



SÄHKÖMAGNETISMIA

Pasi Laurila

Lapin AMK

5.2.2019

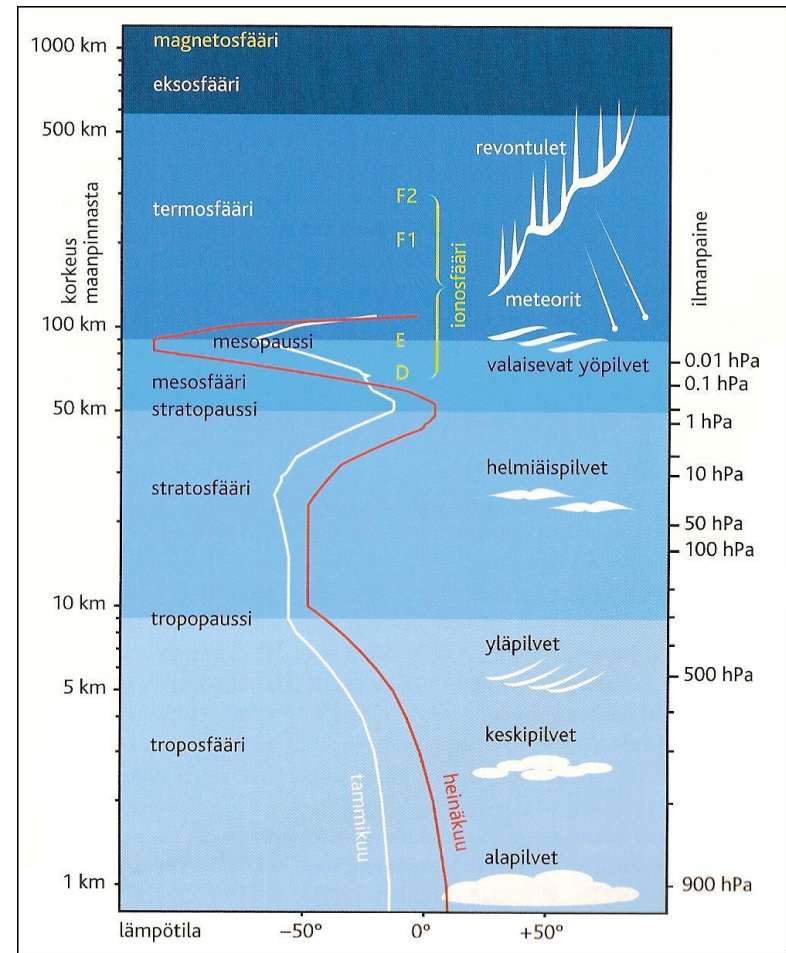
Kaukokartoituksen ja geodesian näkökulma

- Sähkömagneettiseen säteilyyn, Maan magneettikenttään ja Auringon hiukkassäteilyyn liittyvät ilmiöt ovat monin tavoin tärkeitä kaukokartoituksen ja geodesian näkökulmasta
- Kyse on sähkömagneettisen säteilyn ja ilmakehän vuorovaikutus-ilmiöistä
- Kyse on myös Auringosta ja avaruudesta tulevan hiukkassäteilyn aiheuttamista avaruussäätöilmiöistä Maan magneettikentässä
- Avaruussäätöilmiöillä on erityistä merkitystä teknisten järjestelmien toiminnan kannalta
- Maan magneettikenttä on historiallisesti ollut tärkeä suunnan-määrityksen ja kartoituksen näkökulmasta, mutta nykyisin sen ilmiöt ovat tärkeitä modernien teknisten järjestelmien käytön kannalta

Sähkömagneettinen säteily ilmakehässä

Ilmakehän kerrokset

- Ilmakehä on noin 500 km paksu kaasukehä
- Sääilmiöt tapahtuvat troposfäärissä
- Ionosfääri sijoittuu noin 100 – 400 km korkeuteen
- Siinä tapahtuu voimakkaita sähkömagneettisia ilmiöitä



Sähkömagneettinen säteily

- **Sähkömagneettinen säteily on sähkömagneettisen kentän aaltoliikettä, jonka aallonpituus vaihtelee laajalla alueella**
- Sähkömagneettisella säteilyllä on myös hiukkasluonne eli sen energia on kvantittunutta (→valokvantti eli fotoni)
- Säteily etenee tyhjiössä valon nopeudella, joka on noin 300 000 km/s
- Säteily toimii mittaustiedon kantajana geodeettisissa mittauksissa ja kaukokartoituksessa
- Mittauksissa hyödynnettävä säteily synnytetään mittauslaitteilla tai mitattava säteily on Auringon ja Maan emittoimaa säteilyä

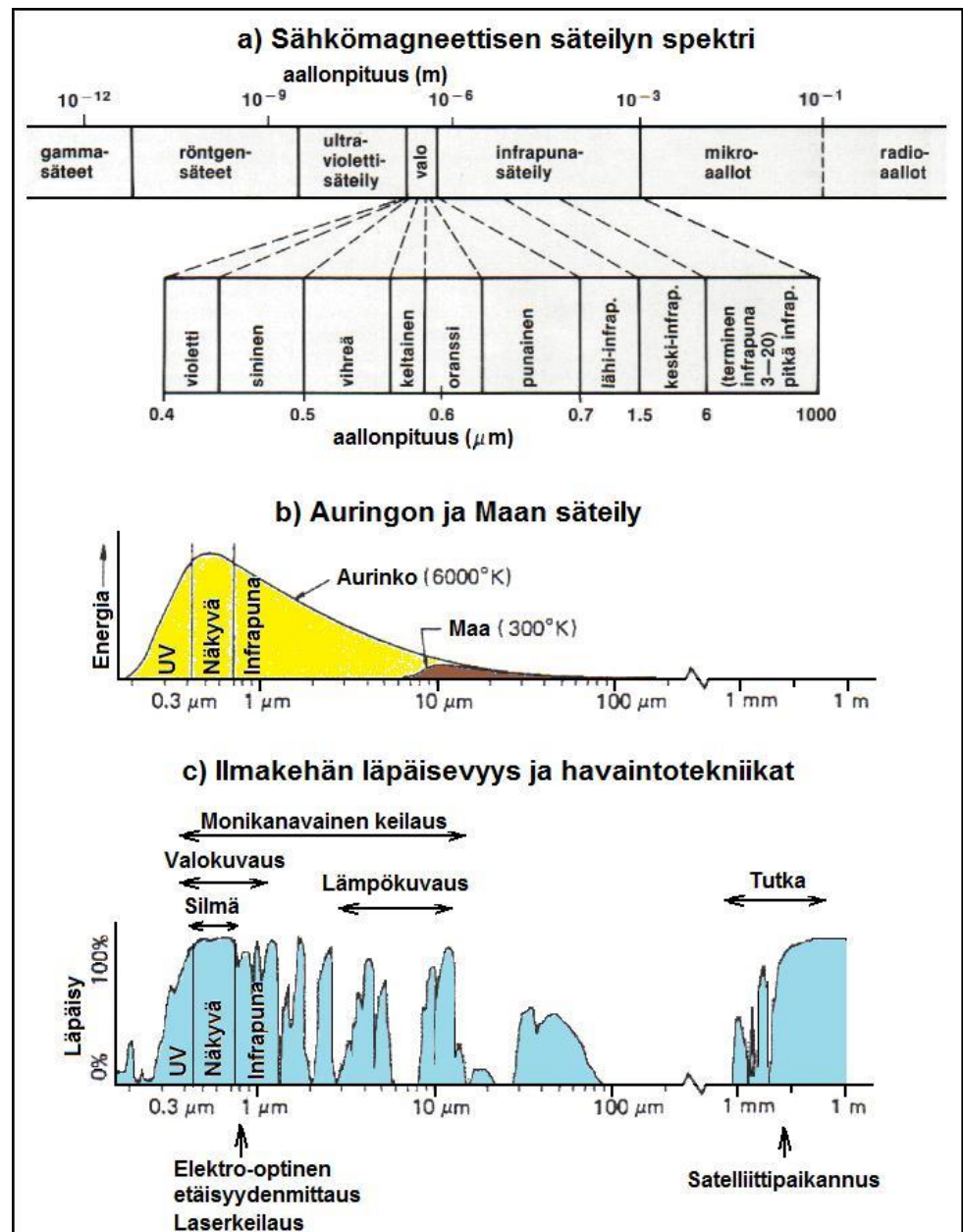
Sähkömagneettinen säteilyn spektri ja sen vuorovaikutusilmiöt

Vuorovaikutusilmiöt:

- absorptio
- taittuminen
- heijastuminen
- sironta

Vuorovaikutusilmiöiden seurauksena havaittavan säteilyn voimakkuus, spektrinen jakauma ja suunta voivat muuttua

Absorptio luo havaintoikkunat, joita hyödynnetään mittauksissa



Absorptio

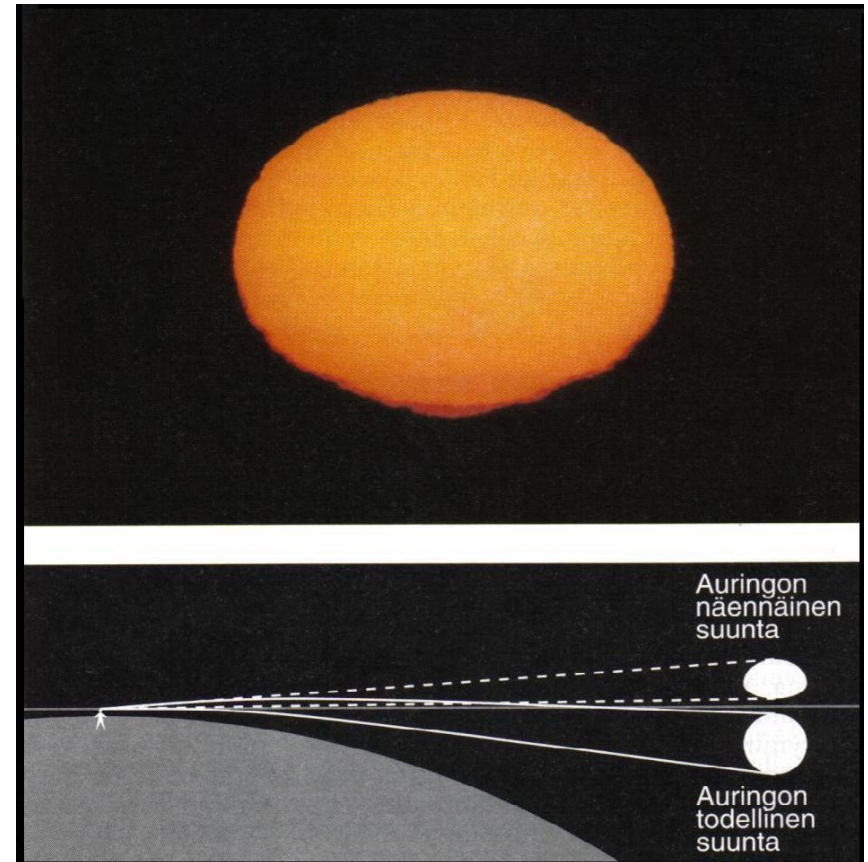
- Absorptio kuvaa aineen kykyä ”imeä” sähkömagneettista energiaa
- Absorptio johtuu ilmakehän atomeista ja molekyyleistä
- Osa energiasta muuttuu lämmöksi ja osa emittoituu takaisin toisella aallonpituudella
- Absorptio on valikoivaa: tietyt aallonpituudet läpäisevät hyvin ilmakehää → ilmakehän ikkunat

Sironta

- Törmätessään ilmakehän pölyhiukkasiin ja isompiin molekyyleihin, säteilyn suunta muuttuu satunnaisesti eli siroaa
- Sironta aiheuttaa hajavaloa
- Sironta on valikoivaa: lyhyet aallonpituudet siroavat enemmän kuin pitkät aallonpituudet
- Sirottavien hiukkasten koolla on myös merkitystä
- Sironnan vuoksi kirkas taivas näyttää siniseltä
- Sironta vaikuttaa Auringon väreihin horisontissa
- Kaukokartoituksessa sironta tasaa haitallisesti kohteessa havaittavia säteilyeroja

Refraktioilmiöt

- Säteily taibtuu ilmakehässä
- Kyse on refraktiosta
- Refraktion vuoksi tehdään etäisyyden- ja kulmanmittauksissa korjauksia
- Satelliittipaikannuksessa käytetään useita taajuuksia



Trigonometrinen korkeudenmittaus

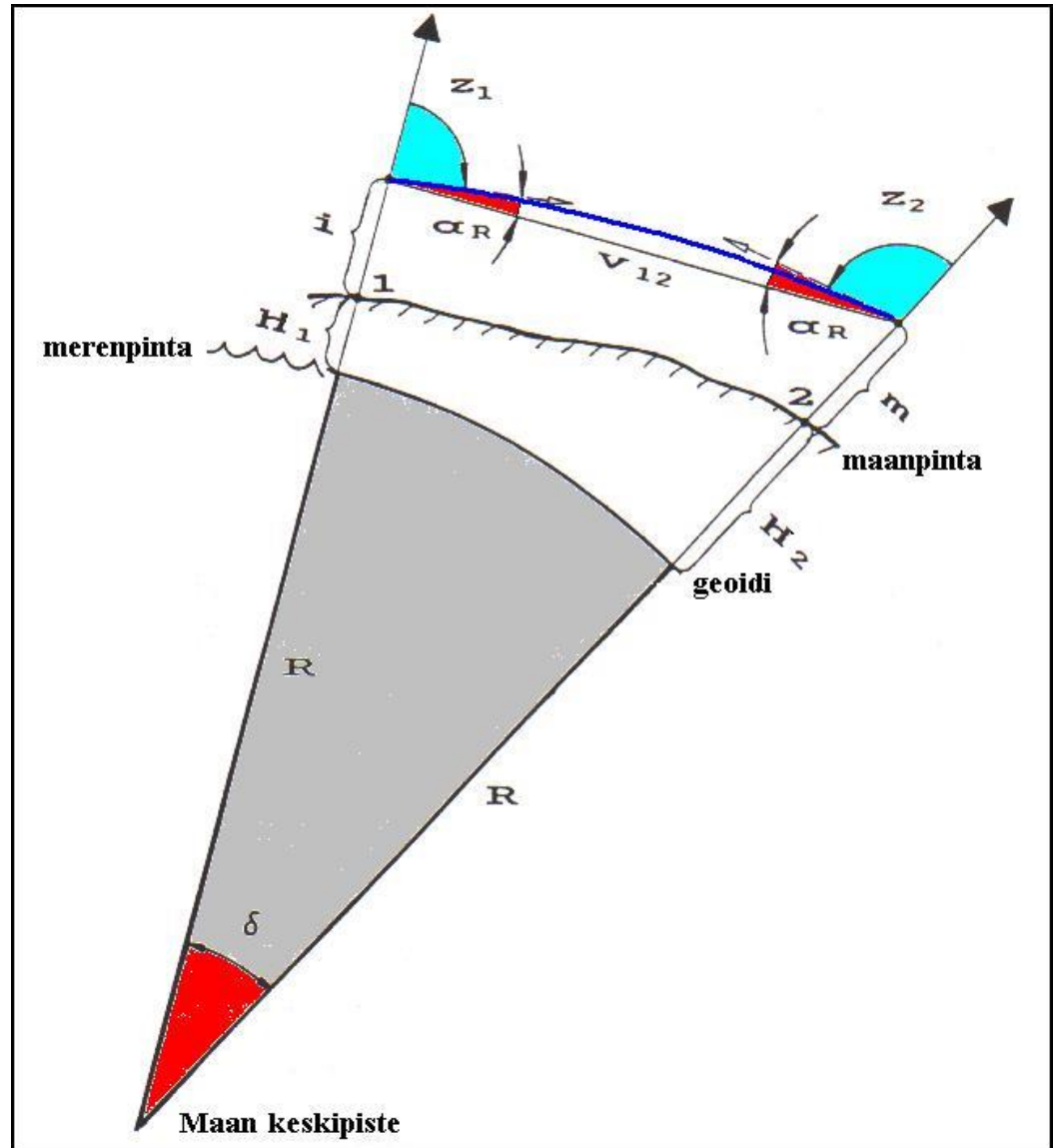
Refraktion vaikutuksesta tähtäyssäde kaareutuu ylöspäin

Refraktio huomioidaan yleensä ns. refraktiokertoimen avulla

Refraktiokerroin on Maan
kaarevuussäteen ja tähtäys-
säteen kaarevuussäteen suhde

Tavanomaisissa mittauksissa refraktiokertoimen arvo on 0.13

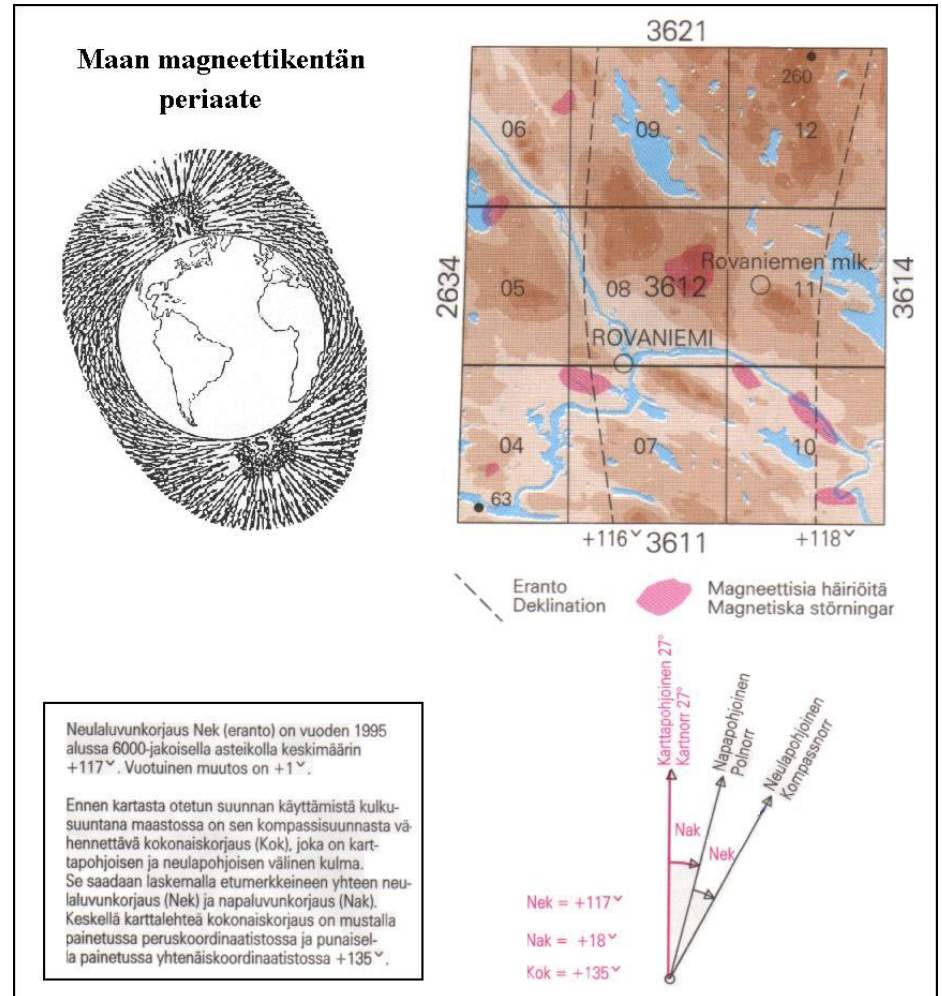
Refraktio tulisi huomioida trigonometrisessä korkeudenmittauksessa yli 200 metrin matkoilla



Maan magneettikenttä

Maan magneettikenttä

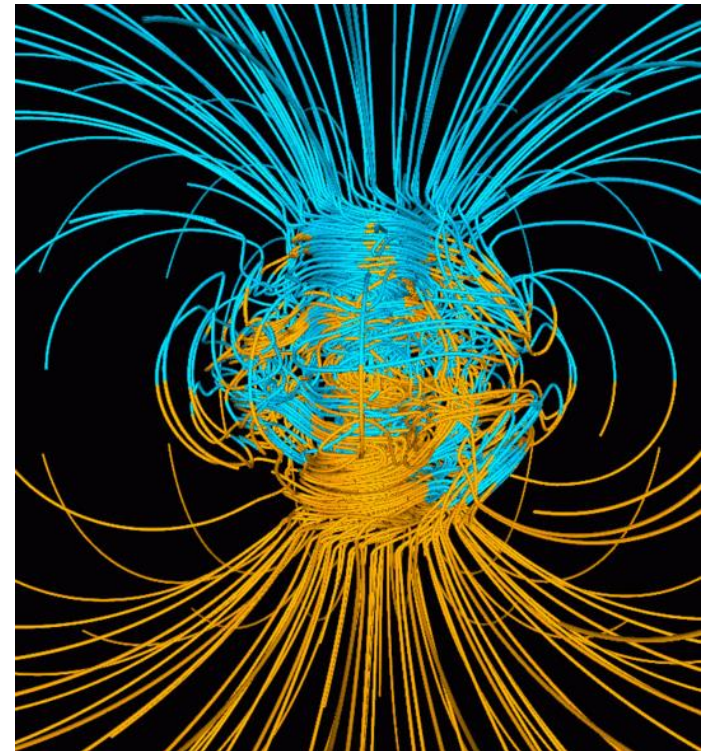
- Maan magneettikenttä muistuttaa sauvamagneetin aiheuttamaa dipolikenttää
- Magneettikenttä on kuitenkin monin tavoin epäsäännöllinen ja epävakaa
- Magneettikenttä liittyy Maan ytimen uloimman osan massavirtauksiin (konvektiovirtauksiin)



Dynamoteoria

- Magneettikenttä syntyy maapallon nestemäisessä ulkoytimessä tapahtuvien hitaiden massavirtausten seurauksena
- Massavirtauksia ylläpitävä energia syntyy radioaktiivisten aineiden hajoamisen tuloksena
- Myös Maan pyörimiseen liittyvä Coriolisvoima vaikuttaa kentän voimakkuuteen ja kentän symmetrisyyteen
- Tätä erittäin monimutkaista itseään ylläpitävää magneettikentän syntyprosessia kutsutaan dynamoteoriaksi
- Monet magneettikenttään liittyvät asiat ovat edelleen epäselviä

Maan magneettikentän tietokonemalli, joka ulottuu maapallon sisälle



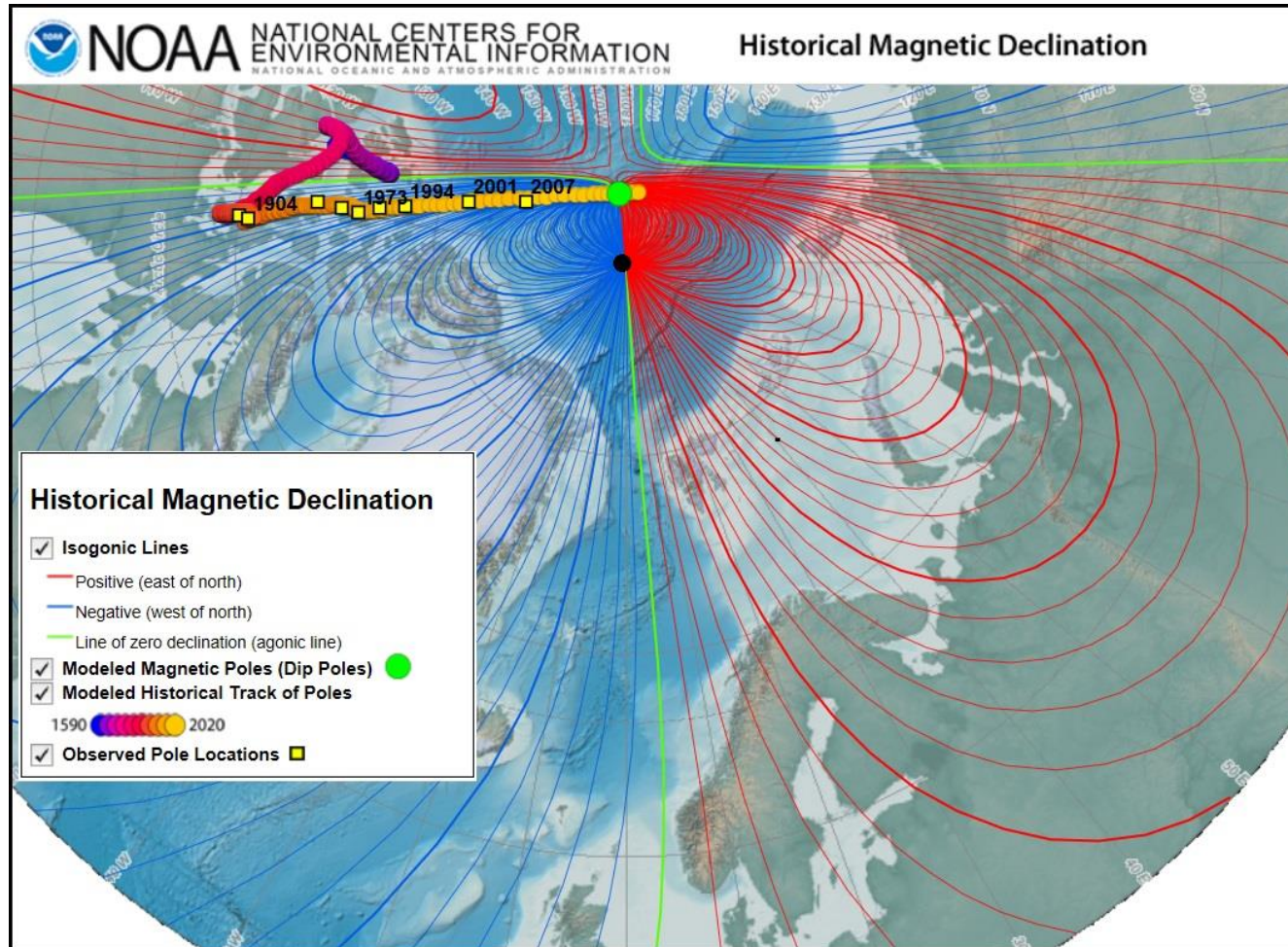
Poikkeamat pääkentästä

- Magneettikentässä on sekä paikallisia että alueellisia poikkeamia pääkentästä
- Paikalliset poikkeamat johtuvat kallioperän magneettisista mineraaleista ja suurista ihmisen tekemistä rakenteista
- Alueelliset poikkeamat syntyvät Maan ytimen pintaosassa kiertävistä konvektiovirtauksiin liittyvistä sähkövirroista
- Esimerkiksi Siperiassa on alueellinen poikkeama, joka vaikuttaa magneettikentän deklinaatioon (erantoon) Suomessa

Napaisuuden vaihtelut

- Magneettikentän navat ovat Maan pinnan kohtia, joissa magneettikentän voimaviivat ovat kohtisuorassa maanpintaa vastaan
- Magneettikentän navat sijaitsevat melko lähellä maantieteellisiä napoja
- Magneettikentän voimakkuus, napojen sijainti ja napaisuus vaihtelevat ajan myötä
- Napaisuuden vaihtuminen tarkoittaa, että kentän pohjois- ja etelänapa vaihtavat paikkaansa
- Ilmiö toistuu noin 100 000-1 000 000 vuoden jaksoissa

Magneettinen pohjoisnapa 1590-2020



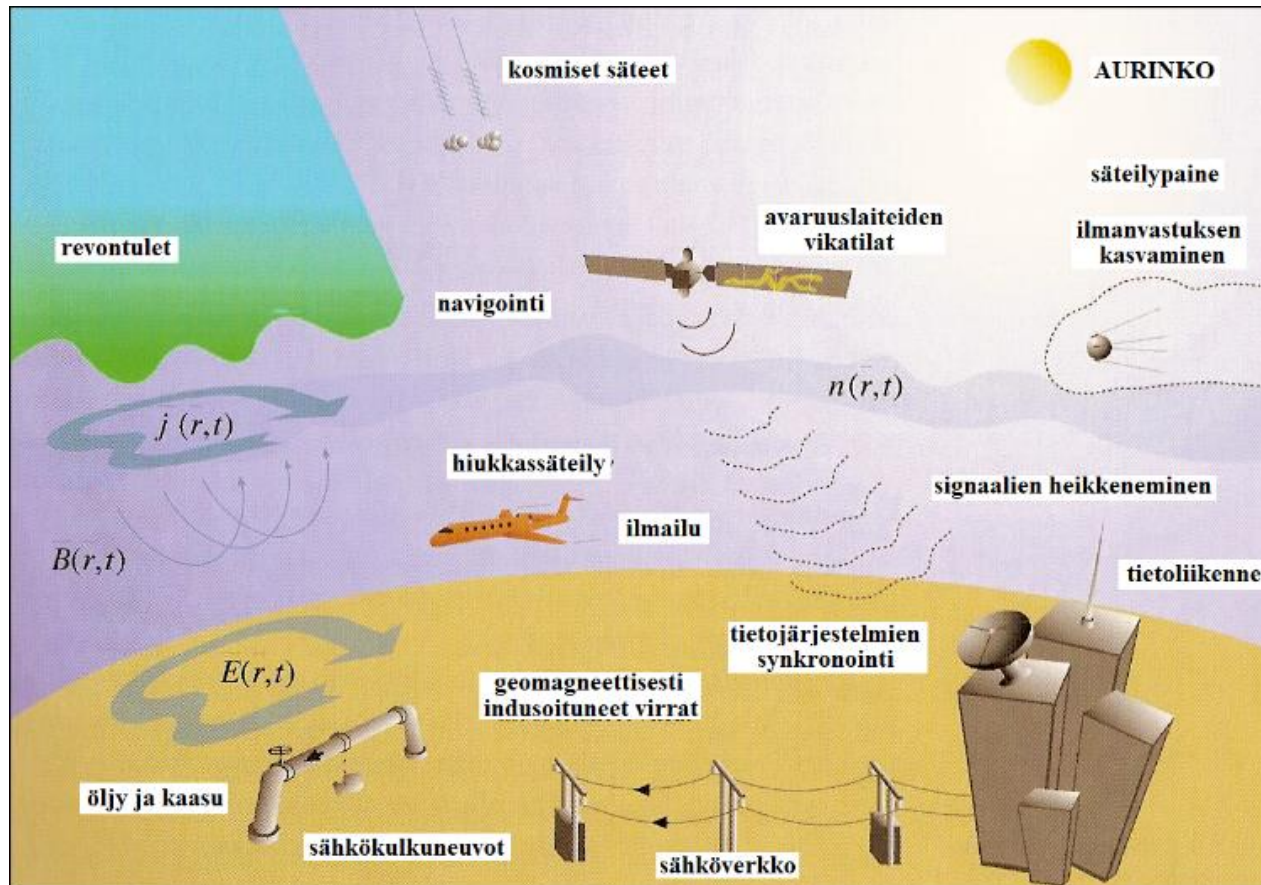
Avaruussää

Avaruuden tilannekuva

- Maan lähiavaruuden tilaan kiinnitetään kansainvälisesti ja kansallisesti enenevässä määrin huomiota
- Puhutaan avaruuden tilannekuvasta, mikä muodostuu kolmesta osa-alueesta:
 - avaruussää: Auringon hiukkasäteily ja aurinkomyrskyt
 - avaruusromu: ihmisten lähettämien satelliittien jäännökset
 - lähiavaruuden kohteet: meteorit, asteroidit ja komeetat
- Kyse on ihmiskunnan ja sen teknisten järjestelmien turvallisuudesta ja avaruuden kestävästä käytöstä
- Näihin asioihin on olemassa ja laaditaan kansainvälisiä ja kansallisia suunnitelmia

Avaruussää

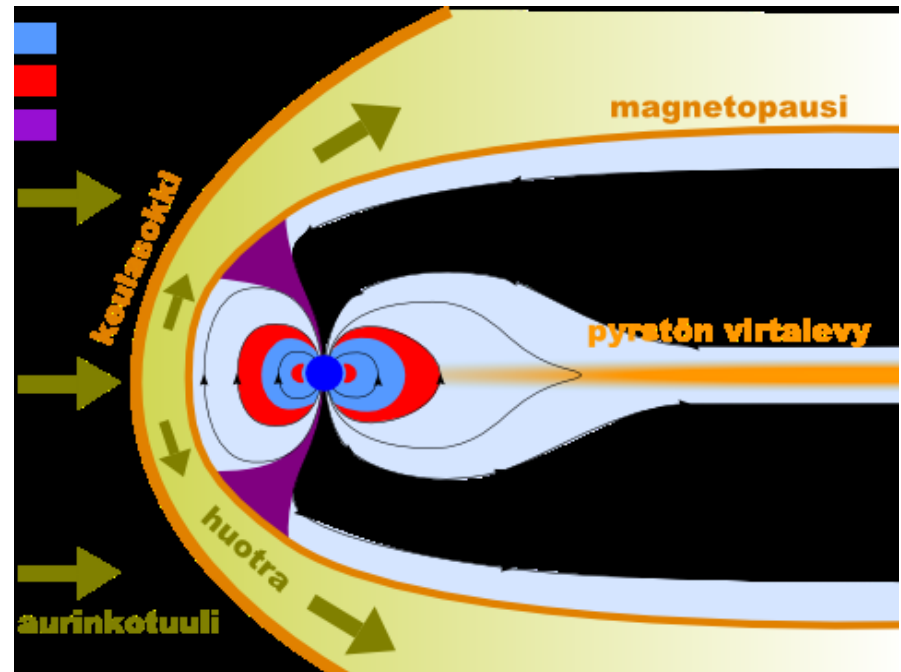
Avaruussää on lähiavaruuden sähkömagneettisten kenttien ja sähköisesti varattujen hiukkasten tilaa kuvaava termi. Avaruussää vaikuttaa teknisiin järjestelmiimme.



→ s. 24

Magneettikenttä avaruudessa

- Avaruudessa Maan magneettikenttää muokkaa aurinkotuuli eli Auringosta tulevat sähkövaraukselliset hiukkaset
- Hiukkasvirtaukset voivat aiheuttaa voimakkaita magneettisia ilmiöitä ionosfäärissä
- Ionosfäärissä hiukkasvirtaukset näkyvät revontulina
- Ionosfäärin ilmiöt heijastuvat maapallon pinnalla havaittamaan magneettikenttään
- Magneettikenttä suojelee elollista luontoa hiukkassäteilyn haitoilta



Ilmatieteen laitos:

<http://ilmatieteenlaitos.fi/maan-magneettikenttä>

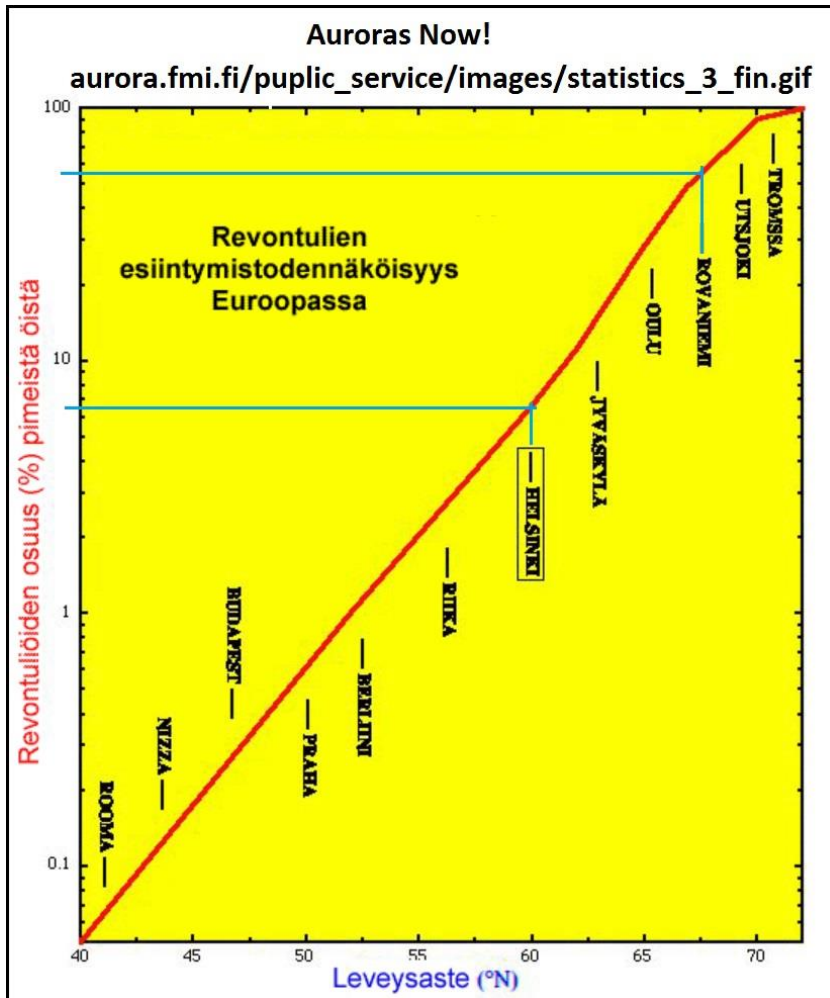
Aurinkotuuli

- Aurinkotuuli tarkoittaa Auringosta tulevien varattujen hiukkasten (protonien ja elektronien) virtaa
- Aurinkomyrsky tarkoittaa tavallista voimakkaampaa Auringon hiukkaspurkausta
- Auringon hiukkaspurkaukset muokkaavat Maan magneettikenttää avaruudessa
- Aurinkotuuli synnyttää ionosfäärissä revontulet ja muita sähkömagneettisia häiriöitä
- Aurinkotuuli vaikuttaa pitkäaaltoisen sähkömagneettisen säteilyn kulkuun
- Aurinkotuuli häiritsee muun muassa satelliittipaikannusta

Revontulet

- Revontulet syntyvät, kun Maan magneettikenttä kaappaa auringonpurkauksissa syntyneitä varattuja hiukkasia
- Hiukkaset kulkeutuvat Maan magneettikentän voimaviivoja myöten napa-alueille, jossa ne törmäävät ilmakehän atomeihin ja molekyyleihin
- Atomit ja molekyylit virittyvät, mutta viritystila on lyhytaikainen
- Viritystilan purkautuessa syntyy valoa, jonka näemme revontulina
- Tyypillisimpiä revontulia ovat matalalla pohjoisessa näkyvä rauhallinen vihreä revontulikaari sekä yksittäiset pystysuorat revontulisäteet

Revontulien esiintyminen



Tähdet ja avaruus 6/2001

R3. Revontulivyö



Kun revontulikaa-reen ilmestyy poi-muja ja mutkia, sitä kutsutaan revontulivyöksi. Vyöt ovat yleensä kaaria aktiivisempia rakenteita, joissa on usein mukana myös säderakennetta.

R6. Laajalti punaiset revontulet



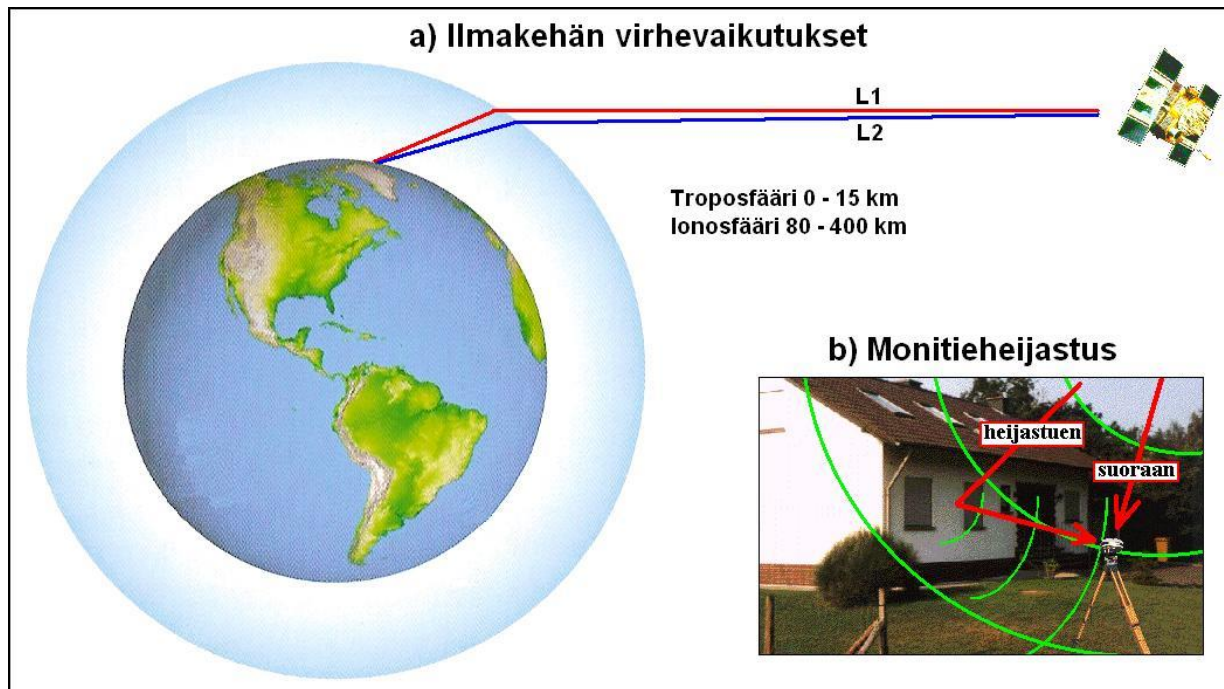
Punaiset revontulet ovat upeaa nähtävää ja esiintyvät verraten harvoin. Eritoten todella laaja-alaisesti ja voimakkaasti punaiset revontulet ovat harvinaisuuksia. Punainen väri on peräisin happiatomeista.

Avaruussää ja tekniikka

- Voimakas aurinkomyrsky voi haitata ihmisille tarpeellisten teknisten järjestelmien toimintaa
- 1860-luvulla koettu aurinkomyrsky laittaisi monet tekniset järjestelmät toimimattomiksi
- Mahdollisia haittavaikutuksia ovat muun muassa:
 - sähköverkon jännitteenhallintaongelmat
 - korroosionsuojauksen ongelmat maakaasu-putkissa
 - satelliittipaikannuksen estyminen ja tarkkuuden heikkeneminen
 - satelliittien asennonsäädön ongelmat
 - satelliittien ja maa-asemien yhteysongelmat
 - matalan kiertoradan satelliittien ilmanvastuksen kasvu

Satelliittipaikannuksen virheet

Ilmakehä häiritsee paikannussignaalin etenemistä. Suurin virhevaikutus on ionosfäärillä. Kun käytetään kahden eri taajuuden signaalia, voidaan signaalien kuluaikaerojen perusteella huomioida refraktion ja hiukkassäteilyn virhevaikutuksia



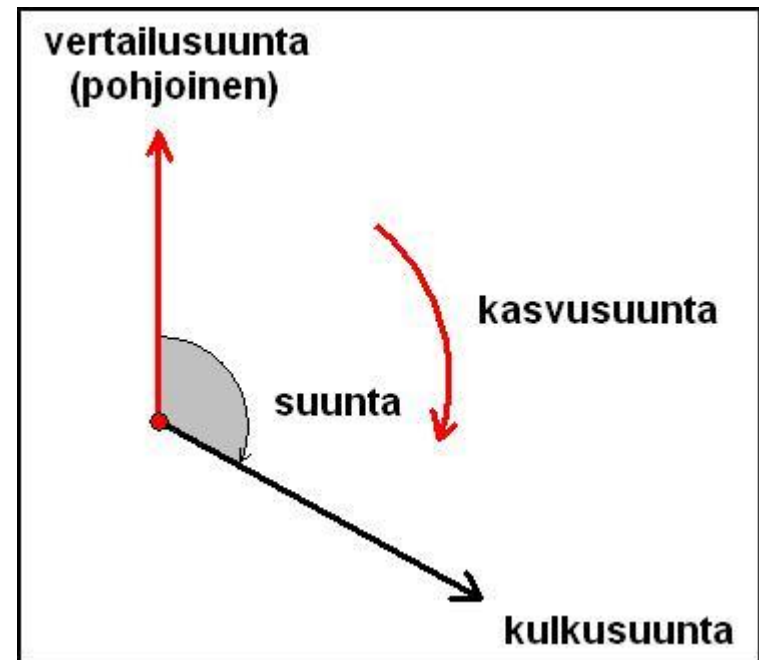
Satelliittipaikannuksen tukiasemaverkkojen avulla korjataan ilmankehän aiheuttamia paikannussignaalin häiriöitä tehokkaasti

Suuntakäsitteet

Suunta

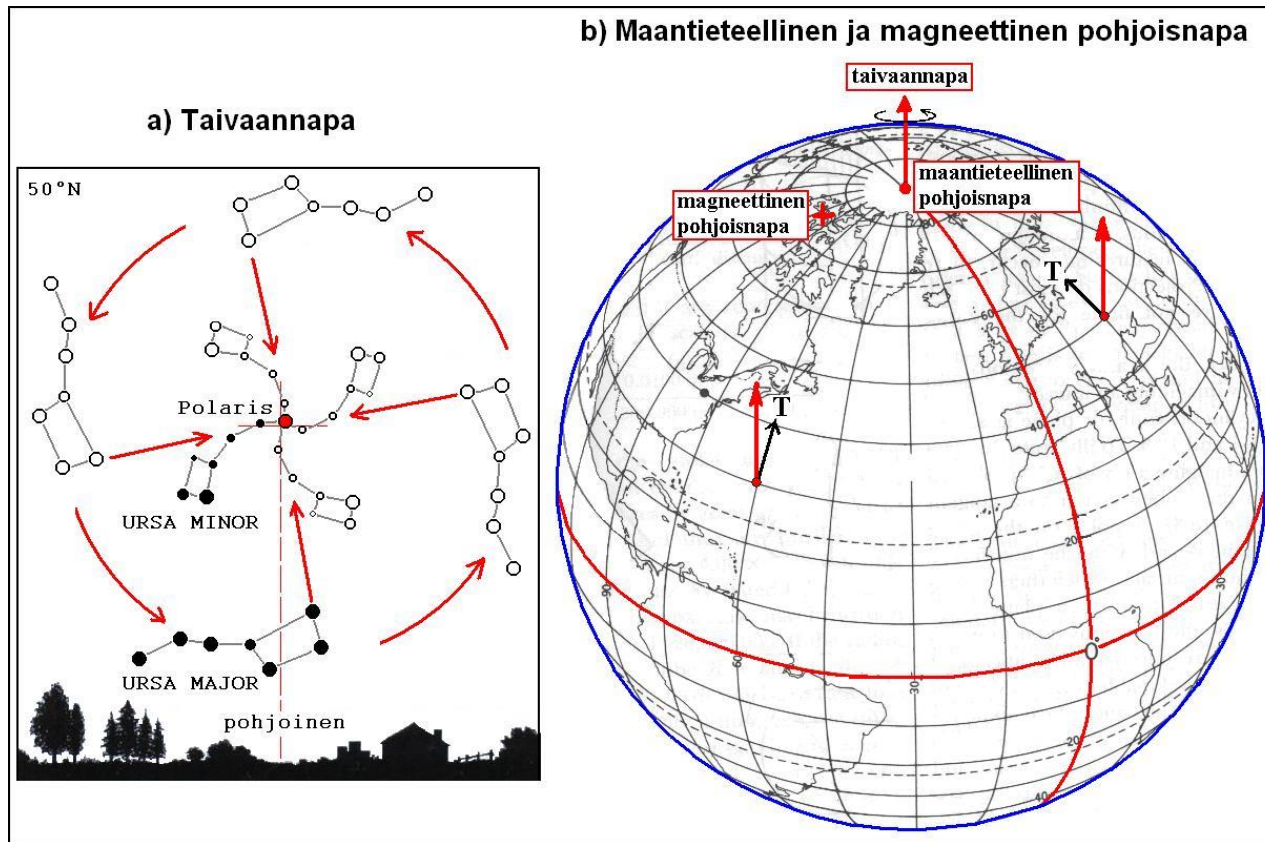
Suunta on mittaamisen ja navigoinnin näkökulmasta merkittävä, perustavaalettainen, käsite

- Suunta on vertailusuunnan ja kulkusuunnan välinen kulma
- Maanmittauksessa vertailusuunta on pohjoinen
- Tähtitieteessä vertailusuunta on yleensä etelä
- Matematiikassa vertailusuunta on itä eli koordinaatiston vaaka-akseli



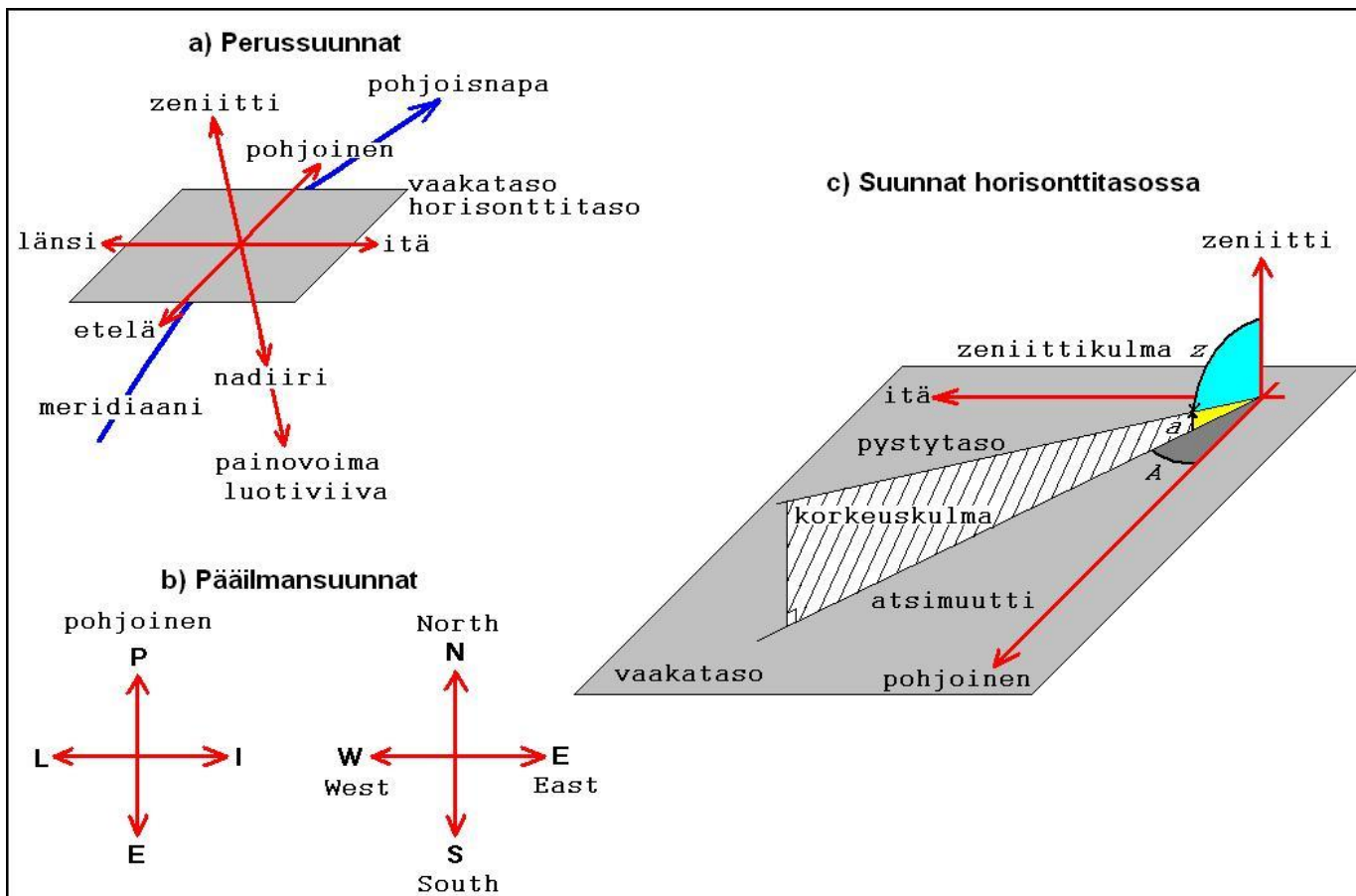
Kaksi luonnollista pohjoista

**Luonnolliset pohjoiset perustuvat havaittaviin fysikaalisiin ilmiöihin:
maapallon pyöriminen ja magneettikenttä**



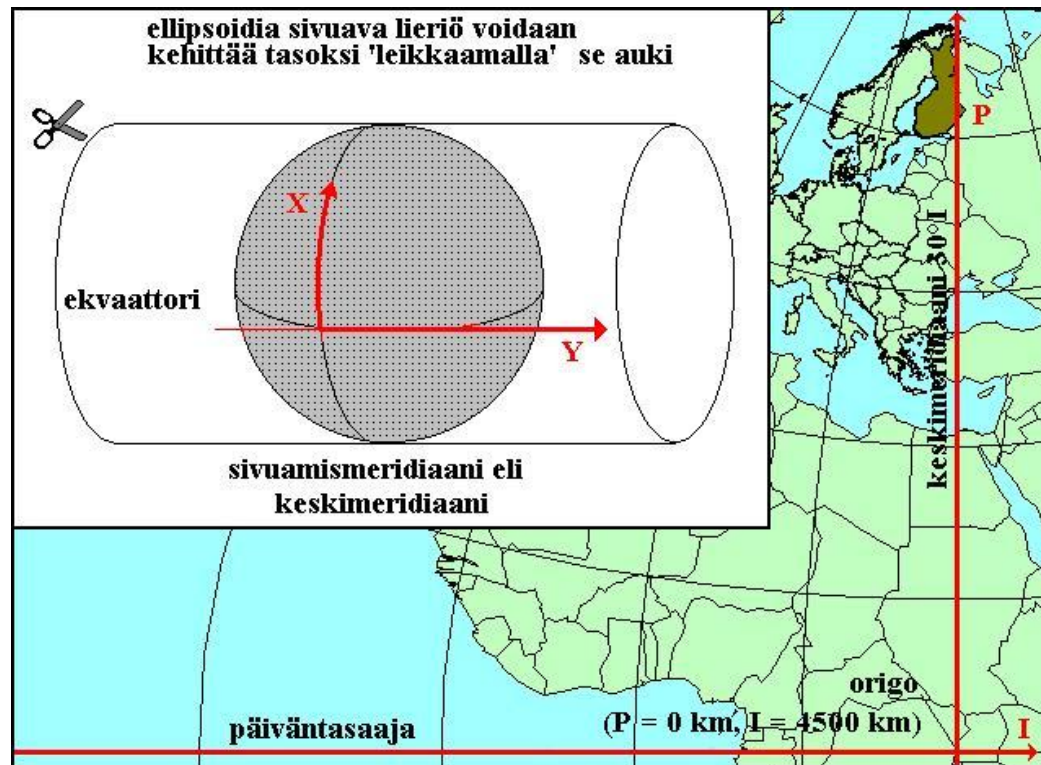
Perussuunnat vaakatasossa

Painovoiman määrittämät pystysuora ja vaakataso sekä ilmansuunnat



Karttapohjoinen

**Karttapohjoinen on karttatekninen ja matemaattinen käsite
Se on karttakoordinaatiston pohjoissuunta eli keskimeridiaanin
suunta karttatasolla**



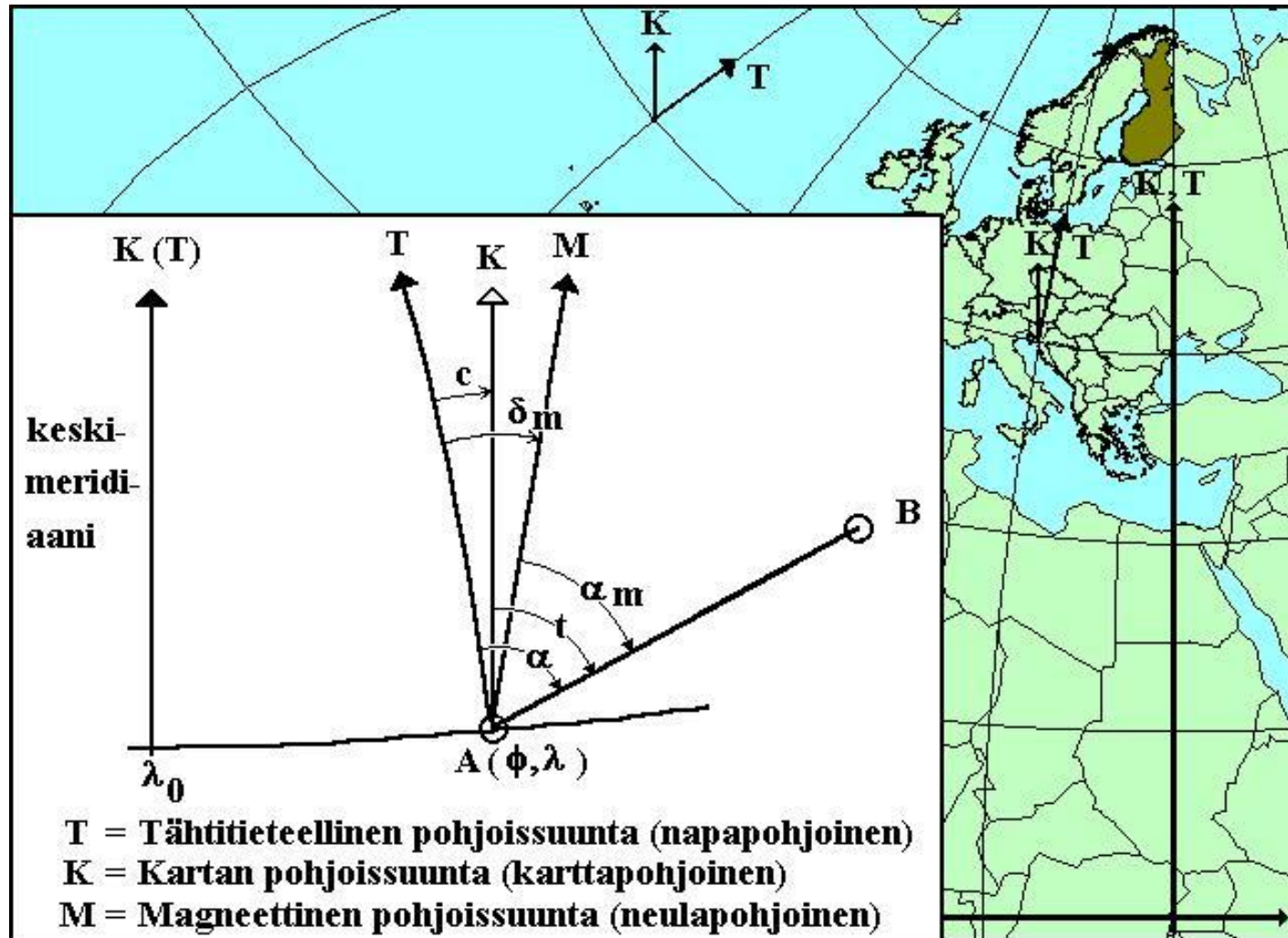
Suuntien nimitykset

- Atsimuutti (α), suuntakulma (t) ja neulaluku (α_m)
- Atsimuutti mitataan maantieteellisen pohjoisen suhteen
- Suuntakulma mitataan karttapohjoinen suhteen
- Neulaluku mitataan magneettisen pohjoisen suhteen

Suuntien erot

- Napaluvun korjaus (c , Nak) ja neulaluvun korjaus (δ_m , Nek)
- Napaluvun korjaus (meridiaanikonvergenssi) on maantieteellisen ja kartta-pohjoisen ero
- Neulaluvun korjaus (eranto, magneettinen deklinaatio) on maantieteellisen ja magneettisen pohjoisen ero
- Kokonaiskorjaus ($Kok = Nak + Nek$)

Vertailusuunnat, suunnat ja niiden erot



Suunnanmääritys

Suunnanmäärityksen vaihtoehdot

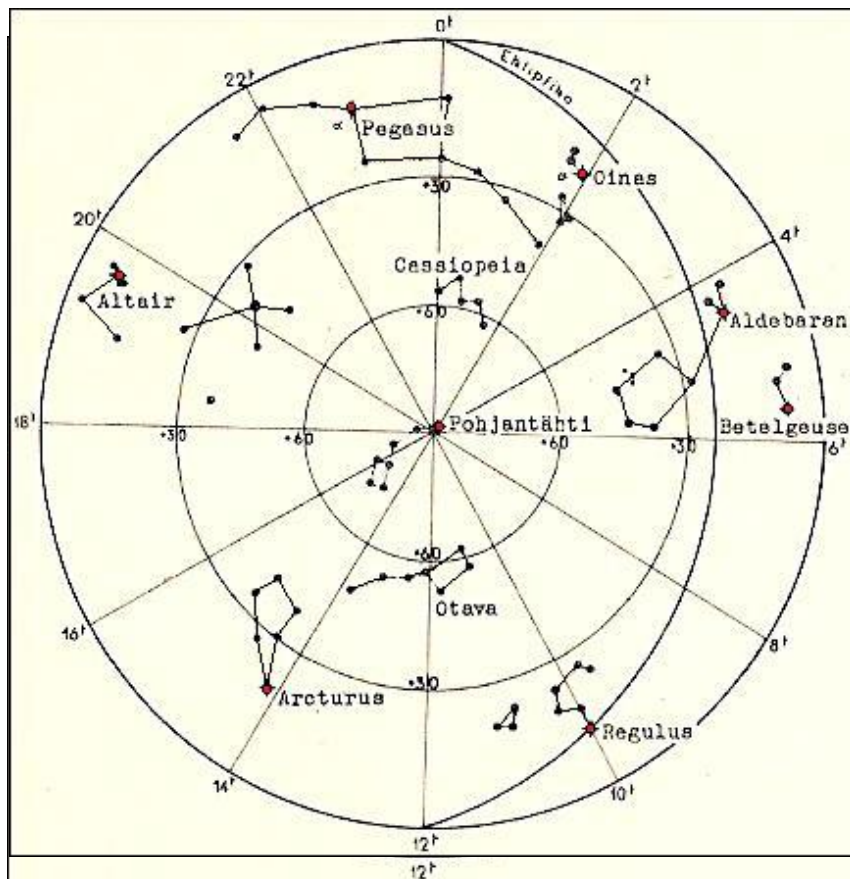
- Maantieteellinen ja magneettinen pohjoinen määräytyvät fysikaalisten ilmiöiden kautta, joten nämä pohjoissuunnat voidaan suoraan mitata
- Karttapohjoinen perustuu matemaattiseen määrittelyyn, joten se voidaan mitata vain välillisesti kiintopisteiden kautta tai suuntien eroja hyödyntäen

Atsimuutin mittaus

- Atsimuutti mitataan maantieteellisen pohjoisnavan suhteen
- Yleisesti havaitaan Maan pyörimisliikettä
- Tähtitieteellisessä mittauksessa havainnoidaan tähtien vaaka- ja korkeuskulmia sekä aikaa
- Gyroskooppisessa mittauksessa havaitaan nopeasti pyörivän hyrrän avulla Maan pyörimisakselin suunta

Tähtitiedettä maanmittaajille

Maanmittaajan suuntatähdet



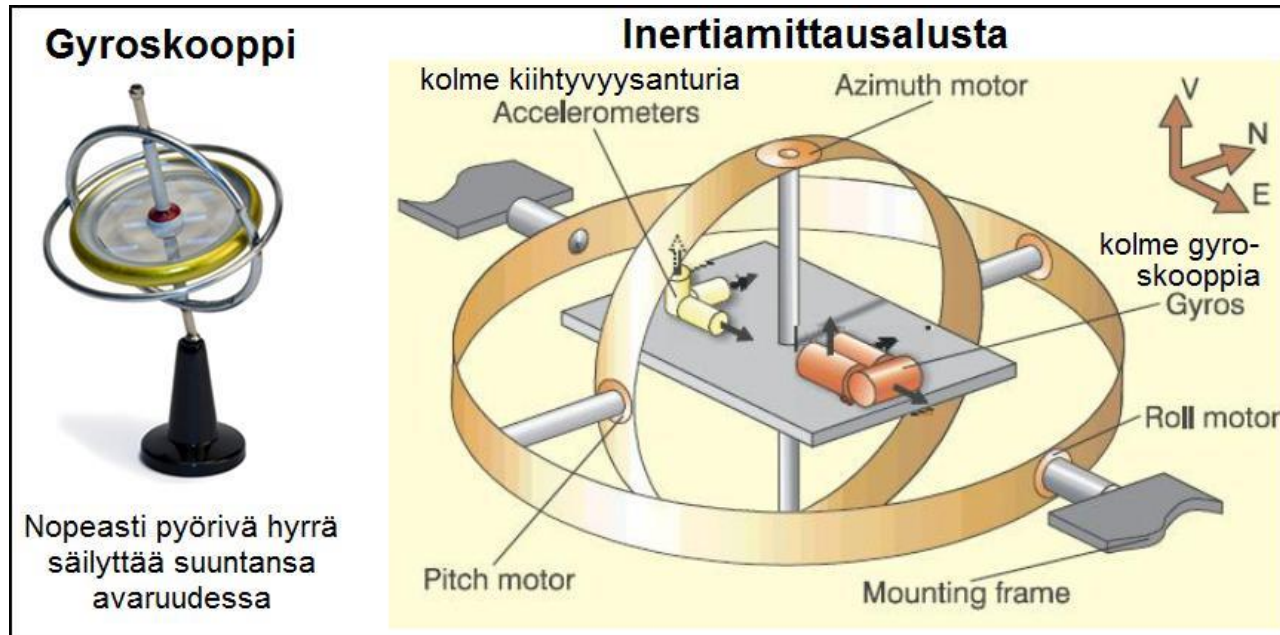
Suunnanmääritys on ollut maanmittaajan näkökulmasta tärkeämpää kuin paikannus

Aurinkomittauksen vaatimat suuntalaskut

HAVAINTOPISTE MP 96, TÄHTÄYSPISTE MP 97, PÄIV. 7.6.58. LEVEYSASTE = 62°43'02", PITUUSASTE = 22°36'30"		
TEODOLIITIN KAUKOPUTKEN ASENTO	I	II
HAVAINTOHETKI	8 ^h 13 ^m 32 ^s	8 ^h 22 ^m 12 ^s
KELLONKORJAUS	- 1 ^m 44 ^s	- 1 ^m 44 ^s
PAIKALLISAIKAKORJAUS (TAUL. 3)	- 29 ^m 34 ^s	- 29 ^m 34 ^s
AJANTASAUUS (TAULUKKO 1)	+ 1 ^m 25 ^s	+ 1 ^m 25 ^s
YHTEENSÄ	7 ^h 43 ^m 39 ^s	7 ^h 52 ^m 19 ^s
AURINGON TUNTIKULMA	-4 ^h 16 ^m 21 ^s	-4 ^h 07 ^m 41 ^s
" " " ASTEINA	-64°06'15"	-61°55'15"
" " DEKLIINAATIO (TAUL. 2)	+22°43'	
GOTG a	-0.21845	-0.25664
AURINGON NAPALUKU	113°69.2	115°99.3
KULMA: AURINKO-MP 96-MP 97	57°30.2	55°00.3
SIVUN: MP '96 - MP 97 NAPAL.	170°99.4	170°99.6
KESKIAARVO	170°99.5	
NAK	+ 1°37.4	
MP 96-97 KARTTAPOHJOISLUKU	172°36.9	
OHEISESTA NOMOGRAMMISTA SAADAAN AURINGON NAPALUVUKSI (OPASNUOLI 5) ASENNOSSA I 113°68 JA II 116°00		

Vielä 1984 Rovaniemen teknillisen koulun maanmittaustekniikan opiskelijat harjoittelivat aurinkomittausta

Gyroskooppi ja inertiamittausalusta

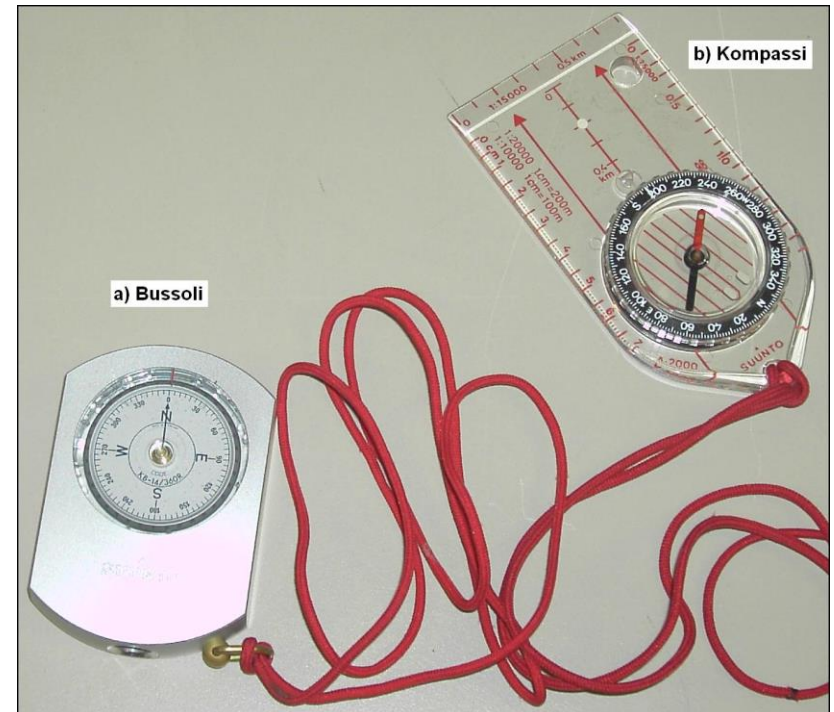


Ulkoinen voima suuntaa hyrrää. Likimäärin pohjoiseen suunnattu hyrrä asettuu Maan pyörimisliikkeen vaikutuksesta Maan pyörimisakselin suuntaiseksi.

Nykyiset kiintyvyyssanturit ja gyroskoopit ovat pääosin MEMS-antureita (microelectromechanical systems)

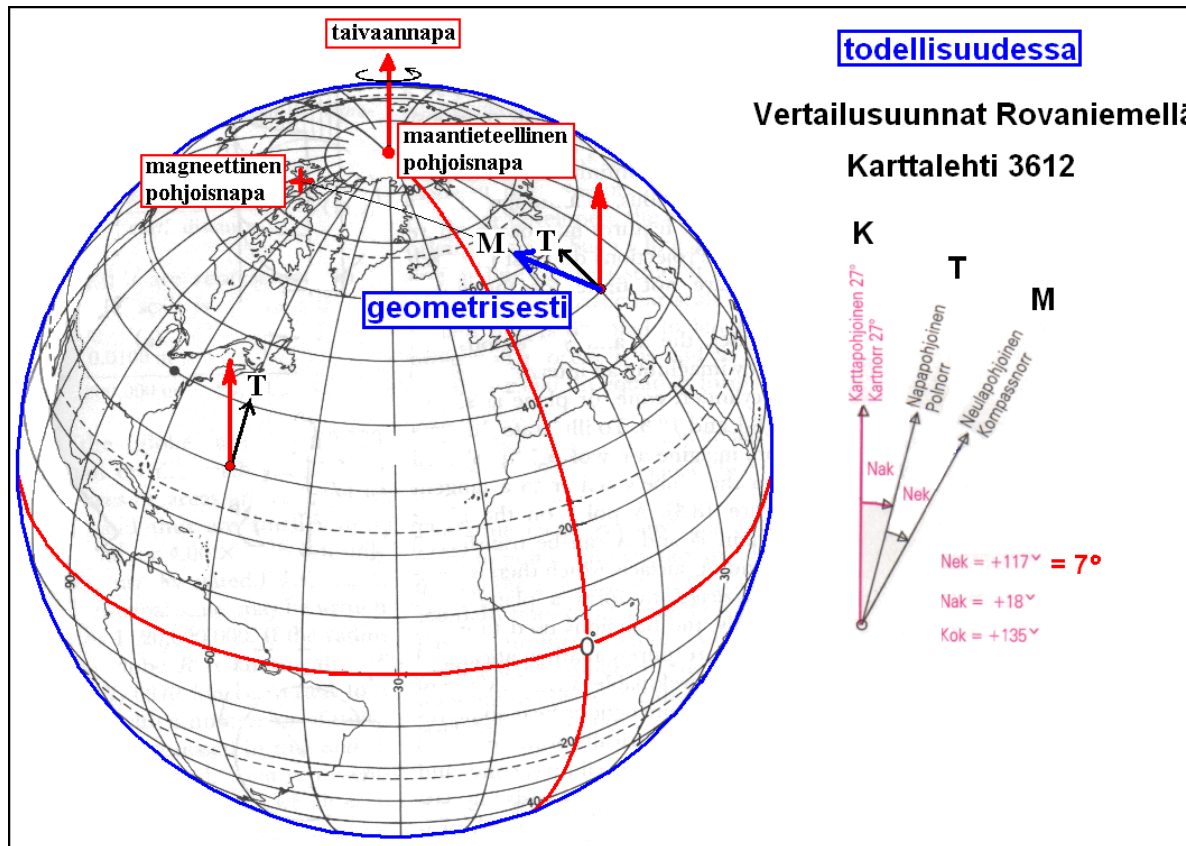
Neulaluvun mittaus

- Neulaluku mitataan magneettikentän voima-
viivojen suhteen
- Neulaluku mitataan
kompassilla tai bussolilla
- Mittaustarkkuus on
huono verrattuna vaihto-
ehtoisiin suunnan-
määrittystapoihin



Kompassineulan suunta

Maan magneettikenttä ei ole symmetrinen, napojen paikat muuttuvat ja magneettikenttä kokonaisuudessaan vaihtelee



Magneettisen suunnanmäärityksen merkitys

- Kompassin neula osoittaa magneettikentän voimaviivojen suuntaan eli suurin piirtein magneettisille navoille
- Koska Maan magneettikenttä on epäsymmetrinen ja vaihtelee ajallisesti ja paikallisesti, ei magneettisella suunnanmäärityksellä päästä hyvään tarkkuuteen
- Aikanaan kompassi on kuitenkin auttanut merenkulkijoita ja tutkimusmatkailijoita liikkumaan maapallolla ja kartoittamaan sitä

Kirjallisuutta

- Kakkuri, J. 1991. Planeetta Maa. Ursa 42, Helsinki
- Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. RAMK, Rovaniemi
- Poutanen, M. 2016. Satelliittipaikannus. Ursa 152, Helsinki
- Nevanlinna, H. 2006. Avaruussää – Auringosta tuulee. Ursa 102, Helsinki
- Nevanlinna, H. 2009. Geomagnetismin ABC-kirja. Ilmatieteen laitos, raportteja 2009:1
- Turner, G. 2010. North Pole South Pole. Awa Press, Wellington, New Zealand