

Pasi Laurila

Geofysiikka

Kiinteä Maa, geomagnetismi ja ilmasto

2. uudistettu painos



Pasi Laurila: Geofysiikka – Kiinteä Maa, geomagnetismi ja ilmasto. 2. uudistettu painos.

Kiitokset

Kiitän Suomen tietokirjailijat ry:tä, joka on tukenut kirjan tekoa apurahalla luovaan tietokirjalliseen työskentelyyn. Kiitän myös vaimoani, joka on jaksanut katsoa pahemmin häiritsemättä tekemisiäni tietokoneen ääressä.

Hämeenlinnassa 18.1.2023 (1. painos) ja 11.4.2024 (2. uudistettu painos)

Pasi Laurila

Pasi Laurila

GEOFYSIIKKA

Kiinteä Maa, geomagnetismi ja ilmasto

2. uudistettu painos

© 2023, 2024 Pasi Laurila

Kannen suunnittelu: Laurila, Pasi

Sisuksen taitto: Laurila, Pasi

Kustantaja: BoD – Books on Demand, Helsinki, Suomi

Valmistaja: BoD – Books on Demand, Norderstedt, Saksa

ISBN: 978-952-80-7197-6

Sisällysluettelo

ALKUSANAT	9
KESKEISET KÄSITTEET	11
SUUREITA, MAAN MITTOJA JA AINEKOOSTUMUKSIA	19
MAAN HISTORIAN TAPAHTUMIA	23
TIETEILIJÖITÄ JA TUTKIMUSMATKAILIJOITA	33
1. GEOFYSIKKA.....	49
1.1 Geotieteet	49
1.2 Tutkittavat ilmiöt ja niiden tutkijat	52
1.3 Geologiset kaudet	57
1.4 Tutkimusmenetelmät	63
1.5 Tehtäviä	68
2. VOIMAT JA VUOROVAIKUTUKSET	71
2.1 Suureet ja mittayksiköt.....	71
2.2 Planeettojen liikelait.....	74
2.3 Klassinen mekaniikka, gravitaatiolaki ja säilymislait	76
2.4 Maan massa	79
2.5 Suhteellisuusteoria.....	80
2.6 Sähkömagnetismi	81
2.7 Sähkömagneettinen säteily	82
2.8 Sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutusilmiöt ilmakehässä	86
2.9 Tehtäviä	92
3. PAIKKA JA AIKA.....	95
3.1 Maantieteellinen koordinaatisto	95

3.2 Karttaprojektiot	98
3.3 Suomen karttakoordinaatit	101
3.4 Maa osana Aurinkokuntaa	106
3.5 Ekvaattorijärjestelmän koordinaatit	107
3.6 Prekessio, planeettaprekessio ja nutaatio	110
3.7 Pohjoinen napapiiri	114
3.8 Tekniset aikajärjestelmät	118
3.9 Päivien juokseva luku	120
3.10 Aurinkoaika ja tähtiaika.....	122
3.11 Ajanmittaus	126
3.11 Tehtäviä	129
4. KIINTEÄ MAA.....	135
4.1 Maan kerrosrakenne	135
4.2 Laattatektoniikka	139
4.3 Fennoskandian maannousu	142
4.4 Kiinteän maan vuoksi ja napavariaatio	144
4.5 Painovoima	146
4.6 Geoidi ja ortometrinen korkeus	149
4.7 Maan mitat ja muoto	151
4.8 Ellipsoidinen korkeus	155
4.9 Geodeettiset vertausjärjestelmät ja -kehykset	156
4.10 Tehtäviä	161
5. GEOMAGNETISMI.....	165
5.1 Maan magneettikenttä	165
5.2 Magneettisten napojen liike ja napaisuuden vaihdokset	171

5.3 Suunnanmäärittäminen.....	174
5.4 Maan magneettikenttä	182
5.5 Avaruussäde.....	184
5.6 Revontulet.....	189
5.7 Avaruuden tilannekuva.....	191
5.8 Tehtäviä	195
6. ILMASTO	201
6.1 Sään ja ilmaston tutkimus.....	202
6.2 Ilmastoa säätelevät tekijät.....	208
6.3 Dynaaminen vasteaika.....	210
6.4 Ilmastovaiheiden syklisyys.....	211
6.5 Auringon säteily ja aktiivisuus.....	213
6.6 Kasvihuoneilmiö	215
6.7 Astronominen ilmastovaihteluteoria	218
6.8 Hiilen hidas ja nopea kierto	222
6.9 Hiilidioksidin merkitys.....	224
6.10 Ilmastohistoriaa.....	226
6.11 Merenpinnan vaihtelut.....	230
6.12 Ihminen ja ilmasto	233
6.13 Tehtäviä	241
LOPPUSANAT	245
KIRJALLISUUTTA	249
INTERNETSIVUSTOJA	265
TEHTÄVIEN VASTAUKSIA	271
HAKEMISTO	291

ALKUSANAT

Geotieteet ovat olleet kiinnostukseni kohteena 1970-luvulta alkaen, jolloin opiskelin rakennustekniikan diplomi-insinööriksi. Pääaineeni olivat silloin maamekaniikka ja pohjarakennus sekä rakennusgeologia. Lisäksi opiskelin lyhyenä ammattiaineena geodesiaa ja fotogrammetriaa. Kaikki nämä aineet kuuluvat geotieteiden laajan katon alle, jonka keskeisimpiä tieteitä ovat maantiede, geologia ja geofysiikka. Insinööriopintojen jälkeen töissä ja jatko-opinnoissa ajauduin ja suuntauduin maanmittaus-tekniikan asioihin. Tätä kautta kehittyivät ne painotukset, joiden kautta nyt tarkastelen geofysiikan asioita.

Myös harrastukseni ovat vaikuttaneet kirjan sisältöihin. Olen ollut tähtitieteen harrastaja yli 25 vuotta. Tähtitiede sopii hyvin yhteen maanmittauksen ja geofysiikan kanssa. Geofysiikan alle luettava erityistiede geodesia on maanmittaustekniikoiden perustana oleva tiede. Monet geodesiaa ja mittaustekniikoita kehittäneet tiedemiehet ovat olleet tähtitieteilijöitä.

Muutettuani vuonna 1996 työn perässä Rovaniemelle Lapin maanmittaustoimiston silloinen kartastopäällikkö Jouni Keskinarkaus veti minut mukaan liikkuvan napapiirin asioihin. Tähtitieteen näkökulmasta napapiiri ei ole erityisen tärkeä ilmiö. Napapiiri-ilmiö kuitenkin johdatteli minut huomaamaan geofysikaalisten ilmiöiden tärkeyden maanmittauksen kannalta. Napapiiriä liikuttavat geofysikaaliset voimat tulee tuntea, jotta mittaajat voivat siirtyä satelliittipaikannuksen järjestelmistä Maahan sidottuihin koordinaattijärjestelmiin. Tämä kokemus sai minut tuomaan geofysiikan maanmittaustekniikan insinöörien (AMK) opetussuunnitelmiin Rovaniemen ammattikorkeakoulussa 2000-luvun alussa.

Maanmittauksen näkökulmasta painovoima, maankuoren liikkeet, sähkömagneettisen säteilyn vuorovaikutusilmiöt, Maan magneettikenttä ja -kehä, avaruussää ja ennakoidun ilmastonmuutoksen seurauksiin varautuminen ovat tärkeitä asioita. Globaalien eli maailmanlaajuisten mittaustekniikoiden ja koordinaattijärjestelmien vuoksi geofysiikan asiat ovat entistäkin tärkeämpiä geodesian ja kaukokartoituksen mittausten menetelmien ymmärtämiseksi. Ennakoidut ilmastonmuutoksen vaikutukset puolestaan tulee huomioida maankäytön suunnittelussa.

Monet geologiset ja geofysikaaliset ilmiöt vaikuttavat suoraan ihmisten elämään ja niitä käsitellään tiedotusvälineissä päivittäin. On maanjäristyksiä, tulivuoren-purkauksia, aurinkomyrskyjä, ja niiden synnyttämiä revontulia. Ja on ilmastonmuutos, joka herättää intohimoja ja yleistä keskustelua. Ilmasto onkin moniulotteinen ja mielenkiintoinen geofysikaalinen kokonaisuus. On siis yleisestikin hyvä tietää uutisten ja keskustelujen taustalla olevista geofysikaalisista ilmiöistä.

Olen vuosikymmenten kuluessa tuottanut suuren määrän maanmittaustekniikan oppimateriaaleja ja julkaissut muutamia oppikirjoja, kuten *Mittaus- ja kartoitus-tekniikan perusteet* (2008, 2012) ja *Maan mittauksia – Mittausten laskenta* (2020). Näillä julkaisuilla on ollut melko rajallinen tarkoitus ja lukijajoukko. Myös nyt julkaistava kirja *Geofysiikka – Kiinteä Maa, geomagnetismi ja ilmasto* sopii oppimateriaaliksi, erityisesti maanmittausinsinöörien koulutukseen. Kuitenkin kirjalla on myös selkeä yleissivistävä tarkoitus, minkä vuoksi toivon kirjan tavoittavan geofysiikan asioista kiinnostuneita lukijoita myös niin sanotun suuren yleisen joukosta.

Kirja opettaa tekijäänsä. Olen hieman yllättynyt, kuinka historia- ja tähtitiedepainotteinen kirjasta tuli. Asioiden ymmärtämisen kannalta on tärkeää tuntea niitä kuvaavien teorioiden kehitystä. Jos asioita tarkasteltaisiin vain tämän päivän tietämyksen ja tekniikoiden pohjalta, olisi monien keskeisten käsitteiden ymmärtäminen vaikeaa. Useimmat geofysiikan ja erityisesti geodesian käsitteet ja teoriat ovat olleet käytössä jo satoja vuosia. Ymmärryksen vuoksi on siis syytä kertoa, kuinka geofysiikan tietämys ja teoriat ovat kehittyneet.

Vaikeusasteeltaan tämä kirja asettuu johonkin lukion ja yliopiston oppikirjojen välille. Käsitteiden ja matematiikan osalta kirja on vaativampi kuin lukion fyysisen maantieteen oppikirjat. Yleisen geofysiikan oppikirjoihin verrattuna tämä on kuitenkin pääosin hyvin yleistajuista luettavaa ainakin, jos jätetään kirjan tehtävät huomiotta.

Kirjan uudistettu 2. painos on otsikkotason rakenteeltaan lähes samanlainen kuin 1. painos. Havaitut 1. painoksen virheet ja epäselvät sanomiset on korjattu, kuvitusta ja tekstiä on jonkin verran täydennetty, internetviittaukset on päivitetty ja kirjaan on lisätty hakemisto. Kirjan viimeisissä luvuissa tulee esille erilaisia ihmiskuntaan kohdistuvia uhkia. Näiden osalta voi entistä varmemmin todeta, että ihminen on suurempi uhka ihmiskunnalle kuin geofysikaaliset ilmiöt.

KESKEISET KÄSITTEET

Keskeiset käsitteet antavat yleiskuvan kirjan sisällöstä. Käsitteet esitellään sisällön mukaisessa järjestyksessä. Väliotsikot ovat kirjan päälukuja. Käsitteet on hyvä lukea, tai ainakin silmäillä, ennen kirjan päälukuihin tutustumista.

Geofysiikka

Geotieteet

Maata tutkivat luonnontieteet ovat geotieteitä. Maantiede eli geografia, geologia ja geofysiikka ovat laaja-alaisimmat geotieteet.

Geofysiikka

Maan kiinteän osan, vesikehän, ilmakehän ja magnetosfäärin fysikaalisia ominaisuuksia ja ilmiöitä tutkiva tiede. Geofysiikan tiedeperheeseen luetaan kuuluvaksi useita Maata tutkivia erityistieteitä.

Geologiset kaudet

Maan noin 4.6 miljardin vuoden historia jaetaan kausiin, joita ovat eonit, maailmankaudet, kaudet ja epookit.

Aktualismi

Nykyisyys on menneisyyden avain. Geologinen periaate, jonka mukaan maanpinnan kerrostumat ja muodot ovat aina syntyneet samojen ilmiöiden vaikutuksesta kuin ne nykyäänkin syntyvät eli tektonisten prosessien, rapautumisen, eroosion ja sedimentaation seurauksena.

Voimat ja vuorovaikutukset

Gravitaatio

Newtonin mekaniikassa gravitaatio on kappaleille ominainen pyrkimys toisiaan kohti, joka ilmenee gravitaatiovoimana eli yleisenä vetovoimana. Einsteinin yleisen suhteellisuusteorian mukaan gravitaatio ilmentää kap-

paleiden massojen aiheuttamaa avaruuden kaareutumista.

Seismiset aallot	Maanjäristysten tai ihmisen synnyttämiä maankuoressa eteneviä kimmoaaltoja. Seismiset aallot voivat olla pitkittäisiä tai poikittaisia aaltoja tai pinta-aaltoja.
Konvektiovirtaus	Lämpötilaerojen aiheuttama massavirtaus Maan sulassa ytimessä, vaipassa tai vesi- ja ilmakehissä.
Sähkömagneettinen säteily	Sähkömagneettisen kentän aaltoliike. Sitä synnyttävät elektronien, atomien ja molekyylien liikkeet ja energiatilojen vaihtelut sekä sähkö- ja magneettikenttien vaihtelut.
Vuorovaikutusilmiöt	Fysikaalisia ilmiöitä, jotka liittyvät sähkömagneettisen säteilyn, hiukkasäteilyn, väliaineen, aineen pinnan ja magneettikentän välisiin kohtaamisiin. Esimerkiksi virittyminen, absorptio, sironta, refraktio, heijastuminen ja taittuminen ovat vuorovaikutusilmiöitä. Voidaan puhua myös voimien ja ilmastojärjestelmän osien välisistä vuorovaikutuksista.
Paikka ja aika	
Koordinaatisto	Koordinaatisto on tapa esittää kohteen sijainti matemaattisen täsmällisesti. Koordinaatistot voivat olla metrimittaisia suorakulmaisia taso- ja avaruuskoordinaatistoja tai kulmia ja etäisyyksiä yhdistäviä napakoordinaatistoja.
Ekliptika	Maan ratataso.

Ekvaattori	Päiväntasaaja. Maapallon pinnalle piirretty kuvitteellinen isoympyrä, jonka taso on kohtisuorassa maapallon pyörimisakseliin nähden ja, joka kulkee maapallon keskipisteen kautta.
Ekliptikan kaltevuus	Ekliptikan ja ekvaattorin välinen kulma.
Taivaanpallo	Kuvitteellinen pallo, jonka keskipisteessä on havaitsija ja jonka sisäpinnalla taivaankappaleiden ajatellaan olevan.
Taivaannapa	Kohta pohjoisella ja eteläisellä taivaanpallolla, johon Maan pyörimisakseli osoittaa.
Kevättasauspiste	Suunta, jossa Aurinko näkyy Maasta katsoen kevät-päiväntasauksen hetkellä. Tällöin Aurinko siirtyy taivaanpallon ekvaattorin eteläpuolelta pohjoispuolelle.
Maantieteellinen koordinaatisto	Koordinaatisto maapallon kohteille. Se esittää kohteen sijainnin maapallon pinnalla kahden kulman avulla. Perustasona on Maan ekvaattori. Leveyskulma on kohteen kautta asetetun pallopinnan normaalin ja ekvaattorin välinen kulma. Pituuskulma on vertailukohdaksi sovitun pituuspiirin eli nollameridiaanin ja kohteen pituuspiirin välinen kulma.
Meridiaani	Pituuspiiri. Isoympyrän kaari, joka kulkee pohjois- navalta etelänavalle. Sen paikan kiinnittää maan- tieteellisen koordinaatiston pituuskulma.

Ekvaattorijärjestelmän koordinaatisto

Koordinaatisto avaruuden kohteille. Se esittää kohteen paikan kahden kulman avulla. Perustasona on Maan ekvaattori. Siitä mitataan deklinaatio. Toinen kulma, rektaskensio, mitataan ekvaattoritasossa kevättasauspisteestä. Ekvaattorijärjestelmän koordinaatisto on analoginen maantieteellisen koordinaatiston kanssa.

Asentoparametrit

Asentoparametrit määrittävät Maan pyörimisakselin asennon avaruudessa ja pyörimisnopeuden. Ne ovat tärkeitä suureita monissa koordinaattien muunnoksissa, joita esimerkiksi satelliittipaikannuksessa tarvitaan.

Aika

Tapahtumien järjestystä määrittävä suure, jonka perimmäinen olemus on selvittämättä. Perinteisesti aika on määritelty jaksollisten luonnonilmiöiden perusteella. Nykyisin aikaa ylläpidetään atomikellojen avulla. Yleisesti aikaa voidaan tarkastella kokemuksellisuuden, filosofian, fysiikan ja tekniikan näkökulmista.

Kiinteä Maa

Geologia

Maan kehitystä, rakennetta ja koostumusta tutkiva geotiede.

Geodesia

Geofysiikan tiedeperheeseen kuuluva erityistiede, joka tutkii Maan kokoa ja muotoa, maanpinnan kohteiden mittausta ja mallinnusta sekä kartografista kuvaamista.

PREM-malli

Preliminary Reference Earth Model. PREM-malli on yksi Maan kerrosrakennetta kuvaava malli, joka perustuu seismisten aaltojen etenemiseen Maan sisällä.

Kirjassa tarkastellaan geofysiikkaa maanmittaustekniikan kannalta. Näin tarkasteltuna geofysiikan keskeisimmät erityistieteet ovat geodesia, geomagnetismi ja meteorologia. Näissä asioissa kirjassa liikutaan Maan ytimestä Aurinkoon.

Kirjassa on tehtäviä, jotka tekevät siitä oppikirjan. Se on tarkoitettu korkeakoulutasoisissa opinnoissa käytettäväksi oppimateriaaliksi, mutta myös maanmittaustekniikan ammattiteissa toimiville henkilöille. Kirjalla on myös yleissivistävä tarkoitus. Erityisesti historiaan, magneettikenttään, avaruussäähän ja ilmastomuutokseen liittyvät aiheet saattavat kiinnostaa muitakin kuin maanmittausalalla toimivia lukijoita.

Maailmassa ei ole mitään muuttumatonta, ei luonnon eikä ihmisen luomaa. Vuonna 1993 esitetyssä Jurassic Park -elokuvassa roolihenkilö Ian Malcolm sanoi, että luonto yllättää aina. Näin tulee olemaan monissa geofysiikankin alaan liittyvissä tapahtumissa. Kannattaa siis seurata asioita ja perehtyä niiden taustoihin.

Kirjan 2. uudistettun painokseen on korjattu 1. painoksen virheitä, tekstiä ja kuvitusta on täydennetty ja kirjaan on lisätty hakemisto.