

**GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUKSEN  
KOORDINAATTIMUUNNOKSET**

ArcGIS 10.1-paikkatietojärjestelmä

Taskila Tuula

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikan opetusohjelma  
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja Liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Maanmittausinsinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Tuula Taskila	<b>Vuosi</b>	2016
<b>Ohjaaja</b>	Pasi Laurila		
<b>Toimeksiantaja</b>	Geologian tutkimuskeskus		
<b>Työn nimi</b>	Geologian tutkimuskeskuksen koordinaattimuunnokset, ArcGIS 10.1-paikkatietojärjestelmä		
<b>Sivumäärä</b>	69		

---

Tässä opinnäytetutkimuksessa määritellään Esrin koordinaattijärjestelmien yhteensopivuutta ArcMapin formaattiin. Esri on yhdysvaltalainen paikkatietoratkaisuiden toimittaja. Työ on tehty toimeksiantona Geologian tutkimuskeskukselle. Tutkimuksessa selvitettiin syitä, miksi GTK:n käytössä oleville tiedostoaineistoille ei voi tehdä muunnoksia Esrin formaatteihin.

Aluksi käydään teoriassa läpi yleiset perusteet: koordinaatit, koordinaatistot, koordinaattijärjestelmät sekä korkeusjärjestelmät. Tutkimuksen aikana laadittiin yksinkertaiset ohjeet koordinaattimuunnoksista. Paikkatietojärjestelmiä käsitellessä on keskitytty vektori- ja rasteriaineistojen erilaisuuteen.

Tutkimus tehtiin valitsemalla Geologian tutkimuskeskuksen Geodata-aineisto, joka sisältää sekä vektori- ja rasteriformaatteja. Koska vektoriformaateissa ei ollut suuria ongelmia, tutkimus keskittyi rasteriformaattien määrittämiseen. Tutkimus tehtiin ArcMapissa olevalla muunnos-komennolla.

Tuloksena havaittiin että osa tiedostoformaateista voidaan muuntaa Esrin koordinaattijärjestelmään. Parametrien eroavaisuudet olivat ongelmana niissä tiedostoformaateissa, joita ei voinut muuntaa. Tämän perusteella ei voida sanoa pääasiallista syytä muunnosten epäonnistumiselle. Syinä voivat olla esimerkiksi se, että materiaalit on mitattu ja tallennettu eri aikoina. Tutkimusta tehdessä huomattiin, että tiedot koordinaattijärjestelmien ja niiden muunnosten tuntemisesta on tärkeää niiden parissa työskenteleville, varsinkin nyt kun Suomessa ollaan siirtymässä KKK-järjestelmästä EURE FIN TM35FIN -järjestelmään.

Asiasanat                      karttaprojektiot, korkeudenmittaus, maanmittaus, paikkatietojärjestelmät

School of technology and  
Communication  
Surveying Technology  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Tuula Taskila	<b>Year</b>	2016
<b>Supervisor</b>	Pasi Laurila		
<b>Commissioned by</b>	Geological Survey of Finland		
<b>Subject of thesis</b>	Coordinate Modifications at Geological Survey of Finland, ArcGIS 10.1 Geographic Information System		
<b>Number of pages</b>	69		

---

The compatibility of the Esri coordinate system and the ArcMap coordinate system were defined in this thesis. Esri is an American supplier of Geographic Information System (GIS) software. This thesis was commissioned by the Geological Survey of Finland. The objective was to find out the reasons why, it is not possible to make modifications to the file format used by the Geological Survey of Finland in the Esri coordinate system. The Geographic information systems have focused on difference between the raster and vector data.

First the basics such as the coordinate systems and the elevation systems were discussed. The study was done by selecting the Geodata material of the Geological Survey of Finland that includes both vector and raster formats. Since there were no significant problems with the vector formats, the study concentrated on determining the raster formats. The research was done using the conversion command in ArcMap. Simple guidelines for the coordinate modifications were prepared.

As a result, it was found that some of the file formats could be converted into the Esri coordinate system. Differences in the parameters were a problem in the file formats that could not be changed. It was not possible to say the main reason for the certain modification failure. The failure could be somewhere else for example, the material could have been measured and saved at a different time. The knowledge how to modificate coordinates and coordinate systems is very important for the people who work with coordinates, especially in a situation when Finland is changing the coordinate system from the KKJ system to the EUREF FIN TM35FIN system.

**Key words** map projections,a, Land surveying, geographic information system

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	12
2 KOORDINAATIT JA KOORDINAATISTOT .....	14
2.1 Yleisesti koordinaateista .....	14
2.2 Koordinaatit ja koordinaatistot .....	14
2.3 Karttaprojektio.....	18
2.4 Koordinaattijärjestelmät.....	22
2.5 Suomalaiset korkeusjärjestelmät yleisesti .....	23
2.6 Korkeusjärjestelmät .....	25
3 SUOMALAISTEN KOORDINAATISTOJEN HISTORIA .....	27
3.1 Vanha Valtion järjestelmä .....	27
3.2 European Datum .....	27
3.3 Kartastokoordinaattijärjestelmä.....	28
3.4 ETRS89 .....	29
4 KOORDINAATTIMUUNNOKSET .....	30
4.1 Koordinaattimuunnokset yleisesti .....	30
4.2 Koordinaattikonversio .....	30
4.3 koordinaattimuunnos .....	31
4.4 Helmert-muunnos.....	31
4.5 Affiininen muunnos .....	32
4.6 Affiininen muunnos kolmioittain .....	32
5 GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS.....	34
5.1 Geologian tutkimuskeskuksen esittely.....	34
5.2 Paikkatietojärjestelmät yleisesti .....	35
5.3 Vektorimuotoinen paikkatietoaineisto .....	37
5.4 Rasterimuotoinen paikkatietoaineisto .....	37
5.5 GTK:n paikkatietojärjestelmät .....	38
5.5.1 Vektoriformaatit .....	40
5.5.2 Rasteriformaatit .....	44
5.5.3 Siirtoformaatit.....	49
6 KOORDINAATTIMUUNNOKSET ArcGIS-OHJELMISTOLLA.....	50
6.1 Yleistä koordinaattimuunnoksista .....	50
6.2 Koordinaattimuunnoksen virheilmoitus ArcMapissa.....	51

6.3 Aineiston koordinaattijärjestelmän tunnistaminen.....	52
6.4 Koordinaattijärjestelmien muunnostavat .....	53
6.5 Aineistonäkymän koordinaattijärjestelmän muuttaminen .....	53
6.6 Koordinaattijärjestelmän muuttaminen ArcTools-työkaluilla.....	55
6.7 Koordinaattimuunnokset vektori- ja rasteriaineistolle .....	56
7 GTK:n KOORDINAATTIJÄRJESTELMIEN TUTKIMINEN .....	59
7.1 projisoidut koordinaattijärjestelmät .....	59
7.2 Tutkimuksen aloittaminen .....	59
7.3 Tulosten käsittely.....	63
8 POHDINTA .....	65
LÄHTEET .....	66

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tarkoitettu kaikille lukijoille, jotka ovat kiinnostuneita koordinaatistoista, koordinaattijärjestelmistä, koordinaattimuunnoksista ja niihin liittyvistä paikkatieto-ohjelmistoista. Erityisesti tämä tutkimus on tehty geologian tutkimuskeskuksen henkilökunnalle, helpottamaan koordinaattimuunnosten virheiden käsittelyä.

Haluan kiittää työn valmistumiseen vaikuttaneita henkilöitä, jotka ovat ohjanneet ja avustaneet tässä työssä ja siihen liittyvissä materiaalien hankinnoissa. Näitä henkilöitä ovat Geologian tutkimuskeskukselta tutkimusprofessori Vesa Nykänen, joka mahdollisti tämän työn valmistumisen, erikoissuunnittelija Markku Pönttämä, geologi Katja Lalli, atk-suunnittelija Timo Pitkänen, erikoissuunnittelija Jukka Alakunnas ja kuvataiteilija Pertti Lohiniva, joka avusti kuvien käsittelyssä. Lisäksi haluaisin kiittää "geodesian harrastajaa", niin kuin hän itseensä nimittää, Eino Uikkasta, häneltä olen saanut hyviä neuvoja ja vinkkejä eri lähteistä. Tietysti kiitän ohjaavaa opettajaa Pasi Laurilaa, hyvästä palautteesta ja neuvoista.

## KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Affiininen muunnos	Koordinaattimuunnoksissa käytetty muunnosmalli, jolla voidaan vaikuttaa mm. koordinaattiakseleiden väliin kulmiin sekä koordinaattiakseleiden mittakaavaan.
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989. Epookki 1989.0. Euraasian mannerlaatan yhtenäiseen osaan kiinnitetty kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä.
ETRS-GKn	GK-projektioon perustuva tasokoordinaatisto, jossa käytetään tarkoituksenmukaista projektiokaistan leveyttä ja alueelle parhaiten soveltuvaa keskimeridiaanin tasa-astetta.
ETRS89-TM35FIN	Koordinaattijärjestelmä, joka on UTM-projektioon perustuva karttaprojektio ja -koordinaatisto.
EUREF-FIN	ETRS89- järjestelmän kansallinen realisaatio Suomessa.
GK	Gauss-Krüger-projektio. Poikittainen, sivuva lieriöprojektio.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Eri maiden ylläpitämien satelliittipaikannusjärjestelmien muodostama kokonaisuus.

GPS	Global Positioning System. Amerikkalainen satelliittipaikannusjärjestelmä.
Helmert-muunnos	Koordinaattimuunnoksissa yleisesti käytetty lineaarinen yhdenmuotoisuusmuunnos, joka säilyttää muunnettavien kohteiden muodon muuttumattomana.
ITRS	International Terrestrial Reference System. Maailmanlaajuinen, kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä.
Karttaprojektio	Menetelmä, jonka avulla maapallon kolmiulotteinen pinta kuvataan kaksiulotteiselle tasolle.
Kolmiomittaus	Kulmahavaintoihin perustuva mittaustapa.
Kartastokoordinaattijärjestelmä	Kolmiomittauksiin perustuva, Suomessa yleisesti käytössä ollut koordinaattijärjestelmä.
Koordinaatisto	Koordinaattiakselien muodostama mitta-akselisto, käytetään myös tarkoitettaessa koordinaattijärjestelmän realisaatiota.
Koordinaattijärjestelmä	Joukko suureita, jotka määrittelevät koordinaatiston sekä sen sijoittamisen ja orientoimisen.



Koordinaattikonversio	Kahden samaan datumiin perustuvan koordinaatiston välillä tapahtuva koordinaattien muuntaminen.
Koordinaattimuunnos	Kahden eri datumiin perustuvan koordinaatiston välillä tapahtuva koordinaattien muuntaminen.
UTM	Universal Transverse Mercator. Poikittainen, leikkaava lieriöprojektio, jossa kaisat $6^{\circ}$ leveitä.
Runkomittaus	Mittaus, jossa alueelle luodaan kiinteistä pisteistä muodostuva pisteistö, joiden koordinaatit tunnetaan tietyssä koordinaattijärjestelmässä.

## KUVIOT JA TAULUKOT LUETTELO

Kuvio 1. Avaruuskoordinaatit (X, Y, Z) ja geodeettiset koordinaatit .....	16
Kuvio 2. Mittakaavan muuttuminen TM35FIN-projektiossa .....	18
Kuvio 3. Maapallon levittäminen tasoksi .....	19
Kuvio 4. Kuviossa eriasentoiset karttaprojektiot .....	19
Kuvio 5. Kuvio 5. Poikittaisen lieriöprojektin periaate, Suomi yhdessä projektiokaistassa .....	20
Kuvio 6. Fennoskandian maanousu Maan keskipisteen suhteen (millimetriä vuodessa) .....	24
Kuvio 7. Todellinen maanpinta, ellipsoidi ja geoidi .....	25
Kuvio 8. Muunnokset koordinaattien välillä .....	28
Kuvio 9. Helmert-muunnos .....	32
Kuvio 10. Kolmioittainen affiininen muunnos .....	33
Kuvio 11. Geologian tutkimuskeskuksen toimipaikat ja tulosityksiköt .....	34
Kuvio 12. GTK n: vientiprojektiit maailmalla 2016 .....	35
Kuvio 13. Piste, viiva ja alue .....	37
Kuvio 14. Rasteripohjainen aineisto .....	38
Kuvio 15. Koropleettikartan määrittelyminen .....	40
Kuvio 16. Gis-tietotasot .....	40
Kuvio 17. Alkuperäinen kuvan koko 279x183 pikseliä. kuvan osa (valoisalla kehystetty alue) suurennettu 15-kertaiseksi, pikselien rakenne erottuu .....	45
Kuvio 18. Virheilmoitus puuttuvasta koordinaattijärjestelmästä .....	51
kuvio 19. Tason koordinaattijärjestelmää koskevat tiedot .....	53
Kuvio 20. Varoitus koordinaattijärjestelmien erilaisuudesta .....	54
Kuvio 21. Koordinaattijärjestelmän asetukset .....	55
Kuvio 22. ArcTools-työkaluja ArcMapissa .....	56
Kuvio 23. ArcTools-työkaluja vektori- ja rasteriaineistolle .....	57
Kuvio 24. ArcTools-työkalunäkymät vektori- ja rasteriaineistolle .....	58
Kuvio 25. Aineistoluettelo lyhyessä muodossa .....	60
Kuvio 26 Koordinaattijärjestelmät .....	61
Kuvio 27. Higflymag_s-aineiston parametrit .....	62

Taulukko 1. Suomessa käytettävien tasokoordinaatistojen ominaisuuksia .....	17
Taulukko 2. Tärkeimpien vertausellipsoidien parametrit .....	23
Taulukko 3. Pakolliset tiedosto-formaatit shapefile-tiedostolle ja esimerkkejä laajennustiedostoista .....	42
Taulukko 4. GTK:n aineiston formaattimuodot ja yhteensopivuus Esrin formaatteihin .....	63
Taulukko 5. GTK:n aineiston formattien eroavaisuudet Esrin formaatteihin.....	52

## 1 JOHDANTO

Kiinnostukseni kohteena on aina ollut maanpallon yläpuolella ja maan alapuolella tapahtuvat muutokset, kuten maannousu tai kuinka tarkasti voidaan jonkin paikan sijainti mitata satelliittimittauksella. Tästä sain idean kysyä Geologiselta tutkimuskeskukselta opinnäytetyön aihetta. Heidän aiheensa liikkuu paljon maanpinnan alapuolella, mutta koordinaateilta hekään eivät voi välttyä. Aiheen valinnassa auttoi tutkimusprofessori Vesa Nykänen. Aiheita olisi ollut useita, mutta oli loogista valita maanmittausalaan liittyvä aihe. Heillä oli ollut ongelmia koordinaattimuunnoksissa ArcMapissa, joten aihe oli ajankohtainen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittellä Geologian tutkimuskeskuksen aineiston yhteensopivuus Esrin formaatteihin ArcGIS 10.1-paikkatietojärjestelmällä. Vertailukohteina olivat Geologian tutkimuskeskuksen aineiston koordinaattijärjestelmät ja Esrin koordinaattijärjestelmät. Alun perin oli tarkoitus tutkia aineistoa myös Mapinfolla, mutta koska tutkittava aineisto oli niin laaja, tulimme siihen tulokseen, että ArcGIS-ohjelmiston käyttäminen on riittävä. Lisäksi jätimme vektoriaineiston tarkastelun pois, niiden ongelmattomuuden vuoksi, joten opinnäytetyössä keskitytään ainoastaan rasteriaineiston ongelmien tutkimiseen.

Opinnäytetyössä käsittelen aluksi perusteita: koordinaattien, koordinaatistojen, koordinaattijärjestelmien ja paikkatietojärjestelmien teoriaa. Ilman näiden tietojen osaamista on hyvin vaikeaa ymmärtää tämän opinnäytetyön tarkoitusta. Maanmittausalan ja monen muunkin alan henkilöt joutuvat tekemisiin koordinaattien ja koordinaattijärjestelmien kanssa, joten teorian osaaminen näistä aiheista on keskeinen asia. Keskeisinä asioina ovat myös tiedot parametreista, niiden oikein koodauksesta ja alkuperäisistä mittaustiedoista. Tämän tutkimuksen aikana minulla ei ollut mahdollisuutta tarkistaa tutkittavien tiedostojen alkuperää, milloin ne olivat mitattu tai tallennettu.

Työn aloitin tutkimalla Geologisen tutkimuskeskuksen geodata-aineistoa. Ensin täytyi perehtyä rasteriformaatteihin. Niiden tutkiminen oli haasteellista, koska niistä löytyi hyvin vähän suomenkielistä materiaalia. Tässä vaiheessa

jouduin turvautumaan ohjaavan opettajan ja Esrin myyntipalvelun apuun. heiltä sain materiaalia ja käänsin formaatit englanninkielestä suomenkieleen.

Varsinaisen koordinaattijärjestelmien muuntamisen aloitin tutkittuani koko rasteriaineiston. Järjestelmällisesti tutkittuani löysin geodata-aineistosta kymmenen erinimistä koordinaattijärjestelmää. Tein näille tiedostoilla muunnoksia Esrin käyttämiin koordinaattijärjestelmiin. Tällä keinoin pystyin tarkastelemaan, mitkä Esrin formaatit sopivat yhteen geodata-aineiston kanssa. Koordinaattimuunnoksilla en tehnyt varsinaisia muunnoksia, siten että alkuperäiset koordinaatit tai koordinaattijärjestelmät olisivat muuttuneet. Työn edetessä tein samalla lyhyen ohjeen koordinaattimuunnoksista.

Toivon tämän opinnäytetyön ”herättelevän” niitä henkilöitä, jotka käsittelevät, koodaavat ja tallentavat mittausaineistoja. Tarkkuus on tärkeintä, jos koordinaattijärjestelmiä muunnettaessa hyväksyy minkä tahansa tietokoneen ehdottaman järjestelmän, sijainnit eivät välttämättä tule kartalla oikeille paikoille. Aina täytyy tarkistaa alkuperäisen aineiston koordinaatit ja parametrit, jotta saa oikeanlaisen lopputuloksen.

## 2 KOORDINAATIT JA KOORDINAATISTOT

### 2.1 Yleisesti Koordinaateista

Pisteen sijainti voidaan esittää eri koordinaattijärjestelmien ja koordinaatistojen mukaisina koordinaatteina. Maailmassa on lukuisia koordinaattijärjestelmiä, joista osa on alueellisia ja osa maailmalaajuisia nykyisellä paikannustekniikalla saavutettuja.

Suomessa Geodeettisen laitoksen ja Maanmittauslaitoksen tehtävänä on luoda ja ylläpitää valtakunnallista koordinaattijärjestelmää, valtakunnallista korkeusjärjestelmää, kartoituksen, paikkatietojen käytön ja navigoinnin tarpeita varten. (Maanmittauslaitos 2016a).

### 2.2 Koordinaatit ja koordinaatistot

**Koordinaatit** ovat lukuarvoja, joita tarvitaan pisteen sijainnin määrittelemiseksi valitussa koordinaatistossa. Koordinaatit voidaan esittää maantieteellisinä koordinaatteina  $(X;Y)$ , geodeettisina koordinaatteina  $(\varphi, \lambda, h)$ , suorakulmaisina avaruuskoordinaatteina  $(X; Y; Z)$  ja tasokoordinaatteina  $(x, y$  tai  $N, E)$ . (JHS 2008a, 3/11; Maanmittauslaitos 2016a.)

Koordinaatisto on yleensä suorakulmainen mitta-akselisto, jonka avulla pisteen sijainti voidaan määritellä koordinaatiston origoon nähden. Erityyppisiä koordinaatistoja ovat esimerkiksi suorakulmainen ja geodeettinen koordinaatisto, pallo-, lieriö- ja tasokoordinaatisto. Matemaattinen koordinaatisto on varmaankin tutuin tasokoordinaatistoista, jossa X-akseli on vaakasuunnassa ja Y-akseli pystysuunnassa. Geodeettisessa tasokoordinaatistossa akselit ovat toisin päin X-akseli kasvaa kohti pohjoista ja Y-akseli kohti itää. Nämä voi unohtua henkilöillä, jotka ovat enimmäkseen tekemisissä matemaattisten asioiden kanssa, jolloin suunnittelussa voi esiintyä virheitä. Suomessa koordinaatti virheet huomaa helposti, koska X ja Y-koordinaatit eroavat selkeästi toisistaan. (Maanmittauslaitos 2016a, j.)

**Koordinaatisto** on koordinaattijärjestelmän realisaatio, joka on toteutettu mittaamalla joukolle maastossa olevia kiintopisteitä järjestelmän mukaiset koordinaatit. Mittaukset tehdään geodeettisten ja tähtitieteellisten mittausten sekä runkomittausten avulla. Tuloksena on koordinaattijärjestelmä. Käytännössä realisointi tapahtuu mittaamalla pisteille koordinaatit kyseisessä koordinaatistossa, nykyisin pääasiassa GNSS-mittauksin (Global Navigation Satellite System), maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. (Maanmittauslaitos 2016c.)

Paikantamisessa ja mittaamisessa käytetään kolmenlaisia koordinaatistoja:

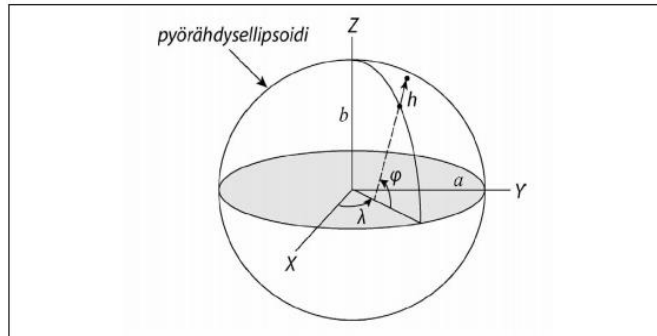
- kaksiulotteinen kulmamittoja käyttävä maantieteellinen koordinaatisto
- kolmiulotteinen suorakulmainen koordinaatisto
- kartan kaksiulotteinen suorakulmainen koordinaatisto

Kaksiulotteisia koordinaatistoja käytettäessä kolmas ulottuvuus esitetään korkeuden avulla. Koordinaattijärjestelmän sisällä kohteen sijainti voidaan esittää käyttäen mitä tahansa edellä mainituista koordinaatistosta. (Laurila 2012, 139.)

Kohteen sijainti esitetään yleensä **maantieteellistä tai geodeettista koordinaatistoa** käyttäen. Tässä koordinaattijärjestelmässä käytetään Maapallon muotoa kuvaavaa pyörähdysellipsoidia, jonka pinnalle maantieteelliset koordinaatit kuvataan. Koordinaatit esitetään kulmamittoina aste, minuutti, sekunti tai radiaani. (Maanmittauslaitos 2016h.)

Geodeettisessa koordinaatistossa koordinaattien maantieteellinen leveys ( $\varphi$ ) on ellipsoidin normaalin ja päiväntasaajatasen välinen kulma. Maantieteellinen pituus ( $\lambda$ ) on pisteen meridiaanitasen ja nollameridiaanin välinen matka. Käytännössä leveys on etäisyys päiväntasaajasta ja pituus on etäisyys nollameridiaanista eli Greenwichin meridiaanista, korkeus, h ilmaistaan etäisyytenä vertausellipsoidin pinnasta (kuvio1). Leveys on positiivinen ekvaattorin pohjoispuolella ja negatiivinen sen etelä puolella. Pituus kasvaa nollameridiaanista

itään. Korkeuden suure ( $h$ ) on eri korkeus kuin korkeus geoidin pinnasta eli korkeus merenpinnasta,  $H$ . ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ). Geodeettinen koordinaatisto on muuten sama kuin maantieteellinen, mutta se sisältää myös korkeuden. (Laurila 2012, 141; Maanmittauslaitos 2016d.)



Kuvio 1. Avaruuskoordinaatit ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) ja geodeettiset koordinaatit ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009, 2)

**Suorakulmaisessa tasokoordinaatistossa** sijainti esitetään asteiden sijaan metrilukuina koordinaatiston sovitusta nollapisteestä. Tasokoordinaatit, jossa  $N$  koordinaatti luetaan päiväntasaajalta ja itäkoordinaatille on annettu keski-meridiaanilla luku, 500 000 m. Tasokoordinaattien tunnuksina käytetään pohjoiskoordinaatti  $N$  ja itäkoordinaatti  $E$ . ( $x$ ,  $y$  tai  $N$ ,  $E$ ). Koordinaatistossa  $X$  ja  $Y$ -akselit ovat ekvaattoritasossa.  $X$ -akseli osoittaa ja kasvaa nollameridiaanin suhteen,  $Y$ -akseli on tätä vastaan kohtisuorassa ja kasvaa itään,  $Z$ -akseli yhyy Maan pyörimisakseliin ja kasvaa pohjoisnavalle (kuvio 1) (Laurila 2012,142; Maanmittauslaitos 2016d.)

Tämä koordinaatisto on tarpeellinen satelliittipaikannuksessa ja koordinaattijärjestelmien välisissä muunnoslaskuissa. Geosentraalinen koordinaatistoa kutsutaan maakeskiseksi koordinaatistoksi, se voi olla voi realisaatioltaan sellainen, että origo sijaitsee Maan keskipisteessä. Satelliittipaikannuksessa käytetään WGS84-järjestelmää, joka on geosentrinen koordinaattijärjestelmä. Muissa tapauksissa se on hyvin epäkäytännöllinen, koska koordinaattitasot eivät yhdy maanpinnan vaaka- tai pystytasoihin. Seuraavassa taulukossa (taulukko 1, sivu 17) (JHS 2008b, 6/15). on esitelty Suomessa käytettävien tasokoordinaatistojen ominaisuuksia. (Laurila 2012, 138.)



Taulukko 1. Suomessa käytettävien tasokoordinaatistojen ominaisuuksia (JHS 2008b, 6/15)

	<b>ETRS-TM35FIN</b>	<b>ETRS-TMn</b>	<b>ETRS-GKn</b>	<b>KKJ</b>
Karttaprojektio	UTM	UTM	Gauss-Krüger	Gauss-Krüger
Vertausellipsoidi	GRS80	GRS80	GRS80	Kansaivälinen 1924
Keskimeridiaani (t)	27°	21°, 27°, 33°	19°, 20°, 21°...31°	18°, 21°, 24°, 27°, 30°, 33°
Merikaistoja	1	3	13	6
Kaistaleveys (suhteessa keskimeridiaaniin)	koko Suomi, noin 13° (-8° .+5°)	6°	tarkoituksen mukainen	3° (+/-1,5°)
Itäkoordinaatit arvo keskimeridiaanilla	500 000 m	500 000 m	n 500 000 m, missä n = keskimeridiaanin asteluku (19-31)	n 500 000 m, missä n = kaistanumero (0, 1, 2, 3, 4, 5)
Mittakaava keskimeridiaanilla	0,9996	0,9996	1,0	1,0

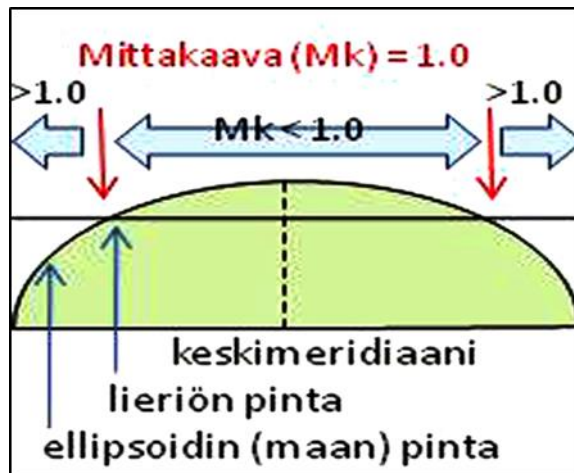
**ETRS-TM35FIN** on karttaprojektio ja projektiioon liittyvä tasokoordinaatisto, jota käytetään Suomessa pääasiassa maastokartoissa. Projektiio perustuu UTM-projektiioon. Sitä voidaan pitää Kartastokoordinaattijärjestelmän seuraajana. Suomen koko alue kuuluu yhteen projektiokaistaan ja yhtenäisen koordinaatiston piiriin, sen mittakaavavirhe ja napaluvunkorjaus reuna-alueilla ovat suuria. (Maanmittauslaitos 2016e.)

EUREF-FIN on realisoitu Finnref-verkon pysyviin GPS-asemiin. Geodeettinen laitos mittasi vuosina 1996 ja 1997 100 pisteen verkon koko Suomen alueelle. Näin määritetyt pisteet ja pysyvät GPS-asemat koordinaatteineen muodostavat Suomen kansallisen ETRS89-realisaation EUREF-FIN. (Maanmittauslaitos 2016l.)

Tasokoordinaatiston nimessä ETRS-TM35FIN, kirjaimet ETRS viittaa geodeettiseen datumiin ja TM karttaprojektion tyyppiin. Numero 35 ilmaisee kaistan numeron, FIN-pääte ilmaisee, että projektiio poikkeaa standardista kaistan leveyden osalta. (JHS 2008b, 7/15.)

**ETRS-GK-koordinaatistoja** käytetään suurempaa tarkkuutta vaativissa paikallisissa mittaus- ja kartoitustehtävissä. Kyseiselle alueelle voidaan valita tasokoordinaatiston keskimeridiaaniksi parhaiten sopiva tasa-aste, jolloin projektiokorjaukset pysyvät pieninä. ETRS-GKn-koordinaatiston itäkoordinaatin arvo on keskimeridiaanilla noin 500 000 m, missä n kertoo kaistan meridiaanin asteluvun, pohjoissuunnassa nollassa on päiväntasaajalla. (JHS 2008c, 7.) Ku-

viossa 2 on kuvattuna mittakaavavirhe, joka syntyy kun kupera ellipsoidinpinta kuvataan tasolle. Keskimeridiaanista mittakaava noin 180 kilometrin päässä tasan 1,0 ja sitä kauempana se on suurempi kuin 1,0. (Maanmittauslaitos 2016p.)

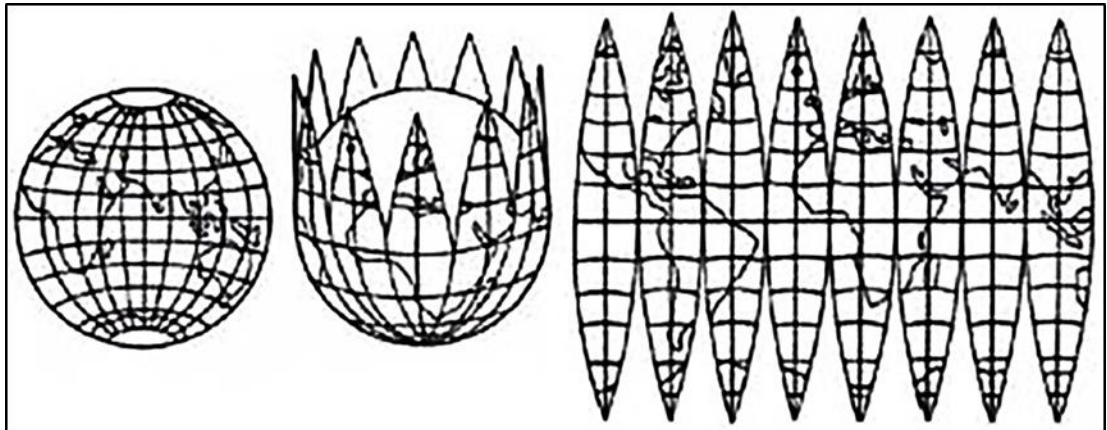


Kuvio 2. Mittakaavan muuttuminen TM35FIN-projektiossa (Maanmittauslaitos 2016p)

### 2.3 Karttaprojektiot

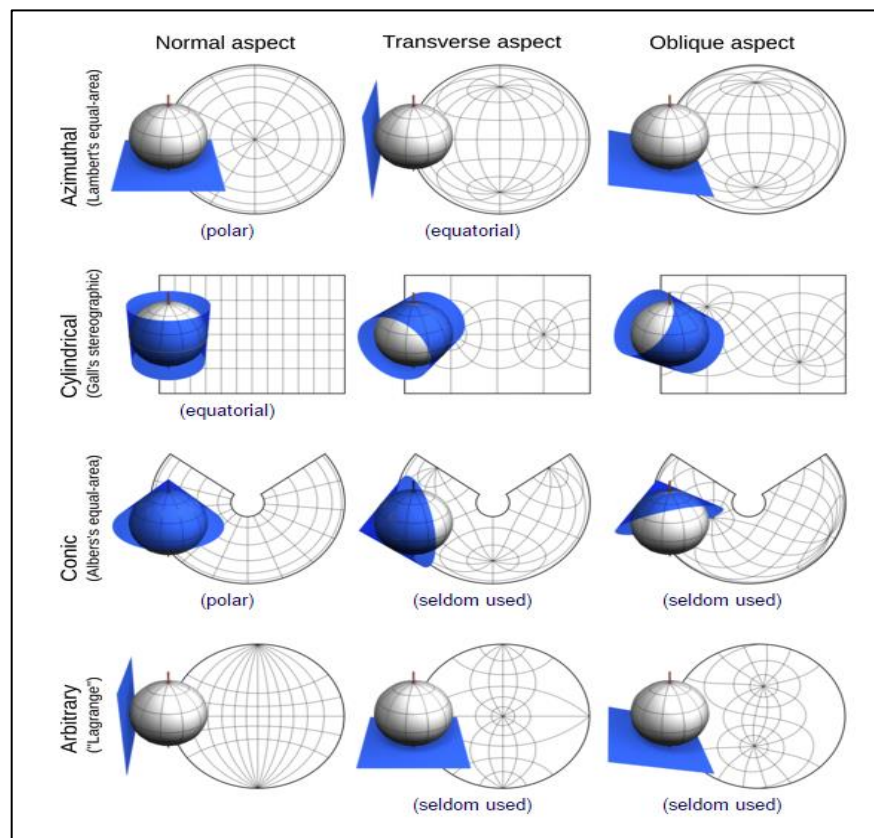
Suomen alueen karttoihin sopivat parhaiten poikkiasentoiset lieriöprojektiot, sillä ne soveltuvat hyvin pitkien alueiden kuvaamiseen, pohjois-eteläsuunnassa. Lieriöprojektiot ovat paikallisesti oikeapituisia ja oikeakulmaisia. (Häkli, Puuponen, Koivula & Poutanen 2009, 7–8.)

Karttaprojektiossa maapallon pinta tai sen osa siitä projisoidaan kaksiulotteiselle tasolle kartaksi. Maapallon esittäminen kartalle on sen kolmiulotteisuuden vuoksi ongelmallista, sen muodon mitat vääristyvät väkisin tasolle laittaessa (kuvio 3). **Projisointi** voi tapahtua pallonpinnalta tai ellipsoidilta joko suoraan tasolle tai esimerkiksi lieriön tai kartion pinnalle, joka levitetään tasoksi. Suomessa käytettävät karttaprojektiot ovat lieriöprojektiota. Projisointi pinta voi olla myös eri asennoissa normaali-, poikittais- ja vinoasentoinen projektityyppi. Pallolla olevien kohtien väliset etäisyydet ja kulmat eivät välttämättä kuvaudu todellisissa suhteissa toisiinsa nähden vaan ne venyvät tai supistuvat. (Laurila 2012, 145–146; Maanmittauslaitos 2016f.)



Kuvio 3. Maapallon levittäminen tasoksi (Laurila 2012, 145)

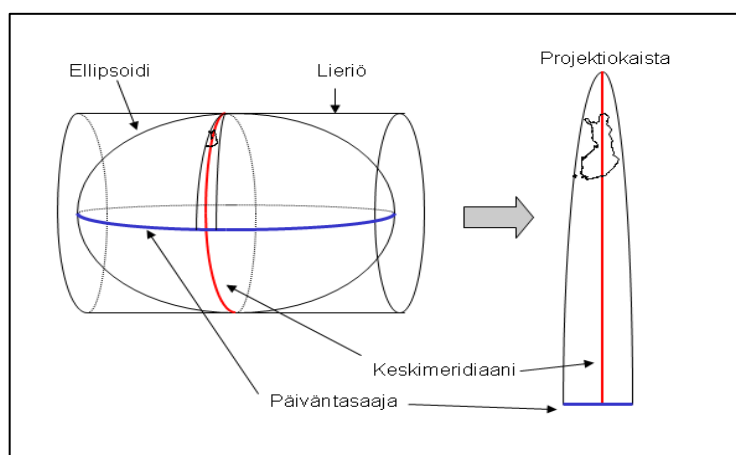
Maailmankartoissa vääristymät ovat suurimmillaan. Siksi on kehitetty useita erilaisia karttaprojektioita (kuvio 4), jotka soveltuvat tiettyihin käyttötarkoituksiin mahdollisimman totuudenmukaisesti. Kaikki karttaprojektiot eivät ole varsinaisia projektioita vaan ne on laskettu matemaattisten kaavojen mukaan. Karttaprojektiossa täytyy ottaa huomioon myös maapallon litistyneisyys. (Laurila 2012, 145–147.)



Kuvio 4. Kuviossa eriasentoiset karttaprojektiot (Furuti 2016)

Karttojen kuvausominaisuuksien yhteydessä käytetään nimityksiä oikeapintaisuus, oikeakulmaisuus ja oikeapituisuus. Oikeapintaisessa eli pintatarkassa projektiossa kuvattavien kohteiden pinta-alojen suhteet säilyvät muuttumattomina. Oikeakulmaisissa eli kulmatarkassa projektiossa pienet kuviot säilyvät oikeanmuotoisina ja näiden kulmat oikeansuuruisina. Oikeapituuisissa eli viivatarkassa projektiossa projisointi tehdään siten, että viivojen pituudet säilyvät muuttumattomina jossakin suunnassa, jolloin etäisyyksien suhteet säilyvät kuvauksessa. Oikeapituuisen projektion kohdalla on hyvä huomioida, ettei mikään kartta voi olla koko projektion alueella oikeapituinen. (Laurila 2012, 147–148; Maanmittauslaitos 2016f.)

Kaikki projektiot taso-, lieriö- ja kartioprojektio, voivat olla oikeapintaisia tai oikeakulmaisia. Näistä ominaisuuksista voi olla kerrallaan vain toinen voimassa. Kuvausteknisiltä ominaisuuksiltaan kartta voi siis olla joko oikeakulmainen tai oikeapintainen. Kartta ei ole koskaan vakiomittakaavainen eli oikeapituinen. Näistä kuvausteknisistä ominaisuuksista ei välttämättä mikään toteudu. Kun kartan projektio sovitaan, kyse on kartan käyttötarkoituksen perusteella tehtävästä valinnasta. Kuviossa 5 kuvataan poikittaisen lieriöprojektin periaatetta. (Laurila 2012,148. Maanmittauslaitos 2016f.)



Kuvio 5. Poikittaisen lieriöprojektin periaate, Suomi yhdessä projektiokaistassa (Häkli ym. 2009,8)

Perusasetoisessa tasoprojektiossa pääpiste sijaitsee navalla. Perusasetoiset tasoprojektiot eroavat toisistaan leveyspiirien keskinäisten etäisyyksien puolesta, ne soveltuvat hyvin napa-alueiden kuvaamiseen ja suurikaavaisiin

karttoihin, pieniä alueita kuvaaviin karttoihin. Virheet kasvavat pääpisteestä loitonnuttaessa. Poikittaisasentoisessa tasoprojektiossa pääpiste sijaitsee päiväntasaajalla. Suorana kuvataan vain ekvaattori sekä se meridiaani, jolla pääpiste sijaitsee. Vinoasentoisessa tasoprojektiossa pääpiste sijaitsee navan ja päiväntasaajan välillä. Tällöin suorana kuvautuu vain se meridiaani, jolla pääpiste sijaitsee. Myös lieriö- ja kartioprojektiot voivat olla perus-, poikittais- tai vinoasentoisia. (Häkli ym. 2009, 7.)

Hollantilainen Gerhard Mercator esitti vuonna 1569 karttaprojektion, joka on oikeakulmainen sivuava lieriöprojektiio. Sitä käytetään meri- ja maailmankartoissa. Projektiio kantaa yhä hänen nimeään. Selvää tietoa ei ole, siitä miten hän on sen luonut. Projektiossa lieriö sivuaa ekvaattoria koko matkalta, joten se on ekvaattorilla mittatarkka. Meridiaanit kuvautuvat yhdensuuntaisina tasavälein olevina suorina, jolloin pituuspiirien etäisyys toisistaan on vakio ja leveyspiirien etäisyys toisistaan kasvaa napoja kohti kuljettaessa. Tästä johtuen perusasentoinen lieriöprojektiio ei ole käyttökelpoinen napa-alueiden muotojen kuvaamisessa, koska pinta-alat ja etäisyys vääristyvät huomattavasti. (Laurila 2012, 149–150.)

Poikkiasentoisen **Mercatorin-projektiio** on Suomessa hyödyllinen, sillä Suomi on alueena pitkä pohjois-etelä-suunnassa, jolloin vääristymät ovat pieniä keskimeridiaanin lähellä ja kasvavat siitä pois päin mentäessä. Keskimeridiaani ja päiväntasaaja ovat suoria viivoja, mutta muut pituus- ja leveyspiirit kuvautuvat kaarevina viivoina, jotka leikkaavat toisensa suorassa kulmassa. Suomessa, kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) perustuu Mercator projektiioon. (Häkli ym. 2009, 7; Laurila 2012, 150.)

**Gauss-Krüger ja UTM-projektio** ovat tärkeitä suomalaisissa kartastotöissä, ne ovat kumpikin poikittaisasentoisia Mercator projektiioita. Niiden välinen ero on siinä, että Gauss-Grüger-projektiio on sivuava ja UTM-projektiio on leikkaava lieriöprojektiio. Gauss-Grüger-projektiossa Suomi on jaettu useaan projektiokaistaan (6 kpl, kaistan leveys  $1^\circ$ ), jolloin tarvittavia korjauksia ja projektiovirheitä jää vähän. Se on ollut pohjana VVJ-, KKJ- ja ETRS-GKntasokoordinaatistoille. (Häkli ym. 2006, 7-8; Maanmittauslaitos 2016p.)

## 2.4 Koordinaattijärjestelmät

Tekniikan kehittyminen on vaikuttanut merkittävästi myös maanmittaukseen. Mittauslaitteet ovat kehittyneet ja sen seurauksena mittaustarkkuus on parantunut, myös vaatimukset ovat kasvaneet. Yhtenäisten koordinaatistojen avulla on mahdollisuus helpottaa ja nopeuttaa tiedonsiirtoa eri organisaatioiden välillä. Tämän seurauksena on pystytty luomaan **ITRS** (International Terrestrial Reference System), maailmanlaajuinen koordinaattijärjestelmä, jonka realisaatiota kutsutaan nimellä ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Tämän järjestelmän koordinaateille on määritetty suorakulmaiset avaruuskoordinaatit ja niiden vuotuinen liike. Viimeisin käytössä oleva koordinaattijärjestelmän realisaatio on ITRF2005. (Häkli ym. 2009, 20; Maanmittauslaitos 2016g.)

Mannerlaattojen jatkuva liikkuminen ja maannousu aiheuttavat ongelmia koordinaattijärjestelmiä määriteltessä, ne muuttavat koordinaatteja ja korkeustietoja koko ajan. Suomi liikkuu Euraasian mannerlaatan mukana noin 2 senttimetriä vuodessa Pohjois-Amerikan mannerlaatasta poispäin. Tämän vuoksi koordinaateille ilmoitetaan ajankohta eli **epookki**, jolloin ne ovat sidottu koordinaatistoon, koordinaatisto on sidottu suhteessa maapallon keskipisteeseen tai korkeusjärjestelmän nollataso määritetty suhteessa merenpinnan keskikorkeuteen. (Veermer & Rasila 2014, 128–29; Maanmittauslaitos 2016g.)

Koordinaattijärjestelmässä on kaksi keskeistä komponenttia jotka ovat **datumi ja koordinaatisto**, jotka muodostavat vertailujärjestelmän. Vaakadatumia käytetään kaksiulotteisessa paikanmäärittämisessä ja korkeusdatumia korkeuden määrittämisessä. Koordinaattijärjestelmät käyttävät datumeja karttaprojektioidissa ja kartoissa. Datumit pohjautuvat johonkin vertausellipsoidiin. Maailmanlaajuisen vertausellipsoidin laskemiseksi on saatu riittävästi tietoa satelliittien käyttöönoton jälkeen. Tällä hetkellä globaalina vertausellipsoidina käytetään yleisesti GRS80-ellipsoidia. (Laurila 2012, 154–155; Maanmittauslaitos 2016h.)

Maa on hieman navoiltaan litistynyt pallo. Sen muoto voidaan kuvata pyörähdysellipsoidilla. Nykyisissä globaaleissa koordinaattijärjestelmissä käytetään geosentristä eli maankeskeistä ellipsoidia, jonka keskipiste on maan massakeskipisteessä (Maanmittauslaitos 2016h). Taulukossa 2 on Suomessa käytettyjen koordinaatiellipsoidien parametrit. **Vertausellipsoidi** määritellään kahdella vakiolla, yleensä käytetään isoakselin puolikkaan pituutta  $a$ , joka on maapallon säde metreissä päiväntasaajan kohdalla, ja litistyssuhdetta  $f$ . GRS80 on maailmanlaajuinen geodeettinen vertausjärjestelmä, WGS84 on GPS-järjestelmän koordinaatisto, ETRS89 on eurooppalainen WGS84-järjestelmän lähellä oleva koordinaattijärjestelmä, EUREF-FIN on ETRS-järjestelmän suomalainen toteutus ja KKJ on vielä yleisesti käytössä Suomessa, mutta siitä ollaan luopumassa vähitellen siirryttäessä ETRS89-järjestelmään. (Häkli ym. 2009, 23; Laurila 2012, 137–138.)

Taulukko 2. Tärkeimpien vertausellipsoidien parametrit (Laurila 2012, 138)

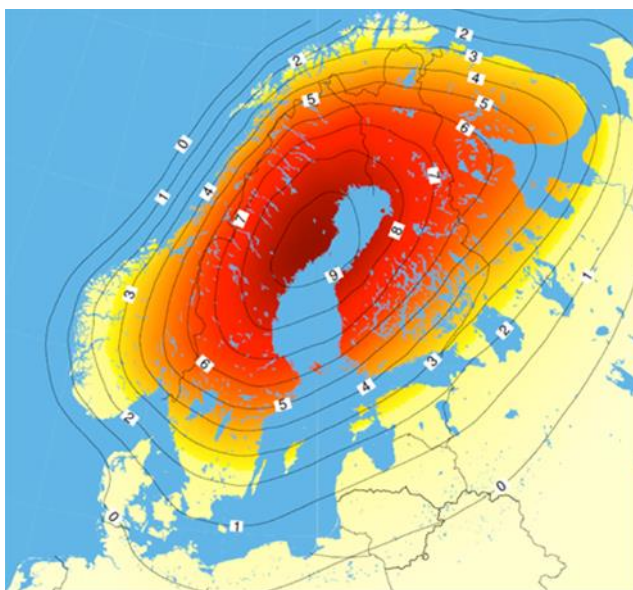
Ellipsoidi	$a/m$	$f$	Käytössä järjestelmissä
<b>GRS80</b>	6378137	1/298.257222101	GRS80, ETRS89, EUREF-FIN
<b>WGS84</b>	6378137	1/298.257223563	WGS84
<b>Hayford</b>	6378388	1/297	KKJ

Datumin määrittely ei aina sisällä suoraan sellaisia parametreja, jotka kertoisivat järjestelmän paikan esimerkiksi jonkin toisen koordinaattijärjestelmän suhteen. Suhde toisiin järjestelmiin tulee määrittää mittaamalla joukko kiintopisteitä. Yimmän luokan kiintopisteet määrittävät koordinaatiston, jossa mittauksia ja pisteiden tihennyksiä voidaan jatkossa suorittaa. Tätä koordinaattiverkkoa kutsutaan myös koordinaattijärjestelmän realisaatioksi. EUREF-FIN-koordinaatisto on ETRS89-koordinaattijärjestelmän realisaatio Suomessa. (Häkli ym. 2009, 23.)

## 2.5 Suomalaiset korkeusjärjestelmät yleisesti

Jääkauden aikana Fennoskandiassa maankuori painui jäämassojen painosta useita satoja metrejä. Jääkauden jälkeen maankuori palautuu vähitellen omaan muotoonsa. Maapallon kohoaminen muuttaa korkeuksia, mikä näkyy

esimerkiksi rantaviivan siirtymisenä rannikolla. Kuviossa 6 on havainnollistettu maannousua millimetreinä vuodessa, pienintä maannousu on Kaakkois-Suomessa. Maankohoamisen vuoksi korkeusjärjestelmä on ajantasaistettava aika-ajoin. Maankohoamisella on monia vaikutuksia muun muassa rakentamiseen. Perinteisesti korkeuksia on mitattu tarkkavaaituksilla. Suomessa on mitattu reilun sadan vuoden aikana kolme tarkkavaaitusta, joiden tuloksista on muodostettu mm. NN-, N43-, N60- ja N2000 korkeusjärjestelmät. (Häkli ym. 2009, 31–32.)



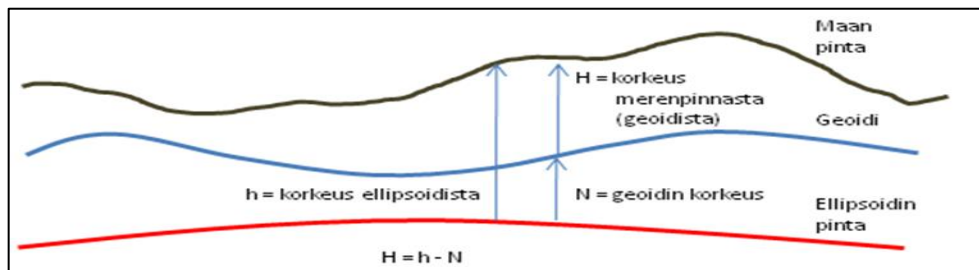
Kuvio 6. Fennoskandian maannousu Maan keskipisteen suhteen (millimetriä vuodessa) (Maanmittauslaitos 2016j)

Vaaitsemalla mitattujen korkeusjärjestelmien korkeudet ovat normaali- tai ortometrisiä korkeuksia, korkeus on mitattu geoidin pinnasta. Ortometrisiä korkeuksia mitataan vaaitsemalla ja takymetrillä. Korkeus voidaan mitata Maan matemaattisen mallin pinnasta eli pyörähdysellipsoidin pinnasta. Ellipsoidinen korkeus perustuu matemaattiseen pintaan ja ortometrinen korkeus perustuu fysikaaliseen pintaan. Näillä korkeuksilla ei ole täsmällistä matemaattista suhdetta, vaan korkeudet muutetaan mittauksilla. Kuviossa 7 kuvataan todellisen pinnan, ellipsoidin ja geoidin suhdetta toisiinsa. (Laurila 2012,165; Maanmittauslaitos 2016h.)

Korkeuden muuttaminen ortometriseksi korkeudeksi vaatii geoidin (kuvio 7) korkeuden tuntemisen. Nämä korkeudet saadaan selville geoidimallin ja run-



kopisteiden avulla. Geodeettinen laitos on määrittänyt geoidimalleja mm. FIN95, FIN2000 ja FIN2005. Viimeksi mainittu liittyy Suomen uuteen N2000 korkeusjärjestelmään. (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009, 2; Laurila 2012, 166.)



Kuvio 7. Todellinen maanpinta, ellipsoidi ja geoidi (Maanmittauslaitos 2016h)

## 2.6 Korkeusjärjestelmät

**NN** on ensimmäinen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä, sitä käytetään edelleenkin joissakin kaupungeissa, muun muassa vanhoissa, voimassa olevissa vesioikeuden päätöksissä sekä sisävesiväylien ja sisävesien syvyystiedot ovat sidoksissa NN-järjestelmään. Ensimmäisen tarkkavaaituksen suoritti tie- ja vesirakennuksen ylläpito vuosina 1892–1910, joka kattoi eteläisen Suomen, Kajaani-Oulu-linjan tasalle. Järjestelmän lähtötasona oli Helsingin Katajano-kan siltaan kiinnitetyn vesiasteikon nollopiste. Järjestelmässä ei ollut mahdollista ottaa huomioon maannousua. NN-järjestelmässä on ollut siihen mahdollisuus. (Häkli ym. 2009, 31–32.)

Toinen valtakunnallinen tarkkavaaitus mitattiin useissa vaiheissa vuosina 1935–1972. Mittausten aikana määriteltiin tilapäiseksi tarkoitettu **N43-järjestelmä**, sen vertailutasoksi otettiin vuoden 1943 Helsingin keskivedenpinta. **N60-korkeusjärjestelmä** luotiin tasoittamalla toisen tarkkavaaituksen vaatimusverkko painovoimaan liittyvillä geopotentialilukuja käyttäen. Eri aikoina suoritettujen vaaitusten avulla saatiin lasketuksi maannousuluvut, joita käyttäen kiintopisteiden korkeuserot redukoitiin vuoteen 1960. Lähtökorkeudeksi valittiin Helsingin vuosien 1935–1954 havaintojen perusteella laskettu keskivedenpinta vuoden 1960 alkuhetkellä. Se on vielä tälläkin hetkellä Suomen yleisin korkeusjärjestelmä ja sitä pidetään valtakunnallisena korkeusjärjestelmä-

nä, mutta sen tilalle on jo tulossa uusi korkeusjärjestelmä N2000. (Häkli ym. 2009,32–33; Laurila 2012, 156–157.)

Toisen tarkkavaaituksen pääosa, sisältäen ensimmäisen tarkkavaaituksen linjat saatiin vaaittua linjalle Aavasaksa-Rovaniemi-Kemijärvi asti vuoteen 1955 mennessä. Linjojen pituus oli yli 6200 kilometriä, suurin osa vaaittiin rautateitä pitkin, jonka jälkeen suoritettiin vaaitusverkon tasoitus. Tasoitukset tuloksina saatiin korkeuserot vuonna 1960 ja maankohoamisen suuruus kullekin kiintopisteelle. N60-järjestelmän lähtökorkeudeksi valittiin Helsingin teoreettinen keskivedenpinta vuoden 1960 alussa (Häkli 2009, 31.) Suomen vaaitusverkko on liitetty naapurimaiden verkkoihin ja merenpintaan rannikoiden mareografien kautta (Maanmittauslaitos 2016i).

Kolmas tarkkavaaitus aloitettiin vuonna 1978 ja viimeiset mittaukset tehtiin syksyllä 2006. Se sisältää yli 9200 kilometriä vaaituslinjoja. **N2000 korkeusjärjestelmän** lähtöarvo saatiin pohjoismaiden yhteistyönä Itämeren ympäri tehdystä vaaitus-verkon tasoituksesta, tästä tasoituksesta käytetään lyhennettä BLR (Baltic Levelling Ring) (Häkli ym. 2009, 31). Lähtötasona on käytetty Amsterdamin nollapistettä NAP (Normal Amsterdams Peil), joka on realisoitu BLR-tasoituksessa mukana olleella Hollannissa sijaitsevalle kiintopisteellä N:o 13600 (JHS 163). Laskujen tuloksen on saatu Metsähovin observatoriossa Kirkkonummella olevalle kiintopisteelle PP2000 korkeusarvo. 2000 korkeusjärjestelmän korkeudet laskettiin tasoittamalla tarkkavaaitusverkko pisteen PP2000 suhteen. N2000-järjestelmää voidaan sanoa Suomen uudeksi valtakunnalliseksi korkeusjärjestelmäksi. Tätä järjestelmää suositellaan käytettäväksi valtakunnallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa. (Laurila 2012, 169; Maanmittauslaitos 2016i.)

### 3 SUOMALAISTEN KOORDINAATISTOJEN HISTORIA

#### 3.1 Vanha Valtion järjestelmä

Ensimmäinen tasokoordinaatiston luominen Suomessa aloitettiin 1920-luvulla. Sitä kutsuttiin nimellä Vanha Valtion Järjestelmä (VVJ) ja myös nimeä Helsingin järjestelmä. Se perustui ensimmäisen luokan kolmiomittaukseen, jonka suoritti Geodeettinen laitos. Nimi Helsingin järjestelmä tulee siitä, kun kolmiomittausten lähtöpisteenä käytettiin Kallion kirkkoa Helsingissä. Järjestelmä otettiin käyttöön vuonna 1924, silloin sille oli määritetty tähtitieteelliset koordinaatit ja lähtöatsimuutti. (Häkli ym. 2009,19; Uikkanen 2014.)

VVJ:n karttaprojektiksi valittiin Gauss-Krüger-projektio, joka on poikittainen kulmatarkka lieriöprojektio ja Hayfordin ellipsoidi (kansainvälinen ellipsoidi 1924). Suomi jaettiin neljään 3 asteen leveään kaistaan, jotta välttyttäisiin projektiovirheilä. Kaistat vastaavat KKJ:n kaistoja 1–4. Järjestelmän x-koordinaatit laskettiin päivätasajalta ja y-koordinaateille annettiin keskimeridiaanin kohdalla lukema 500 000 m, jotta välttyttäisiin negatiivisilta koordinaateilta. Y-koordinaateille laitettiin lisäksi projektiokaistan keskimeridiaanin aste-luku. Projektiokaistojen reunoilla laskettiin puolen pituusasteen leveydeltä koordinaatit molemmissa kaistoissa. VVJ-järjestelmä muodostui epähomogeeniseksi, koska se mitattiin vaiheittain eli virheet kasautuivat. (Häkli ym. 2009, 16; Laurila 2012, 156; Uikkanen 2014.)

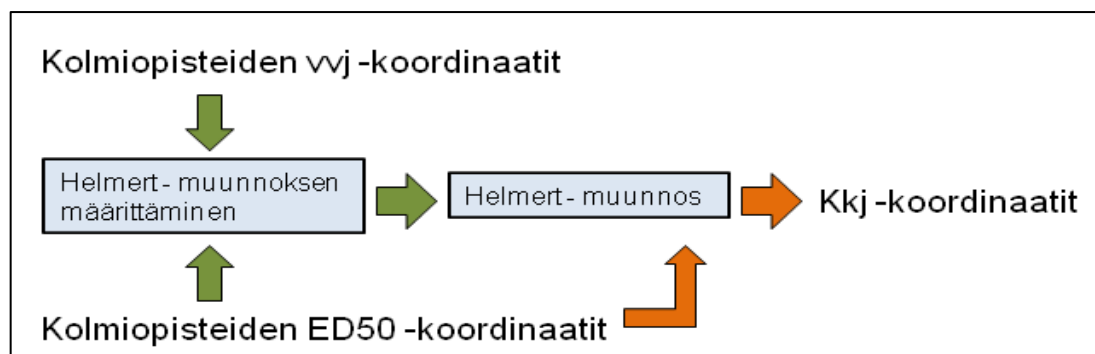
#### 3.2 Euroopan Datum

Euroopan Datum 1950 (ED50) perustuu 1950-luvulla tehtyyn Euroopan laajuisen kolmioverkkojen yhteistasoitukseen. 1960-luvun alussa mitattiin uusi ensimmäisen luokan kolmioverkko, johon kuului 291 kolmiopistettä, 374 kolmiota ja 4200 kilometriä yksikertaista kolmioketjua. tasoitus suoritettiin kolmessa osassa. Tasoitettujen havaintojen perusteella laskettiin lopuksi koordinaatin kaikille kolmiopisteille ottaen Simsiön kolmiopisteen yhteiseurooppalaista tasoituksesta saadut ED50-koordinaatit lähtökoordinaateiksi. Tämän tasoituksen lopputulosta ED50-koordinaatistoa ei ole Suomessa koskaan käytetty kartta-

tuotannossa. Se on ollut pohjana Suomessa vuonna 1970 käyttöön otetulle KKJ-koordinaatistolle. (Häkli ym. 2009, 16–17; Laurila 2012, 156–157; Uikkanen 2014.)

### 3.3 Kartastokoordinaattijärjestelmä

Maanmittauslaitos otti käyttöön kartastokoordinaattijärjestelmän (KKJ) vuonna 1970. KKJ-koordinaatisto on johdettu ED50-koordinaatistosta (Suomen kansallinen tasoitus 1966) siirtämällä ja kiertämällä ED50-koordinaatistoa siten, että se mahdollisimman hyvin yhtyy KKJ:n edeltäjään eli VVJ-koordinaatistoon. Käytännössä ED50:lle ja VVJ:n välille täytyi määrittää muunnosparametrit ja muuttaa ED50-koordinaatit niillä. (Kuvio 8). Muunnoksella luodut KKJ:n ja VVJ:n väliset koordinaattierot olivat maksimissaan 4 metriä, aikaisemmassa vaiheessa, ennen muunnosta ne olivat pohjoissuunnassa yli 50 metriä ja itäsuunnassa yli 100 metriä. (Maanmittauslaitos 2016k.)



Kuvio 8. Muunnokset koordinaattien välillä (Maanmittauslaitos 2016k)

KKJ:n karttaprojektiksi valittiin Gauss-krüger-projektio ja vertausellipsoidiksi valittiin Hayfordin ellipsoidi. KKJ-koordinaatit voidaan esittää joko maantieteellisinä koordinaatteina, tasokoordinaatteina tai ellipsoidikeskinä suorakulmaisina koordinaatteina. Jälkimmäisiä koordinaatteja tarvitaan koordinaattijärjestelmien välisissä muunnoksissa. Koska KKJ on kaksiulotteinen koordinaatisto, siihen ei liity mitään määritelmää korkeudesta. Jos KKJ:n yhteydessä kuitenkin annetaan korkeus, se on aina ortometrinen korkeus kansallisessa korkeusjärjestelmässä (esim. N60). (Häkli ym. 2009, 17; Laurila 2012, 157–159; Uikkanen 2014; Maanmittauslaitos 2016k.)

KKJ-koordinaatisto koostuu kuudesta (0–5), kolme astetta leveästä kaistasta (18°, 21°, 24°, 27°, 30°, 33°). Usein esitetään vain kaistat 1–4, jotka peittävät melkein koko Suomen, joskus käytetään kaistoja 0 ja 5. Kaistoista käytetään myös lyhennettä KKj0, KKj1 jne. Keskimeridiaanin (kaista 3) 27° suhteen projisoidulle koko maan kattavan projektiokaistan levyiselle koordinaatistolle annettiin nimeksi ”Yhtenäiskoordinaatisto”. KKJ:n koordinaatit: kaistan keskimeridiaanin itäkoordinaateille annetaan arvo 500 000 m ja koordinaattiluvun eteen laitetaan kaistan numero. Yhtenäiskoordinaatistossa numero on aina 3. (Häkli 2009, 17; Maanmittauslaitos 2016k.)

### 3.4 ETRS89

Suomessa ollaan siirtymässä uuteen yleiseurooppalaiseen ETRS89-koordinaattijärjestelmään, joten KKJ-järjestelmä on vähitellen jäämässä pois. Maanmittauslaitos on siirtynyt siihen jo 2010 eikä ole tukenut KKJ:tä enää 2012 vuoden jälkeen. EUREF-FIN-koordinaatisto on ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio. Koordinaatisto on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan muuttumattomaan osaan, joten koordinaatit eivät muutu mannerlaattojen liikkumisen vuoksi. (Maanmittauslaitos 2016b, g, l.)

ETRS89-järjestelmä määriteltiin että se yhtyy kansainväliseen ITRS89-järjestelmään epookkina 1989.0. Määritelmän realisoimiseksi suoritettiin vuonna 1989 Euroopan laajuinen GPS-kampanja, jossa Suomestakin oli mukana 4 pistettä. Tämän perusteella luotiin EUREF89-koordinaatisto, joka on tihein ja yhtenäinen WGS84:n realisaatio Euroopassa. (Maanmittauslaitos 2016g, l.)

Geodeettinen laitos mittasi jo aikaisemmin mitatuille pysyville pisteille 100 pisteen verkon koko Suomen alueelle vuosina 1996 ja 1997, näistä pisteistä muodostui EUREF-FIN. Jälkeenpäin on tihennetty EUREF-FIN pisteistöä, Geodeettisen laitoksen, Maanmittauslaitoksen ja Merenkulkulaitoksen toimesta. (Häkli ym. 2009, 19; Maanmittauslaitos 2016l.)

## 4 KOORDINAATTIMUUNNOKSET

### 4.1 Koordinaattimuunnokset yleisesti

Tässä luvussa tarkastellaan Suomessa käytössä olevia yleisempiä koordinaattimuunnoksia, liittyen EUREF-FIN- ja KKJ- koordinaatistoihin. Suomessa käytettävät tasokoordinaatisto ovat poikittaisia lieriöprojektiota. Tällöin tasomuunnos voidaan suorittaa, jos lieriöprojektiolla on sama keskimeridiaani. Muuten muunnosta ei saa suorittaa, koska siitä voi aiheutua huomattavat jäännösvirheet. Ennen varsinaista muunnosta tasokoordinaatit pitää konvertoida samaan tai haluttuun karttaprojektioon, jonka jälkeen voidaan laskea muunnosparametrit tai suorittaa muunnos olemassa olevilla parametreilla. (JHS 2008b, 10–11/15; Häkli ym. 2009, 35.)

### 4.2 Koordinaattikonversio

Koordinaattikonversiolla muunnetaan koordinaatteja kahden samaan datumiin perustuvan koordinaatiston välillä eli muunnoksessa käytetään matemaattisia kaavoja. Tuloksena saadaan saman datumin mukaisia koordinaatteja kuin alkuperäiset koordinaatit. Yleensä koordinaattikonversiot on ohjelmoitu valmiiksi paikkatieto-ohjelmistoihin, joten niiden käsittelyyn ei tarvitse kuluttaa aikaa. (Häkli ym. 2009, 36.)

Useimmiten konversio muuttaa koordinaattien esitystapaa, esitystapa voi olla koordinaattien muuttamista maantieteellisistä koordinaateista suorakulmisiin koordinaatteihin tai päinvastoin. Esimerkiksi EUREF-FIN-koordinaatit projisoidaan ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistoon, samoin kaistanvaihto ETRS-GK28 kaistasta ETRS-GK27 kaistaan on koordinaattikonversio. Mutta edellisessä muunnoksessa siirtyminen tehdään aina maantieteellisten koordinaattien kautta eli tasokoordinaatit konvertoidaan maantieteellisiksi vertausellipsoidille, jonka jälkeen ne konvertoidaan haluttuun karttaprojektioon tai tasokoordinaatistoon. (Häkli ym. 2009, 35–36; Puupponen 2012, 23; Maanmittauslaitos 2016m.)

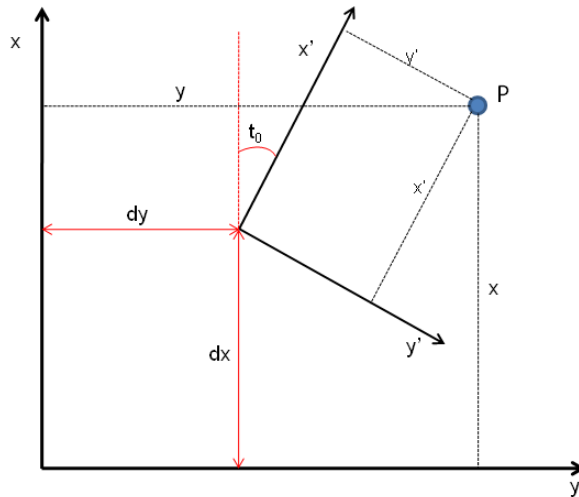
### 4.3 Koordinaattimuunnos

Koordinaattimuunnoksessa muutetaan koordinaatteja kahden eri datumin perustuvan koordinaatiston välillä eli vaihdetaan koordinaattijärjestelmää. Esimerkiksi KKK:n ja ETRS-TM35FIN välisessä tasomuunnoksessa. Koordinaattimuunnos tehdään muunnosparametreilla, jotka on määritetty molemmissa järjestelmissä tunnettujen yhteisten pisteiden avulla. Muunnosta ei voi suorittaa suoraan esim. kolmiulotteisten ja kaksiulotteisten koordinaattien välillä, vaan koordinaatit on ensin muutettava samaan esitysmuotoon. Muunnosmenetelmänä on usein yhdenmuotoisuus (Helmert-muunnos) tai affiininen muunnos. (Häkli ym. 2009, 37; Puupponen 2012, 23; Maanmittauslaitos 2016m.)

Koordinaattimuunnoksessa lopputulokseen tulee aina muunnosvirheitä, koska koordinaattijärjestelmien muodoissa on eroja, taas konversiossa koordinaattien tarkkuus ei kärsi. Tämän vuoksi on pidettävä huoli käytettävästä aineistosta, koordinaattien alkuperä pitää olla tiedossa, ovatko ne tuotettu mittamalla vai muuttamalla. Alkuperäinen mittausaineisto tulisi tallentaa aina. Kun muunnoksia aletaan tehdä, tulisi käyttää aina alkuperäisiä koordinaatteja eikä jo kertaalleen muunnettuja. (Häkli ym. 2009, 37; Maanmittauslaitos 2016m.)

### 4.4 Helmert-muunnos

Helmert-muunnoksessa eli yhdenmuotoisuusmuunnoksessa muunnettavaa koordinaatistoa siirretään, kierretään ja sen mittakaavaa muutetaan, mutta kohteiden keskinäinen sijainti pysyy samana. Helmert-muunnoksen suorittamiseksi tarvitaan kahden pisteen koordinaatit, mutta mitä enemmän pisteiden havaintoja on, sitä mittatarkempi muunnos on. Kuviossa 9 on esitetty muunnosparametrit, joita ovat origon muutos  $x$  ja  $y$ -akseleiden suunnassa ( $dx$  ja  $dy$ ), koordinaatiston kierto ( $to$ ) ja mittakaavakertoimet ( $kx$  ja  $ky$ ). (Puupponen 2012, 23; Maanmittauslaitos 2016n.)



Kuvio 9. Helmert-muunnos (Maanmittauslaitos 2016n)

#### 4.5 Affiininen muunnos

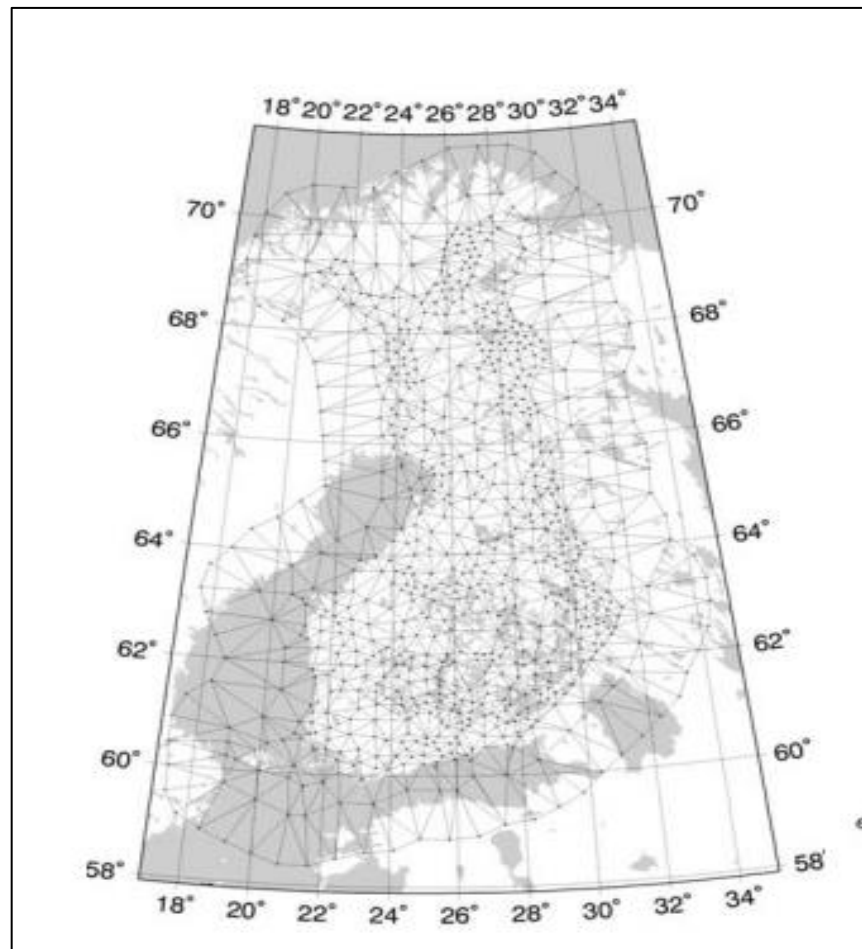
Affiinisessä muunnoksessa koordinaatistoa siirretään ja kierretään, mutta mittakaava muunnetaan eri kertoimella  $x$  ja  $y$ -akselin suunnissa. Affiinisessä muunnoksessa alueiden neliömäiset muodot eivät säily ennallaan, vaan niistä tulee suunnikkaita. Käytännössä mittakaavaerot ovat pieniä, ettei niillä ole merkitystä. Muunnoksen laskemiseen tarvitaan vähintään kolmen pisteen koordinaatit, mutta mitä enempi muunnospisteitä on, sitä parempi on mittatarkkuus. (Häkli ym. 2009, 40; Puupponen 2012, 24.)

#### 4.6 Affiininen muunnos kolmioittain

Kartastokoordinaattijärjestelmän yhtenäiskoordinaatiston ja ETRS-TM35FIN-koordinaatiston välillä suoritetaan kolmioittain affiinisena muunnoksena. Muunnosta varten on muodostettu kolmioverkko muunnospisteistä, joita on satoja (kuvio 10). Jokaiselle kolmion alueelle on laskettu paikalliset muunnoskertoimet affiiniseen muunnokseen. Muunnoskertoimet on laskettu kolmioiden kärkipisteinä olevien muunnospisteiden koordinaattien avulla. Tämän muunnoksen etuja ovat, että se tuottaa kolmioiden kärkipisteissä täsmälleen muunnospisteiden mukaiset koordinaatit, siitä voidaan laskea myös käänteinen muunnos, viivat jatkuvat siirryttäessä kolmiosta toiseen ja muunnospisteitä voidaan tihentää paikallisesti ja tihennys vaikuttaa vain niihin kolmioihin,



joiden sisällä tihennys suoritetaan. Muunnoksesta ei kuitenkaan saada tarkkuusarviota. Tämän vuoksi muunnoksen käyttöä on kontrolloitava muutoin, suorittamalla testipisteitä sekä valittava huolellisesti käytettävät muunnospisteet. (Häkli ym. 2009,41; Laurila 2012, 173–174.)



Kuvio 10. kolmioittainen affiininen muunnos (Häkli ym, 2009,53)

## 5 GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

### 5.1 Geologian tutkimuskeskuksen esittely

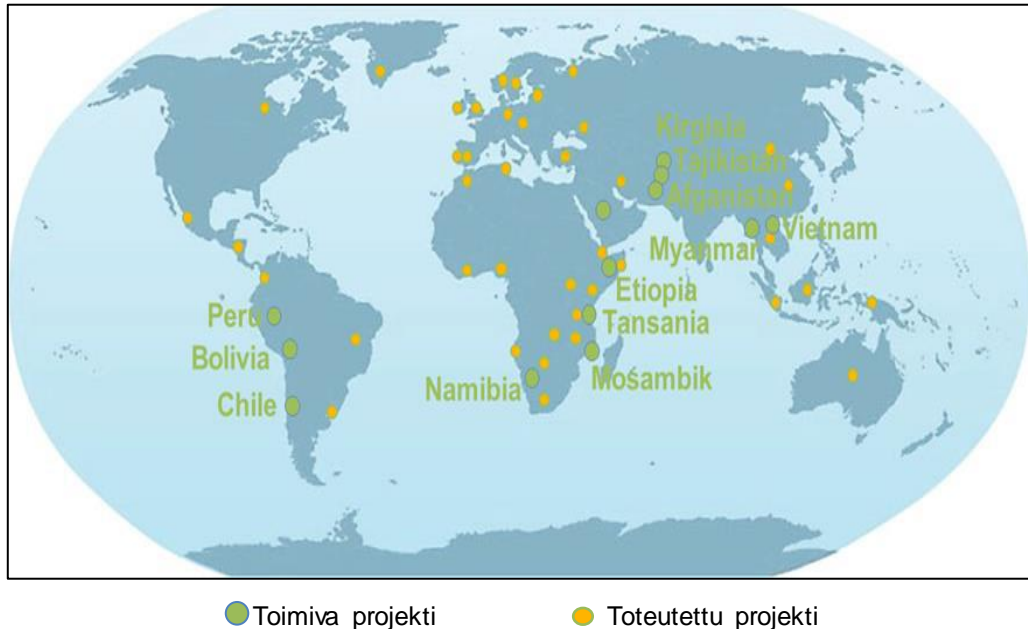
GTK on työ- ja elinkeinoministeriön alainen valtakunnallinen tutkimuskeskus. GTK tutkii kallioperää ja maaperää elinkeinoelämän tarpeita varten. GTK:lla on Suomessa neljä tutkimusyksikköä eri puolilla maata. Päätoimipaikka sijaitsee Otaniemessä Espoossa. Espoo profiloituu erityisesti kasvukeskusten palvelutoimintaan ja kansainvälisiin projekteihin. Kuopion vahvuudet ovat kaivannaisteollisuudessa ja ympäristöhuollossa. Kokkola keskittyy maankäyttöön ja energiaan ja Rovaniemi kohdistaa voimavarojaan kaivosteollisuuteen. Lisäksi pienemmät yksiköt ovat Lopella ja Outokummussa (kuvio 11). Geologisella tutkimuskeskuksella on sekä vakinaisia että määräaikaista työntekijöitä, yhteensä 620 henkilöä. (Geologian tutkimuskeskus 2016.)



Kuvio 11. Geologian tutkimuskeskuksen toimipaikat ja tulosyksiköt (Geologian tutkimuskeskus 2016)

Geologian tutkimuskeskuksen useista palveluista voisi mainita esimerkkinä karttapalvelut. Valitsemalla karttapalveluista turvevarojen tilinpidon, löytyvät tiedot soiden ja turvemaiden maankäytöstä sekä kartoitetut turvevarat, sieltä

voi myös tarkistaa nopeasti oman tilan kiinteistötunnuksen. GTK on erittäin kansainvälinen organisaatio. Kuviossa 12 on kuvattuna GTK:n vientiprojekteja maailmalla vuonna 2016. (Geologinen tutkimuskeskus 2016.)



Kuvio 12. GTK n: vientiprojektit maailmalla 2016 (Geologian tutkimuskeskus)

## 5.2 Paikkatietojärjestelmät yleisesti

Paikkatietojärjestelmistä käytetään lyhennettä GIS, joka on lyhenne englanninkielisistä sanoista Geographic Information System. Paikkatietojärjestelmä muodostuu laitteistoista, ohjelmistoista, paikkatietoaineistoista, käyttäjistä ja käytännössä olevista menettely tavoista. Paikkatietojärjestelmän ja paikkatieto-ohjelmisto eroavaisuudesta ei aina ole selkeää käsitystä. Järjestelmä on kuitenkin isompi kokonaisuus, se sisältää eri käyttäjiä ja koostuu useasta tietokoneohjelmasta. Se on rakennettu eri organisaatioiden tietynlaiseen käyttöön ja siihen on tallennettu kyseessä olevan organisaation tietoja. Paikkatieto-ohjelmisto on vain ohjelmisto eli yhden tai useamman tietokoneohjelman muodostama kokonaisuus. (JHS 2013, 1/9.)

Paikkatietoinfrastruktuurin ja sen avulla käyttöön saatujen palvelujen kehitystä on osaltaan auttanut EU:n laatima INSPIRE-direktiivi, jonka tavoitteena on koko Euroopan kattava paikkatietoinfrastruktuurien verkko. Sen avulla pyritään

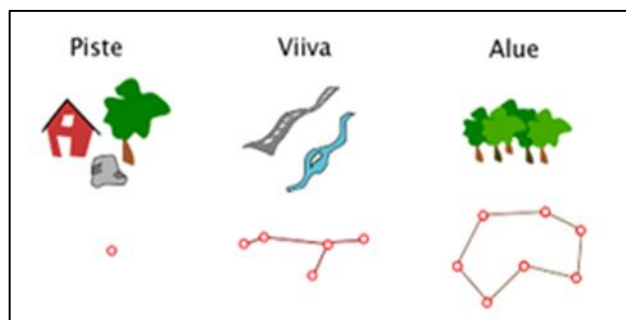
tehostamaan viranomaisten hallussa olevien paikkatietojen käyttöä ja käytettävyyttä. Direktiivi velvoittaa EU:n jäsenmaata muun muassa ylläpitämään katselupalveluita ja muunnospalveluita. Suomessa laki paikkatietoinfrastruktuurista annettiin Helsingissä 12. päivänä kesäkuuta 2009. Lain mukaan paikkatietoa hallinnoivat viranomaiset määrätään kuvailemaan aineistoaan ja saattamaan se tietoverkkoon saataville. (JHS 2013, 1/9.)

Paikkatieto voi olla tietoa kohteesta tai ilmiöstä, joille määritellään sijainti esimerkiksi koordinaattien tai osoitteiden perusteella tai ominaisuustietoina, kuten mm. kohteen rakennusvuosi. Tiedot voivat esimerkiksi koostua maastosta, asukkaista, ympäristöstä ja sen tilasta. Nykyisin paikkatietojärjestelmien etuja on, että niiden avulla erilaisten, hyvinkin laajojen tietokokonaisuuksien käsittelyä voidaan huomattavasti nopeuttaa. Se ei ole pelkästään keino tuottaa karttoja tietokoneavusteisesti vaan tapa hallita, havainnollistaa ja analysoida olemassa olevaa tietoa sekä käyttää näiden tietojen uuden tiedon tuottamiseen.

Ammattilaiskäytössä paikkatietojärjestelmien hyödyntäminen on melkein välttämätöntä, muun muassa, maankäytön suunnittelussa sekä monilla tutkimusaloilla, kuten maantieteessä ja geologiassa. Kaavoitustyö tehdään nykyään poikkeuksetta paikkatietojärjestelmiä hyödyntäen. Kuitenkaan niiden käyttö ei rajoitu ammattikäyttäjiiin, vaan tavallinen kuluttaja voi myös niitä hyödyntää. Otetaan esimerkiksi internet-karttapalvelut tai vaikkapa autonavigaattorit, jotka ovat monille kuluttajille tuttuja. Autonavigaattoreissa auton sijainti määritetään GPS-vastaanottimen avulla, auton sijainnin ohella on keskeistä tietää missä tie kulkee. Tällöin tieverkko on navigaattoriin ladattua paikkatietoaineistoa, jossa jokaisella kadulla ja risteyksellä on maantieteellinen sijainti. Ominaisuustietoina näihin voidaan liittää vaikka palveluiden aukioloajat. Näin autoilija voi saada reittiohjeet kullakin hetkellä lähimpään avoinna olevaan palveluntarjoajaan.

### 5.3 Vektorimuotoinen paikkatietoaineisto

Paikkatietojärjestelmissä karttakohteiden kuvaukseen käytetään vektori- ja rasterimuotoa. Vektorimuotoisessa esityksessä kohteet tallennetaan geometrisinä pisteinä, viivoina tai alueina (kuvio 13). Vektori-kohte voi yksinkertaisimmillaan koostua yhdestä koordinaattiparista  $(x, y)$ , kolmiulotteisessa esityksessä kolmesta koordinaatista  $(x, y, z)$ , jolloin se kuvaa pistettä. Viivassa yhdistyy vähintään kaksi koordinaattiparia ja monikulmiona kuvattu alue muodostuu koordinaattiparien ryhmästä, jolla on sama alku ja loppupiste.



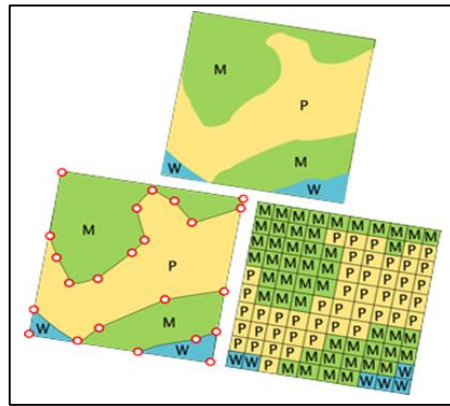
Kuvio 13. Piste, viiva ja alue (Löytönen 2003,69)

Yhtä vektorikuviota vastaa yksi tietokannan tietue ominaisuus-tietoineen. Tyypillisimpiä vektoriaineistoja ovat erilaiset digitoinnin avulla tehdyt aineistot. Esimerkiksi digitoidessa ilmakuvaa, kuvan vektorimuotoiset kohteet jäljennetään ikään kuin kuvan päälle, jolloin rasterikuvasta voidaan tehdä tulkinta. Esimerkiksi aikaisemmin mainitsemani autonavigaattoreiden tielinjat ja GPS -vastaanottimella määritetyt reitit ovat vektorimuotoisia aineistoja. (Löytönen ym. 2003, 69–68.)

### 5.4 Rasterimuotoinen paikkatieto

Rasterimuotoinen paikkatietoaineisto on kuvamuotoista paikkatietoaineistoa (kuvio14, sivu 39). Aineisto koostuu säännöllisistä ja tasasuuruista ruuduista, joita kutsutaan pikseleiksi. Pikseli on kuvan pienin yksikkö ja kuvaa tiettyä aluetta, esimerkkinä voidaan käyttää yhtä neliometriä maastossa. Mitä pienemmän alueen rasteriaineiston yksi pikseli kuvaa, sitä tarkempi on aineiston resoluutio eli erottelukyky. Rasteriaineiston pikseli muodostavat yhdessä kuva-

tiedoston ja ne tallennetaan ja välitetään kuva-aineistoina, useimmiten TIFF-tiedostomuodossa. Jokaiselle pikselille tallennetaan erikseen sijainti ja ominaisuustieto. Pikselin sijaintitieto määräytyy sen mukaan, missä pikseli sijaitsee kuvan ruudukossa ja ominaisuustieto kuvaa pikselin saamaa värisävyä tai kirkkausarvoa. Tyypillisimmät rasteriaineistot ovat ilma- ja satelliittikuvat. Kuvat muuttuvat paikkatietoaineistoksi, kun ne sidotaan tiettyyn koordinaattijärjestelmään. (Löytönen ym. 2003, 68–69.)



Kuvio 14. Rasteripohjainen aineisto (Löytönen ym. 2003, 69)

Tunnettuja paikkatieto-ohjelmistoja on useita eri tarkoituksiin. Tunnetuimpia yleisimpiä käytettyjä ohjelmistoja ovat: ArcGIS, GeoMedia, Manifold, MapInfo, Microstation, TNTmips, GRASS GIS ja Quantum GIS. Paikkatietojärjestelmiä voidaan karkeasti jaotella tyyppin mukaan neljään yleiseen kaupalliseen ryhmään. Ne ovat työpöytä-, palvelin-, kehitys- ja mobiiliohjelmit.

### 5.5 GTK:n paikkatietojärjestelmät ja tiedostoformaattit

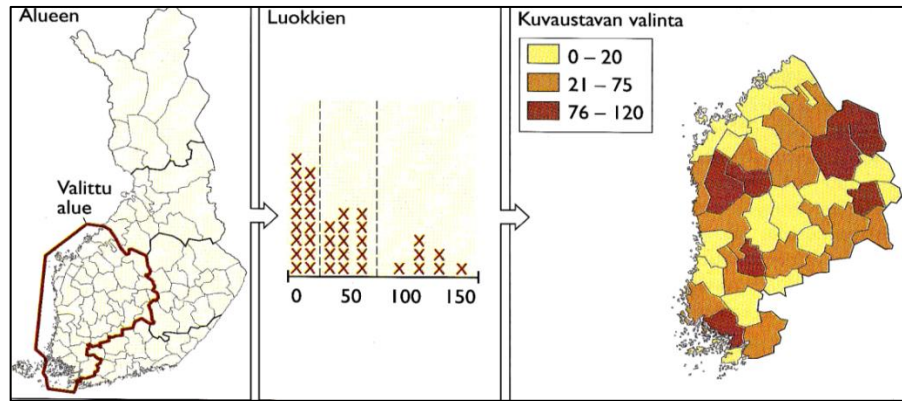
GTK käyttää ArcGIS ja Mapinfo paikkatietojärjestelmiä. Pääasiassa heidän käytössään on ArcGIS, mutta ulkopuoliset toimijat käyttävät Mapinfoa. Ulkopuolisten toimijoiden aineistoja käsiteltäessä, tulee ottaa huomioon aineistojen koordinaattijärjestelmät ja koordinaattimuunnokset.

Paikkatieto-ohjelmistoja käyttäessä täytyy huomioida myös tiedostoformaattit. Tiedostomuoto ilmaisee tiedoston rakenteen, joka on tallennettu tietokoneelle. Tiedostomuodoissa on olemassa julkisia määritelmiä, joista selviää miten ne

pitäisi koodata. Tämä vaikuttaa tallennetun tiedon yhteensopivuuden eri ohjelmien ja järjestelmien välillä. Tiedostomuodon tunnistaa niiden päätteistä. Aiheeseen täytyy olla perehtynyt, jotta tietää onko kyseessä esim. kuvatiedosto, tekstitiedosto, rasteri- vai vektoritiedosto tai aivan jokin muu. Tiedostopäätteet ilmaisevat formaatin muodon ja ne ovat tiedostonimen loppuosassa pisteellä erotettuna.

Paikkatietojärjestelmien tulosteena on usein kartta. Kartta voidaan määritellä seuraavasti: kartta on kokoelma digitaalista informaatiota, joka on kerätty tietyltä alueelta maapallon pinnalta. Karttakuva on kartasta tuotettu visuaalinen esitys (Burroghs P & McDonell R 1998,10). Kartat voidaan kuokitella mittakaavan ja niiden sisällön perusteella. Maastoa ja alueita kuvatessa kutsutaan karttoja maastokartoiksi, niissä kuvataan pinnanmuotoja, vesistöjä, kasvillisuutta jne.

Teemakartat ovat yleisempiä paikkatietojärjestelmillä tuotettuja karttoja. Teemakartat sisältävät kartan erityisaiheeseen liittyvää tietoa, tällainen on esim. kallioperäkartta. Teemakartat muodostuvat pohjakartasta ja teema-aineksesta sekä mittakaavasta ja selitteestä. Teemakartassa yhdistyvät sijainti- ja ominaisuustieto, niillä voidaan esittää mitä erilaisimpia asioita, kuten luonnonoloja, väestöä kulttuuria, maaperää jne. Teemakartoissa tiedon esittäminen voi olla pistekartta, kartogrammi, samanarvokäyräkartta eli isaritmikartta ja koropleettikartta. Esimerkkinä koropleettikartta (kuvio 15, sivu 41), sen laatimisessa on tärkeää rastereiden valinta eri luokille. Yleensä arvojen suuretessa tummuus lisääntyy. vastaavasti värejä käytettäessä, ne valitaan niin, että vaaleat värit tai värisävyt vastaavat pieniä arvoja ja tummat värit suuria arvoja. (Löytönen ym. 2003, 44–45.)



Kuvio 15. Koropleettikartan määrittely (Löytönen ym. 2003, 44–45)

### 5.5.1 Vektoriformaatit

Tallennusformaatit jaetaan digitaalisessa muodossa kahteen ryhmään vektoriformaatteihin ja rasteriformaatteihin. Vektoriformaattien avulla voidaan määrittää yksittäiset maantieteelliset kohteet pisteiden, viivojen ja alueiden avulla. Tällöin jokainen kohde on erikseen määritelty ja kyseiseen kohteeseen liittyvä ominaisuustieto, jota yleensä säilytetään erillisessä tietokantatiedostossa. Useat vektoriformaatit mahdollistat kuvan jaottelun useisiin eri tasoihin (kuvio 16), jolloin maantieteelliset kohteet voidaan ryhmitellä omiksi kerroksiksi kuvan sisällä. Vektoriaineisto on enemmänkin taulukko kuin kuva, se visualisoidaan paikkatieto-ohjelman avulla. (Nevalainen 2001,11.)



Kuvio 16. Gis-tietotasot (library of congress 2015)



Seuraavassa on määritelty yleisempiä vektoriformaatteja ArcGIS-ohjelmistossa:

**ArcInfo\_Coverage-tiedoston** ominaisuusluokat käyttävät maantieteellisiä piirteitä. Jokaisessa ominaisuusluokassa on pisteitä, viivoja, polygoneja tai tekstiä. Muut ominaisuustiedot voidaan varastoida INFO-taulukoihin tai RDBMS-taulukoihin, siten ne voidaan yhdistää tasoihin tai ominaisuusluokkiin. ArcInfo\_Coverage on malli eli topologia, joka määrittelee ominaisuuksien välisiä suhteita. (library of congress 2015.)

ArcInfo\_Coverage tallennetaan hakemistoon, sitä kutsutaan myös työtilaksi johon tallennetaan joukko tiettyä aihetta koskevia tietoja, toiselta nimeltä sitä kutsutaan myös yksiköksi. Yksittäiset tasot voivat kuvata maaperää, jokia, teitä tai maankäyttöä. Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on sen tarkkuus, jolla maantieteellinen paikka- tai muoto-ominaisuudet tallennetaan. Coveragen tarkkuuteen vaikuttaa neljä tekijää: Koordinaatiston tarkkuuden määrittely, tietojen syöttölaitteiden tarkkuus, laajojen asiakirjojen käsittely ja Coverage-tiedoston kehityksen suurin sallittu poikkeama. Ominaisuustietojen määritteet tallennetaan tiedostopäätteellä *\*.adf*. Laajennustiedostoista voidaan esimerkiksi mainita tiedostopäätteet *\*.dat*, *\*.nit* ja *\*.dir*, jotka ovat välttämättömiä ArcInfo\_Coverage-tiedostojen lukemiseen. Kaikki nämä tiedostot täytyy olla tallennettuna INFO-hakemistoon, jotta niitä voidaan käsitellä ArcInfo\_Coveragen alihakemistossa. (library of congress 2015.)

Pääasiassa **Shapefile-tiedoston** geometria ominaisuudet tallennetaan vektorimuotoon. Shapefile-muoto tukee pisteitä, viivoja ja alueiden ominaisuuksia. Alueominaisuudet edustavat suljettuja. Shapefile-formaattia voidaan käyttää tiedon luomisen sovelluksissa ja Gis-formaattien toiminnallisen käytön välittäjänä.

Vektoriprosessoinnissa jaetaan tehtävät useaan osaan ja sen jälkeen tehtävä suoritetaan eräänlaisena jonona. Shapefile-tiedostossa tiedot tallennetaan saman tiedoston hakemistoon tai projektin työtilaan, jossa kaikilla osatiedostoilla on sama tiedostonimi ja tunnistettavissa oleva yksittäinen tiedostopääte.

Kolme rakenneosaa on pakollisia. Pää tiedosto, joka sisältää geometrian ominaisuuden (\*.shp), tallennetun geometrian rakenteen sisällysluettelon (shx) ja dBASE-taulukon (\*.dbf), jossa on tallennettuja tietoja ominaisuusrakenteista. Yksi shapefile koostuu 3–15 erillisestä osatiedostosta, joista tärkeimpien merkitys on esitetty taulukossa 3. (library of congress 2015.)

Taulukko 3. Pakolliset tiedosto-formaatit shapefile-tiedostolle ja esimerkkejä laajennustiedostoista (library of congress 2015)

<b>Pakolliset tiedostot</b>	
*.shp	Pakollinen shapefile-pää tiedosto, jolla on suora yhteys muuttujan tiedoston pituuteen ja joka kuvaa listan kärkipisteiden muodoista. Sisältää geometrian.
*.shx	Shapefilen pakollinen hakemistotiedosto, kuva sisältää 100 tavun otsikkotiedon ja 8 tavun kiinteän tietueen.
*.dbf	Pakollinen attribuuttitaulukko (dBase-muotoinen). DBF on rajoitettu muoto, joka sisältää ominaisuuden määritteet yksi tietue per ominaisuus. Yksi yhteen suhde perustuu geometrian ja määritteiden luvun pituuteen. Määritteen pituus dBASE-tiedostossa täytyy olla samassa järjestyksessä kuin pää tiedoston.
<b>Optionaalisia tiedostoja</b>	
*.prj	Tiedostolla on oltava sama perus tiedostonimi kuin muillakin, jotka sisältyvät Shapefilen formaatin klusteriin.
*.sbn	Yksi kahdesta tiedostosta, ensimmäinen osatiedosto joka sisältää paikkatietojen ominaisuuksia kirjoittamisen-lukemisen suhteen shapefile tiedoston muodossa Tiedostolla oltava sama perustiedostonimi kuin muillakin, jotka kuuluvat shapefile-tiedoston klusteriin
*.sbx	Yksi kahdesta tiedostosta, toinen osatiedosto joka sisältää paikkatietojen ominaisuuksia kirjoittamisen-lukemisen suhteen shapefile tiedoston muodossa Tiedostolla oltava sama perustiedostonimi kuin muillakin, jotka kuuluvat shapefile-tiedoston klusteriin
*.xml	Shapefile-tiedoston metatiedosto. ArcGIS-ohjelmistossa tätä tiedostoa kutsutaan metatiedostoksi ja päättenä *.xml.. Tiedoston täytyy olla samassa shapefile-tiedoston klusterissa, jotta sitä voidaan käyttää ArcGIS-ohjelmistossa.

**Arc geodatabase** (GeoDB) on ArcGIS-ohjelmiston natiivi tietorakenne, joka ensisijaisesti edustaa paikkatietojen hallintaa, kuten ominaisuusluokkia, rasteriaineistoja ja attribuutteja eli määritteitä. Geodatabase on kokoelma erityyppisistä Gis-aineistojen järjestelmäkansioista. Tiedostoon voidaan kirjoittaa ja sitä voidaan lukea. Formaatti tukee esimerkiksi 16-kokonaislukua ja värikarttaa sekä 64-bittistä kaksinkertaista tarkkuutta vaativaa aineistoa, muttei 64-bittistä värikarttaa. Aineistojen päätte on \*.gdb. (esri 2016.)

Käyttäjät voivat hyödyntää perus- tai kehittyntä paikkatietoanalyysia silloin kun Gis-tiedot on tallennettu Geodatabase-tiedoston sisälle. Geodatabasen monimutkaista logiikkaa voidaan hyödyntää luomalla yksityiskohtaisempia ja tarkempia paikkatietomalleja, jotka sopivat Gis-sovelluksiin. Esimerkkinä voidaan mainita luonnonvarojen hallinta, jokien ja virtauksien mallintaminen ja erilaisten verkkojärjestelmien mallinnukset mm. kaasu, vesi- ja jäteveden putkistot. Geodatabasen yleisempi tietorakennetyyppejä ovat:

- Topologia, joka määrittelee ja valvoo tietojen ominaisuuksien eheyttä
- Geometriset tietoverkot, jotka koostuvat viiva ja pistejoukoista sääntöjen mukaisesti ja edustavat mallintamista yhteisessä verkko infrastruktuurissa todellisessa maailmassa.
- Tietoverkko-aineistot, jotka edustavat samaa kuin geometriset tietoverkot, sillä erolla että rakennetyypissä huomioidaan mallintatapojen kuljetukset verkkojärjestelmissä.
- Maasto-tietorakenne, joka on luotu korkeus mittauspiste kokonaisuudesta, tyypillisesti kaukokartoituksen tietolähteistä.
- Kiinteistörekisterin tietorakenne, joka sisältää maapalstojen lohkojen ominaisuuksia. Tämä tietorakenne mahdollistaa paikkatiedon yhdistämisen ja tutkimustietojen johdonmukaisen tarkastelun.

Geodatabasen tietomallin tarkoituksena on antaa käyttäjälle mahdollisuuden hyödyntää ja optimoida paikkatieto ja ylläpitää sen tarkkaa säilytyspaikkaa. (library of congress 2015.)

**MapInfon** alkuperäistä aineistoformaattia kutsutaan joskus MapInfo-TAB nimellä. MapInfon aineisto koostuu teksti- ja numeerisista tiedostoista, ilman graafisia objekteja. Pää tiedosto MapInfossa on ASCII-formaatti, joka on taulukossa muotoa \*.TAB. TAB ASCII-tiedosto on linkki muiden tiedostojen ja tiedostotyyppien ylläpitämiseen. Ominaisuustiedot on tallennettu binäärimuotoon \*.DAT. Nämä kaksi tiedostoa tukevat selainta taulukkotiedoston näkymässä.

MapInfo:n valinnaisen tiedoston tunnistaa päätteistä \*.map, \*.id ja \*.ind. MapInfo:n aineistot voidaan muuntaa MIF-muotoon. MIF-formaatti on siirtoformaatti. MapInfo:n aineistoformaatti on suunniteltu tukemaan taulukkotietojen selailua ja näyttämään sellaiset karttapohjantasot, joille kartan maantieteelliset paikkatieto-aineistot on tallennettu. (library of congress 2015.)

### 5.5.2 Rasteriformaatit

Rasteriformaatteja käyttäessä yksittäisiä maantieteellisiä kohteita ei tallenneta erikseen, vaan ne esitetään toisiinsa liittyvien kuvapisteidensä avulla. Jos karttoihin halutaan lisätä ominaisuustietoja, ne joudutaan tallentamaan erilliseen tiedostoon. Ominaisuustieto voidaan liittää rasterikartan kohteeseen muodostamalla linkki kyseistä kohdetta esittävien pikseleiden ja ominaisuustietojen avulla.

Rasteriaineisto on tuotettu aina tiettyyn mittakaavaan ja aineiston luotettavuus kärsii, kun sitä tarkastellaan muissa mittakaavoissa. Ne ovat usein resoluutioltaan tarkkoja kuvatiedostoja, jolloin ne ovat myös tiedostokooltaan isoja. Rasterinmuodossa olevassa kartassa voidaan esittää ainoastaan yksi päällekkäinen kohde yhdessä karttakuvassa. Tämä johtuu siitä, että yhteen kuvapisteeseen eli kartan koordinaattiin voidaan sijoittaa ainoastaan yksi arvo. Rasteriformaatit tallentavat kuvan yksittäisistä kuvapisteistä eli pikseleistä muodostettuna matriisina. Pikselit voivat olla värillisiä tai harmaasävyjä. Kuvio 17, (sivu 46), pienemmässä kuvassa erottuvat pikselien rakenne. (Nevalainen 2001,11.)



Kuvio 17. Alkuperäinen kuvan koko 279x183 pikseliä. kuvan osa (valoisalla kehystetty alue) on suurennettu 15-kertaiseksi, pikselien rakenne erottuu (Itä-Suomen yliopisto 2015)

Seuraavassa on määritelty yleisempiä ArcGIS-ohjelmistossa käytettyjä rasteriformaatteja:

**ASCII Grid** on vaihtopisteformaatti ArcGIS:ssa ja, sitä käytetään pääasiassa muiden ohjelmien kanssa. Mikä tahansa koordinaattijärjestelmä voidaan määrittellä Grid-formaatilla. Koordinaatit voidaan määrittellä oheistiedostoiksi päätteellä *\*.prj*. Formaatti ei tue asiantyhteyteen kuuluvia asiakirjoja ja sitä voidaan ainoastaan lukea. Kirjoittamiseen tarvitaan ArcGIS:n Spatial Analyst laajennus. Yksittäisen tiedoston päätte on *\*.asc*. (esri 2016; library of congress 2015.)

**ESRI Grid** tunnetaan myös nimellä ArcGrid, se on Esrin kehittämä rasteritiedostoformaatti, joka sisältää maantieteellisiä ominaisuuksia ja sijaintitietoja. ESRI Grid-muoto käsittää useita osatiedostoja. Nämä tallennetaan ArcInfoon työtilaan, joka voi sisältää muita paikkatietoaineistoja, kuten Coverage. ArcInfoon työtila sisältää yhden INFO-alihakemiston ja erillisen alihakemiston jokaiselle Grid-tiedostolle. (library of congress 2015.)

Grid-formaatissa kokonaislukua käytetään määrittelemään esim. rajoja, siitä mistä viiva alkaa ja loppuu, kuten kuvattaessa järveä. Liukuluku edustaa jatkuvaa tietoa, tietoa jota ei voi tarkasti määrittellä, kuten korkeuden mittaamista merestä. Grid-formaatin tiedoston nimi ei voi alkaa numerolla, eikä voi olla pidempi kuin 13 merkkiä. Jokainen ruudukko viittaa x, y-koordinaattien sijaintiin.

Ruudukot ovat hyödyllisiä kuvattaessa maantieteellisiä ilmiöitä, jotka muuttuvat jatkuvasti. Grid-formaatit sopivat hyvin spatiaaliseen mallintamiseen sekä analysoimaan virtauksia, jota voidaan hyödyntää hydrologiassa. Formaattia voidaan lukea ja siihen voidaan kirjoittaa. Aineiston laajennuksien päätte värikartoille on *\*.clr*. (library of congress 2015.)

**Er Mapperin ERS** on rasterimuoto. Se on valmistettu käyttäen Er Mapperin kuvankäsittelyohjelmistoa. Tiedostoa voidaan ainoastaan lukea ArcGIS-ohjelmistolla. Formaatti tukee 8-bittisiä, 16-bittisiä ja 32-bittisiä tiedostotyyppiä sekä 32-bittisiä kellumispisteitä. Päättiedostojen päätte on *\*.ers*. Muiden tämän tiedostojen päätte on yleensä sama kuin päättiedoston, mutta se voi olla mikä tahansa muu, kunhan se määritellään otsikkotiedostoon. (esri 2016.)

**ECRG** on parannettu versio graafisesta Arc-rasteritiedostosta. Pakatussa ECRG tiedostossa ovat NGA ja CADRG tiedostot. ECRG on maantieteellinen tiedosto Arc-järjestelmässä. Maapallo on jaettu 18 leveysasteikaistaan tai vyöhykkeeseen. Tiedosto koostuu rasterikuvioista ja muu grafiikka syntyy skannaamalla lähdeaineistosta. CADRG on saavuttaa nimellisen puristussuhteen joka on 55:1. JPEG 2000 puristussuhde on 20:1. (esri 2016.)

**ECW-formaatti** on patentoitu formaatti. Se on samankaltainen kuin JPEG 2000, sitä käytetään mm. ilma- ja satelliittikuvien tallentamiseen. Tätä formaattia voidaan käyttää ArcGIS:n työpöydällä, mutta jos sitä halutaan julkaista, tarvitaan ArcGIS:n laajennuslisenssi. Tätä tiedostoa ei voi muuta kuin lukea. Yksittäisen tiedoston päätte on *\*.ecw*. (esri 2016.)

**ERDAS IMAGINE** on valmistettu käyttäen IMAGINE kuvankäsittelyohjelmistoa, jonka on luonut ERDAS. IMAGINE sisältää anturitietoa ja kuvia useista lähteistä. Formaattiin voi tallentaa sekä jatkuvaa yksikaistaista ja monikaistaista tietoa. Tätä tiedostoa käytetään laajalti kaukokartoitustiedon käsittelyyn, koska se tarjoaa puitteet integroida 1-, 2-, 4-, 8- ja 16-bittiset formaatit, jotka tukevat värikarttaa, sitä suurempi bittiset eivät. Geokoodauksen metatieto voidaan tallentaa jokaiselle tasolle ERDAS\_IMG-tiedostoon. Tämä mahdollistaa tasojen muuttamisen yhteen projektioon ja sen näyttämisen ruudulla sekä tu-

lostamisen. Yksittäisten kuvatiedostojen päätte on *\*.img*. Jos kuva on isompi kuin 2 gigabiittiä, sen päätte on *\*.ige*. Maailmanlaajuisen kuvatiedostojen päätte on *\*.igw* (esri 2016; library of congress 2015.)

**GIF** on sisäinen kuvanvaihtoformaatti. GIF-tiedostot voivat sisältää vain 8-bittisiä harmaasävykuvia tai 8-bittisiä värikuvia. GIF-tiedostoja voi lukea mikä tahansa tietokonegrafiikkaohjelmisto. Bittikarttakuvan muotoa käytetään yleensä pienissä kuvissa. GIF-tiedostomuodon rajoitukset ovat 256 eri väriä ja yksibittinen läpinäkyvyys. Tiedostoa voidaan lukea ja siihen voidaan kirjoittaa. Esimerkiksi GIF-kuvat toimivat hyvin internet sivuilla piirroskuvien ja painikkeiden sekä animaatioiden esittämiseen, koska värien määrä on vähäinen. Yksittäisen tiedoston päätte on *\*.gif*. Maailmanlaajuisen tiedoston päätte on *\*.gfw* (esri 2016.)

**JPEG** on yleinen kuvatiedostojen ryhmä ja **JFIF** on kuvien sisäisten tiedostojen formaatti. JPEG on standardi pakkaustekniikka värillisten ja harmaasävykuvien tallentamiseen. JFIF-tiedostoa ei voida käsitellä ilman JPEG-tiedoston tukea. ArcCatalog tunnistaa vain. jpg-tiedostopäätteen oletuksena. Lisättäessä. jpeg tai jpe -tiedostoja ArcMapiin uudelleen nimeämättä niitä, täytyy tiedostot lisätä ArcCatalogiin oletustiedostoina tai tehdä ne Explorer-komennolla ArcMapille. Tiedostoja voidaan lukea ja niihin voidaan kirjoittaa. Maailmanlaajuisen tiedostopäätte on *\*.jgw* (esri 2016.)

**JPEG 2000** on uudehko ja erityisesti laadullisesti suurten kuvien kuvanpakkausformaatti. Se mahdollistaa korkean puristussuhteen ja nopean pääsyn suuriin tietomääriin missä mittakaavassa tahansa. Sitä käytetään usein ilmapikselien tallentamiseen, sillä se vie vähemmän tilaa tietokoneella kuin TIFF-tiedosto. Tiedoston voidaan kirjoittaa ja sitä voidaan lukea. Yksittäisten tiedostojen päätteitä ovat *\*.jp2*, *\*.jp2c*, *\*.j2k* tai *\*.jpx*. (esri 2016.)

**PNG-formaatti** on kehitetty korvaamaan GIF-formaatti. PNG on häviötön bittikarttagrafiikan tallennusformaatti. Se tarjoaa hyvin pakattua häiritsemätöntä tietoa rasteritiedostoihin. PNG tukee 64-bittisiä yksivärisiä kuvia sekä 24-bittisiä rasterikuvia. Sen ominaisuuksiin kuuluu värikuville jopa 256 väri-

toehtoa ja tehokkuus on 100 % häviämättömissä kuvissa. PNG on patentiton eli kaikkien vapaasti käytettävissä ilman lisenssimaksuja. Tiedostoa voidaan lukea ja siihen voidaan kirjoittaa. ArcGIS pystyy lukemaan olemassa olevaa alfakaistaa, mutta PNG voi ainoastaan kirjoittaa yhden tai kahden taajuusalueen tiedostoja. Yksittäisen tiedoston pääte on *\*.png*. (esri 2016.)

**TIFF eli "Tagged Image File Format"** on formaatti, joka on laajimmin tunnettu kuvatiedosto. Se on kuvien tallennukseen käytetty häviötön tiedostomuoto. Se toimii rajapintana useille skannereille ja grafiikan paketeille. TIFF tukee mustavalkoisia, harmaa sävyisiä, pseudo värejä ja alkuperäisiä värikuvia sekä kaikkia, jotka voidaan säilyttää tiivistetyissä tai tiivistämättömissä formaateissa. TIFF-formaatin etu on että samaan tiedostoon voidaan tallentaa useita kuvia. TIFF-kuva voidaan tallennusvaiheessa pakata LZW-pakkausmenetelmällä, joka säilyttää koko kuvainformaation. Kun TIFF-kuvaa käytetään paikkatietoon, puhutaan GeoTIFF:stä. (esri 2016.)

**GeoTIFF** on rasterikuvaformaatti, se voi sisältää itsessään laajoja georeferensoitidataa (tiedon sijainti koordinaatistossa), tai erillisissä tiedostoissa. Se palvelee maantieteellisiä projekteja sekä koordinaattijärjestelmien tarpeita. Korkeusmallit ja maastokartat ovat usein TIFF-muodossa. GeoTIFF käyttää numeerisia koodeja kuvaamaan projektityyppejä, koordinaattijärjestelmiä ja tarkistuspisteitä ym. Kuten TIFF-muodossa GeoTIFF käyttää 32-bittisiä siirtymiä, joka rajoittaa sen laajuutta 4 gigatavuun. GeoTIFF-tiedostojen käyttäjän ei tarvitse olla maantieteellisen alan asiantuntija voidakseen ladata karttaprojektion kuvia tai skannatakseen karttoja. Tiedostoa voidaan lukea ja siihen voidaan kirjoittaa. (library of congress 2015.)

Yhden tiedoston pääte voi olla *\*.tif*, *\*.tiff* ja *\*.gtiff*. Maailmanlaajuinen tiedostopääte on *\*.fw*. ArcCatalog tunnistaa ainoastaan TIFF-tiedostopäätteen oletuksena. Jos haluaa lisätä ArcMapiin tiff tai tff -tiedostot ilman nimeämättä niitä, nämä oletustiedostot täytyy lisätä ArcCatalogiin tai käyttää Explorer-toimintoa ArcMapissa. ArcGIS tukee lukuisia rasteriformaatteja. Tunnettuja formaatteja voi edellisten lisäksi mainita BMP, ADRG, DIB, CADRG, RST, Evisat ja MrSID. (esri 2016.)



### 5.5.3 Siirtoformaatit

Siirtoformaatit ovat alusta- ja ohjelmistoriippumattomia formaatteja, suurin osa on tiedostoformaatteja, osa tukee reaaliaikaista siirtoa. Jos aineisto on tehty yhdellä sovelluksella, sen sisältöä ei voi lukea ja käyttää toisella sovelluksella ilman siirtoformaattia. Ne voivat olla julkisia tai valmistajakohtaisia. Siirtoformaatteja käytetään mediapalvelimissa, joissa formaatti määrittelee ajoitukset. Tietokannoissa, siirtoformaatin mukaisesti, tiedot tallennetaan ja luetaan siirtoformaatin määritysten mukaisesti ja verkossa, joka ylläpitää ajoituksia. (Vuorimaa 2007,1/7.)

**e00** on ArcInfon vaihtotiedostomuoto, joka tunnetaan myös vientitiedostona (.e00). se mahdollistaa ESRI ArcInfon kattavuuden tai muun ArcInfon tietorakenteen ja siihen liittyvien INFO-taulukoiden käytön eri koneiden ja järjestelmien välillä. Muita siirtoformaatteja ovat mm. ArcInfo Generte ja FinGis. (libray of congress 2015.)

## 6 KOORDINAATTIMUUNNOKSET ArcGIS-OHJELMISTOLLA

### 6.1 Yleistä koordinaattimuunnoksista

Kaikille käsiteltäville aineistoille on määritelty koordinaattijärjestelmä. Paikkatietojärjestelmien käyttäjän täytyy tietää mihin järjestelmään aineisto kuuluu ja se selviää koordinaateista. Jos kuitenkin on niin, että järjestelmään liitettävä uusi tieto on jostain syystä eri koordinaatistossa kuin vanhat aineistot, käyttäjän täytyy tehdä koordinaattimuunnokset. Suomessa käytetään pääasiassa EUREF-FIN TM35FIN- ja Kartastokoordinaattijärjestelmää. ArcGIS:stä löytyvät projektiot EUREF-FIN FM35FIN ja ETRS 1989 TM35FIN, jotka ovat yhteneviä. (Tenkanen 2015,3.)

Syitä eri järjestelmille voi olla useita. Aineistot voivat perustua eri aikakausina tehtyihin kartoitustöihin, ne voivat olla lähtöisin eri puolilta maailmaa eri toimittajilta, ne voivat olla käsittelemätöntä GPS-dataa tai tuottajan järjestelmä ei kykene koordinaattimuunnoksiin jne. Nykyisin paikkatietojärjestelmät on ohjelmoitu, siten, että koordinaattimuunnokset voidaan tehdä nopeasti järjestelmästä toiseen tiettyjen ohjelmistojen työkalujen avulla. Usein tiedostojen siirrossa voi myös määrittää siirtotiedoston koordinaatit jonkun uuden järjestelmän mukaiseksi.

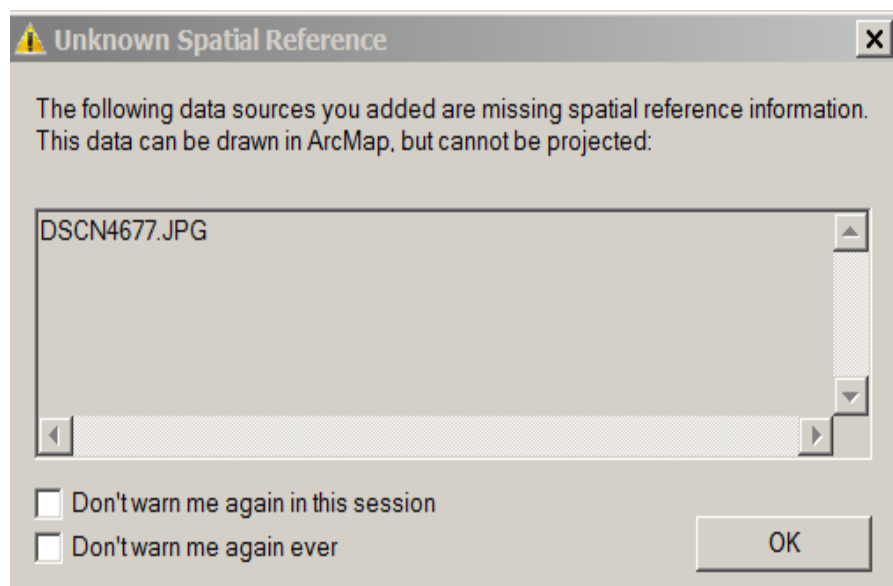
Koordinaattien muunnosohjelma voi olla liian yksinkertainen ja antaa vääriä tuloksia tai joku koordinaattijärjestelmien parametreista voi olla väärä. Esimerkiksi joissakin ohjelmistoissa voidaan ohjelmistolle syöttää erikseen ellipsoidi ja se voi olla eri kuin koordinaatiston. Joskus on myös tuntemattomia tai määrittelemättömiä koordinaatistoja. Koordinaattien väliset muunnokset ovat matemaattisia yhtälöitä. Tärkeimpänä on ns. Helmert-muunnos. Tässä opinnäytetyössä ei keskitytä matemaattiseen puoleen vaan esitetään miten ArcGIS-ohjelmalla voidaan tehdä koordinaattimuunnokset ja testataan GTK:n aineistojen yhteensopivuutta Esrin formaatteihin, siitä enemmän luvussa 7.

Muunnosohjelmia on saatavilla myös Internetissä, jotka ovat kaikkien kansalaisten käytössä. Esimerkiksi Maanmittauslaitoksen sivuilla on koordinaatti-

muunnospalvelu, jossa on mahdollista muuttaa koordinaatteja valtakunnallisesti käytössä olevien koordinaattijärjestelmien välillä. Aineiston lataaminen edellyttää rekisteröitymistä palveluun, pelkkien koordinaattimuunnosten tekemiseen ei tarvitse rekisteröitymistä. Tähän palveluun pääsee joko Maanmittauslaitoksen sivuilta tai osoitteessa <http://coordtrans.fgi.fi/index.jsp>. (Maanmittauslaitos 2016o.)

## 6.2 Koordinaattimuunnoksen virheilmoitus ArcMapissa

Seuraavaksi käsitellään koordinaattimuunnoksia ArcGIS:ssa. Paikkatietoaineisto tuodaan työpöydälle "ADD data" työkalulla. Tuodessa tietoa voi tulla ilmoitus väärästä koordinaattijärjestelmästä (kuvio 18). Tämä virheilmoitus tarkoittaa sitä, että ohjelmisto ei tiedä missä aineistossa mitatut kohteet ovat. Kullekin aineistoilla täytyy määrittää, mikä koordinaattijärjestelmä on kyseessä. Tiedon löytää alkuperäisen aineiston koordinaateista. Aineistojen erilaiset koordinaattijärjestelmät aiheuttavat ArcGIS-ohjelmistossa ongelmia. Silloin kun esimerkin mukainen aineisto avataan ArcMapiin ja siihen avataan muita aineistoja, joiden sijainti tai koordinaattijärjestelmä on eri kuin tämä, koordinaattimuunnoksia ei voi tehdä. (Tenkanen N 2015,9.)



Kuvio 18. Virheilmoitus puuttuvasta koordinaattijärjestelmästä

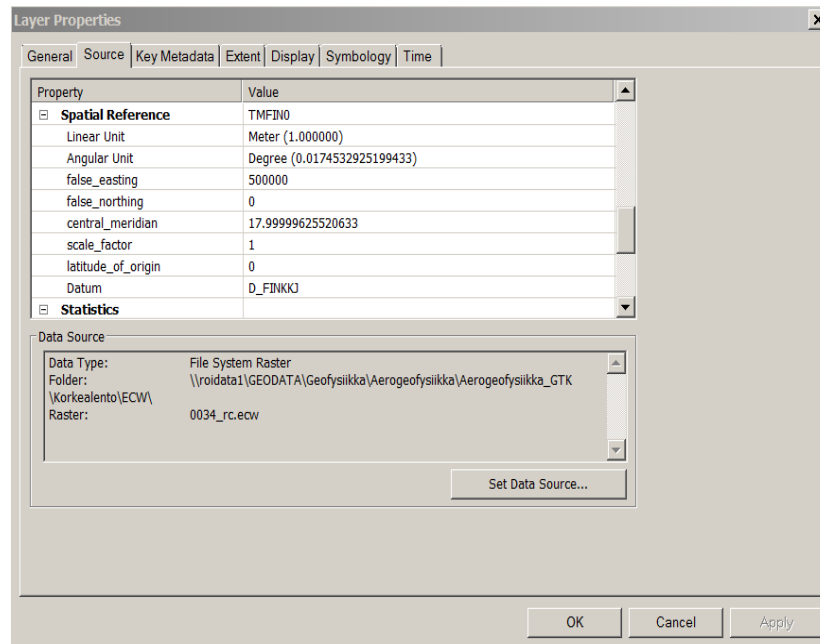
Koordinaattijärjestelmä, jossa aineisto jo on, voidaan ArcMapissa määrittellä erilaisilla työkaluilla. ArcMapin valikosta valitaan Geoprocessing ja sieltä seuraavat työkalut ArcToolboxin Data Management Tools, Projections and Transformations ja Define Projection-työkalu

GIS-ohjelmistot edellyttävät astekoordinaattien käyttöä desimaalimuodossa. Paljon käytössä olevat GPS-aineistot tuottavat ongelmia, koska niiden koordinaatit ovat muodossa "asteet, minuutit, sekunnit". Koordinaatinmuunnoksen voi tehdä helposti käyttäen Excel-taulukkoa, lajittelemalla tiedot omiin sarakkeisiin, seuraavasti: desimaaliasteet = asteet + (minuutit / 60) + (sekunnit / 3600). (Antikainen & Kortsalo 2012, 21.)

### 6.3 Aineiston koordinaattijärjestelmän tunnistaminen

Koordinaattijärjestelmän voi tarkistaa avatun aineiston tasosta **Layers**. Klikkaamalla tason nimen päällä hiiren oikealla korvalla, avautuu valikko jossa on hyödyllisiä työkaluja kuten **Properties**. Klikkaamalla hiiren oikealla korvalla sen päällä saadaan **Layer Properties**-valikko, josta valitaan edelleen Source-välilehti (kuvio 19, sivu 54). Tason koordinaattijärjestelmää koskevat tiedot näkyvät **Data Source**-kentässä.

Tiedoston koordinaattijärjestelmän löytyy Layer Properties-valikosta. Kuviossa 19 on Geologian tutkimuskeskuksen geodata-aineistosta satunnaisesti valittu rasteritiedosto. Tiedoston koordinaattijärjestelmäksi on määritelty TMFIN0 ja projektio on D\_FINKKJ, Parametreista voi huomata, että keskimeridiaanin arvo on desimaaliluku 17.9999..., arvona pitäisi olla 18. Tässä vaiheessa täytyy miettiä onko parametrit tallennettu oikein ja tarkistaa alkuperäisestä aineistosta koordinaatit. Kuitenkaan tämän perusteella ei voida sanoa, onko virhe keskimeridiaanin lukuarvossa. Tässä tapauksessa koordinaattimuunnos ei onnistu. Syitä tähän voi olla vaikka kuinka paljon.



Kuvio 19. Tason koordinaattijärjestelmää koskevat

#### 6.4 Koordinaattijärjestelmien muunnostavat

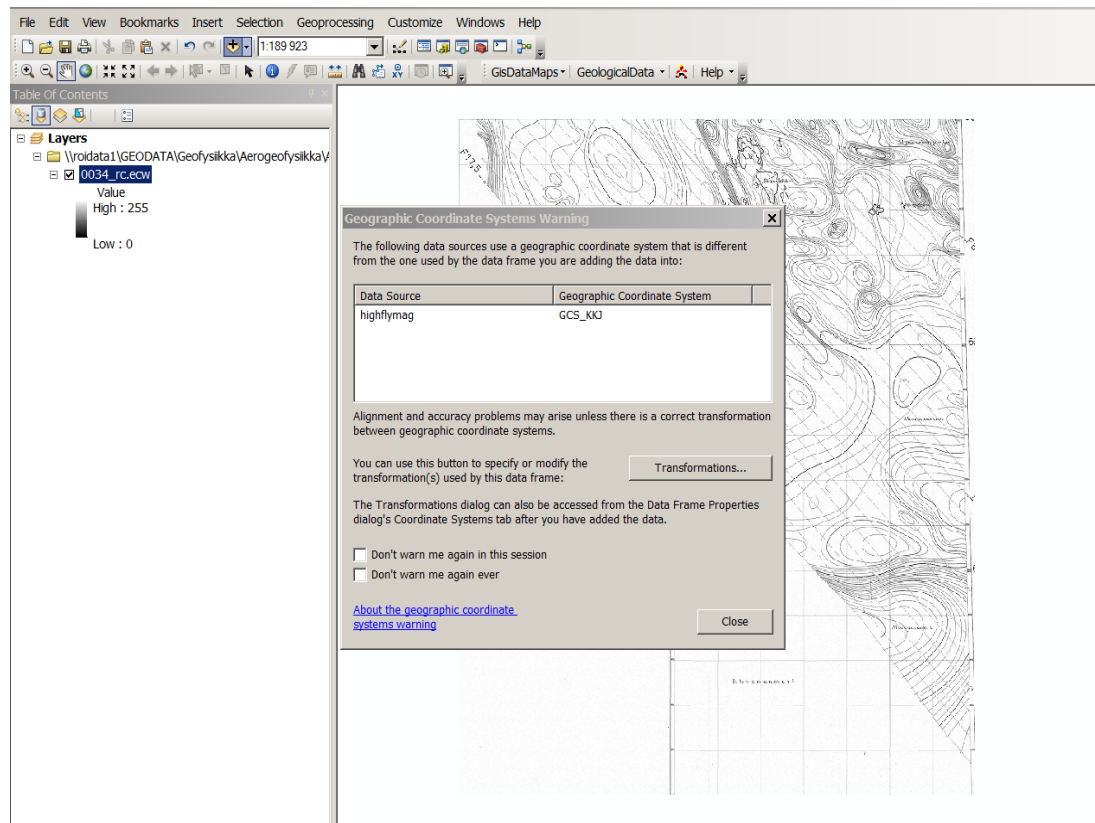
Paikkatietoaineistoilla on usein keskenään erilaisia koordinaattijärjestelmiä. Samassa karttaesityksessä ei voida käyttää useampaa eri koordinaattijärjestelmää, vaan tasot on mukautettava saman koordinaattijärjestelmän mukaiseksi. ArcMapilla tämä voidaan tehdä kahdella tavalla:

- Aineistonäkymä eli Data Frame muutetaan jonkin koordinaattijärjestelmä mukaiseksi
- Muutetaan tason koordinaattijärjestelmä ArcToolbox:sta löytyvien työkalujen avulla. (Antikainen & Kortsalo 2012, 21.)

#### 6.5 Aineistonäkymän koordinaattijärjestelmän muuttaminen

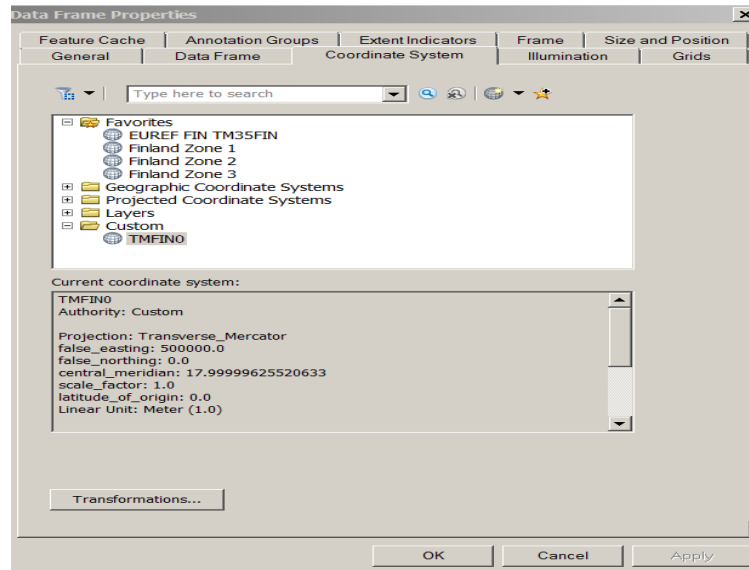
Kun ArcMapiin avataan tietty aineisto tasolle, se määrittelee tason koordinaattijärjestelmän. Jos sen jälkeen avataan uusi aineisto, joka on eri koordinaatissa kuin ensimmäinen, muunnetaan tämä vastaamaan ensimmäisen tason käyttämää koordinaattijärjestelmää. (Antikainen & Kortsalo 2012, 21.)

Kuviossa 20 on avattu highflymag\_s-aineisto ArcMapissa. Taso noudattaa KKJ-koordinaattijärjestelmää, joten aineistonäkymän koordinaattijärjestelmä määrittyy automaattisesti siihen. Kun siihen nyt avataan taso, joka on eri koordinaattijärjestelmässä, avautuu varoitusikkuna, josta tason muunnos tulee käydä tekemässä valitsemalla **Transformations**.



Kuvio 20. Varoitus koordinaattijärjestelmien erilaisuudesta

Tasojen koordinaattijärjestelmän asetuksista riippuu, mikä koordinaattijärjestelmä tulee valita, valinta tehdään klikkaamalla **Transformations**-painiketta, josta avautuu valittavat koordinaattijärjestelmät (kuvio 21, sivu 56). Muunnoksen jälkeen tasoja pystytään käsittelemään päällekkäin samassa aineistonäkymässä. (Antikainen & Kortsalo 2012, 21.)



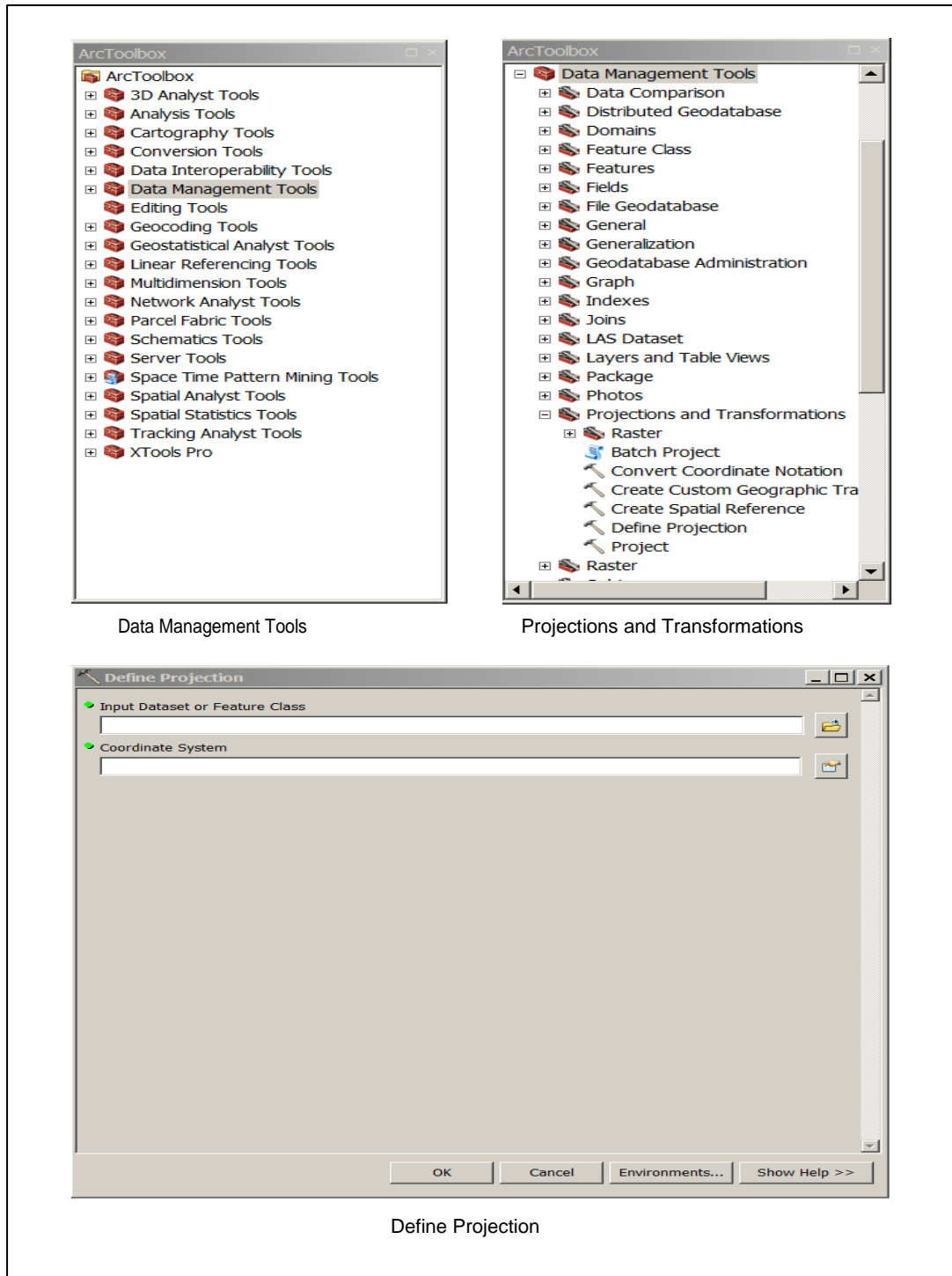
Kuvio 21. Koordinaattijärjestelmän asetukset

Kun transformaatio on valittu, voidaan **Geographic Coordinate System Transformations**-näkyvä sulkea pois painamalla **OK**. Tämän jälkeen painetaan **OK**-painiketta myös **Data Frame Properties**-ikkunassa. Tällöin ArcMap muuntaa Data Framen ja karttanäkymän vastaamaan uutta koordinaattijärjestelmä määritystä. Tässä menettelytavassa ArcMap ei tee tasojen määrittelyyn pysyviä muutoksia, joten tasot säilyttävät sinänsä edelleen alkuperäisen koordinaattijärjestelmän määrittelynsä. (Antikainen & Kortsalo 2012, 21.)

## 6.6 Koordinaattijärjestelmän muuttaminen ArcTools-työkaluilla

Määriteltäessä koordinaattijärjestelmää, siihen on omat työkalut. Määrittely tapahtuu Geoprocessing valikosta ArcToolsbox:n kohdasta (kuvio 22). Ensin valitaan **Data Management Tools** valikko, josta valitaan **Projections and Transformations**. Tässä valikossa **Project**-työkalu tekee uuden tason uudessa projektiossa ja **Define-Projection**-työkalu tekee projektion määrittelyn.

Ensimmäiseen kenttää valitaan määriteltävä aineisto ja alempaan sen koordinaattijärjestelmä.



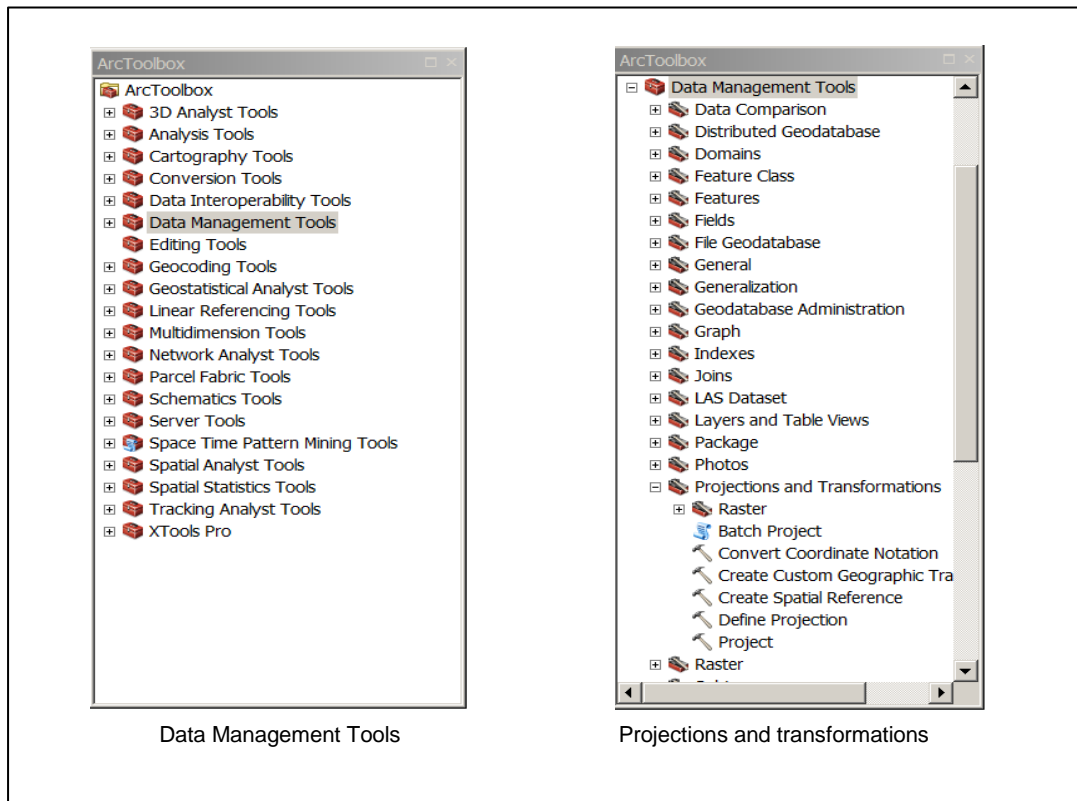
Kuvio 22. ArcTools-työkaluja ArcMapissa

## 6.7 Koordinaattimuunnokset vektori- ja rasteriaineistolle

Projisointi ja koordinaattimuunnokset tehdään vektori- ja rasteriaineistolle ArcToolboxin työkaluilla seuraavasti. Valitaan **Geoprocessing** valikosta **Data Management Tools** (Kuvio 23, sivu 57). **Seuraavaksi** valitaan **Projections**

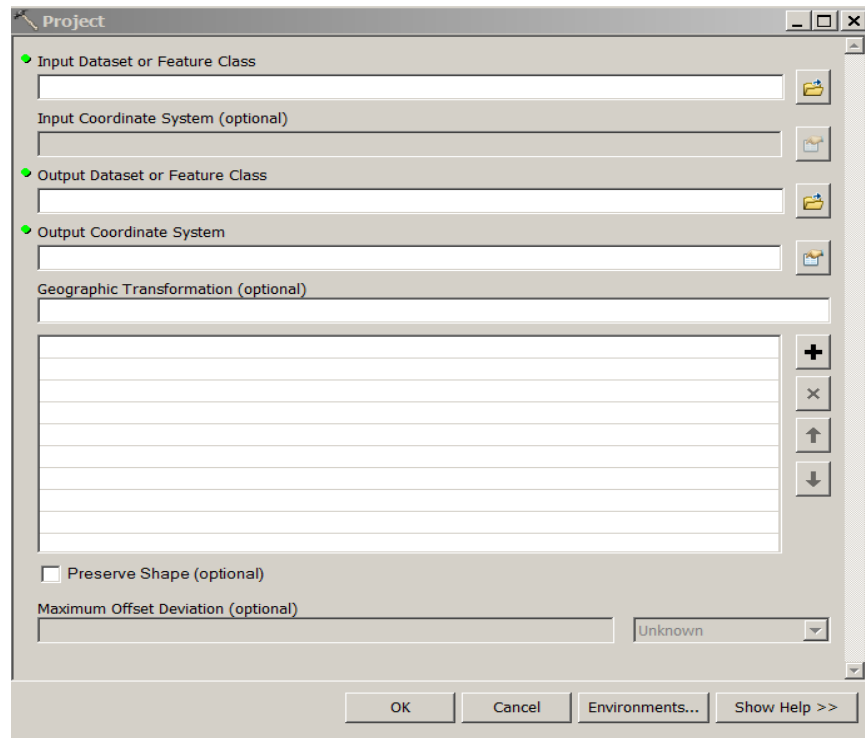


**and Transformations**-valikko. Vektoriaineistoille valitaan **Project**-työkalu ja rasteriaineistoille valitaan **Project Raster**-työkalu (kuvio 24, sivu 58).

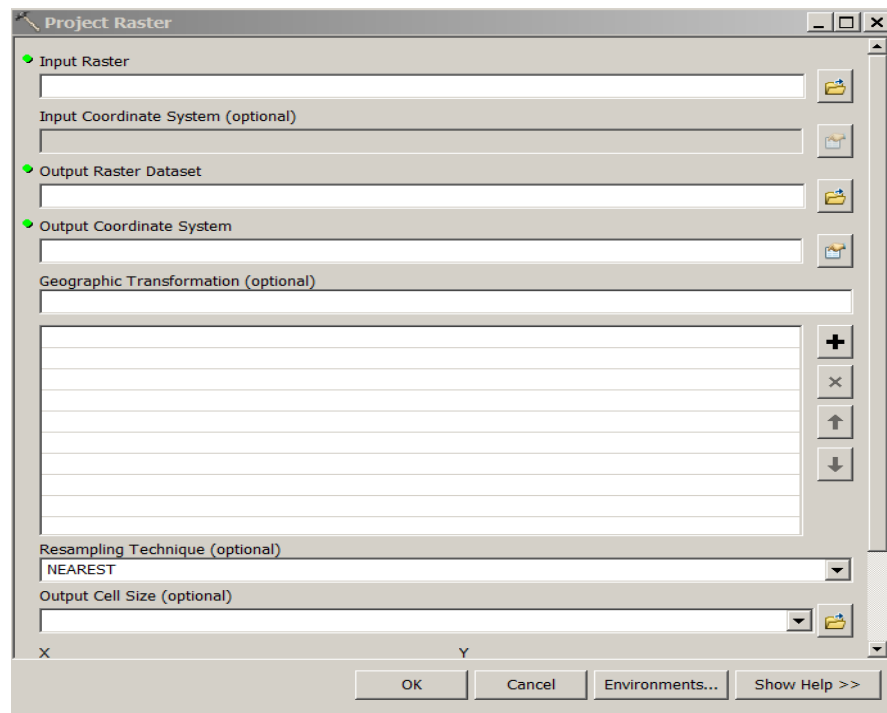


Kuvio 23. ArcTools-työkaluja vektori- ja rasteriaineistolle

Toiminto on sikäli "turvallinen", ettei se muuta alkuperäistä aineistoa lainkaan, vaan tekee siitä kopion, johon muunnos vasta kohdistuu. Tehtäessä muunnosta toisistaan poikkeavien koordinaattijärjestelmien, täytyy Geographic Transformations kohtaan (kuvio 24, sivu 58) valita käytettävät muunnosparametrit. ArcGIS osaa ehdottaa sopivaa transformaatiota itse, vaihtoehtoja voi tosin joissakin tapauksissa olla useita, joten siksi tämä kohta on käyttäjän itse määritettävissä. Jos muunnos tehdäänkin itse asiassa toiseen suuntaan kuin mitä transformaation nimi antaa ymmärtää, ei tällä ole lopputuloksen kannalta merkitystä. Esimerkiksi EUREF-FIN-koordinaatisto muunnetaan KKJ-koordinaatistoon, voi ehdotus olla toisin päin. (Antikainen & Kortsalo 2012, 21.)



Project, vektoriaineisto



Project Raster, rasteriaineisto

Kuvio 24 ArcTools-työkal-näkymät vektori- ja rasteriaineistolle

## 7 GTK:n KOORDINAATTIJÄRJESTELMIEN TUTKIMINEN

### 7.1 Projisoidut koordinaattijärjestelmät

Koordinaattijärjestelmiä on olemassa kahta tyyppiä maantieteellisiä ja projisoituja. Maantieteelliset koordinaattijärjestelmät perustuvat pallokoordinaatteihin, jotka määritellään kulmina koordinaatistossa, jonka muodostavat lähtökohdiksi valitut isoympyrät. Tavallisesti isoympyröinä käytetään päiväntasaajaa ja Greenwichin kautta kulkevaksi sovittua 0-meridiaania. (Antikainen & Kortsalo 2012, 19.)

Silloin kun, paikkatieto halutaan esittää kaksiulotteisella tasolla, tarvitaan projisoitu koordinaattijärjestelmä. Projisoidut koordinaattijärjestelmät perustuvat maantieteelliseen koordinaattijärjestelmään, joka sisältää matemaattisen määrittelyn maapallon muodosta. Pitää muistaa ettei koordinaattijärjestelmä ja ”projektio” ole sama asia. Projektio on ainoastaan yksi koordinaattijärjestelmän parametreista ja se merkitsee tapaa muuttaa kolmiulotteinen koordinaatisto tasokoordinaatistoksi. (Antikainen & Kortsalo 2012, 19.)

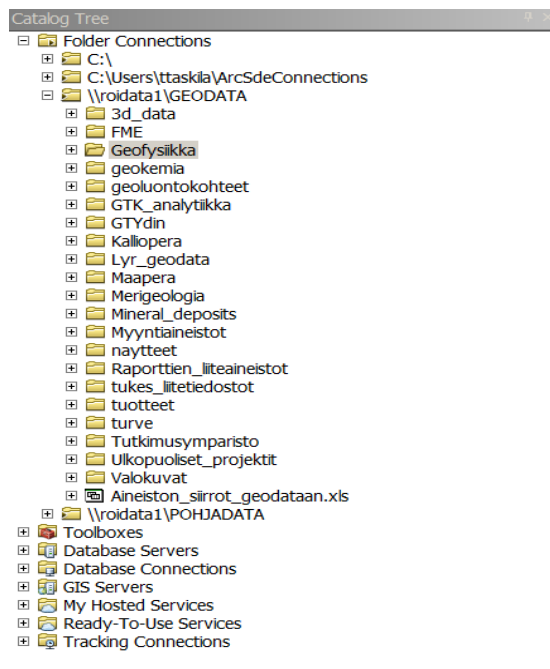
### 7.2 Tutkimuksen tekeminen

GTK:lle tekemäni testin tarkoitus ei ollut tehdä koordinaattimuunnoksia, vaan määrittää GTK:n aineiston koordinaattijärjestelmien yhteensopivuutta ESRI:n formaatteihin ArcMapissa. Aineisto oli hyvin laaja, nimeltään geodata-aineisto ja näytti seuraavalta, lyhyessä muodossa. (kuvio 25. sivu 60).

Aineistoa tutkiessani löysin kymmenen erinimistä koordinaattijärjestelmää, joita aloin lähemmin tarkastelemaan. Kun koordinaattijärjestelmiä projisoidaan keskenään, niillä täytyy olla samat arvot koordinaattijärjestelmän nimestä huolimatta, kuten koordinaatit ja keskimeridiaani. Tämän vuoksi on tärkeää, että alkuperäiset mittausaineistot ovat käytössä. Silloin voidaan tarkastaa koordinaattien yhteneväisyys. Seuraavalla sivulla on luettelo rasteriaineiston koordinaattijärjestelmien nimistä, jotka löytyvät geodata-aineistosta, ne poikkeavat Esrin järjestelmien nimistä huomattavasti.

- ETRS89 ETRS TM35FIN
- ETRS\_1989\_UTM\_Zone\_35N
- Finland\_Zone\_3
- TMFIN3
- TMFIN0
- KKJ\_Transverse\_Mercator
- EUREF\_FIN\_TM35FIN
- KKJ\_Finland\_Uniform\_Coordinate\_System
- International\_1924\_Transverse\_Mercator
- User\_Defined\_Transverse\_Mercator

Se, että koordinaattijärjestelmän nimet olivat erilaisia kuin Esrin määrittämät järjestelmät ei vielä tarkoita, sitä ettei koordinaattimuunnoksia voi Aineisto koodauksella ja tallentamisella on oma merkityksensä.



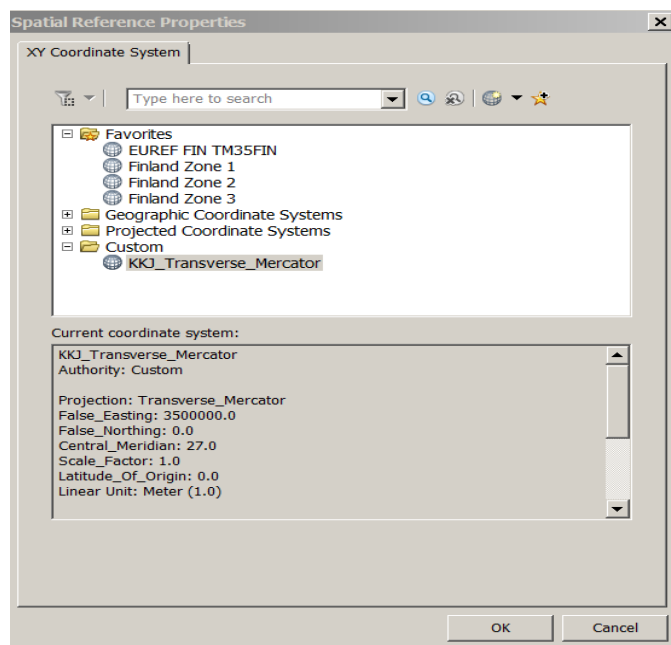
Kuvio 25. Aineistoluettelo lyhyessä muodossa

Aloitin työn valitsemalla kaikki rasteritiedostot, joilla oli listassa mainittujen koordinaattijärjestelmän nimi. Seuraavaksi muunsin näitä tiedostoja Esrin määrittelemiini koordinaattijärjestelmiin. Tarkkailun kohteena oli erityisesti Esrin formaatit. Kuviossa 27 (sivu 62) on esimerkkinä valitsemani tiedosto, joka

on rasteritiedosto, nimeltään highflymag\_s-tiedosto. Kuviossa näkyvät esim. seuraavat tiedot, koordinaatit, formaatti on ESRI Grid, koordinaattijärjestelmä KKJ\_Transverse\_Mercator ja Datumi on D\_KKJ.

Koordinaattijärjestelmän muuntamisen tein edit-komennolla (kuvio 27, sivu 62) joka vaihtaa koordinaattijärjestelmän. Muunnos voi onnistua tai ei, tässä tapauksessa koordinaatit olivat samoja vaikka niillä oli erilainen nimi. Ennen kuin muunnoksen voi tehdä, pitää tietää mikä koordinaattijärjestelmä on kyseessä. Koordinaattijärjestelmän voi tarkistaa koordinaateista.

Edit-komennon jälkeen ArcMap tarjoaa listan koordinaattijärjestelmistä (kuvio 26) Tässä tapauksessa valitsin Finland Zone 3-järjestelmän, koska koordinaatit ovat 3 kaistassa. Toiminto hyväksytään valitsemalla OK. Kuviossa 27 koordinaattijärjestelmä on muuttunut KKJ\_Transvers\_Mercator-järjestelmästä Finland Zone 3-järjestelmään. Tässä muunnos onnistuu koska parametrit ovat samat ja kyseessä on sama koordinaattijärjestelmä, nimestä huolimatta. Silloin kun muunnos ei onnistu tulee virheilmoitus (kuvio 18, sivu 51).



Kuvio 26 Koordinaattijärjestelmät

Raster Dataset Properties

General | Key Metadata

Property	Value	
Cell Size (X, Y)	1000, 1000	
Uncompressed Size	1.38 MB	
Format	GRID	
Source Type	Generic	Switch to ▾
Pixel Type	unsigned integer	
Pixel Depth	8 Bit	
NoData Value	255	Edit...
Colormap	absent	
Pyramids	absent	Build...
Compression	RLE	
Mensuration Capabilities	Basic	
<b>Extent</b>		
Top	7313500	
Left	3061500	
Right	3542500	
Bottom	6562500	
<b>Spatial Reference</b>	KKJ_Transverse_Mercator	Edit...
Linear Unit	Meter (1.000000)	
Angular Unit	Degree (0.0174532925199433)	

OK Cancel Apply

Raster Dataset Properties

General | Key Metadata

Property	Value	
Bottom	6562500	
<b>Spatial Reference</b>	KKJ_Transverse_Mercator	Edit...
Linear Unit	Meter (1.000000)	
Angular Unit	Degree (0.0174532925199433)	
False_Easting	3500000	
False_Northing	0	
Central_Meridian	27	
Scale_Factor	1	
Latitude_Of_Origin	0	
Datum	D_KKJ	
<b>Statistics</b>		Options ▾
highflymag_s		
Build Parameters	skipped columns:1, rows:1, ignored value(s):	
Min	0	
Max	254	
Mean	169.9882734844863	
Std dev.	43.12640752754929	
Classes	0	
<b>Geodata Transform</b>		View...

OK Cancel Apply

Kuvio 27. Highflymag\_s-aineiston parametrit

### 7.3 Tuloksien käsittely

Testillä on pyritty määrittelemään järjestelmät vastaamaan ESRI:n koordinaattijärjestelmien formaattia. Taulukossa 4 on esitetty geodata-aineiston käyttämät Esrin formaatit ja koordinaattijärjestelmät. Jokaiselle formaatille on merkitty koordinaattijärjestelmän nimi, datumi ja muunnoksen onnistuminen. Muunnokset onnistuvat viidellä eri formaatilla, joita ovat ER Mapper/ers-, ERDAS/img-, IMAGINE/img-, ESRI Grid- ja Geotiff-formaatti

Taulukko 4. GTK:n aineiston formaattimuodot ja yhteensopivuus ESRI:n formaatteihin

FORMAT	SPATIAL REFERENCE		DATUM	ESRI:n	MUUNNOKSEN
				JÄRJESTELMÄT	ONNISTUMINEN
ER MAPPER /ECW	TMFIN1		D_FINKKJ	Finland Zone 1	Muunnos ei onnistu
ER MAPPER /ECW	TMFIN3		D_FINKKJ	Finland Zone 3	Muunnos ei onnistu
ER MAPPER /ERS	Undefined				Muunnos ei onnistu
ER MAPPER /ERS	TMFIN3		D_FINKKJ	Finland Zone 3	Muunnos ei onnistu
ER MAPPER /ERS	ETRS89_ETRS_TM35FIN		D_ETRS_1989	EUREF FIN TM35FIN	Muunnos onnistuu
ER MAPPER /ERS	TMFIN4		D_FINKKJ	Finland Zone 4	Muunnos ei onnistu
ER MAPPER /ERS	TMFIN1		D_FINKKJ	Finland Zone 1	Muunnos ei onnistu
ERDAS /IMG	International_1924_Transverse_Mercator		D_International_1924	EUREF FIN TM35FIN	Muunnos onnistuu
IMAGINE/ IMG	User_Defined_Transverse_Mercator		D_User_Defined	EUREF FIN TM35FIN	Muunnos onnistuu
IMAGINE/IMG	KKJ_Transverse_Mercator		D_KKJ	EUREF FIN TM35FIN	Muunnos onnistuu
IMAGINE/IMG	ETRS_1989_UTM_ZONE_35N		D_ETRS_1989	EUREF FIN TM35FIN	Muunnos onnistuu
ESRI /Grid	KKJ_Transverse_Mercator		D_KKJ	Finland Zone 3	Muunnos onnistuu
GEOTIFF	KKJ_Finland_Uniform_Coordinate_System		D_KKJ	Finland Zone 3	Muunnos onnistuu
GEOTIFF	Undefined				Muunnos ei onnistu
PNG	Undefined				Muunnos ei onnistu

Niissä formaateissa, joissa muunnos ei onnistu on parametreissa eroavaisuuksia, kuten keskimeridiaani on desimaaliluku tai aineistolle ei ole tietoja koordinaateista. Taulukossa 5 on esitetty eroavaisuudet.

Taulukko 5. GTK:n aineiston formattien eroavaisuudet ESRI:n formaatteihin

FORMAT	COORDINAATTIJÄRJESTELMÄ	KESKIMERIDIAANI	COORDINAATIT
ER MAPPER/ECW	TMFIN1	20.99999754093336	
ER MAPPER/ERS			
ER MAPPER/ ECW	TMFIN3	27.00000011238744	
ER MAPPER/ERS			
ER MAPPER/ERS	TMFIN4	29.99999566853653	
GEOTIFF	Undefined		Ei
PNG	Undefined		Ei

Testin tuloksena tietyt formaatit sopivat yhteen ESRI:n formaattien kanssa ja koordinaattijärjestelmän määrittely onnistui. Niiden formaattien kohdalla, joilla määrittely ei onnistunut, syytä voi vain arvailla. Minun mielestä yhdeksi syyksi muodostuivat taulukossa 5 olevat eroavaisuudet kuten keskimeridiaanin desimaaliluku tai koordinaattijärjestelmän nimi, mitään varmaa en voi sanoa syistä.



## 8 POHDINTA

Vastaanottohetkellä aihe tuntui helpolta ja selkeältä. Saadessani aineiston käsiteltäväksi, muuttui käsityskin aiheesta. Aluksi olin epävarma mitä piti tutkia ja miten, koska aineisto oli minulle vierasta ja sitä oli paljon. En aluksi tiennyt mikä oli työn tavoitteena. Lopulta useiden keskustelujen jälkeen, löysimme yhteisen ”kielen” geologien kanssa. Puhuimme samasta asiasta eri sanoin.

Tavoitteena oli määritellä Geologisen tutkimuskeskuksen koordinaattijärjestelmien yhteensopivuutta Ersin järjestelmiin ja formaatteihin. Tavoite saavutettiin, mutta lopputuloksesta ei voi sanoa mitään, mitkä olivat syyt tiettyjen koordinaattijärjestelmien ja formaattien muunnosten epäonnistumiseen. Minulla ei ollut mahdollista tutkia alkuperäisiä aineistoja ja vertailla niitä käyttämiini tallennettuihin aineistoihin. Virheet ovat voineet muodostua milloin vain, mittauksissa, koodauksessa, koordinaattimuunnoksissa tai tallennuksessa. Tämä opinnäytetyö osoitti kuitenkin sen, kuinka tarkkana täytyy olla koordinaattimuunnosten kanssa.

Tässä työssä opin paljon tiedostoformaateista, tiedän että näistä tiedoista on minulle hyötyä jatkossakin. Toivon, että tämän tutkimuksen tekeminen hyödyntää Geologian tutkimuskeskusta jatkossa, koska tutkimus osoitti koordinaattijärjestelmien epäkohdat. Jatkotutkimus olisi varmaan paikallaan. Eettisestä näkökulmasta ei voida osoittaa ketään sormella, virheiden sattuessa.

Koordinaatteihin liittyvä teoria ja käytäntö kohtasivat tässä työssä. Ilman teoria osaamista ei ymmärrä myöskään käytäntöä. Monilla koordinaattijärjestelmien käyttäjillä on luultavasti sellainen käsitys, että paikkatieto-ohjelmilla muuntaessa koordinaattijärjestelmiä, ne muuttuvat automaattisesti oikein. Tämähän ei pidä paikkansa, koska järjestelmiä on useita, ilman niihin perehtymistä virheitä sattuu.

## LÄHTEET

Antikainen, H. & Kortsalo, P. 2012. Johdatus ArcGIS 10-ohjelmiston käyttöön. Maantieteellisen laitoksen opetusmoniste 42. Oulun yliopisto. Viitattu 20.5.2016

[https://noppa oulu.fi/noppa/kurssi/790101p/materiaali/790101P\\_johdatus\\_arcgis\\_10-ohjelmiston\\_kayttoon.pdf](https://noppa oulu.fi/noppa/kurssi/790101p/materiaali/790101P_johdatus_arcgis_10-ohjelmiston_kayttoon.pdf).

Bilker-Koivula, M. & Ollikainen, M. 2009. Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa. Tiedote 29. Geodeettinen laitos. Viitattu 22.5.2016

<http://www.fgi.fi/fgi/sites/default/files/publications/gltiedote/GLtiedote29.pdf>.

Burroughs P & McDonell R. 1998. Principles information Systems. Oxford University Press. Inc. New York. Viitattu 26.5.2016

[http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/bibliografia/capitulo-IV/Burrough%20Peter%20A%20y%20McDonnell%20Rachael%20A%20\(1998\)%20Principles%20of%20geographical%20information%20systems.pdf](http://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/bibliografia/capitulo-IV/Burrough%20Peter%20A%20y%20McDonnell%20Rachael%20A%20(1998)%20Principles%20of%20geographical%20information%20systems.pdf).

Esri 2016. List of supported raster and imaginen data formats. Viitattu 20.4.2016 <http://www.esri.com/ArcMap>.

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/list-of-supported-raster-and-image-formats.htm>.

Futuri. 2016. Basic Definitions and Concepts. Viitattu 13.5.2016 [www progonos.com/futuri](http://www.progonos.com/futuri).

<http://www.progonos.com/furuti/MapProj/Normal/CartDef/MapDef/s>.

Geologinen tutkimuskeskus. 2016. GTK lyhyesti. Viitattu 26.5.2016

<http://www.gtk.fi/gtk/>.

Häkli, P., Puupponen, J., Koivula, H. & Poutanen, M. 2009. Suomen geodeettiset koordinaatit ja niiden väliset muunnokset. Tiedote 30. Geodeettinen laitos. Viitattu 20.6.2016

<http://www.fgi.fi/fgi/sites/default/files/publications/gltiedote/GLtiedote30.pdf>.

Itä-Suomen yliopisto. 2015. Viitattu 14.6.2016

<https://wiki.uef.fi/display/opkmateriaalit/Pikseli>.

JHS 153 2008a. ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. Viitattu 8.4.2016 <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS153/JHS153.pdf>.

JHS 154 2008b. ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako. Viitattu 10.4.2016 <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154.pdf>.

JHS 163 2008c. Suomen korkeusjärjestelmä N2000. Viitattu 12.4.2016  
[http://www.jhs-suositukset.fi/c/document\\_library/get\\_file?folderId=37145&name=DLFE-902.pdf](http://www.jhs-suositukset.fi/c/document_library/get_file?folderId=37145&name=DLFE-902.pdf).

JHS 180 2013. Paikkatiedon sisältöpalvelut. viitattu 9.5.2016 <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS180/JHS180.pdf>.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uusittu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Viitattu 1.3.2016  
<http://www.ramk.fi/loader.aspx?id=7fe99c68-3849-4fa8-a563-9327cf51ea79>.

Library of congress 2015. Sustainability of Digital Formats Planning for Library of Congress Collections. Viitattu 15.5.2016  
<http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/descriptions.shtml>.

Löytönen, M., Toivonen T & Kankaanrinta I. 2003. GLOBUS GIS. WS Bookwell Oy, Porvoo.

Maanmittauslaitos 2016a. Määritelmiä. Viitattu 2.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaattikorkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/3d-koordinaatistot/maaritelmia>.

Maanmittauslaitos 2016b. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Viitattu 4.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaattikorkeusjarjestelmat>.

Maanmittauslaitos 2016c. Satelliittimittaus eli GPS-mittaus. Viitattu 8.4.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaattikorkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/satelliittimittaus-eli-gps-mittaus>.

Maanmittauslaitos 2016d. Suorakulmaiset ja maantieteelliset koordinaatistot. Viitattu 4.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaattikorkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/3d-koordinaatistot/suorakulmaiset>.

Maanmittauslaitos 2016e. UTM. Viitattu 12.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaattikorkeusjarjestelmat/karttaprojektiot-tasokoordinaatistot/tasokoordinaatistot/etrs-0>.

Maanmittauslaitos 2016f. Karttaprojektityypit. 15.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaattikorkeusjarjestelmat/karttaprojektiot/karttaprojektityypit>.

Maanmittauslaitos 2016g. ITRS-koordinaattijärjestelmä. Viitattu 20.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti->

korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/3d-koordinaatistot/itrs-koordinaattijarjestelma.

Maanmittauslaitos 2016h. Ellipsoidi ja Geoidi. Viitattu 201.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/3d-koordinaatistot/ellipsoidi-geoidi>.

Maanmittauslaitos 2016i. N2000korkeusjärjestelmä. Viitattu 26.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/n2000-korkeusjarjestelma>.

Maanmittauslaitos. 2016j. Koordinaatit. Viitattu 26.3.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/taxonomy/term/222>.

Maanmittauslaitos. 2016k. KKJ. Viitattu 1.4.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/karttaprojektiot-tasokoordinaatistot/tasokoordinaatistot/vanhat-2>.

Maanmittauslaitos 2016l. ETRS (EUREF-FIN). Viitattu 5.4.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin>.

Maanmittauslaitos 2016m. Muunnokset. Viitattu 20.4.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/muunnokset>.

Maanmittauslaitos 2016n. Helmert-muunnos. Viitattu 21.4.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/muunnokset/helmert-muunnos>.

Maanmittauslaitos 2016o. Koordinaattimuunnospalvelu. Viitattu 6.7.2016  
<http://coordtrans.fgi.fi/>.

Maanmittauslaitos 2016p. Gauss-Krüger. Viitattu 25.4.2016  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/karttaprojektiot-tasokoordinaatistot/tasokoordinaatistot/vanhat-1>.

Nevalainen, S. 2001. Vektorikarttojen hyödyntäminen paikkatietosovelluksissa. Joensuun yliopisto. Tietojenkäsittelytiede. Pro gradu-tutkielma.

Poutanen, M. 2006. Koordinaatistot. Viitattu 4.4.2016  
[www.helsinki.fi/~korpela/MINV12/koordinaatit.pdf](http://www.helsinki.fi/~korpela/MINV12/koordinaatit.pdf).

Tenkanen, N. 2015. Johdatus paikkatietoon maisema-arkkitehtiopiskelijoille. Aalto-yliopisto. Taiteiden ja suunnittelun korkeakoulu. Arkkitehtuurin laitos.

Uikkanen, E. 2014. Suomalaiset koordinaatistot. Viitattu 4.4.2016  
<http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/geodocs/kkjgps.htm>.

Vermeer, M. & Rasila, A. 2014. Maailman kartta, Johdatus matemaattiseen geodesiaan. Vammalan kirjapaino.

Vuorimaa, P. 2016. Viitattu 10.5.2016  
[http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-111.350/2005/Kalvot/Siirtoformaatit\\_6.pdf](http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-111.350/2005/Kalvot/Siirtoformaatit_6.pdf).