosaksisessa maailmassa. Pääosa amerikkalaisista geologeista asettui vastustamaan uutta teoriaa, Euroopassa ja eteläisellä pallonpuoliskolla geologien suhtautuminen näyttää olleen myönteisempi. Tukijoiden joukossa oli myös nimekkäitä geologeja, kuten Holmes, du Toit ja R. A. Daly. Kaksi ensinmainittua toivat keskusteluun liikevoimista myös Maan sisäosista tulevan lämpövuon.

Alfred Wegener – mikä mies?

Alfred Wegener syntyi sukuun, josta oli 300 vuoden ajan tullut kirkkoherroja Sleesiaan ja Brandenburgiin. Alfredia ja veljeään Kurtia yhdisti jo nuorena kiinnostus luonnon ilmiöihin sekä viehtymys rankkoihin ponnisteluihin – tänään sanoisimme heidän olleen ekstreemilajifaneja. Alfred kehitti määrätietoisesti fyysisistä kestäkykyään sekä taitojaan pärjätä sekä talviolosuhteissa että vuoristoissa. Napa-alueiden tutkimus oli yksi hänen suurista nuoruuden haaveistaan.

Isän peruja lienee viehtymys tutkimustyöhön, isä oli ennen papillista toimintaansa väitellyt vanhoista kielistä. Alfred Wegener opiskeli Heidelbergissä, Innsbruckissa ja Berliinissä, jossa väitteli havaintotähtitieteestä. Oppiaineen valintaan vaikutti se, ettei hän tuntenut matematiikkaa tai fysiikkaa omiksi aloikseen. Opiskelun jälkeen Alfred päätyi pian veljensä Kurtin apulaiseksi Preussin Aero-nauttiseen Observatorioon. Veljesten nuoruusvuosien yhteiset harrastukset jatkuivat vuonna 1906 ilmapallokilpailuissa. He paransivat yhtäjaksoisen pallolennon maailmanennätyksen 35 tunnista 52,5 tuntiin. Matka kulki Berliinistä Kattegatin yli Spessartiin. Lento ei ollut pelkästään huvittelua, matkan aikana testattiin myös ns. kuplalinklinometrin soveltuvuutta navigointiin.

Kolme kuukautta ilmapalloonon jälkeen Alfred Wegener osallistui meteorologina tanskalaisten Grönlannin retkikuntaan, joka tutki ja kartoitti koiravaljakoin saaren itärannikkoa. Pesti Grönlannissa jatkui vielä retken jälkeenkin. Kahden vuoden ajan hän systemaattisesti kouli itseään tulevia tutkimusmatkoja varten sekä kehitti leijojen ja ilmapallojen meteorologista käyttöä.

Palattuaan Saksaan Wegener luennoi tähtitiedettä ja meteorologiaa Marburgin yliopistossa. Hän oli pidetty opettaja ja luentojen tuloksena syntyi ilmakehän termodynamiikan oppikirja, josta ilmestyi kaikkiaan kolme painosta. Kirjan korvasi vuonna 1935 postuumisti painettu ja Kurt-veljen edelleen muokkaama teos *Vorlesungen über Physik der Atmosphäre*. Mannerlaattateoria alkoi muotoutua Marburgin aikana.

Hampurin Meteorologisessa Observatoriossa vaikutti samaan aikaan eräs tuon ajan tunnetuimpia ilmastotutkijoita, Vladimir Köppen, jonka Maapallon ilmastovyöhykejako on käytössä edelleenkin. Köppen järjesti usein nuorille tutkijoille esitelmätilaisuuksia, jollaisessa myös Wegener kertoi Grönlannin kokemuksistaan. Tässä yhteydessä hän tapasi Köppenin tyttären Elsen, josta sit-

temmin tuli Wegenerin puoliso. Appiukon kanssa Wegener teki sittemmin paljon tutkimusyhteistyötä.

Alfred Wegener lähti toiselle Grönlannin retkelleen vuonna 1912 tavoitteena ylittää jäätikkö sen leveimmästä kohdasta. Ylitys toteutui vasta seuraavana vuonna, koska retkikunnan joutui talvehtimaan jäätiköllä. Retkeä seurasi lyhyt sotilasura Kuningatar Elisabetin Krenatöörrikaartin 3. rykmentin luutnanttina. Haavoituttuaan kahdesti, sekä käteen että niskaan, hän ei enää kelvannut rintamalla vaan palveli kenttämeteorologina.

Sodan jälkeen Alfred ja Kurt Wegener työskentelivät kumpikin Hampurissa Saksan Merivoimien Observatoriossa osastopäällikköinä. Alfred Wegener jatkoi luennointia nyt Hampurin yliopistossa. Mahdollinen professori Saksassa kilpistyi useita kertoja varsin erikoisiin perusteluihin: niiden mukaan hän oli liian kiinnostunut oppituoliin perinteisesti kuuluvien aiheiden ulkopuolisista kysymyksistä. Pelastus tuli sittemmin Itävallasta: Grazin yliopistoon perustettiin uusi Meteorologian ja Geofysiikan professori, johon Wegener kutsuttiin vuonna 1924.

Kolmannen – ja kohtalokkaan – Grönlannin retken piti alkaa yhteistyössä edellisten retkien kumppanin, tanskalaiskapteeni Kochin kanssa jo vuonna 1928. Kochin kuoleman vuoksi retki toteutui vasta kaksi vuotta myöhemmin. Tavoitteena oli perustaa jäätikölle vuoden ajaksi kolme tutkimusasemaa ja seurata systemaattisesti jään, lumen sekä sään vaihteluita. Retken tärkein tieteellinen anti oli jäätikön paksuuden mittaaminen uusin menetelmin.

Retkikuntaa vaivasivat kuitenkin sekä materiaalipula että monet tekniset ongelmat. Työntöpotkurilla varustetut suomalaisvalmisteiset moottorikelkat reistailivat ja radioasema hautautui jäätiköllä lumeen juuttuneeseen kelkkaan. Syyskuun lopulla Wegener lähti koiravaljakoilla viemään materiaalitäydennystä jäätikön korkeimmalle kohdalle pystytetylle keskiasemalle.

Marraskuun 1. päivänä 1930, 50-vuotissyntymäpäivänään, Alfred Wegener lähti inuiitti Rasmuksen kanssa paluumatkalle kohti rannikkoa, asemalle jääneen tutkija GeorGIN mukaan hyväkuntoisena ja levännein koirin. Keväällä Wegener löytyi lumeen hautautuneena noin 190 km:n päässä rannikosta, ilmeisesti fyysisen rasituksen aiheuttamaan sydänkohtaukseen menehtyneenä. Rasmus ja hänen talteen ottamiaan päiväkirjoja ei löydetty koskaan.

Sven-Erik Hjelt

A. Hallamin mukaan Wegenerin teorian kohtaama vastustus johtui neljästä päätekijästä:

- 1) teoria oli edellä aikaansa,
- 2) teoria edellytti vallitsevien ortodoksisten, 70 vuoden aikana kehittyneiden geologisten oppien hylkäämistä,
- 3) Wegener oli ”väärän” tieteenalanedustaja, hänellä ei ollut geologin koulutusta,
- 4) tuolloin tiedot Maapallon sisäosien sekä merenpohjien ominaisuuksista olivat hyvin puuttellisia tai jopa olemattomia.

Joka tapauksessa mannerliikkeen teoria joutui geologisena paradigmatteille puolen vuosisadan ajaksi. Asiaan saattoi myös vaikuttaa Wegenerin ennenaikainen ja kohtalokas kuolema.

Uudet havainnot todentavat teorian

Maapallon kivikehän ja sisäosien tutkimus sai aivan uuden suunnan 1950- ja 1960-luvuilla. Kivien jäännösmagnetismia tutkimalla todistettiin mantereiden todella liikkuneen toistensa suhteen. Merenpohjat repeävät pitkien ja jatkuvien keskiselänteiden kohdalta. Repeämisen syynä ovat Maan sisältä tulevat, luonnon radioaktiivisuuden kuumentamat ainevirtaukset. Valtamerien syvänteistä löytyi isoja mantereiden alityöntövyöhykkeitä.

Maapallon pintaosien kerrostumia jaoteltiin myös uudella tavalla. Maanjäristysaaltojen nopeuden avulla määriteltä Maan kuori erosi alla olevasta vaipasta kemialliselta koostumukseltaan. Mannerlaatat muodostuivat kiinteästä kuoresta ja vaipan yläosasta, jotka jäykkyytensä vuoksi pystyivät ”liukumaan” astenosfääriin päällä. Korkean lämpötilan vuoksi aines muuttui hitaasti muotoaan virumalla eli plastisesti.

Tärkeimpiä tähän uuteen ajatteluun vaikuttaneita artikkeleita julkaisivat 1950-luvun lopulla mm. Maurice Ewing, Bruce Herten, Harry H. Hess, John W. Dewey, F. A. Vening Meinesz ja Peter J. Wyllie. Valtameren pohjan kivien magneettisuus ja ikämääritykset olivat puolestaan mm. S K Runcornin, A Coxin, K. M. Creerin, E. Irvingin ja D. H. Tarlingin ansiota.

Kansainvälinen geofysiikan vuosi (1957/58) sai aikaan merkittäviä panostuksia kaikilla geofysiikan eri osa-alueilla. Monet uudet mittausaineistot olivat kuitenkin hämmäntäviä. Esimerkiksi merenpohjan kivien napaisuuden vaihtelu symmetrisesti keskiselänteiden kahta puolta sai selityksen vasta cambridgegläisen Drummond Matthews sin oppilaan Fred Vinen töissä. *Natu-*

ressa 1963 ilmestyneessä artikkelissään he yhdistivät merenpohjan leviämisen, Maan magneettikentän napaisuuskäännöksen sekä kivien iän luontevalla tavalla. Kun vielä J. Tuzo Wilson pari vuotta myöhemmin nivoi kaikki uudet ajatukset yhteen useimpien tutkijoiden hyväksymällä tavalla, voidaan sanoa *laattatektonisen paradigman* syntyneen.

Wilson muotoili teorian vielä niin, että merien synty, merenpohjan repeäminen, laattojen törmääminen ja alityönnot oli tapahtunut useita kertoja Maan geologisen historian aikana. *Wilsonin sykli* on laattatektoniikan keskeisiä käsitteitä. Kyseessä oli mullistus, jonka merkitys-tä maailmakuvalle hyvin voi verrata Einsteinin suhteellisuusteorian vaikutukseen.

Wegenerin teoria elää edelleen

Litosfääriin ja maapallon syvempien osien tutkimus on jatkunut kasvavalla intensiteetillä ja tarkkuudella uuden geotieteellisen paradigman syntymisen jälkeen. Laattojen keskinäiset nopeudet voidaan nykyisin mitata suurella tarkkuudella. Digitaalinen seismologia ja tietokoneiden kehitys sekä lääketieteestä omaksuttu *tomografia* ovat tuoneet ehkä eniten uutta Maan sisäosia koskeviin malleihin. Esimerkiksi alityöntövyöhykkeiden perusrakenteet poikkeavat toisistaan merkittävästi eri puolilla maapalloa.

Monet yksityiskohdat odottavat kuitenkin ratkaisuaan. Kun esimerkiksi halutaan selvittää vaippaan vajoavien litosfäärilaattojen käyttäytyminen syvemmällä vaipassa sekä vaipan pystyvirtausten nopeus, rakenne ja alkusyy vaipan ja ytimen pinnalla, on myös litosfääriin rakenne tunnettava entistä paremmin. Geologiset ilmiöt ja niiden jäljet kallioperässä ovat niin monimutkaisia ja mitattavat vaihtelut usein niin pieniä, että tarvitaan aina paras mittaustekniikka. Aineistojen käsittelyn ja tulkinnan on syytä olla poikkeittieteellistä Wegenerin viitoittamalla tavalla. Nykyaikainen litosfääritutkimus tapahtuukin lähes aina monen yliopiston ja tutkimuslaitoksen konsortiomaisena yhteistyönä, jolloin myös yhdistämällä laitteistoja saadaan aikaan suuria pinta-aloja kattavia mittausteknikkoja.

Litosfääriin yläosissa sijaitsevat myös kaikki ihmiskunnan tarvitsemat mineraalit ja metallit. Kuoren ja koko litosfääriin hyvä tuntemus on siis myös taloudellisesti merkittävä asia.

KIRJALLISUUTTA

- Daly, R. A. (1926): *Our mobile Earth*. Scribner, New York.
- Du Toit, A. L. (1937): *Our wandering continents*. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- Georgi, J. (1962): "Memories of Alfred Wegener". Teoksessa Runcorn, S. K. (toim) (1962), *Continental drift*, ss.309-324 Academic Press, New York 338 ss.
- Hallam, A. (1973): *A revolution in the Earth sciences. From continental drift to plate tectonics*. Clarendon Press, 127 ss.
- Jeffreys, H. (1924, 1929): *The Earth: its origin, history and physical constitution*. Cambridge Univ. Press.
- Köppen, W. & Wegener, A. (1924): *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Verlag Gebr. Borntraeger, 255 ss + 1 kuvaliite.
- EGS (1995): *Milutin Milankovic 1879-1958*. From his autobiography with comments by his son, Vasko and a preface by André Berger. 181 ss.
- Runcorn, S.K. (toim) (1962): *Continental drift*. Academic Press, 338 ss.
- Taylor, F.B. (1910): "Bearing of the Tertiary mountain belt on the origin of the Earth's plan". *Bull. geol. Soc. Amer.* 21, 179-226.
- Wegener, Alfred (1915): *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1915, 94 ss.; (2. painos Braunschweig 1920, 135 ss.; 3. painos 1922; 4. painos 1929; 5. painos, Kurt Wegenerin toimittama, 1936)
- Wegener, Alfred (käännös John Biram) (1966): *The Origin of Continents and Oceans*. Dover 1966.
- Wegener, Alfred[†] & Wegener, Kurt (1935): *Vorlesungen über Physik der Atmosphäre*. Johann Ambrosius Barth/Verlag/Leipzig, 482 ss
- Wegener, Else (1960): Alfred Wegener. Tagebücher, Briefe, Erinnerungen. F.A. Brockhaus, Wiesbaden, 262 ss.
- Vine, F. J. & Matthews, D. H. (1963): "Magnetic anomalies over oceanic ridges". *Nature* 199, 947-949.
- Wilson, J.T. (1965): "A new class of faults and their bearing on continental drift". *Nature* 207, 343-347.
- Wilson, J Tuzo (toim.) (1976): *Continents adrift and continents aground*. (Readings from Scientific American). W.H. Freeman and Company. 230 ss.

Kirjoittaja on Oulun yliopiston geofysiikan emeritusprofessori.