



KOORDINAATTI- JA KORKEUS- JÄRJESTELMÄT

Infrasuunnittelijan opas

Petra Brunnila

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

BRUNNILA, PETRA:
Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät
Infrasuunnittelijan opas

Opinnäytetyö 59 sivua, josta liitteitä 15 sivua
Huhtikuu 2012

Tämä opinnäytetyö tehtiin VR Track Oy:lle sekä Liikennevirastolle, ja tarkoituksena oli kirjoittaa uusille suunnittelijoille kohdistettava opas koordinaatti- ja korkeusjärjestelmistä. Tarve oppaalle havaittiin, kun ymmärrettiin järjestelmiin liittyvän opetuksen jäävän oppilaitoksissa hyvin vähäiseksi.

Opasta kirjoitettaessa käytettiin lähteinä useita alaan liittyviä julkaisuja ja oppikirjoja. Tietoa kerättiin myös Euroopan Unionin direktiivistä, Suomen laeista ja haastatteleamalla alan ammattilaisia. Aiheeseen liittyviä kirjallisia lähteitä löytyi kohtuullisesti, mutta ongelmaksi muodostui asiakokonaisuuksien pilkkoutuminen ja samoista asioista eri nimillä kertominen. Tähän työhön kerättiin koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiin liittyvät tiedonpalaset yhdeksi kokonaisuudeksi. Asiat pyrittiin kertomaan selkeästi, jotta lukijalle syntyisi jonkinlainen ymmärrys monimutkaisesta ja loputtomasti laajenevasta asiakentästä.

Tämän opinnäytetyön pohjalta uusi suunnittelija voi ymmärtää koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien pääperiaatteet ja järjestelmien kanssa työskentelemisessä vaadittavan tarkkuuden. Työ ei opeta lukijalle tarkkaa tietämystä ja syvällistä matematiikkaa vaativien koordinaattimuunnosten tekoa, mutta saattaa lukijan riittävälle asiantuntemuksen tasolle, jotta tietämättömyydestä aiheutuvat suunnitteluvirheet voitaisiin välttää.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil engineering

BRUNNILA, PETRA:
Coordinate and Height Systems
Guide Book for New Civil Engineers

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 15 pages
April 2012

This thesis was written for VR Track Oy and the Finnish Transport Agency (Liikennevirasto) with the purpose of compiling a guide book on coordinate and height systems for new civil engineers. A need for such a guide book was discovered when the teaching on these systems was found to be insufficient.

The guide book uses a number of publications and textbooks as sources. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council, the Finnish legislation, and interviews with professionals in this field also provided information. A fair number of literary sources were therefore available. However, the fragmentation of the field and referring to same things by a different name proved to be a problem. This thesis provides a comprehensive account of all the pieces of information regarding coordinate and height systems. Its aim was to be as clear as possible in order to help the reader to better understand this complex and expanding issue.

With the help of this thesis, a new engineer will be able to understand the basic principles of coordinate and height systems and the conscientious manner required when working with them. It does not teach making coordinate transformations that require thorough knowledge and complex mathematics. Nevertheless, it does give the reader sufficient expertise to avoid flaws resulting from ignorance in the matter.

Key words: coordinate system, height system, civil engineering

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SUUNNITTELUN LÄHTÖAINEISTO	9
2.1	Tietojen alkuperä ja hankintatapa	9
2.2	Metatieto	9
2.3	Mittausperusta ja sen käytettävyys	10
2.4	Tarkkuus	11
2.4.1	Toleranssit	11
2.4.2	Kiintopisteluokitus	12
2.4.3	Aineiston ikä	13
2.4.4	Kartat ja kuvat	14
3	KOORDINAATISTOT JA KOORDINAATIT	15
3.1	Kolmiulotteinen koordinaatisto	15
3.2	Tasokoordinaatisto.....	16
3.3	Työmaiden omat erilliskoordinaatistot	17
4	KARTTAPROJEKTIO	18
4.1	Projisointi.....	18
4.2	Mercator.....	20
4.3	Gauss-Krüger	21
4.4	UTM ja TM35FIN	22
5	KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT	24
5.1	Järjestelmien uusiutuminen ja Inspire-direktiivi.....	24
5.2	ETRS89.....	25
5.2.1	European Terrestrial Reference System 1989.....	25
5.2.2	ETRS-TM35FIN	26
5.2.3	ETRS-GKn.....	27
5.3	KKJ	27
5.4	VVJ	28
6	KORKEUSJÄRJESTELMÄT.....	30
6.1	Järjestelmien uusiutuminen.....	30
6.2	N2000.....	30
6.3	N60.....	31
6.4	N43.....	31
6.5	NN.....	31
7	KARTTALEHTIJAKO	32
8	ONGELMAT.....	33
9	MENETTELYTAPOJA	36

9.1	Ennakkosuunnittelu	36
9.2	Koordinaattimuunnokset.....	37
9.2.1	Koordinaattikonversio.....	37
9.2.2	Koordinaattimuunnos ja muunnosparametrit.....	37
9.2.3	Helmert-muunnos.....	39
9.2.4	Affiininen muunnos	40
9.3	Korkeusjärjestelmämuunnos.....	42
10	PÄÄTELMÄT.....	43
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	45
Liite 1	Malli mittaus suunnitelman sisällysluettelosta	
Liite 2	Malli mittausraportista	
Liite 3	Sallitut keskivirheet ja mittausmenetelmät	
Liite 4	Inspire-direktiivin mukaiset paikkatietoryhmät	
Liite 5	N2000 ja N60-korkeusjärjestelmien erot kartalla	
Liite 6	Karttalehti jaon ja tunnusjärjestelmän periaate	

LYHENTEET JA TERMIT

ellipsoidi	Ks. vertausellipsoidi.
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989. Kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä, joka on sidottu Euraasian mannerlaatan deformatumattomaan osaan. Pohjana Euroopan Unionin jäsenmaiden yhteiselle paikkatietojärjestelmälle.
geoidi	Maan painovoimakentän potentiaalinen tasa-arvopinta, joka parhaiten yhtyy valtamerien keskivedenpintaan.
karttaprojektio	Menetelmä, jolla maapallon kolmiulotteinen muoto kuvataan tasolle. Pallon muoto voidaan projisoida suoraan tasolle tai esimerkiksi lieriön tai kartion pinnalle, joka levitetään tasoksi. Valitun menetelmän mukaan puhutaan taso-, lieriö- tai kartioprojektioista.
kolmiopiste	Kiintopiste, jolle on määritetty sekä koordinaatit X ja Y että korkeus.
koordinaatisto	Koordinaattiakselien muodostama mitta-akselisto. Koordinaatisto voi olla esimerkiksi suorakulmainen koordinaatisto, geodeettinen koordinaatisto tai tasokoordinaatisto.
koordinaattijärjestelmä	Järjestelmä, joka tarvitaan koordinaatiston määrittämiseksi, sijoittamiseksi ja orientoimiseksi. Määrittelee esimerkiksi origon sijainnin ja koordinaattiakselien suunnat.
korkeusjärjestelmä	Määrittelee korkeuden nollatason eli vertauspinnan ja se realisoidaan maastoon mitattujen korkeuskiintopisteiden avulla.
käyttöpiste	Mittausperustan alemman luokan yhdistetty kiintopiste eli sille on määritetty sijainti tasossa sekä korkeusasema.
meridiaani	Pituuspiiri eli longitudi. Sen avulla määritellään sijainti maapallolla itä-länsi-suunnassa.
ortokuva	Koordinaatistoon oikaistu digitaalimuodossa oleva ilmakekuva.
peruspiste	Mittausperustan ylemmän luokan yhdistetty kiintopiste.
ppm	Parts per million eli miljoonasosa. 1:1 000 000. Esimerkiksi 1 ppm on yhden kilometrin matkalla 1 mm.
vertausellipsoidi	Maan matemaattinen malli, jonka suhteen kohteen sijainti ilmoitetaan geodeettisessa koordinaatistossa.

1 JOHDANTO

Suomen kartta-aineistossa käytetyt koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät ovat ajan kuluessa uusiutuneet moneen kertaan mittausmenetelmien tarkentuessa. Suomen ensimmäinen valtakunnallinen koordinaattijärjestelmä VVJ on virallisesti poistunut käytöstä jo vuosia sitten ja lisäksi monissa Suomen kaupungeissa on ollut ja on edelleen käytössä omia koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä. VVJ:n korvannut ja jo usean vuoden ajan yleisimpänä koordinaattijärjestelmänä käytetty KKJ on nyt vuorostaan jäämässä pois. 1989 luodun yleiseurooppalaisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän tasokoordinaatit ETRS-TM35FIN ja ETRS-GKn korvaavat sen. Painettua kartta-aineistoa on ollut saatavissa ETRS89-koordinaattijärjestelmässä jo vuodesta 2006 alkaen ja Maanmittauslaitos siirtyi siihen helmikuussa 2010. Kartastokoordinaattijärjestelmän poistumisessa on siirtymäaikaa vuoden 2012 loppuun, minkä jälkeen kartta-aineistoa on saatavilla enää vain ETRS89-järjestelmässä. Koordinaattijärjestelmän uusiutumisen yhteydessä myös käytössä oleva N60-korkeusjärjestelmä vaihtuu N2000-järjestelmäksi. (Tietoa maasta, 8-10)

Infra-alan rakennuskohteiden suunnittelussa käytetään usein monia eri karttapohjia. Lisäksi kohteista tehdään tarkentavia kartoituksia eikä aina ole takeita siitä, että kaikki lähtöaineisto olisi samassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä. Lähtöaineistojen järjestelmien kirjavuus voi aiheuttaa merkittäviä virheitä, mikäli suunnittelija ei havaitse eroa tai ei osaa toimia oikein.

Tämän työn tarkoituksena on toimia oppaana erityisesti uusille suunnittelijoille, joille koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien ominaisuudet voivat olla vieraita. Työ tutustuttaa lukijan uusimpiin ja valtakunnallisiin koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiin, eri järjestelmissä olevien aineistojen samanaikaisesta käyttämisestä aiheutuviin ongelmiin suunnitteluprojektissa ja oikeisiin toimintatapoihin. Työn tarkoitus ei ole kuitenkaan opettaa lukijaa tekemään koordinaatti- ja korkeusmuunnoksia vaan saada lukija tunnistamaan tilanteet, joissa muunnoksia tarvitaan. Kaupunkien omia koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä käydään läpi vain esimerkeissä, koska kaikkien kaupunkien järjestelmät ovat erilaisia eikä tässä työssä ole tarkoituksen mukaista perehtyä moniin vain pienillä alueilla toimiviin järjestelmiin.

Työn tarkoituksesta johtuen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä tarkastellaan suunnittelijan näkökulmasta ja mittaustöissä käytettävät menetelmät ja laitteet jätetään käsittelyn ulkopuolelle ja järjestelmiä tarkastellaan suunnittelutyötä vastaavalla yleisellä tasolla. Järjestelmien taustalla olevaa teoriaa ja koordinaattijärjestelmiin sidoksissa olevien karttojen lehtijakoa käsitellään vain lyhyesti.

2 SUUNNITTELUN LÄHTÖAINEISTO

2.1 Tietojen alkuperä ja hankintatapa

Hankkeen suunnittelun alkuvaiheessa suunnittelija saa lähtöaineistoa monesta eri lähteestä. Erityisesti suunnittelutyötä varten tilatun mittausaineiston lisäksi suunnittelija saa usein valmista aineistoa kunnilta, kuten digitaalisessa muodossa olevan maastomallin, ja valitettavan usein aineisto toimitetaan ilman tai ainakin vajaalla metatiedolla varustettuna. Valmis aineisto saattaa sisältää tiedon käytetystä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmästä, mutta ei tietoa aineiston tuottamisessa käytetystä laitteistosta kuten takymetristä tai GPS-laitteista. Aineiston toimittajalta kyselemällä asiaan voi löytyä selvyys, mutta toisinaan suunnittelija saattaa jäädä ilman minkäänlaista varmistusta aineiston todellisesta alkuperästä ja todenmukaisuudesta. Tällaisissa tilanteissa suunnittelijan tulee suhtautua aineistoon kriittisesti ja pyrkiä välttämään ylimääräisiä oletuksia. (Jaakkola & Järvinen 2012)

Ennen suunnittelutyön aloittamista mittausryhmä tarkistaa suunnittelualueen mittausperustan ja täydentää sitä tarpeen mukaan sekä tekee tarvittavat kartoitukset. Perusmittaus työ tehdään usein GPS-, takymetri- tai vaatusmittauksena tai niitä yhdistelemällä. Niiden lisäksi on nykyään käytössä laserkeilaus, joka voidaan suorittaa lentokoneesta, helikopterista tai ajoneuvosta. Laserkeilauksen tuottama kolmiulotteinen aineisto täytyy kuitenkin asemoida eli sitoa johonkin koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään, jotta se saadaan oikeaan asemaan muuhun kartoitettuun aineistoon nähden. Koska mittausaineistoa saatetaan tuottaa eri laitteilla, ajankohtina ja mittausryhmillä ja aineistoa voidaan tarvita vielä pitkän ajan päästä, tulee mittausaineiston mukana toimittaa mittausraportti, joka sisältää suunnittelijalle tärkeää metatietoa. (Jaakkola & Järvinen 2012)

2.2 Metatieto

Lyhyesti sanottuna metatieto on tietoa kuvailevaa tietoa. Suunnittelutyön lähtöaineistona toimivien kartta- ja mittausaineistojen mukana tulisi toimittaa metatiedot, joista selviää muun muassa käytetty koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä ja käytetyt mittauslait-

teet. Suunnittelijalle tulee toimittaa mittausaineiston yhteydessä mittausraportti, josta tulee ilmetä ainakin

- milloin ja millä kalustolla mittaus on tehty, mikä kertoo mittausaineiston tarkkuudesta
- käytetty koordinaattijärjestelmä
- käytetty korkeusjärjestelmä
- vastuhenkilöt
- aluerajaus
- käytetyt lähtöpisteet
- mitatut pisteet. (Jaakkola & Järvinen 2012) (Mittausohje 2011, 12)

Lähtöaineistona käytettävät aineistot voivat olla eri koordinaatti- ja korkeusjärjestelmissä, mutta ne voidaan järjestelmien välisten muunnosten avulla saattaa toisiinsa nähdessä oikeaan asemaan. Tämän takia on tärkeää, että suunnittelija saa aineistojen metatiedot ja tiedonkulkua mittaustyöntekijän ja suunnittelijan välillä varmistetaan mittausraportilla. Mittausraportin avulla suunnittelija voi myös tarkistaa toimitetaanko hänelle sellaiset tiedot kuin on tilattu. Suunnittelijalla on oikeus saada ja velvollisuus pyytää kaikki tarvitsemansa tiedot mittauksista. Liitteessä 2 on yksi malli mittausraportin pohjasta. Mittausraportin ulkonäkö voi vaihdella riippuen tekijästä. (Jaakkola & Järvinen 2012)

2.3 Mittausperusta ja sen käytettävyys

Mittausperustalla tarkoitetaan suunnittelualueella olevia tai sinne rakennettavia kiintopisteitä, joille on määritetty taso- ja korkeuskoordinaatit. Mittausperustan avulla alueella tehdyt maastomittaukset sidotaan valtakunnalliseen, kunnalliseen tai muuhun ympäristössä käytettävään koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. Mittausperustaa tehtäessä tulee sen lähtöpisteinä käyttää vähintään neljää valtakunnallista I–III luokan kolmiopistettä, jotka sijaitsevat korkeintaan 20 km päässä suunnittelualueesta. (Mittausohje 2011, 7, 9)

Mittausperustaa muodostettaessa siitä tehdään hierarkkisesti kaksitasoinen. Ylemmän tason peruspisteitä sijoitetaan 1–1,5 km välein pareittain siten, että pisteparin pisteet sijaitsevat 300–500 m päässä toisistaan ja niiden välillä on näköyhteys. Alemman tason käyttöpisteitä sijoitetaan peruspisteparien välille 200–400 m välein siten, että vierek-

käisten käyttöpisteiden välillä on näköyhteys. Pisteiden taso vaikuttaa myös niiden tarkkuusvaatimukseen, joka määritellään suhteellisena tarkkuutena. Taulukosta 1 näkee pisteiden tarkkuusvaatimukset. Pisteiden sijoittelussa tulee huomioida, että tiekohteissa pisteitä ei pääsääntöisesti saa rakentaa tien pinnoille tai sisäluiskaan. Ratakohteissa käyttöpisteitä saa tarpeen vaatiessa rakentaa ratapenkereelle. Pisteet tulisi rakentaa myös mahdollisimman liikkumattomalle alustalle, jossa niiden säilyvyys ja käytettävyys ovat mahdollisimman hyvät, kuten kallioon, suureen maakiveen tai muuhun kiinteästi paikallaan pysyvään kohteeseen. (Mittausohje 2011, 10–11) (RATO 2 2010, 63)

Taulukko 1 Mittausperustan pisteiden tarkkuusvaatimukset (Mittausohje 2011, 10)

Taso	Tarkkuus (parts per million)
Peruspiste	10 ppm
Käyttöpiste	20 ppm
Apupiste, tukipiste	30 ppm
Korkeus	
Peruspiste	10 ppm
Käyttöpiste	10 ppm

Suoritettavaa mittaustyötä varten tehtävää mittaussuunnitelmaa tehtäessä täytyy suunnittelijan osata määritellä mitä tulee mitata ja millä toleransseilla. Liitteessä 1 on esimerkki mittaussuunnitelman sisällysluettelosta. Suunnittelijalta saamiensa vaatimusten perusteella mittajaan tulee selvittää mahdollisesti olemassa olevan mittausperustan kunto ja sen pohjalta saatava tarkkuus. Mikäli suunnittelualueella ei ole mittausperustaa ennestään tai se ei ole riittävä, on mittajaan rakennettava uusi mittausperusta hyväksyttävillä tarkkuuksilla. (Jaakkola & Järvinen 2012)

2.4 Tarkkuus

2.4.1 Toleranssit

Etäisyysmittausten ja sijainnin tarkkuusvaatimukset vaihtelevat riippuen määritettävästä kohteesta ja tarkkuuden määrittelytavasta. Esimerkiksi merkittäessä ratalinjan sijaintia maastoon ympäristön suhteen absoluuttisella tarkkuudella, sijainti määritetään ympäris-

tössä olevassa koordinaattijärjestelmässä tarkasti välittämättä linjan aikaisempien pisteiden sijainnista. Absoluuttisen tarkalla sijoittelulla ratalinjasta saattaa kuitenkin tulla junan pehmeän kulkemisen kannalta hankala, kun linjalle voi tulla teräviä kohtia. Tämän takia esimerkiksi ratalinjan sijainnin tarkkuus määritetään useimmiten suhteellisenä tarkkuutena eli suunnittelualueen pisteet ovat toisiinsa nähden sisäisesti tarkkoja. Näin määritetyllä tarkkuudella ratalinjasta saadaan jouheva ja junan etenemisestä sulavaa. Suhteellinen tarkkuus ilmoitetaan ppm-lukuna ja lasketaan pisteen virheen suhteesta viereiseen saman luokan pisteen etäisyyteen. (Jaakkola & Järvinen 2012) (Mittausohje 2011, 10)

Lähtökohtana mittausten ja suunnittelun tarkkuudelle on, että suunnittelija tietää mitä ja miten hän haluaa mitattavan ja mittaaja tietää miten tuottaa haluttu mittausaineisto. Karoitettava kohde vaikuttaa mittauksen toleransseihin ja sen kautta myös mittausmenetelmään. Esimerkiksi peruspisteen sijainnin keskivirhe saa olla sekä tasossa että korkeudessa vain 10 ppm ja, jotta riittävä tarkkuus voidaan saavuttaa, se voidaan mitata vain staattisella GPS-mittauksella tai vaaitsemalla. Vertailun vuoksi avokallion rajauksen keskivirhe tasossa saa olla 200 ppm ja korkeudessa 100 ppm, jolloin se voidaan mitata muun muassa laserkeilauksella tai takymetrillä. Sallitut keskivirheet ja käytettävät mittausmenetelmät on lueteltuna Liikenneviraston Tie- ja ratakankkeiden maastotiedot -mittausohjeen liitteessä 1, joka löytyy myös tämän työn liitteestä 3. (Jaakkola & Järvinen 2012) (Mittausohje 2011, liite 1)

2.4.2 Kiintopistelukuokitus

Kiintopisteet voidaan jakaa tasokiintopisteisiin, korkeuskiintopisteisiin ja yhdistettyihin taso- ja korkeuskiintopisteisiin. Mittausperustan perus- ja käyttöpisteet ovat yhdistettyjä taso- ja korkeuskiintopisteitä eli samalle pisteelle on määritetty sijainti tasossa sekä korkeusasema. Kiintopisteiden luokitus on laskeva eli esimerkiksi tasokiintopisteissä tarkimmat pisteet ovat I luokkaa ja heikoimmat pisteet VI luokkaa. Ylemmän luokan pisteiden perusteella on määritetty pistetihennyksinä alemman luokan pisteitä. (Jaakkola & Järvinen 2012) (Mittausohje 2011, 10)

Tasokiintopisteiden tarkimmat I–III luokan kiintopisteet ovat joko valtakunnallisia tasokiintopisteitä tai EUREF-FIN -verkon pistetihennyksessä määritettyjä kolmiulotteisia

pisteitä, joille on määritetty suorakulmaiset tai geodeettiset koordinaatit. I–III luokan kiintopisteet toimivat lähtöpisteinä suunnittelualueelle määritettäville peruskiintopisteille. Peruskiintopisteet suositellaan määritettäväksi satelliittimittauksella eli GPS-laitteilla, mutta määrittäminen voidaan suorittaa myös jonomittauksella. Riippuen mittausmenetelmästä, peruskiintopisteet ovat yleensä IV luokan pisteitä, mutta voivat olla myös III luokan pisteitä. Alimpien eli V–VI luokan pisteet ovat käyttökiintopisteitä, jotka toimivat lähtöpisteinä suunnittelualueella tehtäville kartoitus- ja merkintämittauksille. Käyttökiintopisteiden muodostaman käyttökiintopisteverkon tiheys määräytyy tarpeen mukaan ja se liitetään valtakunnalliseen koordinaatistoon peruskiintopisteiden muodostaman perusrunkoverkon kautta. Korkeuskiintopisteiden hierarkialuokitus menee vastaavasti kuin korkeuskiintopisteillä eli luokka riippuu lähtöpisteiden luokasta. (Kaavoitusmittausohje 2003, 8–9)

2.4.3 Aineiston ikä

Väylähankkeissa, joissa on tarkoitus parantaa jo olemassa olevaa tie- tai ratalinjaa, lähtöaineisto sisältää usein vanhaa vaakaa- tai pystygeometriatietoa, jossa linjan sijainti määritetään hyvinkin tarkasti. Ajan myötä väylän todellinen asema on kuitenkin voinut muuttua, joten vanhaan tietoon on syytä suhtautua kriittisesti ja tarkistaa alkuun pistokoemaisilla mittauksilla geometriatiedon paikkansapitävyys. Mikäli linjalla oleva mitta-pisteverkko on huono, esimerkiksi kiintopisteiden häviämisestä johtuen, tai geometriatieto ei ole enää todenmukainen, tulee alueelle tehdä uusi mittausperusta ja sen pohjalta määrittää olemassa oleva geometria. Aineiston ikään tulee myös siinä mielessä suhtautua varauksella, että vanha mittatieto ei voi olla tarkempaa kuin sen aikainen aineisto tai käytettyjen mittalaitteiden tarkkuus. (Jaakkola & Järvinen 2012)

Hyvä esimerkki kahden eri-ikäisen geometriatiedon kohtaamisesta on maantien ja rautatien tasoristeys. Vaikka molemmat linjat olisivat samassa koordinaattijärjestelmässä, tielinja ja sen geometriatieto voi olla useita vuosia vanhempaa kuin rautatie ja sen geometria, joten tasoristeyskoskevilla suunnitelmissa ei voida käyttää sekä tien että rautatien geometriatietoja. Tasoristeysten poistoa suunniteltaessa on tärkeää ulottaa ratalinjan kartoitus risteyksen kohdalla riittävän pitkälle myös tielinjaa pitkin, jotta suunnittelussa käytettävät mittatiedot saadaan kokonaisuudessaan sisäisesti tarkoiksi. Suunniteltava uusi tielinja tulee liittää vanhaan geometriaan riittävän kaukana tasoristeyksestä,

jotta mahdollisesti ilmenevillä pienillä heitoilla ei ole enää käytännössä merkitystä ja ne voidaan tasoittaa tielinjalle. (Jaakkola & Järvinen 2012)

2.4.4 Kartat ja kuvat

Infra-alan suunnitteluhankkeissa lähtöaineisto sisältää usein kartta- ja kuvamateriaalia kuten peruskarttoja, vanhoja suunnitelmakarttoja pdf-tiedostoina ja ortokuvia. Vaikka niistä näkee helposti muun muassa alueella kulkevat tie- ja ratalinjat, ojat ja rakennukset, ei niitä voi käyttää varsinaisena suunnitteluaineistona niiden riittämättömän tarkkuuden ja informaation takia. Peruskarttoja voidaan käyttää pohjana yleiskartalle, jolla pyritään havainnollistamaan esimerkiksi suunniteltavan tielinjan sijaintia suurella mittakaavalla. Muuten peruskarttojen ja kuva-aineistojen arvo on lähinnä suunnittelutyön tukena olemisessa. (Jaakkola & Järvinen 2012)

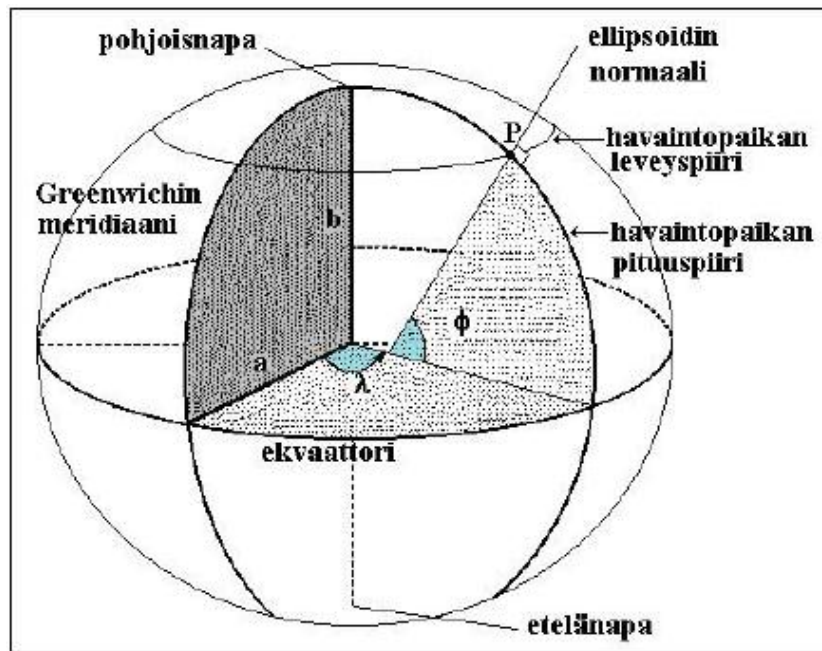
3 KOORDINAATISTOT JA KOORDINAATIT

3.1 Kolmiulotteinen koordinaatisto

Koordinaatistot jaetaan yleisesti kaksiulotteisiin eli tasokoordinaatistoihin (X, Y) ja kolmiulotteisiin koordinaatistoihin (X, Y, Z/h). Kolmiulotteiset koordinaatistot ovat joko suorakulmaisia tai ellipsoidisia. (Vermeer, 10)

Suorakulmainen koordinaatisto on useimmiten geosentrinen, jolloin sen (X, Y, Z) -koordinaatit kertovat kohteen sijainnin maapallon massakeskipisteessä sijaitsevaan origoon nähden. Koordinaattiakselit ovat koordinaatiston nimen mukaisesti kaikki suorassa kulmassa toisiinsa nähden siten, että Z-akseli on pohjois-eteläsuunnassa Maan pyörimisakselilla, X-akseli kulkee Greenwichin meridiaanin ja päiväntasaajan leveyspiirin eli ekvaattorin risteyspisteestä ja Y-akseli asettuu niihin nähden 90°:n kulmaan. Suorakulmaiset koordinaatit toimivat hyvin matemaattisissa toiminnoissa, mutta ne eivät ole perin havainnollistavia. (Vermeer, 10) (Laurila, 130–131)

Ellipsoidisessa koordinaatistossa kohteen sijainti määritellään vertausellipsoidin pinnalle ja koordinaatiston origo sijaitsee Maan matemaattisen mallin eli pyörähdysellipsoidin keskipisteessä. Maantieteellinen koordinaatisto on ellipsoidinen ja siinä sijainti kerrotaan leveyskulman (φ) ja pituuskulman (λ) avulla (kuva 1). Leveyskulma mitataan ekvaattorilta pohjoiseen tai etelään ja pituuskulma Greenwichin nollameridiaanilta itään tai länteen. Maantieteelliset koordinaatit ilmoitetaan kulmamittoina eli asteina ($^{\circ}$), minuutteina ($'$) ja sekunteina ($''$) tai asteina ja minuutteina tai pelkkinä asteina.



Kuva 1. Maantieteellinen koordinaatisto. (Laurila 2010, 129)

Esimerkiksi Tampereen Näsinneulan maantieteelliset koordinaatit EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmässä ovat $61^{\circ}30'18''\text{P}$ ja $23^{\circ}44'36''\text{I}$. Koordinaatin perässä oleva kirjain viittaa leveys- tai pituuskulman suuntaan. P (englannin kielessä N) tarkoittaa pohjoista leveyttä ja vastakohtana E (S) eteläistä leveyttä. I (E) puolestaan tarkoittaa itäistä pituutta ja sen vastakohtana L (W) läntistä pituutta. (JHS 153, 4/11) (Tampereen kaupunki) (Laurila, 128–131)

Geodeettinen koordinaatisto on myös ellipsoidinen, mutta se eroaa maantieteellisestä koordinaatistosta siinä olevalla kolmannella koordinaatilla. Leveys- ja pituuskulmien lisäksi geodeettisessa koordinaatistossa ilmoitetaan kohteen korkeus (h) vertausellipsoidin pinnasta mitattuna. (JHS 153, 3/11)

3.2 Tasokoordinaatisto

Tasokoordinaatistoista tutuin monelle on matemaattinen koordinaatisto, jossa X-akseli on vaakasuunnassa ja Y-akseli pystysuunnassa. Geodeettisessa tasokoordinaatistossa akselit ovat toisin päin eli X-akseli kasvaa kohti pohjoista ja Y-akseli kasvaa kohti itää. Tämä asia voi helposti unohtua henkilöiltä, jotka ovat olleet tekemisissä enemmän matemaattisten kuin geodeettisten asioiden kanssa, ja voi aiheuttaa suunnittelussa virheitä ellei sitä muista huomioida. Onneksi Suomessa kohteiden X- ja Y-koordinaatit eroavat

selkeästi toisistaan, jolloin mahdollisen koordinaattien väärinpäin menemisen huomaa helposti. Esimerkiksi Näsinneulan tasokoordinaatit kartastokoordinaattijärjestelmässä ovat (6821930, 2486510). Vaikka maanmittauksessa ja infra-alan suunnittelutehtävissä käytetään geodeettista tasokoordinaatistoa, täytyy suunnittelijan huomata myös se, että monissa suunnitteluohjelmissa koordinaattiakselit ovat matemaattisen koordinaatiston mukaisessa asennossa. Siitä ei kuinkaan aiheudu ongelmia, koska matemaattiset kaavat toimivat molemmissa koordinaatistoissa samalla tavalla, kunhan muistaa huomioida kumman koordinaatiston akselien kanssa on tekemisissä. (Tampereen kaupunki)

Geodesiassa voidaan (X, Y) -koordinaatiston lisäksi käyttää myös napakoordinaatistoa, jossa kohteen sijainti kuvataan suuntakulman (α) ja etäisyyden (s) avulla. Päinvastoin kuin matematiikassa, suuntakulma mitataan pohjoisakselista (X) myötäpäivään. Napakoordinaattien ja mittauspisteen koordinaattien avulla voidaan suoraa muunnoskaavoja käyttämällä selvittää tuntemattoman kohteen koordinaatit, jolloin puhutaan geodeettisesta päätehtävästä. Suuntakulmia käsiteltäessä täytyy muistaa huomioida käytettävä kulman yksikkö. Matematiikassa yksikkö on aste ($^\circ$) ja täysi ympyrä on 360° . Maanmittauksessa kulman yksikkö on kuitenkin gooni (gon) ja täysi ympyrä on 400 gon.

Tasokoordinaatistossa kuvattuna maanpinta menettää kolmannen ulottuvuutensa eli korkeuden. Korkeus pyritään kuitenkin kuvaamaan numeroilla ja symboleilla, mikä esimerkiksi maastokartoissa näkyy korkeuskäyrinä.

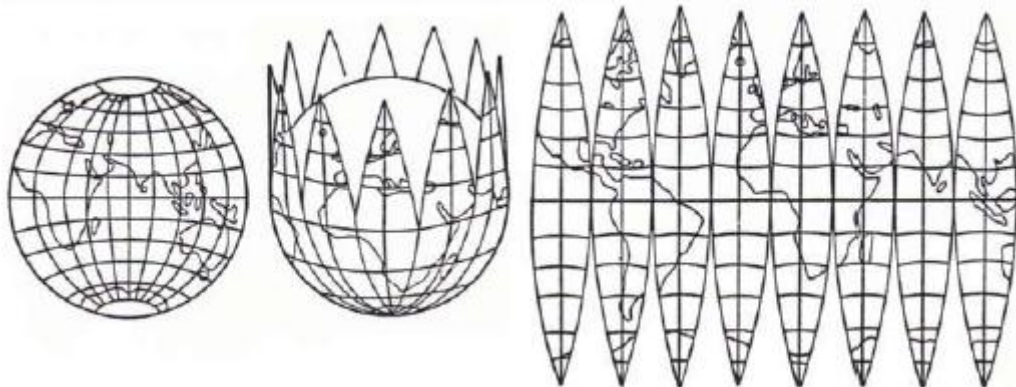
3.3 Työmaiden omat erilliskoordinaatistot

Paikallisilla työmailla voidaan käyttää omia vain niitä varten tehtyjä koordinaatistoja. Työmaiden koordinaatistot voivat olla suorakulmaisia (X, Y, Z) -koordinaatistoja tai napakoordinaatistoja riippuen käyttötarkoituksesta. Talonrakennustyömaalla voi olla hyödyllinen suorakulmainen koordinaatisto, jossa vaaka-akselit ovat sidottu esimerkiksi talon seinien suuntiin. Ympäristösuunnittelun yhteydessä tehtävässä tontin kartoituksessa koordinaatisto on usein toposentrinen napakoordinaatisto eli koordinaatiston origo on havaintopisteessä ja Z -akseli on havaintopisteestä luotiviivan suuntainen. Vaikka työmaiden erilliskoordinaatistot ovat väliaikaisia, ne sidotaan tunnettujen pisteiden avulla pysyvään paikalliseen tai valtakunnalliseen koordinaatistoon todellisten koordinaattien laskentaa varten.

4 KARTTAPROJEKTIO

4.1 Projisointi

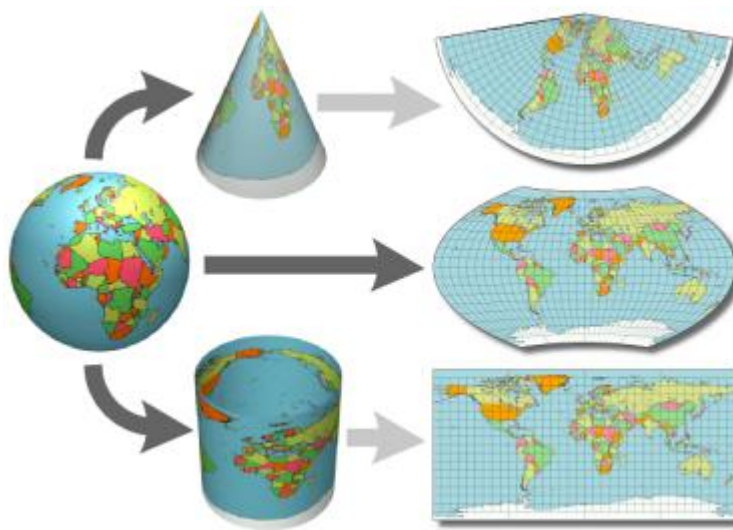
Maapallon kolmiulotteisen muodon takia sen pinnan kuvaaminen, todelliset mitat säilyttäen, onnistuu vain karttapalloa käyttäen. Paperilla esitettäviä karttoja varten pinta täytyy kuitenkin saada kuvattua tasolla. Pallon muotoisen kappaleen esittäminen tasolla ei kuitenkaan onnistu ongelmitta, sillä muodon mitat vääristyvät väkisinkin tasolle laitettaessa. Pallolla olevien kohtien väliset etäisyydet ja kulmat eivät välttämättä kuvaudu todellisissa suhteissa toisiinsa nähden vaan ne venyvät tai supistuvat. Ongelma on helppo havainnollistaa niin sanottua appelsiininkuori-menetelmää käyttäen. Mikäli appelsiinon onnistuu kuorimaan siten, että kuori pysyy yhtenä kappaleena, ja sen levittää tasoksi pöydälle, huomaa, että aikaisemmin vierekkäin olleet kohdat voivatkin olla senttien päässä toisistaan. Jotta ne saataisiin uudestaan vierekkäin, joutuu kuorta venyttämään, jolloin alkuperäiset mitat vääristyvät. Pallonmuotoisen pinnan tasolla kuvaamisen vaikeuden voi havaita myös kuvasta 2, jossa maapallon pinta on leikattu meridiaaneja pitkin ja levitetty tasolle. (Laurila 2010, 133)



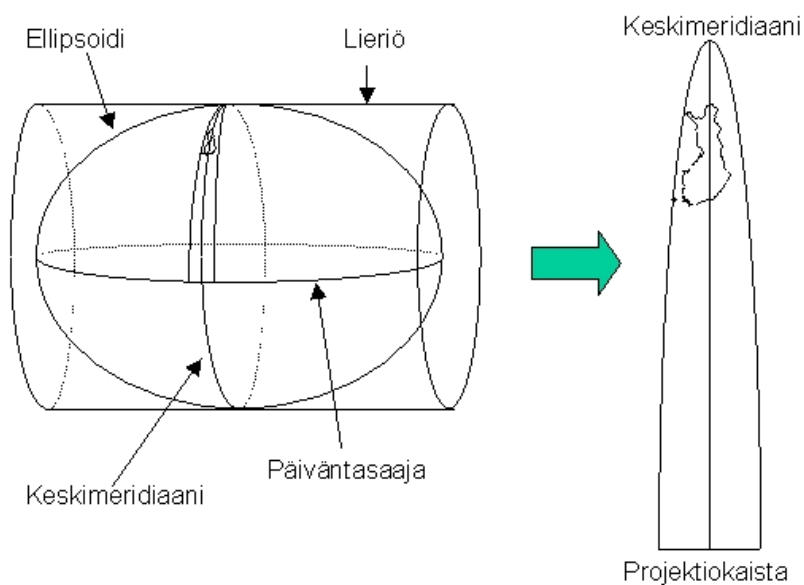
Kuva 2. Pallon muotoisen kappaleen kuvaaminen tasolla ei käy ongelmitta. (Laurila 2010, 133)

Projisoinnissa kolmiulotteinen kappale siirretään tasolle, jolloin tehtävä projektio on kolmiulotteisen kappaleen tasokuva. Jotta Maan kolmiulotteinen muoto saadaan kuvattua tasolla mahdollisimman todenmukaisesti, täytyy se projisoida karttaprojektiksi, jolloin sen kolmiulotteiset koordinaatit muuttuvat karttaprojektion kautta suorakulmaiseksi tasokoordinaateiksi. (JHS 154, 3/15) (Laurila, 131–134)

Karttaprojektiot (kuva 3) voivat olla taso-, kartio- tai lieriöprojektiioita ja ne voivat joko sivuta ellipsoidia tai leikata sen. Tasoprojektiot toimivat hyvin napa-alueiden kuvaamisessa ja erikoisalana tähtikartoissa. Kartioprojektiot sopivat maanosien kuvaamiseen ja itä-länsi-suunnassa pitkien maiden kuvaamiseen. Suomi on pohjois-etelä-suunnassa pitkä ja sijoittuu vain muutamalle meridiaanille, joten Suomen karttaprojektio on tyypillisesti poikittainen lieriöprojektiio. Kuten kuva 4 havainnollistaa, lieriön pinta mukailee Suomen läpi kulkevia meridiaaneja ja lieriöprojektiolle tasoksi kuvattavien kohteiden väliset mitat säilyvät mahdollisimman hyvin. (JHS 154, 3/15) (Häkli 2009, 7) (Maanmittauslaitos) (Laurila 2010, 136)

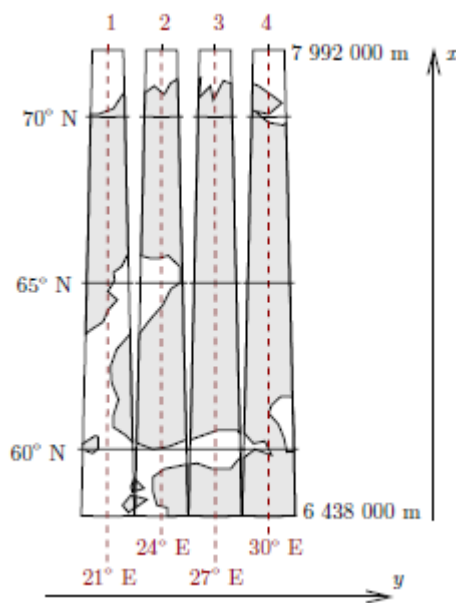


Kuva 3 Karttaprojektio voi olla kartio-, taso- tai lieriöprojektiio. (Maanmittauslaitos)



Kuva 4. Poikittaisen lieriöprojektion periaate, kun yksi projektiokaista kattaa koko Suomen pinta-alan. (JHS 154, 6/15)

Kun kaareva pinta kuvataan tasolle, sen mitat vääristyvät ja näin käy myös lieriöprojektiossa. Lieriöprojektiio on mittatarkka vain siinä kohdassa, jossa lieriö sivuaa, kuten Gauss-Krüger -projektiossa, tai leikkaa ellipsoidin kuten UTM-projektiossa. Tästä johtuen mittavirhe kasvaa sitä suuremmaksi mitä kauemmaksi lieriön ja ellipsoidin kosketuspinnasta mennään, jolloin puhutaan projektiovirheestä. Projektion tarkkuutta voidaan kuitenkin parantaa jakamalla alue kapeammiksi projektiokaistoiksi. Esimerkiksi yleisestä käytöstä poistumassa olevassa kartastokoordinaattijärjestelmässä Suomi on jaettu kuuteen projektiokaistaan kuvan 5 mukaisesti. (Häkli 2009, 8)



Kuva 5 Kartastokoordinaattijärjestelmän Gauss-Krüger -karttaprojektion mukainen projektiokaistajako. Pääosin Suomen ulkopuolelle jäävät kaistat 0 ja 5 on jätetty pois. (Vermeer 2011, 41)

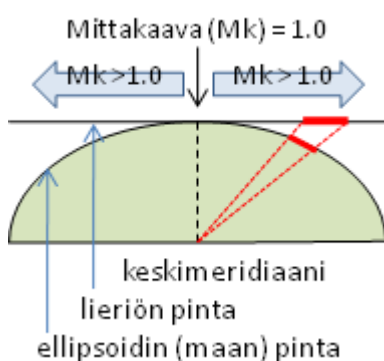
4.2 Mercator

Mercatorin projektiio on perusasennossa eli pystyssä oleva lieriöprojektiio, josta poikittaiset lieriöprojektiot ovat sovelluksia. Mercatorin projektiossa lieriö sivuaa ekvaattoria koko matkalta, joten se on ekvaattorilla mittatarkka. Meridiaanit kuvautuvat kuitenkin yhdensuuntaisina tasavälein olevina suorina, jolloin mittasuhteet vääristyvät erityisen paljon napaseuduilla. Tämän takia perusasentoinen lieriöprojektiio ei ole käyttökelpoinen maapallon muotojen kuvaamisessa. Mercatorin projektiota käytetään kuitenkin paljon merikarttojen teossa. Vaikka meridiaanien välinen etäisyys alkaa vääristyä heti kuljettaessa ekvaattorilta kohti napoja, leveyspiirit leikkaavat meridiaaneja todenmukaisesti kohtisuoraan, joten se on suuntatarkka. (Laurila 2010, 137)

4.3 Gauss-Krüger

Gauss-Krüger -projektio on ellipsoidia sivuava poikittainen lieriöprojektio ja se on ollut pohjana VVJ, KKJ ja ETRS-GKn -tasokoordinaatistoille. Gauss-Krüger -projektiossa Suomi on jaettu useaan projektiokaistaan, jolloin syntyvät projektiovirheet ja tarvittavat korjaukset jäävät pienemmiksi. Leveäkaistaisen yleiseurooppalaisen UTM-projektion sijasta Gauss-Krüger -projektiota voidaan käyttää paikallisesti tarkempaa projektiota vaativissa tehtävissä kuten kaavoituksessa ja rakentamistehtävissä. (JHS 154, 7/15)

Gauss-Krüger -projektio sivuaa ellipsoidia meridiaaneja pitkin, joten se on tarkimmillaan aina projektiokaistan keskimeridiaanilla, jossa sen mittakaava on 1,0. Kuten kuva 6 havainnollistaa, mittakaavavirhe kasvaa mentäessä kauemmaksi keskimeridiaanista. Esimerkiksi 400 km:n päässä keskimeridiaanista virhe on 1962 ppm (parts per million) eli 1962 mm 1000 metrin matkalla. (Maanmittauslaitos) (Häkli 2009, 8)



Kuva 6 Gauss-Krüger -projektion mittakaava on 1,0 keskimeridiaanilla. (Maanmittauslaitos)

Gauss-Krüger -projektion ominaisuuksia:

- keskimeridiaani pohjoisakselina, kuvautuu oikeapituisena
- itäkoordinaatti keskimeridiaanilla $n \cdot 500\,000$ m (n = projektiokaistan kaistatunnus tai keskimeridiaanin asteluku)
- ekvaattori itäakselina, ei kuvaudu oikeapituisena
- suorakulmaisen koordinaatiston origo keskimeridiaanin ja ekvaattorin leikkauskohdassa
- projektiokaistoja ETRS-GKn -tasokoordinaatistossa 13 kpl (kaistan leveys 1°) ja KKJ:ssä 6 kpl (kaistan leveys 3°)

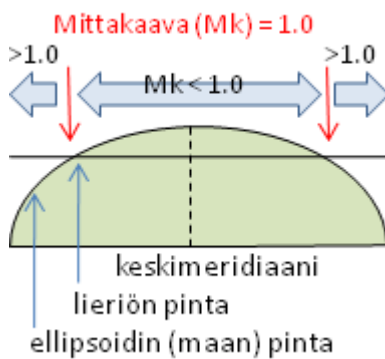
- itäkoordinaatin tunnus koordinaatin edessä on KKJ:ssä kaistatunnus (0, 1...5) ETRS-GKn -tasokoordinaatistossa keskimeridiaanin asteluku (19, 20...31) (Maanmittauslaitos) (JHS 154, 6/15)

4.4 UTM ja TM35FIN

Universal Transverse Mercator

Ellipsoidia leikkaava poikittainen lieriöprojektiio, UTM-projektiio, on yleiseurooppalainen projektiosuositus. UTM on myös tasokoordinaatisto, joka kattaa koko maapallon ja jossa maapallo on jaettu 60:een 6° leveään projektiokaistaan. Suomi sijoittuu UTM-projektiossa kaistoille 34, 35 ja 36. UTM on toiminut pohjana Suomessa käytettävälle TM35FIN-projektioille ja ETRS-TM35FIN -tasokoordinaatistolle. (JHS 154, 7/15) (Maanmittauslaitos)

UTM-projektiossa lieriö leikkaa ellipsoidia noin 180 km projektiokaistan keskimeridiaanilta itään ja länteen, jolloin projektiio on mittatarkka kyseisissä leikkauskohdissa eli sen mittakaava on 1,0. Keskimeridiaanilla projektion mittakaavakerroin on 0,9996. Kuva 7 havainnollistaa UTM-projektion mittakaavan muutokset suhteessa lieriön ja ellipsoidin leikkauskohtiin. (Maanmittauslaitos)



Kuva 7 UTM-projektiio on mittatarkka lieriön ja ellipsoidin leikkauskohdissa. (Maanmittauslaitos)

TM35FIN

TM35FIN-projektion pohjana käytetyssä UTM-projektiossa Suomi sijoittuu kolmelle projektiokaistalle. TM35FIN-projektion ainoa ero alkuperäiseen projektiioon on koko maan kattavaksi levitetty kaistaleveys, jolloin Suomi sijoittuu vain yhdelle

projektiokaistalle. Tästä kansallisesta sovelluksesta johtuu merkintä FIN ja kaistanumerona käytetään numeroa 35. (Maanmittauslaitos) (JHS 154, 7/15)

UTM- ja TM35FIN-projektioiden ominaisuuksia:

- keskimeridiaani pohjoisakselina, ei kuvaudu oikeapituisena
- keskimeridiaanilla itäkoordinaatin arvo 500 000 m
- ekvaattori itäakselina, ei kuvaudu oikeapituisena
- ekvaattorilla pohjoiskoordinaatin arvo 0 m pohjoiselle pallonpuoliskolle ja 10 000 000 m eteläiselle
- suorakulmaisen koordinaatiston origo keskimeridiaanin ja ekvaattorin leikkauskohdassa
- projektiokaistoja UTM-tasokoordinaatistossa 60 kpl (kaistan leveys 6°) ja ETRS-TM35FIN -tasokoordinaatistossa 1 kpl, joka kattaa koko Suomen (Maanmittauslaitos) (JHS 154, 7/15)

5 KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT

5.1 Järjestelmien uusiutuminen ja Inspire-direktiivi

Maankuoren jatkuvan liikkumisen takia maapallolle on vaikea luoda koko Maan kattava koordinaattijärjestelmä. Liikkumisen aiheuttamien koordinaattien muutosten vuoksi koordinaattijärjestelmille ilmoitetaan epookki eli ajankohta, johon se on sidottu. ITRS (International Terrestrial Reference System) on maailmanlaajuinen koordinaattijärjestelmä, jonka pisteille on määritetty suorakulmaiset avaruuskoordinaatit (X, Y, Z) ja vuotuinen liike. ITRS:n realisaatio eli koordinaatisto on ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Realisaatiolla tarkoitetaan maastossa olevia todellisia kiintopisteitä, joille on mitattu ja laskettu koordinaatit kyseessä olevassa koordinaattijärjestelmässä. (Maanmittauslaitos)

Maankuoren liikkeen vuoksi myös ITRF on sidottu epookkiin, mikä näkyy koordinaatiston nimessä. Esimerkiksi ITRF97 on realisoitu 1997. Jotta maailmanlaajuinen koordinaatisto pysyisi ajan tasalla, se uusiutuu muutaman vuoden välein. Tällä hetkellä käytössä oleva realisaatio on vuodelta 2005, joten koordinaatiston nimi on ITRF2005. Maailmanlaajuisten koordinaattien yhteydessä ilmoitetaan usein myös koordinaattien epookki. Esimerkiksi ITRF2005(2009,12) tarkoittaa ITRF2005-koordinaatiston mukaisia koordinaatteja päivälle 13.2.2009 (13.2. on vuoden 44. päivä ja $44/365=0,12$). (Maanmittauslaitos) (Häkli 2009, 20)

15.5.2007 astui voimaan Euroopan parlamentin määrittelemä Inspire-direktiivi, jonka tarkoituksena on luoda Euroopan yhteisölle oma paikkatietoinfrastruktuuri. Se edellyttää yhteisön jäsenvaltioiden paikkatietoinfrastruktuurien olevan yhteneväisiä ja käytävissä yhteisön sisällä yli valtioiden rajojen. Direktiivin pohjalta Suomessa astui voimaan 17.6.2009 laki paikkatietoinfrastruktuurista ja 12.10.2009 lakia tukeva samanniminen asetus, jotka ohjaavat direktiivin täytäntöönpanoa Suomessa. Direktiivin tarkoituksena on yhtenäistää EU:n jäsenmaiden paikkatietojen merkintä ja näin tehostaa tietojen käyttöä. Yhtenäinen merkintä helpottaa valtioiden viranomaisten yhteistyötä sekä kansalaisten paikkatietojen hakua. Inspire-direktiivin liitteissä I, II ja III (Liite 4) on listattuna yli 30 paikkatietoryhmää, joiden merkintätapoihin direktiivi vaikuttaa. (L 108 2007, 1, artikkelit 5 ja 7) (421/2009)

ITRF-koordinaatisto voisi toisaalta olla Inspire-direktiivin edellyttämä kansainvälinen koordinaatisto, mutta, koska se ulottuu kaikille mannerlaatoille, sen mukaiset koordinaatit muuttuvat ajoittain uudistettavien realisaatioiden myötä eikä se siksi ole kovin käytännöllinen. Vastauksena Euroopan parlamentin vaatimukseen, luotiin vain Euraasian mannerlaatan kattava ja sen deformatumattomaan osaan kiinnitetty kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä, ETRS89. ETRS89 yhtyy ITRS-koordinaattijärjestelmään ajankohtana 1989 eli sen epookki on 1989,0. (Maanmittauslaitos) (Häkli 2009, 22) (Tietoa maasta, 8–9)

5.2 ETRS89

5.2.1 European Terrestrial Reference System 1989

ETRS89-koordinaattijärjestelmän myötä kaikilla Euroopan Unionin jäsenmailla on yhtenäinen koordinaatisto Inspire-direktiivin edellyttämän paikkatietojärjestelmän pohjaksi. Tavalliselle maastokartan käyttäjälle näkyvin muutos on akselien merkintöjen muuttuminen kansainvälisiksi. Pohjoisakselin X vaihtuu N:ksi ja itäakselin Y vaihtuu E:ksi. Kansainvälisen viranomaisyhteistyön helpottumisen lisäksi Suomessa käytössä olleen kartastokoordinaattijärjestelmän vaihtuminen ETRS89-järjestelmään helpottaa paikannussatelliittilaitteiden ja maastokarttojen yhteiskäyttäjiä. GPS-satelliittien käyttämä WGS84-koordinaattijärjestelmä on käytännössä sama kuin ETRS89-järjestelmä, joten muunnoksia satelliittien ja karttojen välillä ei enää tarvita. (Tietoa maasta, 8–9) (Maanmittauslaitos)

ETRS89-järjestelmän realisaatiota kutsutaan ETRF89:ksi (European Terrestrial Reference Frame) tai Euref89:ksi. Realisoinnissa Eurooppaan määritettiin useita pisteitä, mutta Suomeen pisteitä tuli vain neljä: Nisula, Jänhiälä, Kaunispää ja Metsähovi. Käytännössä neljä kiintopistettä koko Suomessa oli mittaustöiden kannalta liian vähän, joten vuonna 1992 Geodeettinen laitos, Maanmittauslaitos ja Merenkulkulaitoksen merenmittaustoimisto suorittivat ensimmäisen Euref89-koordinaattien pistetihennyksen. Sen jälkeen tihennyksiä suoritettiin vielä lisää ja Suomeen luotiin oma ETRS89-järjestelmän realisaatio, kolmiulotteinen EUREF-FIN. Alkuperäinen ETRF89-koordinaatiston piste-

verkko oli käytännössä useimmissa EU:n maissa liian harva, joten niihin luotiin Suomen tavoin oma realisaationsa. ETRS89-koordinaattijärjestelmän kanssa Suomessa käytetään ETRS-TM35FIN ja ETRS-GKn -projektioita ja niiden tasokoordinaatioita. (Ollikainen 2001, 11–13) (Maanmittauslaitos)

5.2.2 ETRS-TM35FIN

ETRS-TM35FIN -tasokoordinaatiston projektiio, TM35FIN, pohjautuu UTM-projektioon, jossa Suomi ulottuu kolmelle projektiokaistalle, 34–36. ETRS-TM35FIN -koordinaatistossa projektiokaista 35 on kuitenkin venytetty kattamaan koko Suomi, joten kaistoja on vain yksi eikä itäkoordinaatin eteen tarvita kaistatunnusta (taulukko 2.). Vaikka alkujaan kuusi astetta leveä projektiokaista on venytetty koko Suomen levyiseksi, tulee projektiovirhettä luultua vähemmän, koska UTM-projektion lieriö leikkaa ellipsoidia ja mittatarkkoja kohtia on kaksi. ETRS-TM35FIN -tasokoordinaatisto on käytännöllinen kuvattaessa laajoja alueita, mutta kuvattaessa pieniä alueita suuremmilla mitta-kaavoilla sen tarkkuus ei riitä ja on suotavaa käyttää ETRS-GKn -tasokoordinaatistoa. (Maanmittauslaitos)

Taulukko 2. Maanmittauslaitoksen Pasilan toimitalon koordinaatit eri koordinaatioissa. Itäkoordinaateista alleviivattu projektiokaistaan viittaava tunnus. (Tietoa maasta, 9, muokattu)

Koordinaatisto	N (pohjoiskoordinaatti)	E (itäkoordinaatti)
ETRS-TM35FIN	6675355	<u>_385534</u>
ETRS-GK19	6691037	<u>19828895</u>
ETRS-GK24	6676602	<u>24551869</u>
ETRS-GK31	6691691	<u>31163936</u>
Koordinaatisto	X (pohjoiskoordinaatti)	Y (itäkoordinaatti)
kkj0 (kaista 0)	6696605	<u>_884377</u>
kkj3 (kaista 3, ykj)	6678158	<u>3385657</u>
kkj5 (kaista 5)	6703692	<u>5053588</u>

5.2.3 ETRS-GKn

ETRS-GKn -tasokoordinaatistossa projektiokaistoja on asteen välein ja käytetyn projektiokaistan keskimeridiaanin asteluku näkyy myös itäkoordinaatin alussa (taulukko 2.). ETRS-GKn -tasokoordinaatiston kaistojen määrän ja leveyden suhteen täytyy huomioi-da, että Liikenneviraston uuden Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohjeen mu-kaan väylähankkeiden projekteissa käytetään kolme astetta leveitä projektiokaistoja, joiden keskimeridiaanien asteet ovat 21, 24, 27 tai 30. Käytettävä kaista tulee valita si-ten, että sen keskimeridiaani on mahdollisimman lähellä projektin kohdetta. Projekteissa voidaan käyttää myös kaistoja 18 tai 33, mutta, koska ne kulkevat pääasiassa Suomen ulkopuolella, niitä harvemmin käytetään. (Mittausohje 2011, 9) (Jaakkola & Järvinen 2012)

Muissa kuin väylähankkeissa ETRS-GKn -tasokoordinaatiston projektiokaistan leveys voidaan valita tapauskohtaisesti, jotta yksi kaista saadaan kattamaan koko hankkeen alue ja vältetään turhat kaistan vaihdot. Esimerkiksi kaupungit voivat valita itselleen yhden kaistan ja tehdä mittaukset koko alueeltaan samalle kaistalle, vaikka todellisuudessa rajat ulottuisivat useammalle yhden asteen levyiselle kaistalle. (Mittausohje 2011, 9) (Jaakkola & Järvinen 2012)

Kuten taulukosta 2. voi nähdä, itäkoordinaattien eroavaisuuden lisäksi myös pohjois-koordinaateissa on eroja eri koordinaatistojen välillä, vaikka kaikkien pohjoiskoordinaa-tit mitataan metreinä ekvaattorilta. Ero johtuu kohteen projisoinnista suorakulmaisesti keskimeridiaaniin nähden eivätkä eri projektiokaistojen keskimeridiaanit ole yhden-suuntaisia, joten saman pisteen pohjoiskoordinaatit eroavat toisistaan eri koordinaatis-toissa. (Maanmittauslaitos)

5.3 KKJ

Kartastokoordinaattijärjestelmän pohjana on Gauss-Krügerin lieriöprojektiio ja se perus-tuu edeltäjäänsä Vanhaan valtion järjestelmään ja 1900-luvulla tehtyihin kolmiomitta-uksiin. Alkujaan KKJ:ssä oli vain neljä kolme astetta leveitä projektiokaistoja, joiden keskimeridiaanit olivat edeltäjänsä VVJ:n tavoin 21°, 24°, 27° ja 30°. Koordinaatiston itäkoordinaatin edessä näkyvissä kaistojen tunnuksissa (taulukko 2.) haluttiin kuitenkin

välttää sekaannuksia ja kaistat numeroitiin 1–4. Myöhemmin lisättiin kaistat, joiden keskimeridiaanit olivat 18° ja 33° , ja niille annettiin tunnuksiksi numerot 0 ja 5. Kuuden kapean projektiokaistan lisäksi KKK:ssä määritettiin koko maan kattava Yhtenäiskoordinaatisto (ykj), jonka keskimeridiaani on sama kaistan 3 kanssa eli 27° . (Häkli 2009, 17)

5.4 VVJ

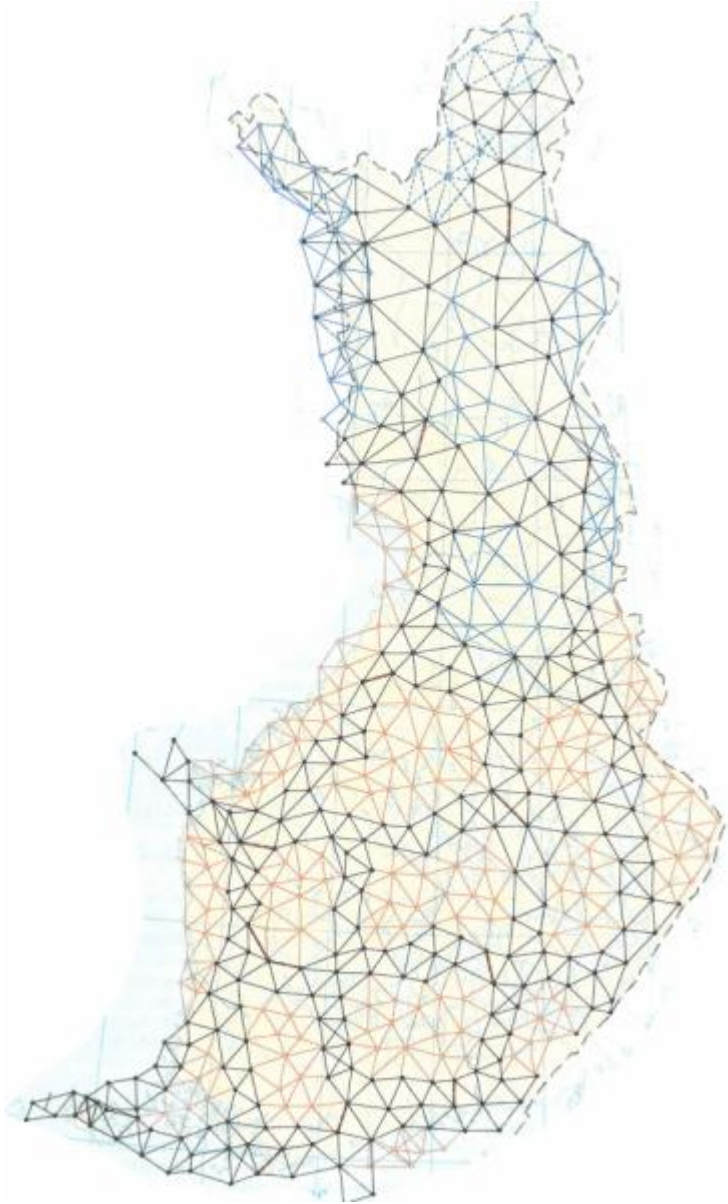
Vanha valtion järjestelmä

Gauss-Krügerin projektion pohjalta tehty VVJ on alkuperäiseltä nimeltään Helsingin järjestelmä, koska koordinaatiston lähtöpisteenä on Helsingin Kallion kirkon tornissa oleva I luokan kolmiopiste. VVJ perustuu Geodeettisen laitoksen ja Maanmittaushallituksen 1900-luvulla tekemiin I luokan kolmiomittauksiin ja se syntyi vaiheittain mittausten edetessä. Kolmiomittauksissa jouduttiin työn edetessä tasoittamaan paloittain syntyvää verkkoa, jolloin tapahtui virheiden kasautumista, minkä takia VVJ:n tarkkuus ei ole homogeeninen. (Maanmittauslaitos) (Häkli 2009, 16)

VVJ:ssä on neljä kolmen asteen levyistä projektiokaistaa, joiden keskimeridiaanin aste-luku (21, 24, 27 ja 30) on myös kaistan tunnus. Kaistojen reunoilla on puolen pituusasteen leveydeltä laskettu koordinaatit molemmille kaistoille. VVJ oli Maanmittaushallituksen käytössä vuoteen 1970 asti, jolloin KKK korvasi sen. (Häkli 2009, 16)

Kolmiomittaus

Vuosina 1917–1987 tehtiin Suomessa koko valtakunnan kattava kolmiomittaus, jolla määritettiin Maan muotoa ja luotiin Suomeen I luokan kolmioverkko (kuva 8.). Mittaukset tehtiin kolmella menetelmällä pohjautuen geometrian tosiasiaan, että, kun tunnetaan kolmion kaksi kulmaa ja yksi sivu, muut saadaan selvitettyä laskemalla. Mittauspisteiden väliset etäisyydet mitattiin invarlangalla ja kulmat teodoliitilla. Muodostuneen verkon sijainti ja asento Maan pinnalla selvitettiin tähtitieteellisillä mittauksilla. (Häkli 2009, 9)



Kuva 8. Koko Suomen kattava I luokan kolmioverkko. Mustilla kolmioilla näkyy Geodeettisen laitoksen mittaama 1987 valmistunut kolmioverkko, jota Maanmittaushallitus täydensi myöhemmin pistetihennyksillä (ruskeat kolmiot). (Maanmittauslaitos)

6 KORKEUSJÄRJESTELMÄT

6.1 Järjestelmien uusiutuminen

Maankuoren liikkumisen lisäksi maanpinta nousee koko ajan, minkä takia korkeudet muuttuvat. Koska maa ei kohoa tasaisesti kaikkialla vaan maanpinta kallistelee myös korkeussuhteet ja kiintopisteiden korkeuserot muuttuvat. Erityisen voimakasta maan nouseminen on Fennoskandian alueella, jota peitti jääkaudella jopa kilometrien paksuinen jääpatja. Esimerkiksi Pohjanmaalla maan pinta on N60-korkeusjärjestelmän luomisen jälkeen nousut paikoin yli 40 cm. Näiden maankuoren muutosten takia täytyy korkeusjärjestelmiä uusia aika ajoin. N60-järjestelmän uusiutumiseen N2000-järjestelmään vaikuttaa myös Euroopan parlamentin määrittelemän Inspire-direktiivi, josta on kerrottu enemmän luvussa 5.1. N2000- ja N60-korkeusjärjestelmien korkeuserot voi nähdä liitteestä 5. (JHS 163, 1/16) (Häkli 2009, 31)

Jotta eri kohteiden välisiä korkeuksia voidaan vertailla, tarvitaan korkeusjärjestelmä, joka määrittelee korkeuden nollatason eli vertauspinnan. Korkeuden vertauspinta realisoitetaan tasokoordinaatistojen tavoin maastoon mitattavilla kiintopisteillä, korkeuskiintopisteillä. Korkeusjärjestelmien vertauspinta on nollatason lähtöpisteen kautta kulkeva geoidi tai paikallinen keskimerenpinta, josta juontaa sanonta ”korkeus merenpinnasta”. Suomessa käytössä olleista korkeusjärjestelmistä NN, N43 ja N60 ovat sidottuja Helsingin keskivedenpintaan toisin kuin N2000-järjestelmä, joka pohjautuu Hollannissa sijaitsevaan pisteeseen. (JHS 163, 1/16, 7/16)

6.2 N2000

N2000-järjestelmä pohjautuu edeltäjistään poiketen Itämeren ympäri tehtyyn BLR2000-tasoitukseen (Baltic Levelling Ring), jonka lähtötasona on NAP (Normaal Amsterdams Peil). NAP on Amsterdamissa vuonna 1684 vallinneen keskimääräisen tulvavuoksen huippu ja toimii länsieurooppalaisten korkeusjärjestelmien lähtötasona. Se on realisoitu Hollannissa sijaitsevalla BLR2000-tasoituksessa mukana olleella kiintopisteellä. Suomen N2000-järjestelmä perustuu vuosina 1978–2006 tehtyyn kolmanteen tarkkavaaitukseen. Sen lähtötasoksi on asetettu Kirkkonummella Geodeettisen laitoksen Metsäho-

vin observatorion alueella oleva kiintopiste, PP2000, jonka lukema on saatu BLR2000-tasoituksesta. (JHS 163, 2/16, 7/16) (Ruotsalainen 2008, 6)

6.3 N60

N60-järjestelmä oli ensimmäinen koko Suomen kattava korkeusjärjestelmä, joka luotiin tasoittamalla toisen tarkkavaaituksen vaaitusverkko, johon N43-järjestelmä perustuu. Lähtökorkeudeksi N60-järjestelmälle asetettiin vuosien 1935–1954 havainnoista laske-
malla saatu Helsingin keskivedenpinta vuoden 1960 alkuhetkellä. (JHS 163, 2/16)

6.4 N43

N43-korkeusjärjestelmä perustuu vuosina 1935–1972 suoritettuun toiseen tarkkavaai-
tukseen ja se laajeni vaaitusmittausten edetessä. Alkujaan N43-järjestelmä tarkoitettiin tilapäiseksi eikä mittauksen aikana tapahtunutta maan nousemista huomioitu. Tästä ai-
heutui virheitä järjestelmään. Ensin järjestelmän lähtökorkeudeksi asetettiin Pasilassa
oleva piste, mutta maan nousemisen takia lähtökorkeus siirrettiin laskemalla Helsingin
keskivedenpintaan. (Häkli 2009, 32) (JHS 163, 1/16)

6.5 NN

NN-järjestelmä perustuu Suomen ensimmäiseen tarkkavaaitukseen, joka suoritettiin
vuosien 1892–1910 aikana ja kattoi eteläisen osa Suomesta Kajaani–Oulu-linjan tasolle.
Järjestelmän lähtötaso sidottiin Helsingin Katajanokan sillan vesiasteikon nollaviivaan.
NN-korkeusjärjestelmää on edelleen käytössä jonkin verran vesioikeudessa ja sisävesien
syvyystiedoissa. (JHS 163, 1/16) (Häkli 2009, 32)

7 KARTTALEHTIJAKO

Karttalehtiäolla tarkoitetaan karttojen painamista varten tehtyä järjestelmää, jolla määritetään karttojen mittakaavat sekä karttalehtien koot ja tunnukset. Karttalehtijako pohjautuu yleensä johonkin karttaprojektioon ja suorakulmaiseen koordinaatistoon. Esimerkiksi KKJ:n yleislehtiäolla (ylj) tehdyt kartat pohjautuvat Gauss-Krüger-projektioon. ETRS89-koordinaattijärjestelmän kansallisen realisaation EUREF-FIN:n ja sen pohjana olevan UTM-projektion käyttöönotto vaikuttaa karttalehtijakoon, koska UTM-projektion mittakaavakerroin ja projektiokaistan leveys eroavat Gauss-Krüger -projektioista. Yleisten maastokarttojen, valtakunnallisten karttatöiden ja paikkatietopalveluiden pohjana suositellaan käytettävän UTM-projektiota, mutta paikallisissa kartoissa voidaan käyttää myös Gauss-Krüger -projektiota. (JHS 154, 1/15, 3/15)

Lehtijakoa ja lehtien tunnusjärjestelmää määritettäessä koko Suomi kuvataan samalla projektiokaistalla, jonka keskimeridiaani on 27°. Lehtiäon perusyksikkö on maastossa 3 km x 3 km kokoinen ruutu, joita asettamalla vierekkäin saadaan taulukon 3 mukainen jako lehtikokoihin. Karttalehtiäon ja tunnusjärjestelmän periaate on kuvattu liitteessä 6. (JHS 154, 13/15)

Taulukko 3. Kartan mittakaavaan pohjautuvat lehtikoot. (JHS 154, 13/15)

Mittakaava	Maastokoko (km ²)	Pinta-ala (km ²)	Karttapinnan koko (cm ²)	Lukumäärä
1:5 000	3x3	9	60x60	42 000 karttalehteä
1:10 000	6x6	36	60x60	10 500 karttalehteä
1:20 000	12x12	144	60x60	2 600 karttalehteä
1:25 000	12x24	288	48x96	1 300 karttalehteä
1:50 000	24x48	1152	48x96	330 karttalehteä
1:100 000	48x96	4608	48x96	90 karttalehteä
1:200 000	96x192	18 432	48x96	38 karttalehteä

8 ONGELMAT

Hankkeen suunnittelussa ja siihen liittyvissä muissa töissä, kuten maastomittauksissa, on oltava huolellinen projektin alusta loppuun, sillä mahdollisuuksia vaikeuksia aiheuttavien virheiden syntymiselle on paljon. Virheitä voi syntyä perussuunnittelussakin, mutta erityisen hankalia voivat olla koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiin liittyvät virheet. Järjestelmiin liittyvistä virheistä tekee hankalia se, ettei niitä välttämättä huomata suunnittelutyön yhteydessä ja ongelmat ilmenevät vasta työmaalla hankkeen toteutusvaiheessa. Virheitä voi aiheuttaa muun muassa väärin mittalaitteiden tai laitteiden virheellinen käyttö, koordinaattien väärä merkintätapa tai puutteellinen tiedonkulku. (Jaakkola & Järvinen 2012)

Mittaustöissä mitattava kohde vaikuttaa paljon käytettäviin mittalaitteisiin ja käytettävät mittalaitteet vaikuttavat tuloksen tarkkuuteen. Tämän takia mittaussuunnitelman tekijän tulee tuntea laitteiden ominaisuudet ja mittamiehen on tiedettävä mitä tekee ja osattava käyttää mittalaitteitaan täydellä varmuudella. Esimerkiksi kartoitustyössä väärän koordinaatti- tai korkeusjärjestelmän asettaminen mittalaitteelle saattaa aiheuttaa jopa satojen metrien heittoja kohteen sijaintitietoihin. Tämän takia on hyvä kirjata mittaussuunnitelmaan työn aikana käytettävä koordinaattijärjestelmä ja mittausraporttiin työssä käytetty järjestelmä. Suunnittelu- ja mittaustöiden tarkkuuksista on kerrottu enemmän luvussa 2.5 Tarkkuus. (Jaakkola & Järvinen 2012)

Varsin usein jo kohteen itäkoordinaatin ulkomuoto antaa viitteen mistä koordinaattijärjestelmästä ja koordinaatistosta on kyse. Esimerkiksi, jos koordinaatti alkaa numerolla 24, voi päätellä, että kyseessä on VVJ24 tai ETRS-GK24. Vastaavasti, jos itäkoordinaatissa on vain kuusi numeroa, on kyseessä joko ETRS-TMK35FIN tai KKJ0. Taulukossa 2 on esimerkkejä saman pisteen koordinaateista eri koordinaatistoissa. Koordinaattien numeroiden kanssa on kuitenkin syytä olla varovainen, sillä koordinaattien ulkomuoto voi myös hämätä. Kartoitustyötä tehtäessä koordinaattien edestä jätetään joskus kaikissa toistuva alkuosa pois, jolloin ainakin itäkoordinaateissa näkyvä kaistatunnus häviää. Numeroiden vähentyessä koordinaattien ulkomuoto muuttuu ja ne voivat muistuttaa erehdyttävästi toisen järjestelmän koordinaatteja. (Jaakkola & Järvinen 2012)

Vertaillaan esimerkiksi Tampereen kaupungin omaa koordinaattijärjestelmää ja kartastokoordinaattijärjestelmää Tampereella sijaitsevan Näsinneulan avulla. Kartastokoordinaattijärjestelmässä koordinaateissa on seitsemän numeroa ja Näsinneulan koordinaatit ovat (6821930, 2486510). Mikäli kartoitusta tehdään Näsinneulan ympäristössä ja mitatpisteet pysyvät samalla projektiokaistalla ja leveysasteella, pisteiden koordinaateissa toistuvat numerot 68 ja 24. Tällaisessa tilanteessa kyseiset numerot usein jätetään pois käsittelyyn ja havainnollisuuden helpottamiseksi, minkä jälkeen Näsinneulan koordinaatit ovatkin (21930, 86510). Tampereen kaupungin omassa koordinaattijärjestelmässä koordinaateissa on vain viisi numeroa ja Näsinneulan koordinaatit ovat (21931, 86509). Verrattaessa Tampereen järjestelmän koordinaatteja KKJ:n lyhennettyihin koordinaatteihin huomaa, että ne muistuttavat erehdyttävän paljon toisiaan. (Tampereen kaupunki)

Kun suunnittelutyötä tehdään alueella, jossa voi olla käytössä useampi kuin yksi koordinaatti- tai korkeusjärjestelmä, on ensisijaisen tärkeää varmistaa tiedonkulku mittajaan ja suunnittelijan välillä. Suunnittelija ei missään tilanteessa saa koordinaattien ulkomuodon perusteella olettaa, että koordinaateista vain puuttuvat edessä toistuvat numerot tai, että ne kuuluvat lyhyempiä koordinaatteja käyttävään järjestelmään. Mikäli kohteen koordinaatit eri järjestelmissä ovat lähellä toisiaan ja suunnittelija merkitsee suunnitelmien nimiöihin ja muihin asiakirjoihin väärän järjestelmän, voi olettamisen takia syntyä merkittäviä ja silti erittäin vaikeasti havaittavia virheitä. (Jaakkola & Järvinen 2012)

Toisinaan suunnittelussa tulee vastaan tilanteita, että suunnittelukohteesta on olemassa tai tuotetaan eri järjestelmissä olevaa käyttökelpoista aineistoa. Esimerkiksi yhdellä pitkällä ratalinjalla voi olla käytössä eri järjestelmiä siirryttäessä rataosalta toiselle. Suunnittelualan ulottuessa järjestelmien vaihtumiskohdan molemmille puolille on vaarana, että järjestelmän vaihtumista ei huomata tai sen merkitystä ei ymmärretä. Tällaisessa tilanteessa suunnitelma ja todellisuus eivät toteutusvaiheessa välttämättä vastaa toisiaan. Ongelmat voivat ilmetä esimerkiksi rakennettaessa uutta ratalinjaa. Jos mittausaineisto ja suunnitelmat ovat eri järjestelmissä, eivät ratalinjan päät välttämättä kohtaakaan. Kuvassa 9 näkyy esimerkkitapaus koordinaateista johtuneesta suunnitteluvirheestä. (Jaakkola & Järvinen 2012)



Kuva 9. Uusi ja vanha ratalinja eivät kohtaa. Uuden ratalinjan perustukset rakennettiin koordinaattien mukaan ja linja piti liittää kuvassa näkyvän vanhan pussiraiteen päähän, mutta jokin meni pieleen. (Lalu, Rejlers Oy)

9 MENETTELYTAPOJA

9.1 Ennakkosuunnittelu

Kun aloitetaan uutta suunnitteluhanketta tai siirrytään seuraavaan suunnitteluvaiheeseen, yksinkertaisin tapa varmistaa työn laatu ja minimoida virheet on työn toteutuksen suunnitteleminen etukäteen. Heti lähtöaineiston hankinnan alkuvaiheessa on hyvä varmistaa, että ne ovat keskenään samassa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä. Erittäin hyvä työkalu tähän on mittaustöiden kohdalla mittaussuunnitelman teko. Suunnitelman tekemiseen on hyvä osallistua mahdollisuuksien mukaan itse kohteen suunnittelija ja mittaustöiden ammattilainen. Näin saadaan varmistettua, että osapuolet tietävät mitä toinen tarvitsee ja väärinymmärryksistä tai muista kommunikaatio-ongelmista syntyvät virheet saadaan vältettyä. Mittaussuunnitelman vastakappaleeksi mittaustyön tekijän tulee toimittaa suunnittelijalle mittaustöiden metatietona mittausraportti, josta suunnittelija näkee mitä on tehty ja miten. Myös ulkopuolisista lähteistä tulleiden lähtöaineistojen mukana on tärkeää toimittaa suunnittelijalle aineiston metatiedot, jotta suunnittelija voi arvioida aineiston informaation laadun. Lähtöaineistojen metatietojen merkitystä suunnittelun onnistumisessa ei voi liikaa korostaa. (Jaakkola & Järvinen 2012)

Vaikka lähtökohtaisesti kannattaa suunnittelussa ja siihen liittyvissä mittaustöissä pyrkiä aineistojen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien yhtenäisyyteen, ei eri järjestelmien käyttö kuitenkaan estä suunnittelua. Mikäli lähtöaineistot ovat eri järjestelmissä, ne voidaan suhteuttaa ja asemoida toisiinsa nähden oikein järjestelmien välisten muunnosten avulla. Muunnoksia tehtäessä täytyy kuitenkin muistaa, että niissä syntyy aina pieniä vääristymiä ja aineiston tarkkuus kärsii. Sen takia erityistä tarkkuutta vaativissa kohteissa on mittaustyöt tehtävä samassa järjestelmässä uudestaan, mikäli aineistojen järjestelmissä on eroja. (Jaakkola & Järvinen 2012)

9.2 Koordinaattimuunnokset

9.2.1 Koordinaattikonversio

Koordinaattikonversio ei ole varsinainen koordinaattimuunnos, sillä muunnokset tehdään saman koordinaattijärjestelmän sisällä ja ainoastaan koordinaattien esitystapa muuttuu. Konversiossa muutetaan esimerkiksi maantieteelliset koordinaatit (φ , λ) tasokoordinaateiksi (X, Y) tai toisin päin. Konversio on matemaattisilla kaavoilla tehtävä muunnos, joka usein alustaa varsinaisia koordinaattimuunnoksia esimerkiksi KKJ:n ja ETRS-GK24:n välillä. Oleellisena erona konversion ja koordinaattimuunnosten välillä on, että konversiossa koordinaattien tarkkuus ei juurikaan kärsi. (Häkli 2009, 35–36)

Koordinaattikonversioksi lasketaan myös projektiokaistan vaihto kahden karttaprojektion tai tasokoordinaatiston, kuten KKJ3 ja KKJ2, välillä. Kaistan vaihdossa olemassa olevat tasokoordinaatit täytyy muuntaa ensin maantieteellisiksi koordinaateiksi ja vasta sen jälkeen toisen kaistan koordinaateiksi. Karttaprojektion vaihdossa ei kuitenkaan tarvitse konvertoida maantieteellisten koordinaattien kautta, jos kyseessä on samalla keskimeridiaanilla olevat poikittaiset lieriöprojektiot. Esimerkiksi ETRS-TM35FIN ja ETRS-GK27-tasokoordinaatistojen välillä konversio voidaan tehdä suorilla kaavoilla. (Häkli 2009, 36–37)

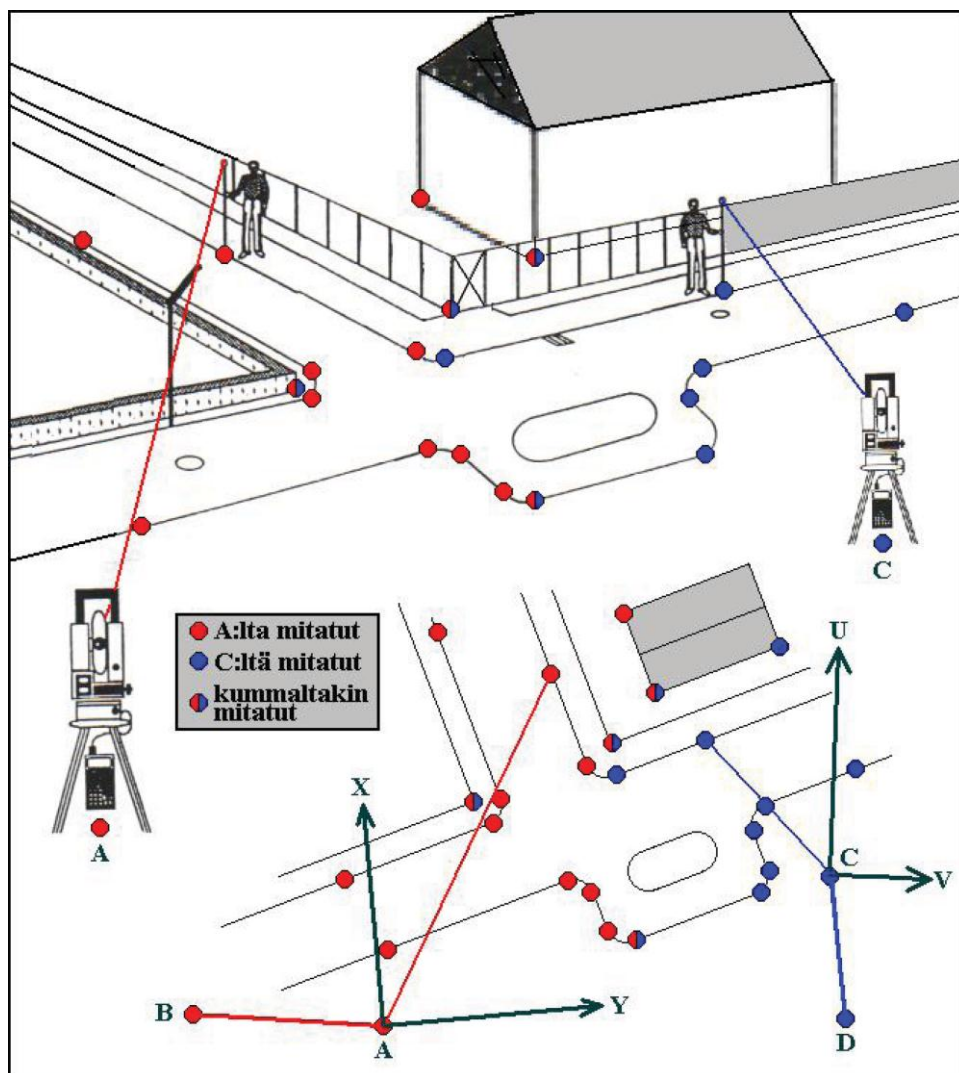
9.2.2 Koordinaattimuunnos ja muunnosparametrit

Toisin kuin koordinaattikonversio, koordinaattimuunnos tehdään kahden eri koordinaattijärjestelmässä, kuten KKJ ja ETRS89, olevien koordinaattien välillä. Muunnoksen tekemistä varten koordinaattien tulee olla samassa esitysmuodossa, eli joko tasokoordinaatteina tai kolmiulotteisina koordinaatteina, ja tarvittaessa koordinaatit konvertoidaan samaan muotoon muunnosta varten. (Häkli 2009, 37–38)

Konversiossa koordinaattien tarkkuus ei kärsi, mutta koordinaattimuunnoksessa lopputulokseen tulee aina muunnosvirhettä, koska koordinaattijärjestelmien muodoissa on eroja. Tämän takia suunnitteluaineiston mukana on aina toimitettava tieto aineiston määrittämismenetelmästä eli onko se tuotettu mittaamalla vai muuntamalla. Koordinaatti-

muunnoksen yhteydessä tulee myös säilyttää alkuperäinen mittausaineisto, sillä muunnoksissa tulisi aina käyttää alkuperäisiä koordinaatteja eikä jo kertaalleen muunnettuja koordinaatteja ole suositeltavaa muuntaa uudestaan. (Häkli 2009, 37–38)

Koordinaattimuunnosten tekemiseen on useita menetelmiä ja käytettävän menetelmän valintaan vaikuttaa muun muassa vaadittu muunnostarkkuus ja muunnoksen käyttötarkoitus. Muunnokset tehdään muunnosparametrien avulla, jotka lasketaan molemmissa koordinaatistoissa mitattujen ja tunnettujen vastinpisteiden avulla (kuva 10). Vastinpisteitä olisi hyvä olla mahdollisimman monta, jotta muunnoksesta saadaan tarkka ja luotettava. (Häkli 2009, 38)

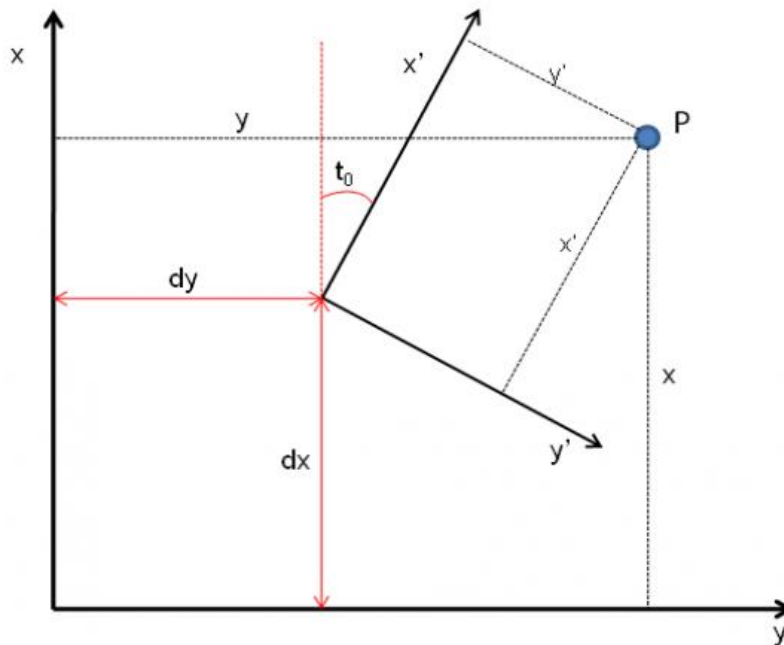


Kuva 10. Kahden eri koordinaatiston välillä on oltava vastinpisteitä eli molemmissa koordinaatistoissa tunnettuja ja mitattuja pisteitä. Vastinpisteiden pohjalta tehtävän muunnoksen avulla koordinaatistot saadaan asemoitua oikein toisiinsa nähden. (Laurila 2010, 74)

9.2.3 Helmert-muunnos

4-parametrinen yhdenmuotoisuusmuunnos tasolla

4-parametrinen yhdenmuotoisuusmuunnos tasolla eli Helmert-muunnos on yleisimmin käytetty kaksiulotteinen koordinaattimuunnosmenetelmä, koska siinä muunnettavien pisteiden muodostaman kuvion muoto säilyy. 4-parametrisessa muunnoksessa tarvitaan molemmissa koordinaattijärjestelmissä vähintään kahden yhteisen pisteen koordinaatit, joiden avulla lasketaan muunnoksessa käytettävät muunnosparametrit. Käyttämällä useampaa vastin pistettä muunnoksesta saadaan tarkempi. 4-parametrisen muunnoksen muunnosparametrit ovat koordinaatiston kierto (t_0), origon siirto (dX ja dY) ja mittakaavan muutos (kuva 11). (Maanmittauslaitos) (Häkli 2009, 39–40)

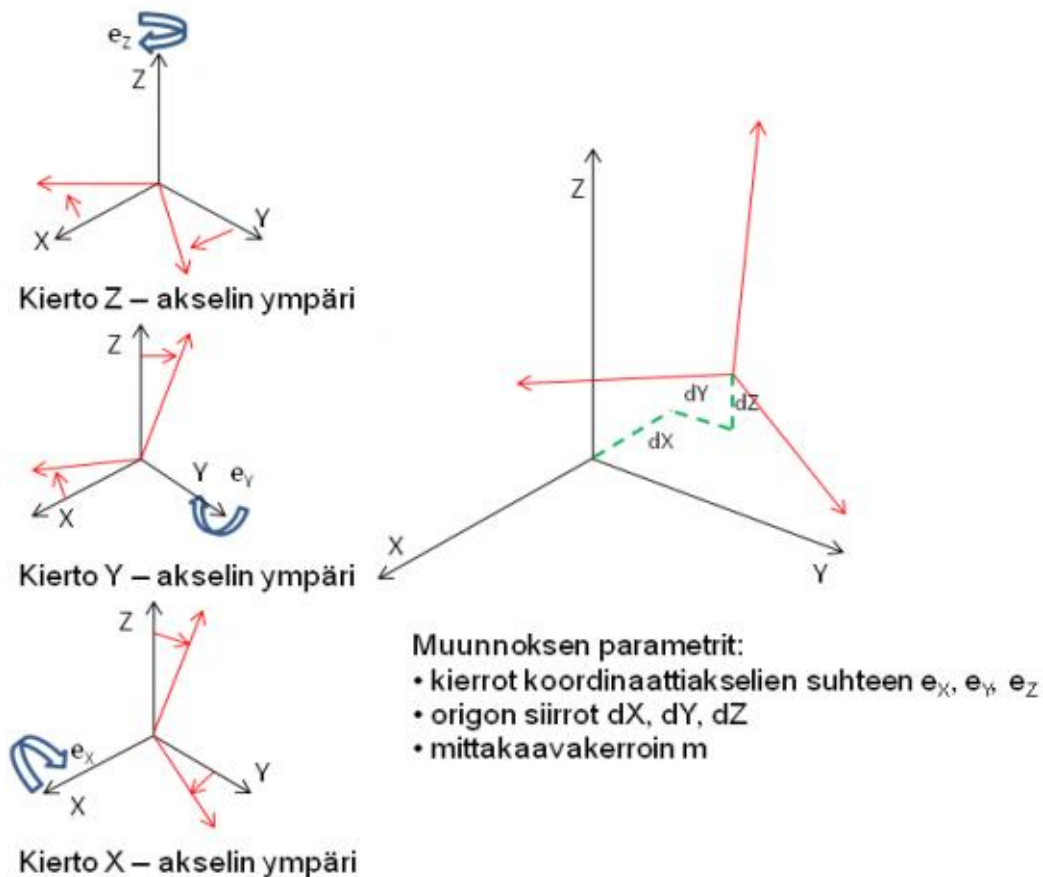


Kuva 11. Tasolla tehtävän yhdenmuotoisuusmuunnoksen periaate (Maanmittauslaitos)

Kolmiulotteinen yhdenmuotoisuusmuunnos

Kolmiulotteisessa yhdenmuotoisuusmuunnoksessa eli 7-parametrisessä Helmert-muunnoksessa koordinaattimuunnos voidaan tehdä kahden kolmiulotteisen koordinaatiston välillä. Kuten tasossa tehtävässä yhdenmuotoisuusmuunnoksessa myös kolmiulotteisessa yhdenmuotoisuusmuunnoksessa muunnettavien pisteiden muodostaman kuvion muoto säilyy. Kolmiulotteista muunnosta tehdessä tarvitaan molemmissa koordinaatistoissa vähintään kolmen yhteisen pisteen koordinaatit, jotta tarvittavat muunnosparametrit voidaan laskea. Kolmiulotteisen yhdenmuotoisuusmuunnoksen muunnosparamet-

rit ovat koordinaatiston kierto kolmen koordinaattiakselin suhteen, origon siirto ja mittakaavan muutos (kuva 12). (Maanmittauslaitos) (Häkli 2009, 38)



Kuva 12. Kolmiulotteisen yhdenmuotoisuusmuunnoksen periaatteet. (Maanmittauslaitos)

9.2.4 Affiininen muunnos

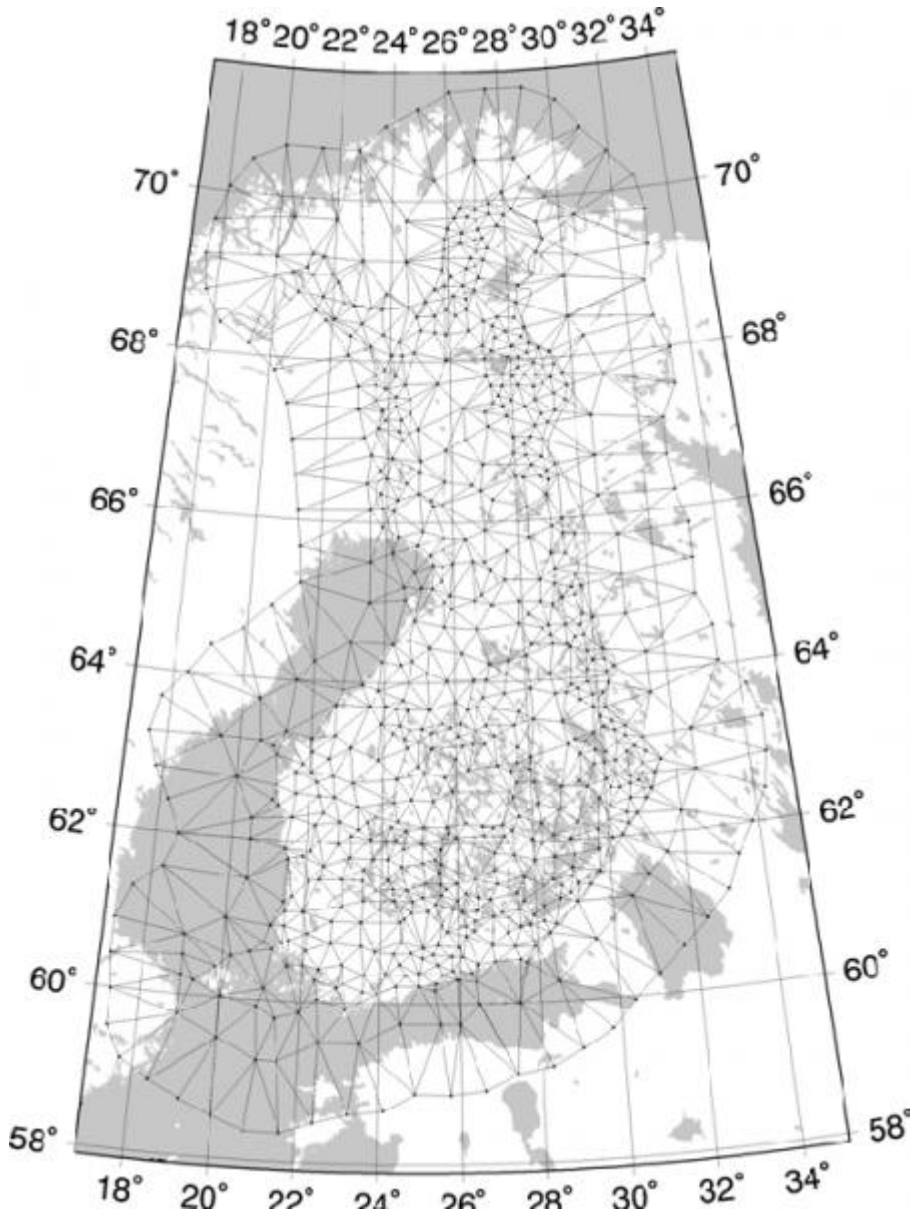
Muunnos tasolla

Tasolla tehtävän affiinisen muunnoksen periaate on vastaava kuin 4-parametrisellä yhdenmuotoisuusmuunnoksella (kuva 11). Affiinisessä muunnoksessa tarvitaan kuitenkin molemmissa koordinaatistoissa vähintään kolmen yhteisen pisteen koordinaatit, joilla voidaan laskea tarvittavat viisi parametria. Affiinisen muunnoksessa tehdään siirto ja mittakaavamuuotos molempien koordinaattiakselin suhteen, jolloin muunnosparametrit ovat kaksi akselien suuntaista siirtoa (dX ja dY), yksi kierto (t_0) ja kaksi mittakaavamuuotosta. (Maanmittauslaitos)

Muunnos kolmioittain

Kolmioittain tehtävä affiininen muunnos on tasolla tehtävän affiinisen muunnoksen erikoistapaus ja käytetään KKK:n ja ETRS-TM35FIN-koordinaatistojen välisten muun-

nosten tekemiseen. Muunnokset tehdään kuvassa 13 näkyvän kolmioverkon avulla. Muunnoksen tekeminen edellyttää, että verkosta paikannetaan kolmio, jonka sisällä muunnettava piste sijaitsee. Kolmion kärkipisteet toimivat koordinaatistojen vastin pisteinä ja niille määritetään parametreina molempien akselien suuntaiset siirrot, koordinaatiston kierto ja mittakaavamuutoksen molempien akselien suhteen. Kolmion parametrien avulla määritetään muunnettavalle pisteelle uudet koordinaatit toisessa koordinaattijärjestelmässä. (Maanmittauslaitos) (Häkli 2009, 41)

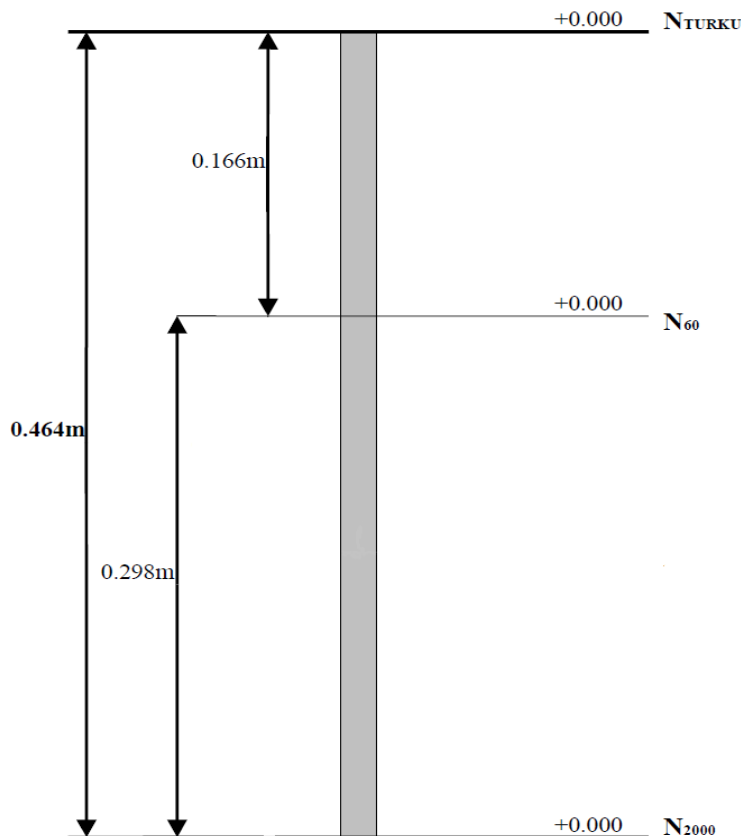


Kuva 13. Affiinisesti kolmioittain tehtävän muunnoksen muunnoskolmiot. (Maanmittauslaitos)

9.3 Korkeusjärjestelmämuunnos

Suomessa käytössä olleet ja olevat korkeusjärjestelmät perustuvat Suomessa tehtyihin tarkkavaaituksiin. Tarkkavaaitusten pohjalta on tehty karttoina esitettäviä kaavioita, joissa näkyy kahden korkeusjärjestelmän väliset korkeuserot korkeuskäyrinä. Liitteessä 5 on nähtävissä korkeuserot N60 ja N2000-korkeusjärjestelmien välillä. Kaavioiden pohjalta voidaan kohteen korkeusasema muuntaa järjestelmästä toiseen. Kaavioiden lukemien mekaanisessa käytössä tulee kuitenkin huomioida, että luvut muuttuvat liukuvasti siirryttäessä korkeusviivalta toiselle. Tämän takia niiden väliin sijoittuvien pisteiden korkeuksia määrittäessä täytyy kaavioiden lukuja interpoloida. Tarkkoja korkeusarvoja tarvittaessa tulisi muunnoksissa huomioida myös korkeusjärjestelmien luonnissa käytetyt eri geoidit ja niiden aiheuttamat erot. (Bilker-Koivula 2009, 20)

Kuvassa 14. on kuvattu Turun kaupungin N_{Turku} -korkeusjärjestelmän suhde N60 ja N2000-korkeusjärjestelmiin. Korkeusero on määritetty tuomiokirkon tornista. Korkeusmuunnosta laskettaessa Turun järjestelmään tulee lisätä ero valtakunnalliseen järjestelmään. (Turun kaupunki)



Kuva 14. Turun korkeusjärjestelmän ero N2000-järjestelmään. (Turun kaupunki)

10 PÄÄTELMÄT

Vaikka ETRS89-koordinaattijärjestelmä on ollut osittaisessa käytössä jo vuodesta 2006 ja Maanmittauslaitos on siirtynyt sen käyttöön vuonna 2010, Suomessa on edelleen laajassa käytössä vanhat koordinaattijärjestelmät VVJ ja KKJ. Koordinaattijärjestelmän vaihtuessa myös korkeusjärjestelmä päivittyi uuteen N2000-järjestelmään. Samoin kuin koordinaattijärjestelmissä myös korkeusjärjestelmissä vanhat järjestelmät ovat edelleen vahvasti käytössä. Suunnittelijan lähtöaineistot sisältävät runsaasti eri järjestelmiä, mikä takia järjestelmien suhteen on oltava tarkkana. Mikäli kaksi eri kartta-aineistoa eivät suunnitteluohjelmassa asetu oikein toisiinsa nähden, on suunnittelijan syytä ensimmäisenä tarkistaa aineistojen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien yhteneväisyys. Jos aineistoissa on eri järjestelmät, tulee suorittaa tarvittavat muunnokset. Muunnosten teko tulee ymmärtää täydellä varmuudella, joten kokemattoman suunnittelijan ei tule niitä tehdä, vaan on suositeltavaa kääntyä asiassa kokeneemman puoleen.

Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiin liittyvien suunnitteluvirheiden havaitseminen kesken suunnittelutyön on vaikeaa, koska suunnitelmakuvissa pisteet voivat asettua toisiinsa nähden oikein. Kun siirrytään suunnitteluvaiheesta toteutusvaiheeseen, saatetaan törmätä siihen tosiasiaan, etteivät pisteet asetukaan oikein todelliseen ympäristöön nähden. Ongelmat voivat ilmetä esimerkiksi suunnitelmassa kohtaavien ratalinjojen risteyttämisestä tai siltakannen vääränä korkeutena. Syitä ongelmiin voivat olla muun muassa puutteet suunnittelijan ja mittajaan välisessä kommunikaatiossa, mittamiehen virheellinen toiminta mittaustyötä tehdessä, suunnittelijan liika olettaminen tai ymmärtämättömyys järjestelmien kanssa toimittaessa.

Jotta virheiden aiheuttamia ongelmia voidaan ehkäistä, on hyvä panostaa ennen suunnittelutyötä tehtävään ennakkosuunnitteluun. Kun suunnittelua varten tehtävä mittaustyö suunnitellaan huolellisesti, mittaustyön tekijä tietää mitä suunnittelija tarvitsee ja suunnittelija tietää mitä saa. Kommunikaatiota osapuolten välillä on hyvä vahvistaa mittaus-suunnitelman ja mittausraportin tekemisellä. Myös muuhun lähtöaineistoon kuuluvan metatiedon hankkiminen on tärkeää, sillä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiin liittyviä arvailuja on syytä välttää.

LÄHTEET

421/2009 Laki paikkatietoinfrastruktuurista. www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090421

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

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

Jaakkola, S. tuotepäällikkö & Järvinen, H. vanhempi konsultti 2012. VR Track Oy. Haastattelu 20.3.2012.

JHS 153. Versio 6.6.2008. Julkisen hallinnon suositus 153 ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. JUHTA. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta.

JHS 154. Versio 6.6.2008. Julkisen hallinnon suositus 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako. JUHTA. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta.

JHS 163. Versio 6.6.2008. Julkisen hallinnon suositus 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000. JUHTA. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta.

L 108. Euroopan unionin virallinen lehti. 25.4.2007.

Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Kopijyvä Oy, Jyväskylä

Maanmittauslaitos. <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/koordinaattikorkeusjarjestelmat>

Mittausohje. Liikenneviraston ohjeita 18/2011. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohje. Verkkojulkaisu pdf. Liikennevirasto. Helsinki. 2011.

Ollikainen, M., Koivula, H. & Poutanen, M. 2001. EUREF-FIN -koordinaatisto ja EUREF -pistetihennykset Suomessa. Geodeettinen laitos. Tiedote 24.

RATO 2. 2010. Liikenneviraston ohjeita 3/2010. Ratatekniset ohjeet osa 2 Radan geometria. Edita Prima Oy. Helsinki.

Ruotsalainen, R. 2008. Suomen uuden korkeusjärjestelmän N2000 synty ja käyttöönotto. Koulutusmateriaali. Hämeen ympäristökeskus 16.5.2008. Maanmittauslaitos.

Tampereen kaupunki. Tampereen maantieteellinen asema. Luettu 28.2.2012. <http://www.tampere.fi/tampereinfo/kartat/maantieteellinenasema.html>

Tietoa maasta. Maanmittauslaitoksen asiakaslehti 3/2009.

Turun kaupunki. <http://www.turku.fi/public/default.aspx?contentid=144407&nodeid=11885>

Vermeer, M. 2011. Johdanto geodesiaan.

Mittausperustan mittaus suunnitelman sisältöluettelo

Hankkeen nimi

Mittausperusta

Mittaus suunnitelman sisältö:

1. **TEHTÄVÄN YLEISKUVAUS**
2. **KOORDINAATISTO JA LÄHTÖPISTEET**
3. **PERUSPISTEET**
 - 3.1 Mittausmenetelmä
 - 3.2 Laskenta
 - 3.3 Mittauskalusto
4. **KÄYTTÖPISTEET**
 - 4.1 Mittausmenetelmä
 - 4.2 Laskenta
 - 4.3 Mittauskalusto
5. **KORKEUDEN MÄÄRITYS**
 - 5.1 Vaaitusjonot
 - 5.2 Kalusto
 - 5.3 Vaaitusten laskenta
6. **TYÖN ORGANISOINTI**
7. **LAADUNAVARMISTUSMENTTELY**
8. **DOKUMENTOINTI JA RAPORTOINTI**
9. **LIITTEET (NUMEERISENA JA TULOSTEENA)**
 - Aluerajaus
 - Peruspisteverkkopiirros
 - Käyttöpisteverkkopiirros
 - Vaaitusjonojen verkkopiirros



MITTAUSRAPORTTI

Projekti	Työn nimi	Päivämäärä	
		/ . 20	
Mittalaitteet			
Vastuuhenkilö	Muut henkilöt		
Työskentelyalue			
Käytetyt pisteet	Koord.järjestelmä	Kork.järjestelmä	
Suoritettu työ ja luodut tiedostot			
Säätila ja poikkeamat normaalista			
Paikka	Allekirjoitus		

Tarkan maastomallin koodiluettelo

KOODI	SELITE	MITTAUSTAPA stg=staatt.gps v=vaaitus t=takymetri als=laser (lento) fot=fototgr.mitt. mls=ajon.laser tls=maalaser rtk=rtk-gps vrs=vrs-gps	AQL Täydellisyys	AQL Koodaus	KESKIVIRHE XYZ	KESKIVIRHE XY	KESKIVIRHE Z kovat (pehmeät)	YLÄRAJA (AQL 4) taso/korkeus	TOPOLOGIAT
0	Pinnan hajapiste tai taiteviiva	als/fot/mls/tls/t		2,5			100 (200)	200 (400)	piste
1	Kolmiopiste 1.luokka								piste
2	Kolmiopiste 2.luokka								piste
3	Kolmiopiste 3.luokka								piste
4	Peruspiste	stg/v				10 ppm	10 ppm		piste
5	Käyttöpiste	stg/t/v				20 ppm	10 ppm		piste
6	Apukiintopiste	stg/t				30 ppm	50 ppm		piste
10	Korkeuskiintopiste	v					10 ppm		piste
11	Korkeustukipiste	t					50 ppm		piste
12	Apupiste	als/fot/mls/tls/t							piste
20	Apuviiva	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5	50			100	viiva
83	Kiskokosketin	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5	50			100	piste
88	Vaihteenkosketin	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5	50			100	piste
89	Varmistuslukko	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5	50			100	piste
90	Vaihteen sähkökääntölaite	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5	50			100	piste
94	Masto	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5		50		100	piste
95	Valaisin	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5		50		100	piste
97	Kaapelikaivo	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
120	Tien reuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
121	Tien keskilinja	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
122	Päällysten reuna (Kestopäällyste)	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
123	Pientareen ulkoreuna (sisäluiskan yläreuna)	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
124	Sisäluiskan alareuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
125	Ulko- (leikkaus-) luiskan alareuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
126	Ulko (leikkaus-) luiskan yläreuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
127	Muu tien pinnan taiteviiva	als/fot/mls/tls/t					100	100/200	viiva
128	Valereuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
129	Polku	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50		100	viiva
130	Reunakivi korkeus alapuolelta	mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
131	Reunakivi korkeus yläpuolelta	mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
132	Tukimuuri korkeus alapuolelta	mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva

Tarkan maastomallin koodiluettelo

KOODI	SELITE	MITTAUSTAPA stg=staatt.gps v=vaaitus t=takymetri als=laser (lento) fot=fototgr.mitt. mls=ajon.laser tls=maalaser rtk=rtk-gps vrs=vrs-gps	ACL Täydellisyys	ACL Koodaus	KESKIVIRHE XYZ	KESKIVIRHE XY	KESKIVIRHE Z	YLÄRAJA (ACL 4)	TOPOLOGIAT
133	Tukimuuri korkeus yläpuolelta (rakenteen muoto tarvittaessa 3D - viivoina)	mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
140	Ojan reuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
141	Ojanpohja	als/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
146	Joen reuna (törmän yläreuna)	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100 (200)	100/200 (400)	viiva
147	Rantaviiva	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5			100	200	viiva
148	Vesipinta	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
150	Luiskan alareuna (myös kasat, pinta 9)	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100 (200)	100/200 (400)	viiva
151	Luiskan yläreuna (myös kasat, pinta 9)	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100 (200)	100/200 (400)	viiva
191	Avokallion rajaus	t/rtk/vrs (xy), l (z)	2,5	2,5		200	100	400/200	viiva
192	Kallioleikkaus alareuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100 (200)	100/200 (400)	viiva
193	Kallioleikkaus yläreuna	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
195	Kalliohyllyn ja maaleikkauksen raja	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50		100	viiva
196	Kalliopinta, luodattu	t/rtk/vrs	2,5	2,5		50			piste
200	Rakennus yleensä, seinälinja	mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	viiva
201	Rakennus, seinälinja (asuin-, liike-, tehdas-, yleinen)	mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	viiva
202	Rakennus, seinälinja (talous-, varastorakennus)	mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	viiva
203	Katos	als/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	viiva
204	Portaat	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	viiva
205	Muu rakenne	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5	50			100	Piste/ viiva
206	Rakennuksen räystäs	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	viiva
210	Aita yleensä	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
211	Puuaita	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
212	Verkkoaita	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
213	Kiviaita, tiili- tai betonimuuri	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva

Tarkan maastomallin koodiluettelo

KOODI	SELITE	MITTAUSTAPA stg=staatt.gps v=vaaitus t=takymetri als=laser (lento) fot=fototgr.mitt. mls=ajon.laser tls=maalaser rtk=rtk-gps vrs=vrs-gps	AQL Täydellisyys	AQL Koodaus	KESKIVIRHE XYZ	KESKIVIRHE XY	KESKIVIRHE Z	YLÄRAJA (AQL 4)	TOPOLOGIAT
256	Tilan raja	t/rtk/vrs							viiva
257	Tontin raja	t/rtk/vrs							viiva
258	Epävarma tilan raja	t/rtk/vrs							viiva
259	Tiealueen/rautatiealueen raja	t/rtk/vrs							viiva
260	Kuvioraja yleensä	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					viiva
261	Salaojitettu pelto	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					viiva
262	Salaojittamaton pelto	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					viiva
263	Suo	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					viiva
271	Huomattava kivi	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste /viiva
272	Huomattava lehtipuu	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2720	Vaahtera	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2721	Koivu	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2722	Haapa	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2723	Pihlaja	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2724	Hopeapaju	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2725	Salava	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2726	Leppä	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2727	Tammi	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2728	Raita	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2729	Lehmus	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
273	Huomattava havupuu	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2730	Mänty	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2731	Kuusi	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2732	Kataja	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
2733	Lehtikuusi	als/fot/mls/tls/t/rtk/vra	2,5	2,5					piste
274	Huomattava pensas	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
275	Kelo	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5					piste
280	Rautatiekiskon selkä	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
281	Raitteen keskilinja	t	2,5	2,5	10			20	viiva
2814	Raitteen keskilinja tasoristeyksen kohdalla	t	2,5	2,5	10			20	viiva
2815	Raitteen keskilinja sillan kohdalla	t	2,5	2,5	10			20	viiva

Tarkan maastomallin koodiluettelo

KOODI		MITTAUSTAPA stg=staatt.gps v=vaaitus t=takymetri als=laser (lento) fot=fototgr.mitt. mls=ajon.laser tls=maalaser rtk=rtk-gps vrs=vrs-gps	ACL Täydellisyys	ACL Koodaus	KESKIVIRHE XYZ	KESKIVIRHE XY	KESKIVIRHE Z	YLÄRAJA (ACL 4)	TOPOLOGIAT
2816	Raiteen keskilinja rummun kohdalla	t	2,5	2,5	10			20	piste
282	Vaihteen etujatkos	t	2,5	2,5	10			20	piste
283	Vaihteen takajatkos	t	2,5	2,5	10			20	piste
284	Lankutuksen reuna tasoristeyksessä	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
285	Raidepuskin	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	viiva
286	Laituri	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
287	Km-pylväs	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
288	sähköratapylväs yleensä (keskipiste)	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
2880	Sähköratapylvään perustuksen korko	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5			100	200	piste
2881	I-pylväs (keskipiste)	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
2882	P-pylväs (keskipiste)	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
2883	R-pylväs (keskipiste)	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50				piste
2884	Sähköratapylväs yleensä	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
289	Raiteen rajamerkki	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50	50		100	viiva
290	Muu radan rakenne	t(xyz),rtk/vrs (xy)			50	50		100	piste
291	Raiteen sulkku	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50				piste
292	Maaliviiva päällystetyllä alueella	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
293	Suojatie	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
300	Rummut	t	1,0	1,0	50			100	piste/ viiva
400	Kaivot ja putket	als/fot/mls/tls/t	2,5	2,5	50			100	piste/ viiva
600	Maakaapelit	t/rtk/vrs			50				piste/ viiva
5000	Ilmajohdot	als/fot/mls/tls/t/rtk/vrs	2,5	2,5	50				piste/ viiva
701	Reitti	t/rtk/vrs	2,5	2,5		50	100	100/200	viiva
702	Kanava	t/rtk/vrs	2,5	2,5		50		100/200	viiva
704	Putkitus	t/rtk/vrs	2,5	2,5		50		100/200	viiva
710	Kaapelin merkkipaalu	t/rtk/vrs	2,5	2,5				100	piste
711	Jatko	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
713	Kaappi yleensä	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
714	Koju	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
715	Vaihteen lämmittimen tehomuuntaja	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste

Tarkan maastomallin koodiluettelo

KOODI	SELITE	MITTAUSTAPA stg=staatt.gps v=vaaitus t=takymetri als=laser (lento) fot=fototgr.mitt. mls=ajon.laser tls=maalaser rtk=rtk-gps vrs=vrs-gps	AQL Täydellisyys	AQL Koodaus	KESKIVIRHE XYZ	KESKIVIRHE XY	KESKIVIRHE Z	YLÄRAJA (AQL 4)	TOPOLOGIAT
716	Vaihteen lämmittimen erotusmuuntaja	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
717	Vaihteen lämmittimen kytkinrasia	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
718	Erottimen kytkinrasia	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
719	Lenkki	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
720	Kahdeksikko	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
721	Autolämmittimen pistorasia	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
722	Valaistuskaappi	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
723	Vaihteenlämmittimen kaappi	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
724	Kaapelikaivo luukulla	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
725	Alkumerkki (taiteviivan alku- ja loppupiste)	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
726	Tankokuoppa VL	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
727	Eristyksen liikennemerkki	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
728	Tieopastin	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
730	Opastin (masto)	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
731	Raideopastin	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
732	Turvalaitepainike	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
733	Turvalaite ohj.kytkin	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
735	Opastinporttaalin jalka	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
736	Avainsalpalaitte	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
737	Porttaaliopastin	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
738	Impedenssisilta	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
739	KytKentärasia	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
740	Puomi	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
741	Varoitusvalo	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
742	Akselinlaskija	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
743	Turvalaitekaappi	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
744	Ohjattu baliisi	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
745	Ohjaamaton baliisi	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
751	Syöttöpää	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
752	Relepää	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
753	Juoksutus	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste
754	RVP silmukka	t/rtk/vrs	2,5	2,5	50			100	piste

LIITE I

DIREKTIIVIN 6 ARTIKLAN A ALAKOHDASSA, 8 ARTIKLAN 1 KOHDASSA JA 9 ARTIKLAN A ALAKOHDASSA TARKOITETUT PAIKKATIETORYHMÄT

1. Koordinaattijärjestelmät

Järjestelmät, joissa paikkatietoihin liittyvä sijainti esitetään yksikäsitteisesti koordinaattien (x, y, z) ja/tai maantieteellisten pituus- ja leveysasteiden sekä korkeuden avulla ja jotka perustuvat horisontaalisiin ja vertikaalisiin geodeettisiin vertausjärjestelmiin.

2. Paikannusruudustot

Yhdenmukaistettu monitasoinen ruudukko, jossa on yhteinen lähtöpiste ja standardoitu yksittäisen ruudun sijainti ja koko.

3. Paikannimet

Maa-alueiden, alueiden, paikkakuntien, suurkaupunkien, esikaupunkien, kaupunkien tai taajamien nimet tai muut sellaisten maantieteellisten tai topografisten kohteiden nimet, joilla on yleistä tai historiallista merkitystä.

4. Hallinnolliset yksiköt

Hallinnolliset yksiköt, jotka jakavat alueen, jolla jäsenvaltioilla on tai jolla ne käyttävät lainkäyttöoikeuksia, paikalliseen, alueelliseen ja valtakunnalliseen hallintoon ja jotka erotetaan toisistaan hallinnollisin rajoin.

5. Osoitteet

Kiinteistöjen sijainti, joka perustuu osoitetietoon, jossa tavallisesti kadunnimi, talon numero ja postinumero.

6. Kiinteistöt

Alueet, jotka on määritelty kiinteistörekisterissä tai vastaavassa.

7. Liikenneverkot

Tie-, raide-, ilma- ja vesiliikenneverkot ja niihin liittyvä infrastruktuuri. Sisältää eri verkkojen väliset yhteydet. Sisältää myös Euroopan laajuisen liikenneverkon sellaisena kuin se on määritelty yhteisön suuntaviivoista Euroopan laajuisen liikenneverkon kehittämiseksi 23 päivänä heinäkuuta 1996 tehdystä Euroopan parlamentin ja neuvoston päätöksessä N:o 1692/96/EY⁽¹⁾ ja tämän päätöksen tulevissa tarkistuksissa.

8. Hydrografia

Hydrografiset elementit, mukaan luettuina merialueet ja kaikki muut vesimuodostumat ja niihin liittyvät kohteet, mukaan lukien vesistöalueet ja vesistöalueen osat. Tarvittaessa yhteisön vesipolitiikan puitteista 23 päivänä lokakuuta 2000 annetussa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2000/60/EY⁽²⁾ olevien määritelmien mukaan ja verkostomuodossa.

9. Suojellut alueet

Erityisten suojelutavoitteiden saavuttamiseksi kansainvälisen, yhteisön ja jäsenvaltioiden lainsäädännön puitteissa nimetty tai hoidettu alue.

⁽¹⁾ EYVL L 228, 9.9.1996, s. 1, päätös sellaisena kuin se on viimeksi muutettuna neuvoston asetuksella N:o 1791/2006/EY (EUVL L 363, 20.12.2006, s.1).

⁽²⁾ EYVL L 327, 22.12.2000, s. 1, direktiivi sellaisena kuin se on muutettuna päätöksellä N:o 2455/2001/EY (EYVL L 331, 15.12.2001, s. 1).

LIITE II

**DIREKTIIVIN 6 ARTIKLAN A ALAKOHDASSA, 8 ARTIKLAN 1 KOHDASSA JA 9 ARTIKLAN
B ALAKOHDASSA TARKOITETUT PAIKKATIETORYHMÄT**

1. Korkeus

Digitaaliset maan-, jään- ja merenpintaa kuvaavat korkeusmallit. Sisältää maanpinnan korkeussuhteet, syvyyssiedot ja rantaviivan.

2. Maanpeite

Maapallon pinnan fysikaalinen ja biologinen peite, mukaan luettuina keinotekoiset peitteet, maatalousalueet, metsät, (osaksi) luonnontilassa olevat alueet, kosteikot ja vesistöt.

3. Ortoilmakuvat

Joko satelliittien tai lentokäyttöisten sensorien toimittamia maantieteelliseen koordinaatistoon sidottuja kuvatietoja maapallon pinnasta.

4. Geologia

Geologia kuvattuna koostumuksen ja rakenteen mukaan. Sisältää kallioperän, akviferit ja pinnanmuodot.

LIITE III

**DIREKTIIVIN 6 ARTIKLAN B ALAKOHDASSA JA 9 ARTIKLAN B ALAKOHDASSA TARKOITETUT
PAIKKATIETORYHMÄT**

1. Tilastoyksiköt
Tilastotietojen levittämisen- tai käyttöyksiköt.
2. Rakennukset
Rakennusten maantieteellinen sijainti.
3. Maaperä
Maannoksen ja muuttumattoman pohjamaalajin kuvaaminen syvyyden, raakoostumuksen, rakenteen sekä hiukkasten ja orgaanisen aineksen sisällön, kivisyyden, eroosion ja tarvittaessa keskimääräisen kaltevuuden ja arvioidun veden varastointikapasiteetin mukaan.
4. Maankäyttö
Alueen kuvaaminen sen nykyisen ja tulevan suunnitellun käyttötarkoituksen tai sosioekonomisen tarkoituksen (esimerkiksi asuin- tai teollisuusalue, liikekeskus, maa- tai metsätalousalue tai virkistysalue) mukaan.
5. Väestön terveys ja turvallisuus
Ympäristön laatuun välittömästi (esimerkiksi ilman pilaantuminen, kemikaalit, otsonikerroksen oheneminen, melu) tai välillisesti (esimerkiksi elintarvikkeet, muuntogeeniset organismit) yhteydessä olevien sairauksien (esimerkiksi allergiat, syövät, hengityselinsairaudet) maantieteellinen esiintyminen, tiedot, jotka osoittavat vaikutuksen terveyteen (esimerkiksi biologiset merkkiaineet, hedelmällisyyden väheneminen, epidemiat) tai ihmisten hyvinvointiin (esimerkiksi väsymys, stressi).
6. Yleishyödylliset ja muut julkiset palvelut
Tämä käsittää yleishyödyllisten palvelujen laitokset, kuten viemäroinnin, jätehuollon, energiahuollon ja vesihuollon, sekä hallinnolliset ja sosiaaliset julkiset palvelut, kuten viranomaiset, väestönsuojat, koulut ja sairaalat.
7. Ympäristön tilan seurantalaitteet
Ympäristön tilan seurantalaitteiden sijaintiin ja käyttöön kuuluu päästöjen, ilman, maaperän ja veden tilan ja muiden ekosysteemin muuttujien (luonnon monimuotoisuus, kasviston ekologiset olot jne.) seuranta ja mittaukset, joista vastaavat viranomaiset tai muut toimijat viranomaisten puolesta.
8. Tuotanto- ja teollisuuslaitokset
Teollisuusalueet, mukaan luettuina ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämiseksi 24 päivänä syyskuuta 1996 annetun neuvoston direktiivin 96/61/EY⁽¹⁾ soveltamisalaan kuuluvat laitokset sekä vedenottamot, kaivokset ja varastoalueet.
9. Maatalous- ja vesiviljelylaitokset
Maatalouden tuotantolaitteet ja -laitteistot (mukaan luettuina kastelujärjestelmät, kasvihuoneet ja eläinsuojat).
10. Väestöjakauma – demografia
Väestön maantieteellinen jakautuminen, mukaan lukien väestöä koskevat tunnusluvut ja taloudellisen toimeliaisuuden tasot, yhdisteltynä ruudukoittain, alueittain, hallintoyksiköittäin tai muiden analyttisten yksiköitten mukaisesti jaoteltuna.
11. Aluesuunnittelun, rajoitusten ja sääntelyn piiriin kuuluvat alueet ja raportointiyksiköt
Alueet, joita hoidetaan, säännellään tai käytetään kansainvälisen, Euroopan, kansallisen, alueellisen tai paikallisen tason raportointiin. Sisältää kaatopaikat, juomavedenottoaikoja ympäröivät suoja-alueet, nitraatin aiheuttamalle pilaantumiselle alttiit alueet, säännelty laivaväylät merellä tai suurilla sisävesillä, jätteiden upottamiskielon soveltamisalaan kuuluvat alueet, melurajoitusalueet, luonnonvarojen tai malmin etsintäalueet, ja kaivostoiminnan lupa-alueet, vesipiirit, asiaankuuluvat raportointiyksiköt ja rannikkoalueiden hallinta-alueet.

⁽¹⁾ EYVL L 257, 10.10.1996, s. 26, direktiivi sellaisena kuin se on viimeksi muutettuna Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksella (EY) N:o 166/2006 (EUVL L 33, 4.2.2006, s. 1).

12. Luonnonriskialueet

Luonnonkatastrofien (kaikki ilmakehästä johtuvat, hydrologiset, seismiset, tuliperäiset ja maastopaloilmiöt, joilla sijaintinsa, vakavuutensa ja yleisyytensä vuoksi voi mahdollisesti olla vakavia vaikutuksia yhteiskuntaan), kuten tulvien, maanvyöryjen ja vajoamisen, lumivyöryjen, metsäpalojen, maanjäristysten ja tulivuortenpurkausten, mukaan luokitellut riskialueet.

13. Ilmakehän tila

Ilmakehän fysikaaliset olosuhteet. Sisältää mittauksiin, malleihin tai näiden yhdistelmiin perustuvia paikkatietoja sekä tiedot mittauspaikoista.

14. Ilmaston maantieteelliset ominaispiirteet

Sääolot ja niihin liittyvät mittaukset; sademäärä, lämpötila, kokonaishaihdunta, tuulen nopeus ja suunta.

15. Merentutkimuksen maantieteelliset ominaispiirteet

Merialueitten fysikaaliset olosuhteet (esimerkiksi virtaukset, suolapitoisuus ja aaltojen korkeus).

16. Merialueet

Yhteisten ominaispiirteitten mukaisesti alueisiin ja osa-alueisiin jaoteltujen merien ja suolaisten vesistöjen fyysiset olosuhteet.

17. Biomaantieteelliset alueet

Alueet, joilla on suhteellisen yhtenäiset ekologiset olosuhteet ja yhteisiä ominaispiirteitä.

18. Elinympäristöt ja biotoopit

Maantieteelliset alueet, joille ovat ominaisia erityiset ekologiset olosuhteet, prosessit, rakenne ja (elämää ylläpitävät) toiminnot, jotka tukevat fysikaalisesti alueella eläviä organismeja. Sisältää maa- ja vesialueet, joilla on omat maantieteelliset, abiottiset ja bioottiset ominaisuutensa ja jotka ovat joko luonnontilassa tai osittain luonnontilassa.

19. Lajien levinneisyys

Eläin- ja kasvilajien esiintymien maantieteellinen levinneisyys ruudukokoittain, alueittain, hallintoyksiköittäin tai muiden analyttisten yksiköitten mukaisesti jaoteltuna.

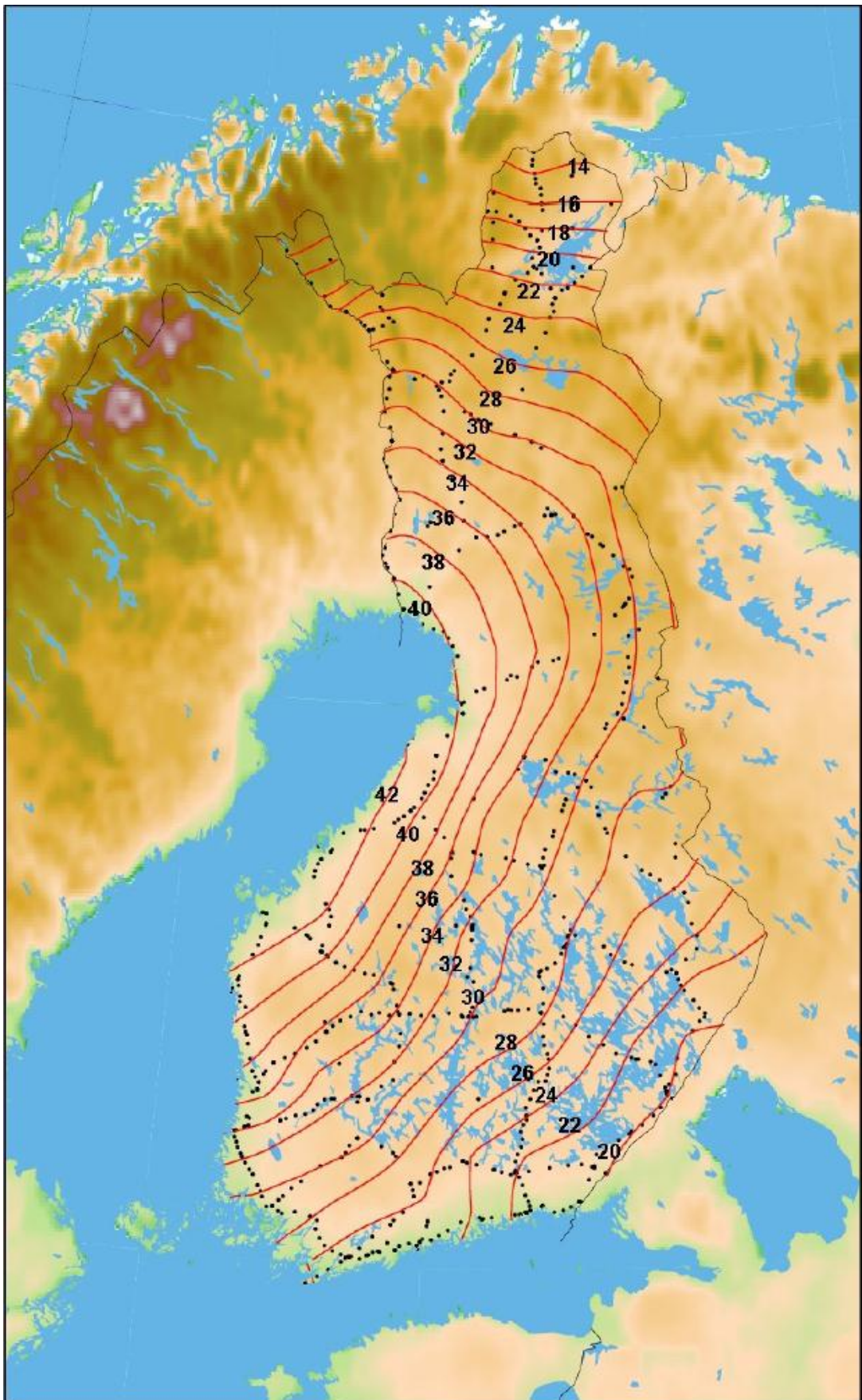
20. Energiavarat

Energiavarat, mukaan lukien hiilivedyt, vesivoima, bioenergia, aurinko, tuuli jne., mukaan luettuina tarvittaessa syvyys-/korkeustiedot kyseisen luonnonvaran laajuudesta.

21. Mineraalivarat

Mineraalivarat, mukaan lukien metallimalmit, teollisuusmineraalit jne., mukaan luettuina tarvittaessa syvyys-/korkeustiedot kyseisen luonnonvaran laajuudesta.

Liite 5 N2000 ja N60-korkeusjärjestelmien väliset erot [cm] (JHS 163 10/16)



Liite 6 Karttalehtijaon ja tunnusjärjestelmän periaate. (JHS 154, 13/15)

Mittakaava	Lehtinumero	
1:200 000	V3	jaetaan 4 osaan 1 - 4
1:100 000	V31	jaetaan 4 osaan 1 - 4
1:50 000	V313	jaetaan 4 osaan 1 - 4
1:25 000	V3133	jaetaan 4 osaan A - H
1:10 000	V3133A	jaetaan 4 osaan 1 - 4
1:5 000	V3133A3	ei jaeta

