

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Tommi Helander

**KYY-paikkatietohanke ja siihen liittyvät
koordinaatistomuunnokset**

Insinööriyö 5.5.2010

Ohjaaja: maanmittausteknikko Sami Jaakkola
Ohjaava opettaja: lehtori Jussi Laari

Tekijä Otsikko	Tommi Helander KYY-paikkatietohanke ja siihen liittyvät koordinaatistomuunnokset
Sivumäärä Aika	67 sivua 5.5.2010
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	maanmittausteknikko Sami Jaakkola lehtori Jussi Laari
<p>Tämä insinööriyö tehtiin Oy VR-Rata Ab:n tilauksesta liittyen KYY-paikkatietohankkeeseen (Kaapelitiedot yhtenäisesti ylläpidettyinä). Tämän työn tavoitteena oli tehdä selvitys Suomen rataverkolla käytössä olevista koordinaattijärjestelmistä ja selvittää, kuinka koordinaatistomuunnokset paikkatietojärjestelmän yhtenäiseen EUREF-FIN-koordinaatistoon tapahtuvat käytännössä.</p> <p>KYY-paikkatietohanke on kaapelitietojen yhtenäistämistä ja ylläpitoa sekä piirustusarkistojen sähköistä jakelua varten suunnitteilla oleva paikkatietohanke, jonka toteuttamista ja ylläpitämistä Oy VR-Rata tarjoaa Liikennevirastolle.</p> <p>Suomen rataverkko on rataosuuksien muodostama kokonaisuus, jota hallinnoi Liikennevirasto. Rataverkolla on erilaisissa suunnittelu-, mittaus- ja kartoitustehtävissä käytössä erilaisia koordinaattijärjestelmiä, kuten kartastokoordinaattijärjestelmää (KKJ), eri kaupunkien paikallisia järjestelmiä ja valtion vanhaa järjestelmää (VVJ). Koordinaattijärjestelmien tarkat rajat Suomen rataverkolla selvitettiin osin eri rata-alueiden rautatiesuunnittelijoiden laskennoista ja osin perustuen jo aiemmin kerättyyn tietoon.</p> <p>KYY-paikkatietohankkeen tuloksena syntyvän paikkatietojärjestelmän yhtenäiseksi koordinaatistoksi valittiin JHS 153:n suosittama EUREF-FIN, jonka muodostettavaksi tasokoordinaatistoksi tulee ETRS-TM35FIN.</p> <p>Koordinaatistomuunnoksissa käytettiin neliparametrinen HELMERT-muunnosta, affiinista muunnosta sekä erilaisia projektimuunnoksia. Muunnos KKJ:stä ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistoon tapahtui useassa eri vaiheessa, joissa ensin muunnettiin KKJ-koordinaatit yhtenäiskoordinaatistoon (YKJ) projektiokaavojen avulla. Tämän jälkeen suoritettiin tasomuunnos ETRS-TM35FIN-koordinaatistoon. Muunnokset kaupunkien paikallisista järjestelmistä suoritettiin ensin muuntamalla kaupunkien paikallisissa järjestelmissä olevat koordinaatit KKJ:hin, minkä jälkeen ne voitiin muuntaa aiemmin mainitun menetelmän avulla lopulliseen koordinaatistoon. Kyseisellä tavalla meneteltiin myös VVJ-koordinaattien kanssa.</p>	
Hakusanat	koordinaatistomuunnos, HELMERT, affiinininen, EUREF-FIN, ETRS-TM35FIN, KKJ, paikkatieto, paikkatietojärjestelmä

Author Title	Tommi Helander KYY project and the coordinate transformations associated with it
Number of Pages Date	67 5 May 2010
Degree Programme	Land Surveying
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Sami Jaakkola, Project Manager Jussi Laari, Principal Lecturer
<p>This thesis was done on the request by VR-Track Ltd., regarding the KYY project, a GIS (Geographic Information System) project for unifying cable information and filing of it, as well as for distributing cable drawings electronically. The purpose of this thesis is to summarize the various coordinate systems currently used on the Finnish railroad network and define the coordinate transformations needed when transforming the material to the EUREF-FIN coordinate system, which will be used throughout the KYY project.</p> <p>The Finnish railroad network, consisting of numerous track parts, is supervised by the Finnish Transport Agency. Different coordinate systems, such as the Finnish national system and the system of the city of Helsinki, have been used in different kinds of planning, measuring and surveying assignments on the railroad network. For the final year project, the exact starting and ending points of each coordinate system on the railroad network were collected partly from calculations made by planners at various track districts, and partly from previous researche.</p> <p>The HELMERT transformation with four parametres, affine transformation and several projection transformations were used to achieve the needed coordinate transformations to the desired coordinate system. The transformations from the various previous systems were done in several steps.</p> <p>The final year project resulted in a summary of the various coordinate systems currently used on the Finnish railroad network and in various methods to perform the needed coordinate transformations to the desired coordinate system.</p>	
Keywords	coordinate transformation, HELMERT, affine, EUREF-FIN, ETRS-TM35FIN, GIS

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Käytetyt lyhenteet

1 Johdanto	8
1.1 Työn taustat ja tavoitteet	8
1.2 Käsitteet paikkatieto ja paikkatietojärjestelmä.....	9
1.2.1 Paikkatieto.....	9
1.2.2 Paikkatietojärjestelmä	10
1.3 Koordinaattijärjestelmä	11
1.4 Koordinaatistomuunnos	12
2 KYY-paikkatietohanke	14
2.1 Hankkeen tarkoitus.....	14
2.2 Paikkatietojärjestelmän kuvaus	14
2.3 Järjestelmässä käytettävät ohjelmistot	15
2.3.1 AutoCAD Map 3D	15
2.3.2 Autodesk MapGuide	16
3 Suomen rataverkko.....	17
3.1 Yleistä	17
3.2 Rataosat	17
3.3 Ratakilometrit.....	18
4 Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla.....	20
4.1 Selvitysmenetelmät	20
4.2 Yleiskatsaus	21
4.3 Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ)	22
4.3.1 Perusta.....	22
4.3.2 Projektio ja projektiokaistat	23
4.3.3 Peruskoordinaatisto	24
4.3.4 Yhtenäiskoordinaatisto.....	25
4.4 Valtion vanha järjestelmä (VVJ).....	26
4.5 Kaupunkien paikalliset järjestelmät	26
5 EUREF-FIN-koordinaatisto	28
5.1 Perusta.....	28
5.2 Karttaprojektiot	29

5.2.1 Yleistä	29
5.2.2 ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto.....	30
5.2.3 ETRS-GKn-tasokoordinaatisto	31
5.3.4 Projektiokorjaukset	31
6 Koordinaatistomuunnokset	32
6.1 Muunnostyytit	32
6.1.1 Neliparametrinen HELMERT-muunnos	32
6.1.2 Affiininen muunnos	37
6.2 Muunnos KKJ:stä EUREF-FINIin (ETRS-TM35FIN).....	39
6.3 Muunnokset kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin	41
6.4 Muunnos VVJ:stä KKJ:hin	42
7 Yhteenveto	43
Lähteet.....	44
Liitteet	
Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla	46
Liite 2: JHS 154, Liite 1: Projektiokaavat.....	54
Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin.....	60
Liite 4: Muunnoskaava ja –parametrit HELMERT-muunnosta varten VVJ:stä KKJ:hin	67

Käytetyt lyhenteet

2D	Kaksiulotteinen
3D	Kolmiulotteinen
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989 3D-koordinaattijärjestelmä, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan yhtenäiseen osaan ja yhtyy ITRS-järjestelmään epookkina 1989.0.
EUREF	European Reference Frame ETRS89-järjestelmän realisaatio
EUREF-FIN	ETRS89-järjestelmän realisaatio Suomessa
GIS	Geographic Information System Paikkatietojärjestelmä
GPS	Global Positioning System Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä ja rahoittama satelliittipaikannusjärjestelmä
GRS80	Geodetic Reference System 1980 Vertausjärjestelmä, jonka IAG päätti ottaa käyttöön vuonna 1979.
ITRS	International Terrestrial Reference System Globaali geosentrinen 3D-koordinaattijärjestelmä, jonka perussuuret ovat GRS80-järjestelmän mukaisia.
JHS	Julkisen hallinnon suositukset

KKJ	Kartastokoordinaattijärjestelmä
KYY	Kaapelitiedot yhtenäisesti ylläpidettyinä
UTM	Universal Transverse Mercator Poikittainen leikkaava lieriöprojektiio 6° levyisin kaistoin
VVJ	Valtion vanha järjestelmä

1 Johdanto

1.1 Työn taustat ja tavoitteet

Tämä insinööri työ on tehty Oy VR-Rata Ab:n tilauksesta liittyen KYY-paikkatietohankkeeseen (kaapelitiedot yhtenäisesti ylläpidettyinä). Hankkeen tarkoituksena on tarjota Liikennevirastolle paikkatietojärjestelmä, joka yhtenäistää Suomen rataverkolla tehdyt kaapelikartoitukset sekä sähköpiirustusarkiston yhteen ja samaan järjestelmään, josta tarvittavat tiedot olisivat mahdollisimman helposti niitä tarvitsevien tahojen saatavilla. Tämän työn tavoitteena oli tehdä paikkatietohanketta varten selvitys Suomen rataverkolla käytössä olevista koordinaattijärjestelmistä ja paikkatietojärjestelmän vaatimien koordinaatistomuunnosten toteutuksista sekä teoriassa että käytännössä. Tässä työssä on myös selvitetty teoriaa, mikä on olennaista lukijalle, jotta tämä saisi paremman kokonaiskuvan aiheesta ja siihen liittyvistä asioista. Näitä ovat mm. paikkatietotekniikan keskeiset termit, Suomen rataverkon rakenne sekä rataverkolla käytössä olevien koordinaattijärjestelmien määritykset ja taustat.

Paikkatietojärjestelmän yhtenäiseksi koordinaattijärjestelmäksi tulee EUREF-FIN, jota JHS 153 suosittelee käytettäväksi. Tätä järjestelmää ei vielä ole käytetty suunnittelu, mittaus tai kartoitustoiminnassa Suomen rataverkolla. Oletuksena oli, että kaikkialla rataverkolla on erilaisissa mittaus- ja suunnittelutöissä käytetty KJ:tä, mutta erilaisia materiaaleja, kuten kaapelikarttoja, suunnittelukuvia ja ratageometrioita, voi olla myös eri kaupunkien paikallisissa järjestelmissä tai VVJ:ssä.

Tähän asti Oy VR-Rata Ab:lla tai Liikennevirastolla ei ole ollut kootusti tietoa siitä, missä kohtaa rataverkkoa näitä paikallisia järjestelmiä on käytössä. Myös KJ:n kaistanvaihdot ovat tähän asti olleet Suomen eri rata-alueiden omaa tietoa. Tämän johdosta tässä työssä selvitettiin Suomen eri rata-alueiden laskentojen avulla koko rataverkon koordinaattijärjestelmien tarkat rajat ratakilometrijärjestelmässä.

1.2 Käsitteet paikkatieto ja paikkatietojärjestelmä

Kuten aiemmin todettiin, KYY-paikkatietohankkeen tarkoituksena on tuottaa paikkatietojärjestelmä Liikenneviraston tarpeisiin. Jotta voitaisiin ymmärtää paremmin, mistä asiassa on kyse, tutustumme lähemmin käsitteisiin *Paikkatieto* ja *Paikkatietojärjestelmä*.

1.2.1 Paikkatieto

Paikkatieto on tietoa, jolla on tunnettu maantieteellinen sijainti. Se on tietoa kohteista, joiden paikka Maan suhteen tunnetaan. Tämä tieto muodostaa loogisen tietokokonaisuuden, joka sisältää kohteen tai ilmiön sijainti- ja ominaisuustietoa. [1, s. 22.]

Paikkatietoa syntyy esimerkiksi maanmittauksen tai kaukokartoituksen menetelmillä, jolloin kyseessä on mittauksiin perustuvaa paikkatietoa. Paikkatieto voi myös perustua inhimilliseen tietoon, eli havaintoihin ja kokemuksiin, joita ihminen tekee ympäristöstään ja siinä olevista kohteista. Inhimillisen paikkatiedon avulla ihminen pystyy suunnistamaan ja paikantamaan itsensä tutussa ympäristössä ja keskustelemaan siitä, esimerkiksi antamalla reittiohjeita muille ihmisille. [2]

Perinteisiä paikkatietoja ovat karttatiedot, joissa paikkatieto esiintyy graafisena joko vektori- tai rasterimuodossa. Paikkatieto ei kuitenkaan välttämättä aina esiinny graafisessa muodossa, vaan se voi yhtä hyvin olla taulukko- tai tekstimuodossa erilaisissa tietokannoissa ja rekistereissä. [3]

Paikkatietoa kerätään, varastoidaan, käsitellään ja havainnollistetaan *paikkatietotekniikan* avulla. Paikkatietotekniikka on joko perinteistä tai erikoistunutta tietotekniikkaa. Erikoistunutta tietotekniikkaa ovat erilaiset sijainnillisiin analyyseihin kehitetyt ohjelmistot, karttakäyttöliittymät sekä erilaiset mittaus- ja kuvauslaitteet. Paikkatiedon käsittely tapahtuu nykyään pääosin tietokoneen avulla. Paikkatietoa voi kuitenkin myös syntyä ns. käsityönä, esimerkiksi käsin tehdyistä muistiinpanoista ja paperikartoista. [2; 3]

1.2.2 Paikkatietojärjestelmä

Paikkatietojärjestelmä, eli GIS (Geographical Information System), on järjestelmä, jonka avulla voidaan hallita, analysoida, tallentaa ja esittää paikkatietoa. Paikkatietojärjestelmä on kokonaisuus, johon kuuluvat laitteistot, ohjelmistot, paikkatietoaineistot, käyttäjät ja käytännöt. Käyttötarkoituksiensa perusteella paikkatietojärjestelmät voidaan jakaa tapahtuma- ja tiedonhallintapainoiteisiin tietojärjestelmiin sekä analyysipainoiteisiin päätöksenteon tukijärjestelmiin. [1, s. 23.]

Paikkatietojärjestelmän ja -ohjelmiston ero ei aina ole yksiselitteinen. Järjestelmällä tarkoitetaan useimmiten suurempaa kokonaisuutta, joka koostuu useasta tietokoneohjelmasta ja erilaisista käyttäjistä. Järjestelmä on usein myös tiettyä organisaatiota varten rakennettu kokonaisuus, jonka tarkoituksena on käsitellä kyseisen organisaation paikkatietoa. Paikkatieto-ohjelmisto koostuu puolestaan yleensä vain yhdestä tai useammasta tietokoneohjelmasta. Paikkatieto-ohjelmiston päälle voidaan rakentaa paikkatietojärjestelmä tai -sovellus [4].

Paikkatietojärjestelmään voi kuulua tietokanta, käyttöliittymä sekä analyysityökaluja. Tietokantaan tallennetaan ja siitä haetaan järjestelmässä käsiteltävä tieto. Käyttöliittymä on yleensä graafinen, ja sen tehtävänä on esittää paikkatieto visuaalisesti. Analyysityökalut ovat erilaisia paikkatietoaineistoja käsitteleviä rutiineja. [4]

1.3 Koordinaattijärjestelmä

Suomen rataverkolla suoritetaan mm. suunnittelu-, mittaus- ja kartoitustoimintaa. Näiden toimintojen tuottamat materiaalit on aina sidottu maantieteelliseen sijaintiin, minkä vuoksi ne on tuotettu johonkin tiettyyn *koordinaattijärjestelmään*.

Koordinaattijärjestelmä (Reference System) on järjestelmä, jonka avulla pystytään yksikäsitteisesti määrittelemään jonkin tietyn pisteen sijainti maapallolla tai sen läheisyydessä. Koordinaatisto (Reference Frame), datumi ja koordinaatit ovat koordinaattijärjestelmän keskeisimmät komponentit. Koordinaatisto on koordinaattijärjestelmän realisaatio; se koostuu pistejoukosta, jonka sijainti tunnetaan kyseisessä koordinaattijärjestelmässä. *Datumilla* tarkoitetaan niiden matemaattisten suureiden joukkoa, jolla koordinaatisto kiinnitetään maan pintaan. Koordinaatit ovat lukuarvoja, jotka määrittävät kunkin pisteen sijainnin käytetyssä koordinaatistossa. [5]

Maailmalla käytössä olevat koordinaattijärjestelmät voidaan jakaa maailmanlaajuisiin ja alueellisiin järjestelmiin. Ennen satelliittimittauksia, esim. GPS-mittaukset, kaikki koordinaattijärjestelmät olivat alueellisia. Nämä järjestelmät olivat yleensä eri maiden maanmittausorganisaatioiden ylläpitämiä. Satelliittimittausten myötä pystyttiin maapallon massakeskipiste määrittämään ja täten tuottamaan maailmanlaajuisia koordinaattijärjestelmiä. Maailmanlaajuisien järjestelmien ongelmana on kuitenkin se, että mannerlaattojen liikkua toisiinsa nähden myös koordinaatit muuttuvat. Tämän takia tarkassa maailmanlaajuisessa koordinaattijärjestelmässä määritetyt koordinaatit sisältävät neljäntenä ulottuvuutenaan ajan. Muuttuvat koordinaatit ovat kuitenkin hankalia, ja tämän takia eri osissa maailmaa on tuotettu alueellisia järjestelmiä. Nämä alueelliset järjestelmät ovat usein kiinnitetty jonkin mannerlaatan muuttumattomaan osaan ja sidottu maailmanlaajuiseen järjestelmään tiettyä ajanhetkenä, eli *epookkina*. Esimerkki tällaisesta järjestelmästä on Euroopan yhtenäinen ETRS89-järjestelmä, joka on sidottu maailmanlaajuiseen ITRS-järjestelmään epookkina 1989.0. [5]

Koordinaatisto määritellään yleensä jonkin *vertausellipsoidin* pinnalle. Vertausellipsoidi on ellipsoidi, jonka avulla pyritään arvioimaan maapallon muotoa, eli *geoidia*, joka on maan painovoimakentän tasa-arvopinta. Datumit määrittelevät vertausellipsoidin muodon ja koon sekä sen sijainnin maapalloon nähden. Tämän lisäksi datumit määrittelevät myös sen, kuinka koordinaatisto määritetään vertausellipsoidin pinnalle. [5]

Erilaisiin tarpeisiin on kehitetty erilaisia koordinaattityyppejä. Yleisimmät tyypit ovat maantieteelliset koordinaatit ja suorakulmaiset tasokoordinaatit. Maantieteelliset koordinaatit ilmaistaan leveys- ja pituusasteina, jotka ovat kulmia maapallon keskipisteeseen nähden. Leveysaste on pisteen etäisyys päiväntasaajasta ja pituusaste sen etäisyys Greenwichin meridiaanista, eli nollameridiaanista. Koska maantieteellisiä koordinaatteja on usein käytännössä hankala käyttää, on olemassa suorakulmaisia tasokoordinaatteja. Tasokoordinaatit ilmaisevat pisteen etäisyyden koordinaatiston origosta sekä pohjois- että itäsuunnassa. Tasokoordinaatistojen yhteydessä käytetään usein jotakin korkeusjärjestelmää pisteen korkeuskoordinaatin määrittämiseksi. Näin ei kuitenkaan aina ole, sillä tiettyihin tarkoituksiin riittävät pelkät tasokoordinaatit. [5]

Suomen rataverkolla käytössä oleviin koordinaattijärjestelmiin tutustutaan lähemmin luvussa 4, ja paikkatietojärjestelmän yhtenäiseksi järjestelmäksi tulevaan EUREF-FIN-koordinaatistoon luvussa 5.

1.4 Koordinaatistomuunnos

Koordinaatistomuunnoksen avulla saadaan selville saman pisteen koordinaatit jossakin muussa koordinaatistossa kuin se, jossa pisteen koordinaatit tunnetaan.

Koordinaatistomuunnoksia tarvitaan esimerkiksi silloin, kun jokin organisaatio on siirtymässä käyttämään uutta koordinaattijärjestelmää ja paikkatietoaineisto on muunnettava vanhasta käytössä olevasta järjestelmästä uuteen.

Muunnos suoritetaan yleensä sijoittamalla tarvittavat *muunnosparametrit* muunnosta varten sopivaan muunnoskaavaan. Näitä parametreja voivat olla koordinaatit lähtökoordinaatistossa, origon siirtoparametrit, koordinaatiston kiertokulma, sekä mittakaavasuhde. Muunnos voidaan suorittaa muunnostyypistä riippuen joko kolmiulotteisena, jolloin muunnetaan myös korkeuskoordinaatit, tai kaksiulotteisena tasossa. Tyypillisiä muunnostyyppejä ovat esim. HELMERT-muunnos ja affiininen muunnos. Luvussa 6 tutustutaan lähemmin neliparametriseen HELMERT-muunnokseen sekä affiiniseen muunnokseen.

2 KYY-paikkatietohanke

2.1 Hankkeen tarkoitus

KYY-paikkatietohanke on kaapelitietojen yhtenäistämistä ja ylläpitoa sekä piirustusarkistojen sähköistä jakelua varten suunnitteilla oleva paikkatietohanke. Oy VR-Rata Ab tarjoaa paikkatietojärjestelmää ja sen ylläpitoa Liikennevirastolle. Hankkeen tarkoituksena on luoda kaikille rataverkolla toimiville yhtenäinen ja avoin tietojärjestelmä. Järjestelmä olisi hyödyllinen työkalu olemassa olevan tilanteen huomioimisessa ja hyödyntämisessä mm.

- uusien projektien kilpailutuksessa
- uuden rautatieinfrastruktuurin suunnittelussa
- uusien turvalaitteiden ja kaapeleiden asennuksessa
- laitteiden huolloissa ja kaapelinäytöissä.

Järjestelmästä tulisi Liikenneviraston ominaisuudenhallinnan työkalu, josta olisi helposti nähtävillä rataverkon nykytilanne sähkö- ja turvalaitteiden osalta. [6]

2.2 Paikkatietojärjestelmän kuvaus

Järjestelmän käyttäjiä tulisivat olemaan mm. käyttöoikeuden omaavat isännöitsijät, konsultit, suunnittelijat, urakoitsijat, sekä kunnossapitäjät. Järjestelmän käyttöliittymä on web-pohjainen karttakäyttöliittymä, jonka kautta olisi helppo saada haltuunsa erilaisia arkiston dokumentteja. Teknisesti avointa järjestelmää voi laajentaa tietosisällöltään, ja se voidaan tarpeen mukaan jopa siirtää osaksi toista järjestelmää. [6]

Järjestelmän karttamateriaali vaihtelee kartan käyttötarkoituksen mukaan. Pienimittakaavaiset lähestymiskartat ovat erimittakaavaisia yleiskarttoja. Suurimittakaavaisina tarkkoina karttoina käytetään Sähköasennuskeskuksella olevaa kaapelikarttamateriaalia, josta löytyy rataverkon sähkö- ja turvalaitteita sekä kaapelitietoa. Kaapelikartta on AutoCAD-ohjelmiston DWG-muodossa, joten sitä voidaan hyödyntää suoraan esimerkiksi suunnittelussa. Paikkatietojärjestelmän avulla kaapelikartat voisi saada haltuunsa suoraan web-käyttöliittymän kautta. [6]

2.3 Järjestelmässä käytettävät ohjelmistot

2.3.1 AutoCAD Map 3D

Paikkatietojärjestelmän pohjana toimii AutoDeskin kehittämä AutoCAD Map 3D -ohjelmisto, joka perustuu uusimpaan AutoCAD-ohjelmistoversioon. Ohjelmisto sisältää perusominaisuuksien lisäksi paikkatietotyöskentelyssä tarvittavia työkaluja. Ohjelmisto sisältää yli 4000 todellisen koordinaattijärjestelmän kokoelman, jota voi tarpeen mukaan laajentaa määrittelemällä omia koordinaattijärjestelmiä. Ohjelmistolla on suora pääsy erilaisissa lähteissä sijaitseviin paikkatietoihin, kuten Oracle, Microsoft SQL Server, MySQL- ja ESRI ArcSDE -tietokannat sekä ESRI SHP -tiedostot. AutoCAD Map 3D on yhteensopiva yleisimpien paikkatieto- ja suunnitteluohjelmien kanssa, kuten AutoCAD, MapInfo ja Microstation. Ohjelmiston DWG-kyselytoiminto mahdollistaa sen, että useampi käyttäjä voi muokata, tarkastella tai selata samoja tiedostoja samanaikaisesti ja ohjelmiston maanmittaustoimintojen avulla mittaustietoja voidaan hallita ja käyttää AutoCAD Map 3D -ympäristössä. Ohjelmiston merkittäviä paikkatieto-ominaisuuksia ovat mm. karttatyökalut, kyselytyökalut sekä analyysityökalut, joiden avulla paikkatietoa voi käsitellä tehokkaasti. [7]

2.3.2 Autodesk MapGuide

Paikkatietoaineiston web-julkaisun pohjana toimii Autodeskin MapGuide-ohjelmisto. MapGuiden merkittävimmät ominaisuudet ovat sen kyky välittää suuria määriä tietoa suurelle yleisölle, integroituminen useaan tietolähteeseen tai palvelimeen sekä usean sovelluksen kehittäminen samalla tuotteella. MapGuide on helppo asentaa ja ottaa käyttöön, ja sen hankintakustannukset ovat matalat johtuen avoimen lähdekoodin MapGuide Open Source -kehitysprojektista, jonka ansiosta ohjelmisto myös kehittyy nopeasti. [8]

3 Suomen rataverkko

3.1 Yleistä

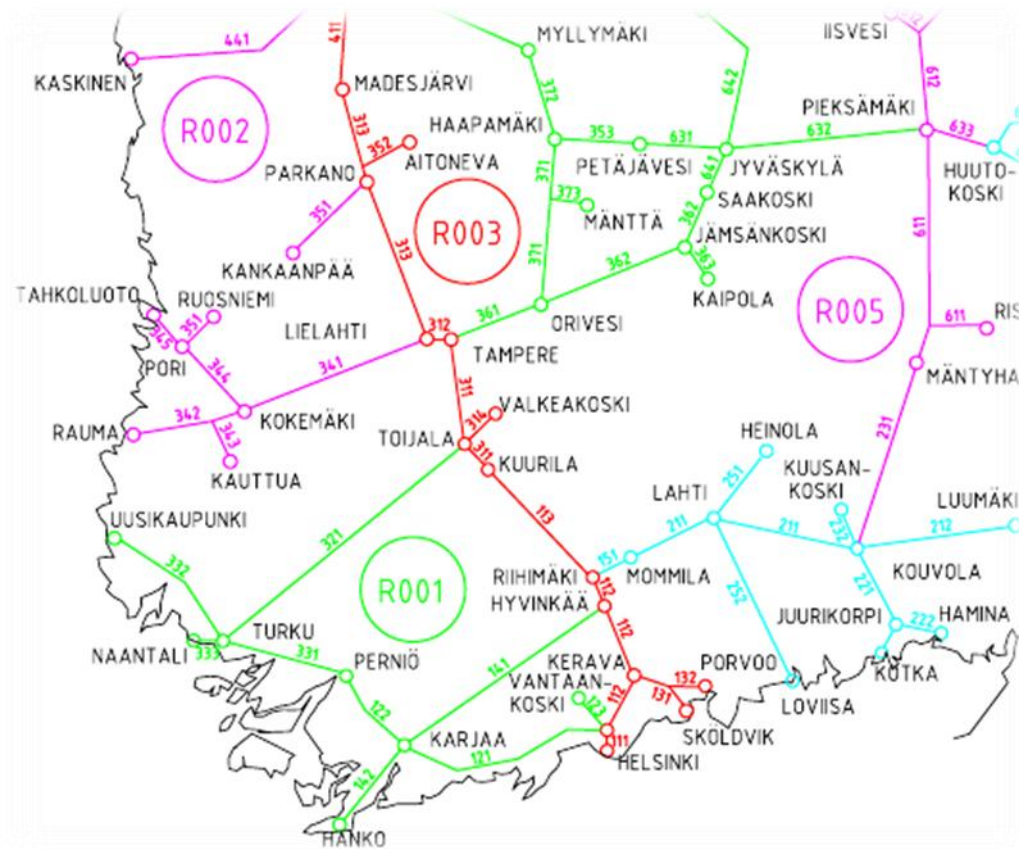
Suomen rataverkko on rataosuuksien muodostama kokonaisuus, jota hallinnoi Liikennevirasto. Sen ylläpitämisestä, kehittämisestä ja kunnostamisesta vastaa Liikenneviraston rautatieosasto. Rataverkon pääasiallinen liikenneoperaattori on valtion omistama VR-konserni. Liikennöidyn rataverkon pituus on tänä päivänä 5 919 km, josta 52 %, eli 3067 km, on sähköistetty. [9]

Rataverkko on pääasiassa yksiraiteista, johtuen sen vähäisestä liikenteestä. Merkittävimpinä poikkeuksina voidaan pitää pääkaupunkiseudun lähiliikenteen ratoja, sekä rataosuuksia Helsinki–Riihimäki–Tampere, Riihimäki–Kouvola–Luumäki ja Lahden oikorataa. Rataverkon tärkeimmät liikennereitit ovat päärata: Helsinki–Riihimäki–Tampere–Oulu, Pietarin rata: Riihimäki–Vainikkala–Pietari; sekä rantarata: Helsinki–Turku.

Liikennöintiä lukuun ottamatta kaikki rataverkolla tehtävä työ on kilpailutettua. Rataverkolta löytyy useita urakoitsijoita kunnossapitoon ja rakentamiseen liittyen. Tämän takia yhtenäisten pelisääntöjen ja järjestelmien tarpeet korostuvat.

3.2 Rataosat

Suomen rataverkolla on useita rataosanumerointijärjestelmiä. Kaapelikartoitus käyttää Liikenneviraston arkistoinnin käyttämiä rataosanumeroita (kuva 1).

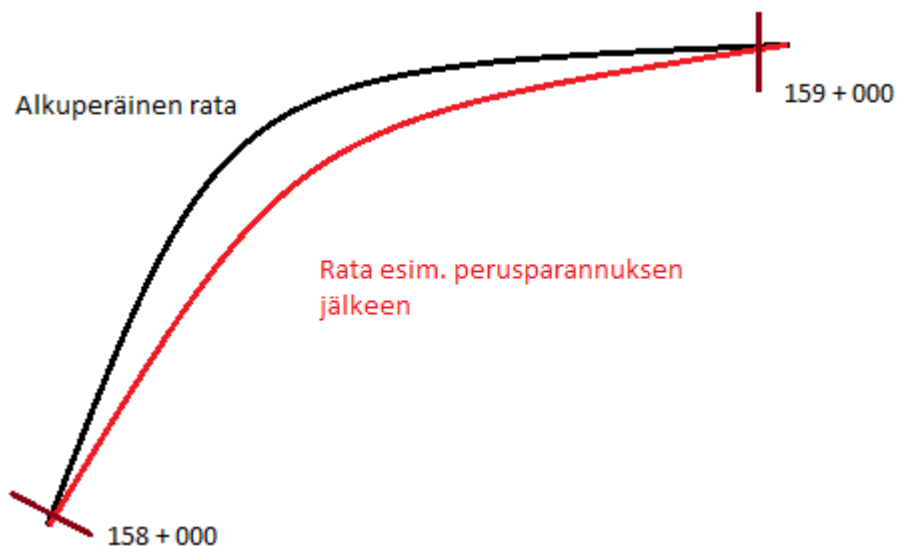


Kuva 1. Esimerkki Suomen rataverkosta ja sen rataosista [10].

3.3 Ratakilometrit

Ratakilometriä avulla pystytään määrittelemään erilaisten kohteiden tarkka sijainti Suomen rataverkolla. Ratakilometrijärjestelmä on tällä hetkellä yleisesti käytössä oleva paikkatiedon ilmaisumuoto erilaisille rataverkolla sijaisville kohteille. Ratakilometriä laskeminen alkaa Helsingin rautatieasemalta, ja lukema kasvaa Helsingistä pois päin mentäessä. Ratakilometrit ovat syntyneet ratojen rakentamisjärjestyksessä, ja tästä syystä risteusasemilta saattaa löytyä useita eri ratakilometrejä. Ratakilometrit kuvaavat siis etäisyyttä Helsinkiin kyseistä rataa pitkin. Ratakilometrit ilmaistaan muodossa km + m, jossa m tarkoittaa metriä kyseisen kilometrin alkamispaikasta, esimerkiksi 158 + 300.

Ratakilometrien erikoisominaisuus on se, etteivät ne välttämättä ole tasan 1 000 metrin pituisia. Oikeastaan mikään ratakilometri ei vastaa ”oikeaa” kilometria, vaan poikkeaa siitä muutaman sentin, johtuen ratakilometrin määrittelyvaiheessa käytetyistä mittausmenetelmistä. Suuremmat poikkeavuudet johtuvat siitä että radan muoto on muuttunut sen alkuperäisen rakentamisen jälkeen, esim. perusparannusten yhteydessä, minkä johdosta ratakilometri on ”kutistunut” tai ”venynyt” (kuva 2). Tämä tilanne on hyvin tavallinen, ja sitä ilmenee poikkeuksetta jokaisella Suomen rataosalla. Suunnittelu- ja mittaustehtävissä tämä täytyykin ottaa huomioon, ja mittalaitteiden ohjelmistojen täytyy tämä poikkeavuus pystyä käsittelemään. Suomen rataverkon ratakilometriä pituudet vaihtelevat noin 250 metristä 1500 metriin.



Kuva 2. Ratakilometrin ”kutistuminen” esim. radan perusparannuksen yhteydessä.

4 Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

4.1 Selvitysmenetelmät

Paikkatietohankkeen tarpeisiin on tässä työssä selvitetty koko Suomen rataverkolla käytössä olevat koordinaattijärjestelmät, sekä niiden tarkat rajat ratakilometrijärjestelmässä. Selvitys on tehty osaksi perustuen eri rata-alueiden rautatiesuunnittelijoiden ilmoittamiin tietoihin, osaksi Joachim Malmströmin vuonna 1999 tekemään vastaavaanlaiseen suuntaa antavaan selvitykseen Suomen rataverkolla käytössä olevista kaupunkien paikallisista järjestelmistä [20].

Selvityksen pohjana toimi Joachim Malmströmin vuonna 1999 tekemä selvitys rataverkolla käytettävistä koordinaattijärjestelmistä. Selvityksestä ilmenee taulukkomuodossa rataverkolla käytössä olevat kaupunkien paikalliset järjestelmät sekä niiden alkamis- ja loppumiskohdat ratakilometrijärjestelmässä. Kyseisestä selvityksestä eivät ilmene KKJ:n kaistanvaihtokohdat ja joissakin tapauksissa myös kaupunkien paikallisia järjestelmiä koskevat tiedot ovat epämääräisiä. Huomioon tulee ottaa myös selvityksen päiväys ja sen jälkeen mahdollisesti tapahtuneet muutokset koordinaattijärjestelmien käytössä.

Uusi selvitys aloitettiin lähettämällä eri rata-alueiden (Etelä-, Länsi-, Itä- ja Pohjois-Suomi) rautatiesuunnittelijoille tiedustelu sähköpostitse, jonka liitteenä oli Malmströmin aiemmin tekemä selvitys. Rautatiesuunnittelijoita pyydettiin tarkistamaan Malmströmin selvityksen paikkansapitävyys, tarkentamaan sitä tarpeen mukaan sekä lisäämään tietoja paikallisista järjestelmistä, joita ei selvityksessä ilmene. Tämän lisäksi suunnittelijoilta tiedusteltiin KKJ:n kaistanvaihtojen sijainnit omalla rata-alueella.

Rautatiesuunnittelijat vertasivat Malmströmin selvitystä kyseisellä rata-alueella tehtyihin suunnitelmiin ja laskentoihin, joista ilmeni, mitä koordinaattijärjestelmiä on käytetty rautatiesuunnitelmien ja mittausten pohjana. Suunnittelijat tarkistivat

Malmströmin selvityksen paikkansapitävyyden sekä selvittivät KKK:n kaistanvaihdot omalta rata-alueeltaan.

Rautatiesuunnittelijoilta saadut tiedot olivat pääosin taulukkomuodossa, joskin osa oli pelkkää tekstiä HTML-muodossa sähköpostiviestin rungossa. Materiaaleista ilmenivät eri koordinaattijärjestelmien sijainnit valmiiksi ratakilometrijärjestelmässä, joten tietoja pystyttiin käyttämään suoraan hyväksi. Tiedoista tehtiin yhteenveto taulukkomuotoon, josta ilmenevät rataosittain eri koordinaattijärjestelmien sijainnit ratakilometrijärjestelmässä.

Kaupunkien paikallisten koordinaattijärjestelmien osalta Malmströmin selvitys antoi hyvin pitkälti oikean kuvan rataverkon tilanteesta, mutta etenkin Etelä-Suomen rata-alueelta ilmeni järjestelmiä, joita kyseisessä selvityksessä ei ollut ilmoitettu.

4.2 Yleiskatsaus

Suomen rataverkolla on erilaisissa suunnittelu-, mittaus- ja kartoitustehtävissä käytössä erilaisia koordinaattijärjestelmiä. Kaapelikartoituksissa on pääsääntöisesti käytetty KKK:tä koko Suomen rataverkolla. Poikkeuksia tähän sääntöön on, sillä kaapelikartta-aineistoa on joissakin tapauksissa kartoitettu myös käyttäen eri kaupunkien paikallisia koordinaattijärjestelmiä. Aineistoa saattaa olla myös VVJ:ssä, jota on käytetty erityisesti Etelä-Suomen rata-alueella Helsingin laitamilla. Kaapelikartoissa on käytetty pohjakarttoina suunnittelijoilta saatavia raidegeometria- ja sähköratasuunnitelmia, jotka on sidottu kulloinkin käytössä olevaan koordinaattijärjestelmään. Tämän takia myös kaapelikartoitus on tehty siihen järjestelmään, joka on ollut yleisesti suunnittelun pohjana.

Rataverkon koordinaattijärjestelmät on selvitetty, jotta aineiston muunnos paikkatietojärjestelmän yhtenäiseen EUREF-FIN-koordinaatistoon onnistuisi mahdollisimman käytännöllisesti. Oletuksena on, että kaikkialta Suomen rataverkolta peräisin oleva aineisto voi olla KKJ:ssä, mutta selvityksen ansiosta tiedetään, että tietyillä rataosuuksilla tietyn alueen sisällä voi aineisto olla myös jossakin muussa järjestelmässä. Tarkka selvitys Suomen rataverkolla käytössä olevista koordinaattijärjestelmistä on rata-alueittain listattuna liitteestä 1.

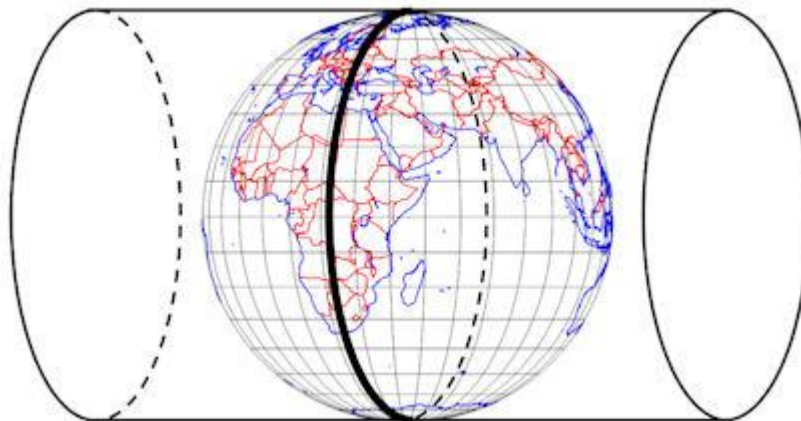
4.3 Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ)

4.3.1 Perusta

Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) on Suomessa yleisin käytössä oleva koordinaattijärjestelmä. Suomalaiset maasto- ja merikartat ovat vuodesta 1970 alkaen perustuneet KKJ:hin, ja järjestelmää on virallisesti käytetty maastokartoituksessa vuoteen 2005 ja merikartoituksessa vuoteen 2003 asti. KKJ perustuu Hayfordin vertausellipsoidiin, joka tunnetaan myös nimellä International 1924. Järjestelmä on määritetty siten, että se sopisi mahdollisimman hyvin edeltäjäänsä, VVJ:hin. Kartastokoordinaattijärjestelmää käytetään joko projektiokaistoittaisena peruskoordinaatistona tai koko Suomen kattavana yhtenäiskoordinaatistona. [11]

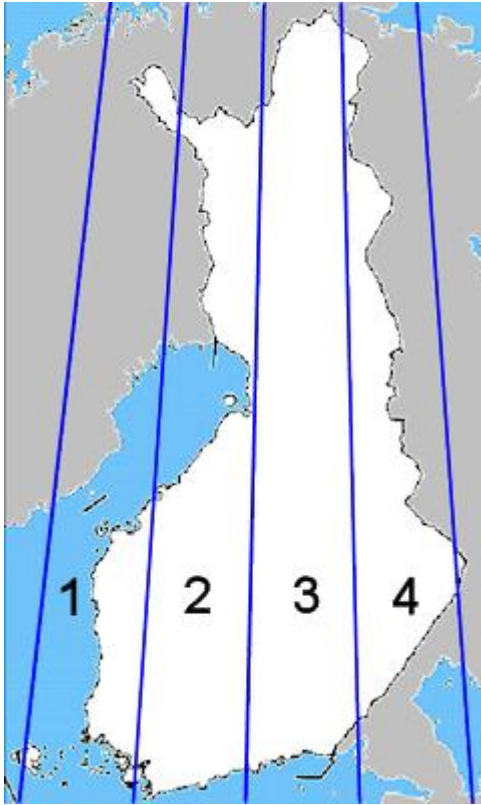
4.3.2 Projektio ja projektiokaistat

Maastokarttojen yhteydessä KKJ:n karttaprojektiona on käytetty Gauss–Krüger -projektiota, joka on poikittainen lieriöprojektiio (kuva 3). Projektio tunnetaan myös nimellä *poikittainen Mercator-projektio* ja englanninkielisessä kirjallisuudessa nimellä *Transverse Mercator*. Erona *Mercator-projektioon* on se, että Mercatorin projektiossa karttatasoksi avattava lieriö sivuaa maapalloa päiväntasaajaa pitkin, kun taas Gauss–Krüger-projektiossa se sivuaa sitä pituuspiiriä, joka on määritetty kartan keskimeridiaaniksi. Suomalaiset merikartat käyttävät Mercator-projektiota, eli KKJ:n käyttäminen ei edellytä sitä, että kartta projisoitaisiin Gauss–Krüger-projektioon [11; 12].



Kuva 3. Gauss–Krüger-projektion rakenne [12].

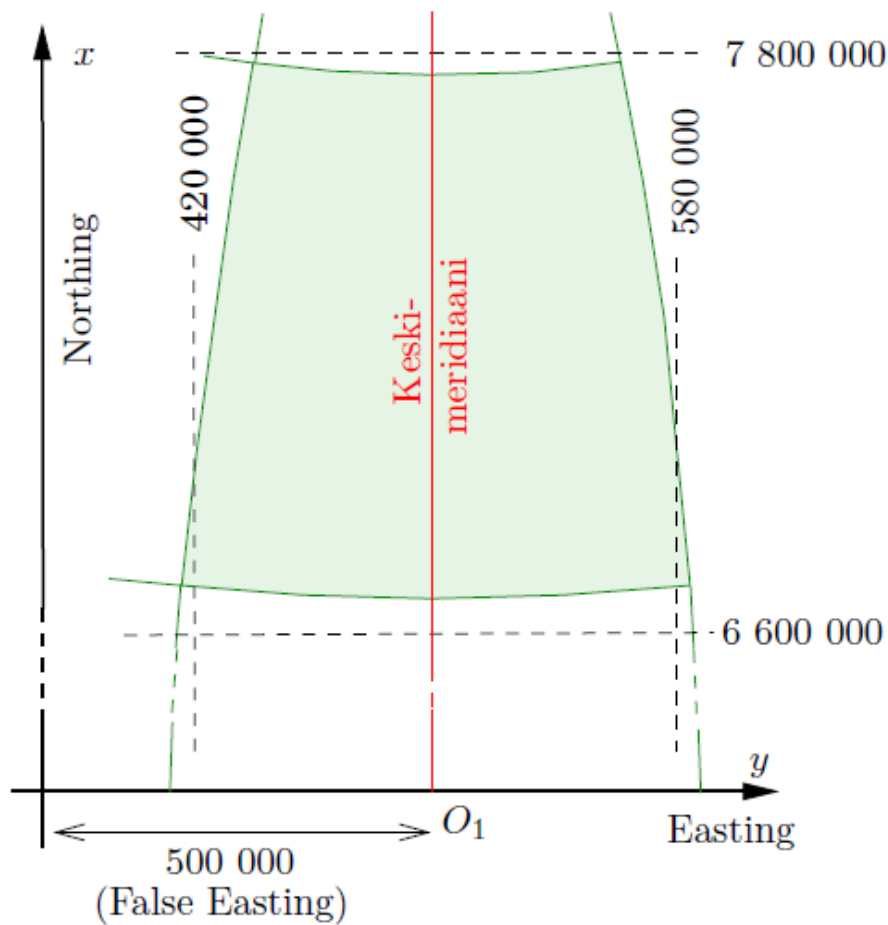
Projektiokaistoittaisessa peruskoordinaatistossa Suomi on jaettu kuuteen 3 asteen levyiseen projektiokaistaan, jotka on numeroitu 0–5. Kaistojen keskimeridiaanit ovat 18° , 21° , 24° , 27° , 30° ja 33° itäistä pituutta, ja ne sijaitsevat kaistan keskellä siten, että kaista ulottuu niistä $1,5^\circ$ sekä länteen että itään. Kaistat 1–4 kattavat koko Suomen lukuun ottamatta Ahvenanmaan läntistä osaa sekä itäisintä Ilomantsia, joten kaistoja 0 ja 5 ei yleensä käytetä (kuva 4). Kaistoista 1–4 käytetään usein nimityksiä KKJ1, KKJ2, KKJ3 ja KKJ4. [13, s. 45.]



Kuva 4. KKJ:n kaistat 1–4 peittävät koko Suomen lukuun ottamatta Ahvenanmaan läntistä osaa sekä itäisintä Ilomantsia, joten kaistoja 0 ja 5 ei yleensä käytetä [11].

4.3.3 Peruskoordinaatisto

KKJ:n x-koordinaatin origo on päiväntasaajalla, joten x-koordinaatin arvot ovat Suomessa suunnilleen välillä 6 600 000 – 7 900 000 m. y-koordinaatti ilmaisee pisteen etäisyyden käytetyn kaistan keskimeridianista. Keskimeridianilla olevan pisteen y-koordinaatiksi on määritetty 500 000 m, jotta välttyttäisiin negatiivisilta koordinaattiarvoilta koko kaistan alueella. Tämä koordinaattiarvo tunnetaan myös nimellä *valeitä* (False Easting). Eri kaistojen itäkoordinaatit yksilöidään siten, että koordinaatin alkuun lisätään kaistan numero. Näin ollen esimerkiksi toisen kaistan origon y-koordinaatti on 2 500 000 m ja kolmannen kaistan 3 500 000 m. [13, s. 45.] Kuvasta 5 ilmenee KKJ:n yhden kaistan geometria.



Kuva 5. KKJ:n yhden kaistan geometria [13, s. 46].

4.3.4 Yhtenäiskoordinaatisto

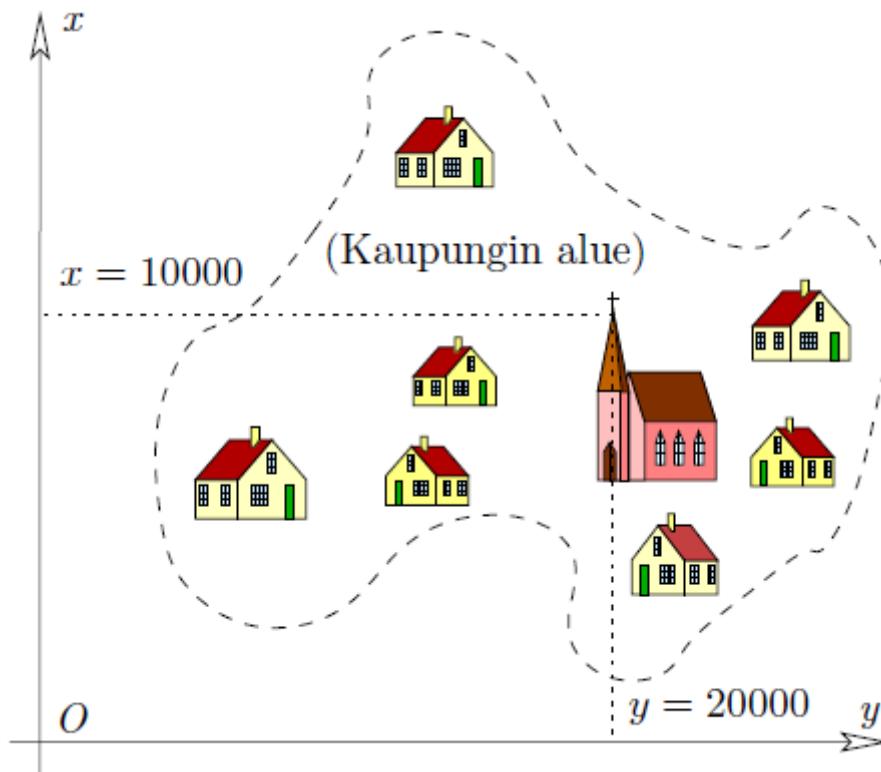
Kartastokoordinaattijärjestelmän yhtenäiskoordinaatistoa (YKJ) voidaan käyttää sellaisiin tehtäviin, jotka eivät edellytä sitä tarkkuutta, johon projektiokaistoittaisella peruskoordinaatistolla on mahdollista päästä. YKJ on suorakulmainen koordinaatisto, joka on venytetty koko Suomen kattavaksi ja jonka keskimeridiaani on 27° itäistä pituutta. Peruskoordinaatiston 3. kaistan koordinaatit yhtyvät täten YKJ:n koordinaatteihin, ja YKJ:n koordinaatit ovat samanmuotoisia kuin KKJ3 -kaistan koordinaatit. [11]

4.4 Valtion vanha järjestelmä (VVJ)

Valtion vanha järjestelmä (VVJ), joka tunnetaan myös nimellä *Helsingin järjestelmä*, on valtakunnallisen Kartastokoordinaattijärjestelmän edeltäjä. Siirtyminen KKJ:hin aloitettiin 70-luvulla, mutta tietyt kaupungit käyttävät vielä VVJ:tä tai siihen perustuvaa kaupungin paikallista järjestelmää. KKJ määriteltiin siten, että se sopisi mahdollisimman hyvin edeltäjäänsä, ja siksi VVJ:n ja KKJ:n koordinaattien ero on keskimäärin noin 2 metriä. On kuitenkin huomioitava, että ero voi paikallisesti olla jopa 10 metrin luokkaa. VVJ:n y-koordinaatit eroavat KKJ:n vastaavista siinä, että niissä ei ole etuliitteenä kaistanumeroa. Sen sijaan niissä voidaan käyttää etuliitteenä keskimeridiaanin astelukua. Esimerkiksi KKJ:n y-koordinaatti 3522999 voi VVJ:ssä olla 27°522999 tai pelkästään 522999. [14]

4.5 Kaupunkien paikalliset järjestelmät

Monessa Suomen kaupungissa ja kunnassa käyteään vielä kaupungin sisäisiin mittaus- ja kartoitustehtäviin paikallista koordinaattijärjestelmää. Nämä järjestelmät ovat usein kohtuullisen vanhoja. Ominaista näille järjestelmille on se, että koordinaatiston origo on sijoitettu ja sen koordinaatit määritetty siten, että koko kaupungin alueella esiintyy vain positiivisia x- ja y-arvoja (kuva 6). [13, s. 47.]



Kuva 6. Kaupungin paikallinen koordinaattijärjestelmä [13, s. 48].

Kaupunkien paikallisten järjestelmien yhteys valtakunnalliseen KKJ-järjestelmään on usein tunnettu ja laskettu käyttäen kiintopisteitä, joiden koordinaatit tunnetaan sekä paikallisessa järjestelmässä että KKJ:ssä [13, s. 47].

5 EUREF-FIN-koordinaatisto

KYY-paikkatietohankkeen tuloksena syntyvän paikkatietojärjestelmän yhtenäiseksi koordinaatistoksi on valittu JHS 153:n suosittelema EUREF-FIN, jonka tasokoordinaatisto muodostetaan tässä tilanteessa käyttäen UTM-karttaprojektiota. Tällöin muodostettavaksi tasokoordinaatistoksi tulee ETRS-TM35FIN.

5.1 Perusta

EUREF-FIN-koordinaatisto on Euroopan laajuisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän (European Terrestrial Reference System 1989) realisaatio Suomessa. ETRS89 on 3D-koordinaattijärjestelmä, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan yhtenäiseen osaan, minkä johdosta koordinaatit eivät muutu mannerlaatan liikkuesssa. Järjestelmä yhtyy ITRS-koordinaattijärjestelmään (International Terrestrial Reference System) epookkina 1989.0. Koordinaatit on sidottu tiettyyn epookkiin, eli ajanhetkeen, jottei mannerlaattojen liikkuminen muuttaisi koordinaatteja. [15, s. 5.]

ETRS89-järjestelmän ensimmäinen realisaatio oli EUREF89 (European Reference Frame 1989), joka määritettiin Euroopassa vuonna 1989 suoritettussa GPS-mittauksessa. Mittauksessa oli mukana neljä pistettä Suomesta, ja vuosina 1996 ja 1997 Geodeettinen laitos mittasi Suomessa EUREF-tihennyksen. Tämän tihennyksen tulokset määrittävät EUREF-FIN-koordinaatiston. [16]

5.2 Karttaprojektiot

5.2.1 Yleistä

EUREF-FIN tasokoordinaatisto voidaan muodostaa joko käyttämällä UTM- tai Gauss–Krüger-karttaprojektiota. JHS 154:ssa suositellaan, että koko Suomen kattava tasokoordinaatisto muodostettaisiin käyttäen UTM-projektiota, jolloin muodostetusta tasokoordinaatistosta käytetään nimitystä ETRS-TM35FIN. UTM-projektiota käytettäessä voidaan käyttää myös 6°:n levyisiä projektiokaistoja 34–36, mikäli kansainvälinen yhteensopivuus sitä vaatii. Gauss–Krüger-projektiota voidaan käyttää paikallisesti, jolloin muodostetusta koordinaatistosta käytetään nimitystä ETRS-GKn. [17, s. 5.]

Tasokoordinaatistojen nimissä ETRS viittaa geodeettiseen datumiin. TM ja GK puolestaan ilmaisevat projektion tyyppiin, eli UTM tai Gauss–Krüger. Numerot, n , ilmaisevat projektiosta riippuen joko kaistan numeroa (TM n) tai keskimeridiaanin arvoa (GKn). FIN-päätteellä ilmaistaan, että projektiio poikkeaa yleiseurooppalaisesta standardista kaistan leveyden osalta. [17, s. 5.]

ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa käytetään vain yhtä projektiokaistaa, jonka keskimeridiaani on 27° itäistä pituutta ja joka ulottuu keskimeridiaanista noin 8° länteen ja 5° itään. ETRS-GKn-koordinaatistoissa puolestaan käytetään tarkoituksenmukaista projektiokaistan leveyttä ja alueelle parhaiten soveltuvaa keskimeridiaania. Keskimeridiaani tulee sijoittaa tasa-asteille 19°–31° siten, että koko alue projisoituu samassa projektiokaistassa. [17, s. 5.]

5.2.2 ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto

ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto syntyy muodostettaessa EUREF-FIN -koordinaatisto käyttäen UTM-karttaprojektiota, joka on leikkaava lieriöprojektiio. Koordinaatisto vastaa pitkälti yleiseurooppalaista projektiosuositusta, ja ainoana erona onkin kaistan leveys, joka Suomessa on laajennettu koko maan kattavaksi. Suomessa käytettävän kaistan numero on 35, jonka keskimeridiaani on 27° itäistä pituutta. Koordinaatiston datumi on ETRS89 ja vertausellipsoidi GRS80. Koordinaatiston keskimeridiaanin itäkoordinaatin arvoksi, eli *valeidäksi*, on määritetty 500 000 m. Tämän ansiosta vältetään negatiivisilta koordinaattiarvoilta koko Suomen valtakunnan alueella. [17, s. 7.]

Pohjoismaiden geodeettisen komission (NKG) vuoden 1998 yleiskokouksen päätöslauselma suosittelee EUREF89-koordinaatistoa ja UTM-projektiota yhteispohjoismaiseksi järjestelmäksi. UTM-pohjaista ETRS-TMn-koordinaatistoa suosittelee myös Euroopan komission sisäinen suositus käytettäväksi mittakaava 1:500 000 ja sitä suurimittakaavaisempien karttojen esitystavaksi. [17, s. 7.]

5.2.3 ETRS-GKn-tasokoordinaatisto

Niissä tehtävissä, joihin leveäkaistainen ETRS-TM35FIN-koordinaatisto ei sovellu, kuten kaavoitus ja rakentamistoiminta, voidaan UTM-projektion sijasta paikallisesti käyttää Gauss–Krüger-projektiota. Kyseisiin tehtäviin Gauss–Krüger-projektion etu on se, että siihen perustuvan tasokoordinaatiston keskimeridiaaniksi voidaan valita parhaiten soveltuva tasa-aste välillä 19° – 31° itäistä pituutta. Tämä johtaa siihen, että projektiosta aiheutuvat projektiokorjaukset ovat pieniä. Kaistaa voidaan myös käyttää niin leveänä kuin tarve vaatii. Koordinaatiston nimessä, ETRS-GKn, n viittaa käytetyn keskimeridiaanin astelukuun, kuten esim. ETRS-GK27, jossa koordinaatiston origo on ekvaattorin ja ko. kaistan leikkauspisteessä. Origon itäkoordinaatin arvo on keskimeridiaanilla n 500 000 m, jossa n on kaistan keskimeridiaanin asteluku, esim. 27. [17, s. 7.]

5.3.4 Projektiokorjaukset

Koska maapallo on pyöreä, sen ellipsoidipintaa täytyy venyttää, kun se kuvataan tasolle. Tästä johtuen syntyy projektiovirhettä, joka koostuu mittakaava- ja suuntavirheistä. Projektiovirhe ilmaistaan miljoonasosina, eli ppm (parts per million). Projektiovirhettä voidaan vähentää käyttämällä kapeampia kaistoja, kuten ETRS-GKn:ssä. Tässäkin tapauksessa joudutaan ottamaan huomioon projektiokorjaukset mittaushavainnoissa, jotka tehdään kauempana kaistan keskimierdiaanista. [17, s. 8.]

ETRS-TM35FIN-koordinaatistoa käytettäessä, eli kun koko Suomi esitetään yhdessä projektiokaistassa, on mittakaavakorjaus maan reuna-alueilla kohtalaisen suuri. Korjaus on mantereella -400 ppm:n ja $+700$ ppm:n välillä, ja Ahvenanmaalla jopa noin $+1700$ ppm. [17, s. 8.]

6 Koordinaatistomuunnokset

6.1 Muunnostyypit

Koordinaatistomuunnoksissa paikkatietojärjestelmän tarpeisiin tullaan käyttämään kahta eri muunnostyyppiä. Neliparametrinen HELMERT-muunnosta käytetään muunnoksiin kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin ja affiinista muunnosta muunnoksessa KKJ:stä ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistoon. Muunnoksessa KKJ:stä ETRS-TM35FINiin joudutaan lisäksi käyttämään projektiomuunnoksia, sillä KKJ:n peruskoordinaatistossa olevat koordinaatit täytyy ensin muuntaa YKJ:hin, jotta voitaisiin suorittaa tasomuunnos ETRS-TM35FIN-koordinaatistoon.

6.1.1 Neliparametrinen HELMERT-muunnos

Neliparametrinen HELMERT-, eli *yhdenmuotoisuusmuunnos*, on muunnos kahden suorakulmaisen 2D-tasokoordinaatiston välillä. Muunnos esiintyy usein käytännön mittaus- ja laskentatehtävissä esimerkiksi yhdistettäessä kahdessa tai useammassa koordinaatistossa olevat koordinaattiaineistot. Olettaen, että lähtökoordinaatisto on (u, v) -koordinaatisto ja tuloskoordinaatisto (x, y) -koordinaatisto, on muunnoksen yleisin muoto silloin

$$\begin{aligned} x &= x_0 + K \cos t * u - K \sin t * v \\ y &= y_0 + K \sin t * u + K \cos t * v \end{aligned} \tag{1}$$

jossa x_0 ja y_0 ovat origon siirtoparametrit x - ja y -akselien suuntaisesti, t on koko (u, v) -koordinaatiston kierto kulman t verran ja K on mittakaavasuhde, jonka avulla muunnetaan (u, v) -koordinaatiston mittakaava samaksi kuin (x, y) -koordinaatistossa. Parametrien lukumäärästä (x_0, y_0, t, K) johtuen muunnosta kutsutaan myös *neliparametriseksi muunnokseksi*. Sama muunnos voidaan esittää myös matriisimuodossa. [13, s. 49–50]

Helmert-muunnosta varten tarvittavat muunnosparametrit määritellään useimmiten käyttäen riittävää määrää kiintopisteitä, joiden koordinaatit tunnetaan molemmissa koordinaattijärjestelmissä, ja suoritetaan tasoitus. Tämä on useimmissa tapauksissa vaikea tehtävä, mutta erikoistapauksessa, jossa on käytettävissä vain kaksi kiintopistettä, parametrien määrittely on suhteellisen yksinkertaista. [13, s. 50.]

Oletetaan, että tunnetaan kahden kiintopisteen A ja B koordinaatit sekä (x, y) - että (u, v) -koordinaatistossa ja halutaan selvittää parametrit (x_0, y_0, t, K) , joiden avulla voidaan siirtyä (u, v) -koordinaatistosta (x, y) -koordinaatistoon HELMERT-muunnoksen avulla. Muunnosparametrien määrittäminen vaatii vähintään neljä ”havaintoa”, esimerkiksi kahden pisteen yhteensä neljä koordinaattia, x_A, y_A, x_B ja y_B . Tällöin saadaan neljä yhtälöä neljällä tuntemattomalla. Lasku voidaan suorittaa neljässä vaiheessa, joissa lasketaan mittakaavasuhde K , kiertokulma t , eromuunnoskaava sekä siirtymävakiot x_0 ja y_0 [13, s. 49.].

Mittakaavasuhde

Mittakaavasuhde K , eli kerroin, jonka avulla muunnetaan (u, v) -koordinaatiston mittakaava samaksi (x, y) -koordinaatiston kanssa, saadaan Pythagoraan lauseen avulla (kaava 2) [13, s. 50]:

$$K = \frac{s_{xy}}{s_{uv}} = \frac{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{\sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2}} \quad (2)$$

Δx on pisteiden A ja B x-koordinaattien erotus ($x_B - x_A$)

Δy on pisteiden A ja B y-koordinaattien erotus ($y_B - y_A$)

Δu on pisteiden A ja B u-koordinaattien erotus ($u_B - u_A$)

Δv on pisteiden A ja B v-koordinaattien erotus ($v_B - v_A$) .

Kiertokulma

Kiertokulma t , eli kulma jonka verran koko (u, v) -koordinaatistoa tulee kiertää, saadaan kaavan 3 avulla [13, s. 50]:

$$t = \alpha_{xy} - \alpha_{uv} = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x} - \arctan \frac{\Delta v}{\Delta u} \quad (3)$$

Eromuunnoskaava

Siirtovakioiden x_0 ja y_0 laskemiseksi täytyy ensin ns. Helmertin eromuunnoskaava johtaa geometrisesti. (u, v) -koordinaatiston s_{uv} ja α_{uv} avulla Δx ja Δy :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta x = s_{xy} \cos \alpha_{xy} \\ s_{xy} = K * s_{uv} \\ \alpha_{xy} = \alpha_{uv} + t \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta x = K * s_{uv} * \cos(\alpha_{uv} + t),$$

ja vastaavasti

$$\Delta y = K * s_{uv} * \sin(\alpha_{uv} + t).$$

Käyttämällä sinin ja kosinin summakaavoja saadaan:

$$\Delta x = s_{uv} \cos \alpha_{uv} K \cos t - s_{uv} \sin \alpha_{uv} K \sin t,$$

$$\Delta y = s_{uv} \sin \alpha_{uv} K \cos t + s_{uv} \cos \alpha_{uv} K \sin t,$$

jossa $S_{uv}\cos\alpha_{uv}$ on Δu , $S_{uv}\sin\alpha_{uv}$ on Δv , $K\cos t$ on c ja $K\sin t$ on s . Nämä sijoittamalla saadaan lopulta Helmertin *eromuunnoskaava*:

$$\begin{aligned}\Delta x &= c\Delta u - s\Delta v = K \cos t * \Delta u - K \sin t * \Delta v, \\ \Delta y &= s\Delta u + c\Delta v = K \sin t * \Delta u + K \cos t * \Delta v.\end{aligned}\tag{4}$$

Kaava voidaan myös johtaa suoraan Helmertin alkuperäiskaavasta vähentämällä pisteiden B ja A kaavat toisistaan ja muistamalla Δx , Δy , Δu ja Δv :n määritelmät. Kaavan 4 avulla voidaan muuntaa kahden mielivaltaisen pisteen välillä olevia *yleisiä koordinaattieroja*. [13, s. 50–51]

Siirtymävakiot

Siirtymävakioiden määrittämiseksi tutkitaan pistepareja (x, y) ja (x_0, y_0) , eli vastaavasti (u, v) ja (u_0, v_0) . Oletetaan, että alkuperäisen koordinaatiston (u, v) origon u_0 - ja v_0 -koordinaatit ovat nolla. Tällöin

$$\begin{aligned}\Delta u &= u - u_0 = u, \\ \Delta v &= v - v_0 = v,\end{aligned}$$

ja samalla myös

$$\begin{aligned}\Delta x &= x - x_0 = x, \\ \Delta y &= y - y_0 = y.\end{aligned}$$

Saadaksemme (u, v) -koordinaatiston origon koordinaatit uudessa koordinaatistossa (x_0, y_0) sijoitetaan eromuunnoskaavaan (kaava 4) ja järjestetään uudelleen:

$$\begin{aligned}x_0 &= x - cu + sv, \\ y_0 &= y - su - cv.\end{aligned}$$

Tämä kaava pätee mielivaltaisilla pisteillä (x, y) eli (u, v) . Erikoistamalla kaavaa pisteelle A, jossa x on x_A , y on y_A , u on u_A ja v on v_A , saadaan siirtymävakioiden x_0 ja y_0 laskentakaavoiksi:

$$\begin{aligned}x_0 &= x_A - cu_A + sv_A, \\y_0 &= y_A - su_A - cv_A,\end{aligned}\tag{5}$$

joissa s on $K \sin t$ ja c on $K \cos t$. HELMERT-muunnoskaavat ovat nyt mielivaltaiselle pisteelle (x, y) :

$$\begin{aligned}x &= x_0 + cu - sv, \\y &= y_0 + su + cv.\end{aligned}$$

Voidaan todeta, että kaava vastaa jo aikasemmin mainittua HELMERT-muunnoskaavan yleisintä muotoa (kaava 1) [13, s. 51-52].

HELMERT-muunnoskaavat voidaan ilmoittaa myös matriisin muodossa:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c & -s \\ s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + K \begin{bmatrix} \cos t & -\sin t \\ \sin t & \cos t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix},$$

joka voidaan kirjoittaa kompaktisti ns. symbolisessa matriisimuodossa (kaava 6).

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{C}\mathbf{u} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{K}\mathbf{R}\mathbf{u},\tag{6}$$

jossa vektorien ja matriisien määritelmät ovat

$$\mathbf{x} \equiv \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \mathbf{x}_0 \equiv \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}, \mathbf{C} \equiv \begin{bmatrix} c & -s \\ s & c \end{bmatrix}, \mathbf{u} \equiv \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}, \mathbf{R} \equiv \begin{bmatrix} \cos t & -\sin t \\ \sin t & \cos t \end{bmatrix}.$$

K on usein määritelty $K = l + m$, jossa m on *mittakaavapoikkeama*.

Mittakaavapoikkeama on usein hyvin pieni, ja se ilmoitetaan yleensä yksikössä ppm (parts per million) [13, s. 52].

Muunnoskaavoja (kaavat 1 & 6) kutsutaan HELMERT- eli yhdenmuotoisuusmuunnokseksi tasossa [13, s. 52].

6.1.2 Affiinen muunnos

Affiinen muunnos on muunnos, joka säilyttää muunnettavan koordinaattijärjestelmän kollinearisuuden, suhteet ja välimatkat. Kollinearisuudella tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi pisteet, jotka sijaitsevat jollakin tietyllä viivalla, tekevät niin myös muunnoksen jälkeen. Suhteilla ja välimatkoilla tarkoitetaan esimerkiksi sitä että viivasegmentin keskipiste on keskipiste muunnoksen jälkeenkin. Vaikka viivojen suhteellisuus säilyy affiinisessä muunnoksessa, niiden kulmat ja pituudet eivät kuitenkaan välttämättä säily. Toisin sanoen kolmio voi muuttua toiseksi kolmioksi muunnoksen yhteydessä. Affiinen muunnoksen muunnoskaavat, esimerkiksi (u, v) -koordinaatistosta uuteen (x, y) -koordinaatistoon, ovat muotoa

$$\begin{aligned}x &= \Delta x + a_1 u + a_2 v \\y &= \Delta y + b_1 u + b_2 v\end{aligned}\tag{7}$$

jossa a_1, a_2, b_1 ja b_2 ovat akselien kiertokulmien ja mittakaavatekijöiden funktioita [18].

Tutustumme affiiniseen muunnokseen esimerkin avulla, jossa yhdistetään kierto ja laajentaminen:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u - x_0 \\ v - y_0 \end{bmatrix}\tag{8}$$

Kaavasta erottamalla yhtälöt saadaan

$$\begin{aligned}x &= (s \cos \alpha)u + (s \sin \alpha)v - s(x_0 \cos \alpha + y_0 \sin \alpha) \\y &= (-s \sin \alpha)u + (s \cos \alpha)v + s(x_0 \sin \alpha - y_0 \cos \alpha)\end{aligned}$$

jotka voidaan myös ilmaista

$$\begin{aligned}x &= au - bv + c \\y &= bu + av + d\end{aligned}$$

jossa a on $\cos\alpha$ ja b on $-\sin\alpha$ [18].

Mittakaavasuhde määritellään seuraavasti:

$$s \equiv \sqrt{a^2 + b^2}$$

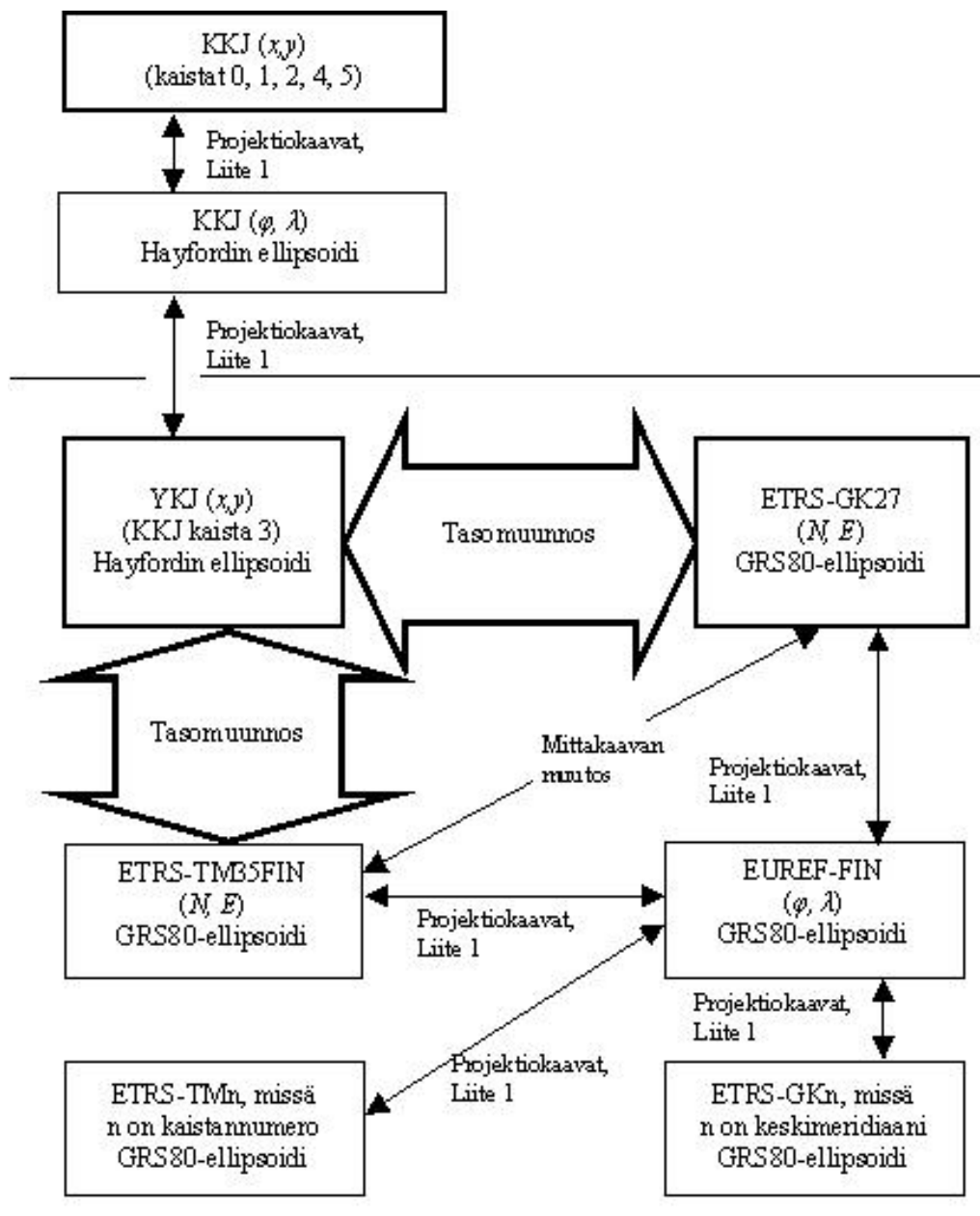
ja kiertokulma:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(-\frac{b}{a}\right)$$

Affiinista muunnosta käytetään suoritettaessa muunnosta KKKJ-koordinaattien ja ETRS-TM35FIN-tasokoordinaattien välillä [18].

6.2 Muunnos KKJ:stä EUREF-FINIin (ETRS-TM35FIN)

Muunnos Kartastokoordinaattijärjestelmän ja EUREF-FIN-koordinaatiston välillä voidaan suorittaa joko kolmiulotteisena seitsenparametrisella yhdenmuotoisuusmuunnoksella, ns. Bursa–Wolf-menetelmällä tai 2-ulotteisena tasossa kolmioittain affiinisenä muunnoksena. Kolmiulotteisessa muunnoksessa muunnosvirheet ovat korkeimmillaan 2 metriä ja keskiarvoltaan 0,5 metriä. Tämän takia JHS 154:ssä on esitetty tarkempi affiininen muunnos, jonka muunnosvirheet ovat huomattavasti pienemmät. Tarkkuusvaatimusten takia tässä työssä käytetään kyseistä muunnosta. Muunnos suoritetaan monivaiheisena JHS 154:ssä esitetyn muunnospolun mukaan (kuva 7), jossa ensin muunnetaan projektiokaavojen (liite 2) avulla KKJ-koordinaatit YKJ-koordinaateiksi, minkä jälkeen suoritetaan tasomuunnos joko ETRS-TM35FIN- tai ETRS-GK27 –tasokoordinaatistoon. [17, s. 10] Tässä työssä keskitytään Oy VR-Rata Ab:n toivomusten mukaisesti ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistoon.



Kuva 7. Muunnospolku KKJ-koordinaateista EUREF-FIN-koordinaateiksi [17, s. 11].

Tasomuunnos YKJ:stä ETRS-TM35FINiin suoritetaan kolmioittain affiinisena muunnoksena. Muunnosta varten muunnospisteistöstä on muodostettu kolmioverkko, jonka käsittää 624 pistettä tunnetaan sekä KKJ:ssä että ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa. Koska valtakunnan rajojen ulkopuolella ei ole tarpeeksi lähellä valtakunnanrajaa pisteitä, on valtakunnan rajojen ulkopuolelle määritetty 143 virtuaalista pistettä. Kolmioverkko on virtuaalikolmioita lukuun ottamatta muodostettu Delaunay-kolmioinnin avulla. Affiinista muunnoskaavaa (kaava 9) varten tarvittavat parametrit on määritetty kullekin kolmiolle kolmioiden kärkipisteiden avulla [19, s. 1]:

$$\begin{aligned}x_2 &= \Delta x + a_1 x_1 + a_2 y_1 \\y_2 &= \Delta y + b_1 x_1 + b_2 y_1\end{aligned}\tag{9}$$

Kaavassa 9 Δx - ja Δy -parametrit ovat origon siirtoparametrit, a_1 , a_2 , b_1 ja b_2 ovat akselien kiertokulmien ja mittakaavatekijöiden funktioita. Muunnos edellyttää, että paikallistetaan kolmio, jonka sisällä muunnettava piste sijaitsee, ja suoritetaan muunnos sijoittamalla oikeat parametrit muunnoskaavaan (kaava 9). Kolmioittaisella affiinisella muunnoksella saavutetaan keskimäärin pienempi kuin 10 cm:n neliökeskivirhe [17, s. 13; 19, s. 1].

6.3 Muunnokset kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

Muunnokset kaupunkien paikallisten koordinaattijärjestelmien ja KKJ:n välillä suoritetaan käyttäen neliparametrinen HELMERT-muunnosta, eli yhdenmuotoisuusmuunnosta. Muunnoskaavassa (kaava 10) suoritetaan muunnos alkuperäiskoordinaatiston (X_{vanha} , Y_{vanha}) ja tuloskoordinaatiston (X , Y) välillä.

$$\begin{aligned}X &= A + C * U - D * V \\Y &= B + D * U + C * V\end{aligned}\tag{10}$$

Kaavassa 10 A on origon siirtoparametri x -akselin suuntaan, B on origon siirtoparametri y -akselin suuntaan, C on mittakaavasuhde ja D on koordinaatiston kiertokulma. Parametrit U ja V ovat sama kuin X_{vanha} ja Y_{vanha} , eli alkuperäiset lähtökoordinaatiston koordinaatit, ellei toisin mainita. Useimmissa kaupunkien järjestelmien ja KKJ:n välisissä muunnoksissa tulee kuitenkin lähtökoordinaatiston alkuperäisistä x ja y -koordinaateista vähentää jokin tietty luku, mistä saadaan kaavaan tulevat uudet U - ja V -parametrit.

Muunnosparametrit on lueteltu rata-alueittain liitteessä 3. Liitteessä on muunnosparametrit sekä kaupungin paikallisesta järjestelmästä KKJ:n peruskoordinaatistoon että toisin päin. Muunnoksessa käytettävät KKJ-koordinaatit ovat peruskoordinaatistossa, eli siinä KKJ:n kaistassa, jossa kyseisen kaupungin paikallinen järjestelmä sijaitsee. Mikäli liitteessä 3 U - ja V -parametrien arvoksi on ilmaistu pelkät X_{vanha} ja Y_{vanha} , voidaan lähtökoordinaatiston alkuperäisiä x - ja y -koordinaatteja käyttää suoraan kaavaan.

Muunnosparametrit on osin kerätty Maanmittauslaitoksen Paikkatietojen yhteiskäytöstä ja osin tiedusteltu suoraan eri kaupunkien tekniseltä osastolta.

6.4 Muunnos VVJ:stä KKJ:hin

Muunnos VVJ:stä KKJ:hin suoritetaan neliparametrinen HELMERT-muunnoksen avulla. Muunnosparametrit sekä muunnoskaava on esitetty liitteessä 4. Nämä parametrit on määritelty Vantaan kaupungin alueelle, joten mitä kauempana muunnettava piste on kyseisestä alueesta, sitä suurempia ovat myös muunnosvirheet.

7 Yhteenveto

KYY-paikkatietohanke on Oy VR-Rata Ab:n Liikennevirastolle tarjoama ratkaisu kaapelikarttojen ja sähköpiirustusten yhtenäistämiseksi yhteen ja samaan järjestelmään.

Suomen rataverkko on eri rataosuuksien muodostama kokonaisuus, jota hallinnoi Liikennevirasto. Suomen rataverkolla on käytössä useita eri koordinaattijärjestelmiä, kuten KKJ, eri kaupunkien paikalliset järjestelmät ja VVJ. Aineistoa KKJ:ssä voidaan olettaa löydettävän koko Suomen rataverkolta, kun taas kaupunkien paikallisia järjestelmiä on käytössä vain paikallisesti eri kaupunkien alueilla. VVJ:tä on vastaavasti käytössä vain Etelä-Suomen rata-alueella Helsingin ympärillä. Useiden kaupunkien paikalliset järjestelmät perustuvat VVJ:hin, mutta VVJ nimikkeenä on jäänyt pois ajan myötä.

Koordinaatistomuunnoksissa EUREF-FIN-koordinaatistoon käytetään erilaisia muunnostyyppejä, kuten neliparametrinen HELMERT-muunnos, affiininen muunnos sekä erilaisia projektiomuunnoksia. Muunnos KKJ:stä EUREF-FIN-koordinaatiston ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistoon tapahtuu kahdessa eri vaiheessa, joista ensimmäisessä muunnetaan KKJ-koordinaatit tarvittaessa YKJ-koordinaateiksi projektiokaavojen avulla ja toisessa suoritetaan tasomuunnos, jonka tuloksena saadaan koordinaatit ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistossa. Muunnos kaupunkien paikallisista järjestelmistä suoritetaan ensin muuntamalla koordinaatit KKJ:hin neliparametrisen HELMERT-muunnoksen avulla, minkä jälkeen suoritetaan muunnos KKJ:stä ETRS-TM35FIN-koordinaatistoon. Muunnos VVJ:stä suoritetaan samalla menetelmällä kuin muunnoksessa kaupunkien järjestelmistä.

Lähteet

1. Sanastokeskus TSK ry. Geoinformatiikan sanasto. Helsinki: Saarijärvi, 2005.
2. Paikkatieto. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Paikkatieto>>. 2009. Luettu 20.1.2010.
3. Paikkatieto. (WWW-dokumentti.) ProGIS.
<<http://www.progis.fi/paikkatieto.html>>. 2007. Luettu 20.1.2010.
4. Paikkatietojärjestelmä. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Paikkatietojärjestelmä>>. 2010. Luettu 20.1.2010.
5. Koordinaattijärjestelmä. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Koordinaattijärjestelmä>>. 2010. Luettu 28.2.2010.
6. Kaapelitietojen yhtenäistäminen ja ylläpito (KYY) ja piirustusarkistojen sähköinen jakelu. Oy VR-Rata Ab, 2010.
7. AutoCAD Map 3D: Ominaisuudet. (WWW-dokumentti.) Autodesk.
<<http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/index?siteID=448412&id=12447659>>. 2010.
Luettu 5.2.2010.
8. Autodesk MapGuide Enterprise. (WWW-dokumentti.) Autodesk.
<<http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/index?siteID=448412&id=12462204>>. 2010.
Luettu 28.2.2010.
9. Rataverkko. (WWW-dokumentti.) Liikennevirasto.
<<http://www.rhk.fi/rataverkko/>>. Luettu 1.3.2010.
10. Oy VR-Rata Ab
11. Kartastokoordinaattijärjestelmä. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kartastokoordinaattijärjestelmä>>. 2010. Luettu 25.1.2010.
12. Gauss-Krüger-projektio. (WWW-dokumentti.) Wikipedia.
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Gauss-Kr%C3%BCger-projektio>>. 2010. Luettu 26.1.2010.
13. Vermeer, Martin. Johdanto Geodesiaan. (WWW-dokumentti.)
<<http://users.tkk.fi/mvermeer/johd.pdf>>. 2008. Luettu 3.2.2010

14. Uikkanen, Eino. Finnish Coordinate Systems. (WWW-dokumentti).
<<http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/geodocsgb/ficoords.htm>>. 2009. Luettu 26.1.2010
15. JUHTA. JHS 153 ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. 2008.
16. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. (WWW-dokumentti). Maanmittauslaitos.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/Tietoa_maasta/Kartoitus/Koordinaatti_ ja_korkeusjarjestelmat/>. 2010. Luettu 30.1.2010.
17. JUHTA. JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatistot ja karttalehtijako. 2008.
18. Affine Transformation. (WWW-dokumentti.) Wolfram Mathworld.
<<http://mathworld.wolfram.com/AffineTransformation.html>>. Luettu 15.2.2010.
19. JUHTA. JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatistot ja karttalehtijako, Liite 5: Muunnos ykj <-> ETRS-TM35FIN. 2008.
20. Malmström, Joachim. Selvitys rataverkolla käytettävistä koordinaattijärjestelmistä. Oy VR-Rata Ab. 1999.

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

Koordinaattijärjestelmien alku- ja loppukohdissa *K* tarkoittaa sitä, että kyseinen koordinaatisto kattaa koko rataosan.

Etelä-Suomen rata-alue

Rataosanro	Rataosa	Koordinaattijärjestelmä	Alku (km + m)	Loppu (km + m)
111	HEL - PSL	Helsingin kaupunki	0 + 150	
112	PSL - RI	Helsingin kaupunki		15 + 401
		VVJ	15 + 086	30 + 295
		KKJ2	28 + 869	71 + 410
		VVJ	68 + 146	72 + 421
113	RI - KU	VVJ		72 + 421
		KKJ2	71 + 410	107 + 559
		VVJ		
121	ILA (PSL) - KR	Helsingin kaupunki	0 + 150	9 + 425
		VVJ	8 + 488	38 + 600
		KKJ2	37 + 360	
122	KR - PKU	KKJ2	K	K
123	HPL - VKS	Helsingin kaupunki	6 + 601	11 + 295
		VVJ	11 + 138	14 + 907
125	KE - VSA	VVJ	29 + 665	33 + 121
		KKJ2	32 + 133	51 + 230
		Helsingin kaupunki	50 + 600	
131	KE - SLD	VVJ	28 + 005	31 + 965
		KKJ2	31 + 606	55 + 303
		Nesteen erilliskoord.	55 + 000	57 + 000
132	OLLI - PRV	KKJ2	45 + 739	62 + 287
141	HY- KR	VVJ	59 + 190	65 + 000
		KKJ2	65 + 000	154 + 580

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

142	KR - HNK	KKJ2	158 + 289	206 + 000
		Hangon kaupunki	206 + 000	207 + 166
151	RI- MLA	VVJ		Ei tiedossa
		KKJ2	Ei tiedossa	
321	TL - TUS	KKJ2	148 + 000	253 + 900
		KKJ1	252 + 800	273 + 851
		Turun kaupunki	262 + 791	274 + 860
331	PKU - TKU	KKJ2		182 + 794
		KKJ1	182 + 657	200 + 044
		Turun kaupunki	198 + 450	199 + 674
332	TKU - UKP	Turun kaupunki	199 + 674	201 + 200
		KKJ1	200 + 948	266 + 400
333	RAI (TKU) - NNL	KKJ1	208 + 205	211 + 200
		Naantalin kaupunki	211 + 064	213 + 844
334	NNL - NLS	Naantalin kaupunki	213 + 188	
335	IHA - VIE	KKJ1	205 + 019	209 + 637
		Tehtaan oma koord.?	209 + 637	
336	UKP - HGS	KKJ1	266 + 400	269 + 121
		Tehtaan oma koord.?	269 + 121	

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

Länsi-Suomen rata-alue

Rataosanro	Rataosa	Koordinaattijärjestelmä	Alku (km + m)	Loppu (km + m)
311	TL - TRE	KKJ2		187 + 500
		Tampereen kaupunki	186 + 000	
312	TRE - (LLH)	Tampereen kaupunki	K	K
313	LLH - RLÄ (MD)	Tampereen kaupunki		193 + 000
		KKJ2	193 + 000	
314	TL - VI	KKJ2	K	K
341	LLH - KKI	Tampereen kaupunki		193 + 300
		KKJ2	193 + 300	
342	KKI - RMA	KKJ1		330 + 000
		Rauman kaupunki	330 + 000	
343	KN - KTU	KKJ1	K	K
344	KKI - PRI	KKJ1	K	K
345	PRI - MN	KKJ1	K	K
351	PRI - PRK	KKJ1	K	K
352	PRK - ATNV	KKJ2	K	K
353	HPK - KTN (PVI)	KKJ2	K	K
361	TRE - OV	Tampereen kaupunki		188 + 000
		KKJ2	188 + 000	
362	OV - JSK (SAA)	KKJ2	K	K
363	JÄS - KLA	KKJ2	K	K
371	OV - HPK	KKJ2	K	K
372	HPK - VJI (MY)	KKJ2	K	K
373	VLP - MÄN	KKJ2	K	K

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

411	MD - SK	KKJ2	K	K
412	SK - YV	KKJ2		550 + 000
		Kokkolan ratapiha (?)	550 + 000	552 + 000
		KKJ2	552 + 000	
415	PNÄ - PTS	KKJ2	K	K
416	KOK - YKS	KKJ2	K	K
421	MY - SK	KKJ2	K	K
431	SK - VSK (VS)	KKJ2		419 + 300
		KKJ1	419 + 300	491 + 200
		Vaasan kaupunki	491 + 200	
441	SK - KSK	KKJ2		Ei tiedossa
		KKJ1	Ei tiedossa	
631	PVI - JY	KKJ2		Ei tiedossa
		KKJ3	Ei tiedossa	Ei tiedossa
		Jyväskylän kaupunki	Ei tiedossa	
632	JY - PM	KKJ3	K	K
641	SAA - JY	KKJ2		313 + 000
		KKJ3	313 + 000	332 + 000
		Jyväskylän kaupunki	332 + 000	
642	JY - MUS	Jyväskylän kaupunki		380 + 100
		KKJ3	380 + 100	

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

Itä-Suomen rata-alue

Rataosanro	Rataosa	Koordinaattijärjestelmä	Alku (km + m)	Loppu (km + m)
211	HJR (MLA) - KV	KKJ2		116 + 946
		KKJ3	116 + 946	
212	UTI (KV) - LÄ	Kouvolan kaupunki	186 + 450	195 + 960
		KKJ3	195 + 960	
213	LÄ - VAI	KKJ3		
221	KV - MSS	Kouvolan kaupunki		196 + 500
		KKJ3	196 + 500	
222	JRI - HMA	KKJ3		237 + 400
		Haminan kaupunki	237 + 400	
231	KV - MR	Kouvolan kaupunki		196 + 000
		KKJ3	196 + 000	
232	KV - KUK	Kouvolan kaupunki		196 + 000
		KKJ3	196 + 000	
241	LÄ - PAR	KKJ3		306 + 799
		KKJ4	306 + 420	320 + 500
		Imatran kaupunki	320 + 500	334 + 350
		KKJ4	320 + 500	
242	LR - MST	KKJ3	K	K
243	IMT - IMK	Imatran kaupunki		334 + 350
		KKJ4	334 + 350	
251	LH - HA	Lahden kaupunki	138 + 050	142 + 800
		KKJ3	142 + 800	
252	LH - LVS	Lahden kaupunki		138 + 050
		KKJ3	138 + 050	
611	MR - PM	KKJ3	K	K
612	PM - ILM	KKJ3	K	K

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

613	ILM - SKV	KKJ3	K	K
621	ILM - KRV	KKJ3	K	K
632	JY - PM	KKJ3	K	K
633	PM - HKO	KKJ3	K	K
634	HKO - VAR	KKJ3	K	K
635	JOR (HKO) - KSO	KKJ3	K	K
651	SIJ - OKU	KKJ3		545 + 914
		KKJ4	545 + 914	
711	PAR - JNS	KKJ4	K	K
712	KHI (JNS) - VLM	KKJ4	K	K
721	VAR - VNJ	KKJ3		459 + 1123
		KKJ4	459 + 229	
721	JNS - VNJ	KKJ4	K	K
722	JNS - ILO	KKJ4	K	K
731	VNJ - SMJ (OKU)	KKJ4	K	K
741	KSO - PAR	KKJ3		458 + 897
		KKJ4	458 + 000	
751	NRL - TOH (SKM)	KKJ4	K	K

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

Pohjois-Suomen rata-alue

Rataosanro.	Rataosa	Koordinaattijärjestelmä	Alku (km + m)	Loppu (km + m)
413	KGS (YV) - KUA (VTI)	KKJ2	K	K
451	KOM (KRV) - YV	KKJ3		Ei tiedossa
		KKJ2	Ei tiedossa	
452	KMS - (HPJ)	KKJ3		
511	VTI - OL	KKJ2		Ei tiedossa
		KKJ3	Ei tiedossa	
		Oulun kaupunki	748 + 000	758 + 000
512	OL - TOR	Oulun kaupunki	748 + 000	758 + 000
		KKJ3		Ei tiedossa
		KKJ2	Ei tiedossa	
		Kemin kaupunki	854 + 000	856 + 000
		KKJ2	856 + 000	
514	TJA - (RHE)	KKJ2	K	K
521	(TOR) - RRA	KKJ2	K	K
522	(RRA) - ÄJ	KKJ2	K	K
531	OL - KON	Oulun kaupunki	758 + 000	757 + 000
		KKJ3	757 + 000	
532	MLK (VLM) - KON	KKJ4		Ei tiedossa
		KKJ3	Ei tiedossa	
541	LLA - ROI	KKJ2		Ei tiedossa
		KKJ3	Ei tiedossa	Ei tiedossa
		Rovaniemen kaupunki	Ei tiedossa	
542	(ROI) - KJÄ (IKÄ)	Rovaniemen kaupunki		Ei tiedossa

Liite 1: Koordinaattijärjestelmät Suomen rataverkolla

		KKJ3	Ei tiedossa	
543	IKÄ - KLS	KKJ3		Ei tiedossa
		KKJ4	Ei tiedossa	
551	MUR (SKV) - KON	KKJ3	K	K
552	KON - TLK	KKJ3		Ei tiedossa
		KKJ4	Ei tiedossa	Ei tiedossa
		KKJ3	Ei tiedossa	
553	MUR (SKV) - OTM	KKJ3	K	K
554	KON - VUS	KKJ3		Ei tiedossa
		KKJ4	Ei tiedossa	
555	(PSK) - ÄM	KKJ4	K	K

Liite 2: JHS 154, Liite 1: Projektiokaavat

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatistot ja karttalehtijako, Liite 1: Projektiokaavat

Versio: 6.6.2008

Julkaistu:

Voimassaoloaika: Toistaiseksi

Transverse Mercator-projektiolle on esitetty laskentakaavoja esimerkiksi seuraavissa lähteissä:

- ∞ Hirvonen, R.A., Matemaattinen Geodesia, Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta, Helsinki, 1972
- ∞ Hirvonen, R.A. The Use of Subroutines in Geodetic Computations, Maanmittaus, 1970.
- ∞ Hooijberg, Marten: Practical Geodesy, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York 1997, pages 81-84
- ∞ Krüger L: Konforme Abbildung des Erdellipsoids in der Ebene, B. G. Teubner Verlag Leipzig 1912, pages 11-22
- ∞ König, R.; Weise, K. H.: Mathematische Grundlagen der höheren Geodäsie und Kartographie, Springer Verlag Berlin Göttingen Heidelberg, 1951
- ∞ Meade, B. K., Program for Computing Universal Transverse Mercator (UTM) Coordinates for Latitudes North or South and Longitudes East or West, Surveying and Mapping, Vol. 47, No. 1, pages 37 – 49.
- ∞ Poder, K.; Engsager, K.: Some Conformal Mappings and Transformations for Geodesy and Topographic Cartography, Publications 4 series, volume 6, National Survey and Cadastre Denmark, 1998

Seuraavaksi esitettävät kaavat ovat R.A. Hirvosen kirjasta Matemaattinen Geodesia ja Maanmittaus-lehden artikkelista.

Suomessa käytettävien ellipsoidien parametreja

Ellipsoidi	Isoakselin puolikas a (m)	Pikkuakselin puolikas b (m)	Litistyssuhde f
Kansainvälinen 1924 (Hayford 1909)	6378388.0	6356911.946128	1/297.0
GRS80	6378137.0	6356752.314140	1/298.257222101
WGS84	6378137.0	6356752.314245	1/298.257223563

Kaavoissa esiintyvät symbolit ja niiden määritelmät

kaavoissa käytetään kulmayksikkönä radiaania.

Symboli	Määritelmä
a	= ellipsoidin isoakselin puolikas
b	= ellipsoidin pikkuakselin puolikas
f	= ellipsoidin litistyssuhde
k_0	= mittakaavakerroin keskimeridiaanilla
λ_0	= projektion keskimeridiaani
E_0	= Itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla
φ	= geodeettinen leveys
λ	= geodeettinen pituus
E	= projektion itäkoordinaatti

Liite 2: JHS 154, Liite 1: Projektiokaavat

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Symboli	Määritelmä
N	= projektion pohjoiskoordinaatti
γ	= meridiaanikonvergenssi
k	= mittakaavakerroin
A_1	= meridiaanin pituisen ympyrän säde
e^2	= ensimmäisen epäkeskisyyden neliö
e'^2	= toisen epäkeskisyyden neliö
n	= toinen litistysuhde
t	= suuntakulma tasolla (suuntakorjauksen kaavassa $\delta = T - t$)
c	= napakaarevuussäde
M	= meridiaanikaarevuussäde
N	= poikittaiskaarevuussäde (kaavassa (42))

Hyperboliset ja käänteiset hyperboliset (area) funktiot:

(Vain hyperbolisten funktioiden kaavoissa $e =$ Neperin luku, muutoin $e =$ ensimmäinen epäkeskisyyden)

$$\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$$

$$\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

$$\tanh(x) = \frac{\sinh(x)}{\cosh(x)} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

$$\operatorname{arsinh}(x) = \ln(x + \sqrt{x^2 + 1})$$

$$\operatorname{artanh}(x) = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right)$$

$$\operatorname{sech}(x) = \frac{1}{\cosh(x)} = \frac{2}{e^x + e^{-x}}$$

$$\operatorname{arsech}(x) = \ln\left(\frac{1 + \sqrt{1 - x^2}}{x}\right)$$

Apusuureet

$$n = \frac{f}{2 - f} = \frac{a - b}{a + b} \quad (01)$$

$$A_1 = \frac{a}{1 + n} \left(1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64}\right) \quad (02)$$

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (03)$$

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \quad (04)$$

$$V^2 = 1 + e'^2 \cos^2(\varphi) \quad (05)$$

$$h_1 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{37}{96}n^3 - \frac{1}{360}n^4 \quad (06)$$

Liite 2: JHS 154, Liite 1: Projektiokaavat

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

$$\begin{aligned}
 h_2 &= \frac{1}{48}n^2 + \frac{1}{15}n^3 - \frac{437}{1440}n^4 \\
 h_3 &= \frac{17}{480}n^3 - \frac{37}{840}n^4 \\
 h_4 &= \frac{4397}{161280}n^4 \\
 h_1' &= \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{5}{16}n^3 + \frac{41}{180}n^4 \quad (07) \\
 h_2' &= \frac{13}{48}n^2 - \frac{3}{5}n^3 + \frac{557}{1440}n^4 \\
 h_3' &= \frac{61}{240}n^3 - \frac{103}{140}n^4 \\
 h_4' &= \frac{49561}{161280}n^4
 \end{aligned}$$

Projektiokaavat

Geodeettisista koordinaateista (φ, λ) tasokoordinaateiksi (N, E)

Syöte: pisteen geodeettiset koordinaatit (φ, λ)
Tulos: pisteen tasokoordinaatit (N, E) projektiotasolla,

$$Q' = \operatorname{arsinh}[\tan(\varphi)] \quad (08)$$

$$Q'' = \operatorname{artanh}[e \cdot \sin(\varphi)] \quad (09)$$

$$Q = Q' - e \cdot Q'' \quad (10)$$

$$l = \lambda - \lambda_0 \quad (11)$$

$$\beta = \arctan[\sinh(Q)] \quad (12)$$

$$\eta' = \operatorname{artanh}[\cos(\beta) \cdot \sin(l)] \quad (13)$$

$$\xi' = \arcsin\left[\frac{\sin(\beta)}{\operatorname{sech}(\eta')}\right] \quad (14)$$

$$\xi_1 = h_1' \sin(2\xi') \cosh(2\eta') \quad (15)$$

$$\xi_2 = h_2' \sin(4\xi') \cosh(4\eta')$$

$$\xi_3 = h_3' \sin(6\xi') \cosh(6\eta')$$

$$\xi_4 = h_4' \sin(8\xi') \cosh(8\eta')$$

$$\eta_1 = h_1' \cos(2\xi') \sinh(2\eta') \quad (16)$$

$$\eta_2 = h_2' \cos(4\xi') \sinh(4\eta')$$

$$\eta_3 = h_3' \cos(6\xi') \sinh(6\eta')$$

$$\eta_4 = h_4' \cos(8\xi') \sinh(8\eta')$$

$$\xi = \xi' + (\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4) \quad (17)$$

$$\eta = \eta' + (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) \quad (18)$$

$$N = A_1 \cdot \xi \cdot k_0 \quad (19)$$

$$E = A_1 \cdot \eta \cdot k_0 + E_0 \quad (20)$$

Liite 2: JHS 154, Liite 1: Projektiokaavat

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Tasokoordinaateista (N, E) geodeettisiin koordinaatteihin (φ, λ)

Syöte: pisteen tasokoordinaatit (N, E) projektiotasolla,
Tulos: pisteen geodeettiset koordinaatit (φ, λ)

$$\xi = \frac{N}{A_1 \cdot k_0} \quad (21)$$

$$\eta = \frac{E - E_0}{A_1 \cdot k_0} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \xi_1' &= h_1 \sin(2\xi) \cosh(2\eta) \\ \xi_2' &= h_2 \sin(4\xi) \cosh(4\eta) \\ \xi_3' &= h_3 \sin(6\xi) \cosh(6\eta) \\ \xi_4' &= h_4 \sin(8\xi) \cosh(8\eta) \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \eta_1' &= h_1 \cos(2\xi) \sinh(2\eta) \\ \eta_2' &= h_2 \cos(4\xi) \sinh(4\eta) \\ \eta_3' &= h_3 \cos(6\xi) \sinh(6\eta) \\ \eta_4' &= h_4 \cos(8\xi) \sinh(8\eta) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\xi' = \xi - (\xi_1' + \xi_2' + \xi_3' + \xi_4') \quad (25)$$

$$\eta' = \eta - (\eta_1' + \eta_2' + \eta_3' + \eta_4') \quad (26)$$

$$\beta = \arcsin[\operatorname{sech}(\eta') \cdot \sin(\xi')] \quad (27)$$

$$l = \arcsin\left[\frac{\tanh(\eta')}{\cos(\beta)}\right] \quad (28)$$

$$Q = \operatorname{arsinh}[\tan(\beta)] \quad (29)$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q)] \quad (30)$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q')] \quad \text{iterointi, kunnes muutos} = 0 \quad (31)$$

$$\varphi = \arctan[\sinh(Q')] \quad (32)$$

$$\lambda = \lambda_0 + l \quad (33)$$

Käytännössä kaavassa (31) riittää kolme iteraatiokierrosta. Ensin kaavalla (29) laskettu Q sijoitetaan kaavaan (30), jolla saadaan Q' :n ensimmäinen likiarvo. Q' :n likiarvo sijoitetaan kaavaan (31), jota iteroidaan.

Meridiaanikonvergenssi

Syöte: pisteen geodeettiset koordinaatit (φ, λ), keskimeridiaani λ_0
Tulos: meridiaanikonvergenssikulma (γ)

$$\gamma = l \cdot \sin(\varphi) \cdot \left[1 + \frac{1}{3} V^2 (2V^2 - 1) \cos^2(\varphi) \cdot l^2\right], \quad \text{missä } l = \lambda - \lambda_0 \quad (34)$$

Liite 2: JHS 154, Liite 1: Projektiokaavat

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta

Mittakaavakorjaus ja pituuskorjaus

Syöte: pisteen geodeettiset koordinaatit (φ, λ) , keskimeridiaani λ_0
Tulos: mittakaavakerroin (k) pisteessä (φ, λ)

$$k = k_0 \left[1 + \frac{1}{2} \cos^2(\varphi) \cdot l^2 \right], \quad \text{missä } l = \lambda - \lambda_0 \quad (35)$$

Mittakaavakerroin muuttuu hitaasti ja sitä voidaan monissa tarkoituksissa pitää vakiona noin 10 km² :n suuruisella alueella. Pidemmillä etäisyyksillä mittakaavakerroin voidaan laskea kaavalla:

$$k = 1/6(k_1 + 4k_m + k_2) \quad (36)$$

missä k_1 ja k_2 ovat mittakaavakertoimet linjan päissä ja k_m on mittakaavakerroin linjan puolessavälissä.

Maastomittauksissa voidaan käyttää kaavalla (35) määritettyä mittakaavakertoimen arvoa k, mikäli esimerkiksi takymetrissä tehdään muutkin etäisyysmittauksen reduktiot mittaushetkellä. Muuten ellipsoidin pinnalla tehty ja ellipsoidin kaareksi redukoitu etäisyyshavainto korjataan projektiotasolle kertomalla se k:lla, joka saadaan joko kaavalla (36) tai tasokoordinaateista laskien kaavalla:

$$k = k_0 \left[1 + \frac{1}{6R^2} (E_1^2 + E_1 E_2 + E_2^2) \right] \quad (37)$$

Suuntakorjaus

Ellipsoidin pinnalla havaittu suunta korjataan tasolle suuntakorjauksella (Arc-to-chord Correction $\delta = T - t$). Suuntakorjaus δ lasketaan seuraavilla kaavoilla:

Syöte: kahden pisteen koordinaatit (N_1, E_1) ja (N_2, E_2)
Tulos: suuntakorjaus $\delta_{1,2}$ ja $\delta_{2,1}$

$$\delta_{1,2} = \frac{1}{6R^2} (N_2 - N_1)(2E_1 + E_2) \quad (38)$$

$$\delta_{2,1} = \frac{1}{6R^2} (N_1 - N_2)(2E_2 + E_1) \quad (39)$$

Kaavoissa (37) – (39) käytettävistä itäkoordinaateista E_1 ja E_2 on vähennettävä 500 000 m (itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla). R on keskikaarevuussäde, joka voidaan laskea kaavalla:

$$R = \sqrt{M \cdot N} \quad (40)$$

$$M = \frac{c}{V^3} \quad (41)$$

$$N = \frac{c}{V} \quad (42)$$

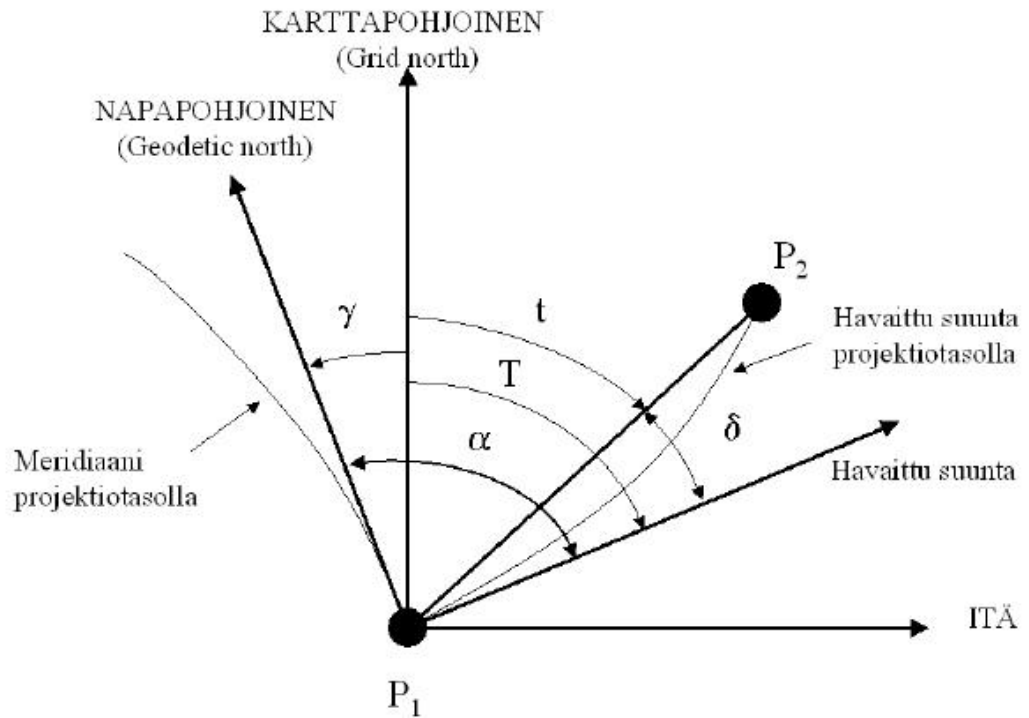
$$c = \frac{a^2}{b} \quad (43)$$

Suuntakulma (t) projektiotasolla, atsimuutti (α), konvergenssikulma (γ) ja suuntakorjaus (δ) riippuvat toisistaan seuraavan kaavan mukaisesti:

$$t = \alpha - \gamma - \delta \quad (44)$$

Liite 2: JHS 154, Liite 1: Projektiokaavat

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta



Kuva 4. Karttapohjoinen, napapohjoinen, konvergenssikulma ja suuntakorjaus.

Kun piste on keskimeridiaanin itäpuolella, karttapohjoinen on itään napapohjoisesta ja meridiaanikonvergenssi on positiivinen. Pisteessä ollessa länteen keskimeridiaanista, karttapohjoinen on länteen napapohjoisesta ja meridiaanikonvergenssi on negatiivinen. Katso myös kuva 3.

Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

Muunnosparametrit sijoitetaan kaavaan:

$$X = A + C * U - D * V$$

$$Y = B + D * U + C * V$$

jossa

A = Origin siirtoparametri x – akselin suuntaan

B = Origin siirtoparametri y – akselin suuntaan

C = mittakaavasuhde

D = kiertokulma

U = muunnettava x – koordinaatti

V = muunnettava y – koordinaatti

X = muunnettu x – koordinaatti

Y = muunnettu y – koordinaatti

Etelä-Suomen rata-alue

HELSINKI		Muunnoksen keskivirhe: 0,054 m	
Helsinki -> KKJ2		KKJ2 -> Helsinki	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 21411,896	U	Xvanha - 6676543,079
V	Yvanha - 51725,460	V	Yvanha - 2554561,907
A	6676543,079	A	21411,896
B	2554561,907	B	51725,460
C	0,9999286	C	0,9998771
D	-0,0139389	D	0,0139381

Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

NAANTALI		Muunnoksen keskivirhe: 0,023 m	
Naantali -> KKJ1		KKJ1 -> Naantali	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6705932,847	U	Xvanha - 6705930,943
V	Yvanha - 556551,587	V	Yvanha - 1556552,074
A	6705930,943	A	6705932,847
B	1556552,074	B	556551,587
C	1,000053	C	0,999947
D	0,0000062	D	-0,0000062

TURKU		Muunnoksen keskivirhe: 0,038 m	
Turku -> KKJ1		KKJ1 -> Turku	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6705105,112	U	Xvanha - 6705103,125
V	Yvanha - 566701,842	V	Yvanha - 1566702,900
A	6705103,125	A	6705105,112
B	1566702,900	B	566701,842
C	1,0000623	C	0,9999377
D	0,0000011	D	-0,0000011

Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

Länsi-Suomen rata-alue

JYVÄSKYLÄ		Muunnoksen keskivirhe: 0,035 m	
Jyväskylä -> KKJ2		KKJ2 -> Jyväskylä	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6903130,010	U	Xvanha - 6903130,443
V	Yvanha - 434753,568	V	Yvanha - 3434752,980
A	6903130,443	A	6903130,010
B	3434752,980	B	434753,568
C	1,0000532	C	0,9999468
D	0,0000061	D	-0,0000061

RAUMA		Muunnoksen keskivirhe: 0,007 m	
Rauma -> KKJ1		KKJ1 -> Rauma	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6781153,206	U	Xvanha - 6781150,503
V	Yvanha - 527601,129	V	Yvanha - 1527602,194
A	6781150,503	A	6781153,206
B	1527602,194	B	527601,129
C	1,0000002	C	0,9999998
D	-0,0000002	D	0,0000002

TAMPERE		Muunnoksen keskivirhe: 0,001 m	
Tampere -> KKJ2		KKJ2 -> Tampere	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 30587,355	U	Xvanha - 6830586,374
V	Yvanha - 92607,713	V	Yvanha - 2492607,966
A	6830586,374	A	30587,355
B	2492607,966	B	92607,713
C	0,0000818	C	1,0000182
D	0,0000012	D	-0,0000012

Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

VAASA		Muunnoksen keskivirhe: 0,033 m	
Vaasa -> KKJ1		KKJ1 -> Vaasa	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6996374,319	U	Xvanha - 6996372,799
V	Yvanha - 531806,510	V	Yvanha - 1531805,039
A	6996372,799	A	6996374,319
B	1531805,039	B	531806,510
C	1,0000026	C	0,9999974
D	-0,0000075	D	0,0000075

Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

Itä-Suomen rata-alue

HAMINA		Muunnoksen keskivirhe: 0,015 m	
Hamina -> KKJ3		KKJ3 -> Hamina	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6717164,961	U	Xvanha - 6717165,423
V	Yvanha - 510823,449	V	Yvanha - 3510824,613
A	6717165,423	A	6717164,961
B	3510824,613	B	510823,448
C	1,00001	C	0,99999
D	-0,0000431	D	0,0000431

IMATRA		Muunnoksen keskivirhe: 0,019 m	
Imatra -> KKJ4		KKJ4 -> Imatra	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha	U	Xvanha
V	Yvanha	V	Yvanha
A	6699995,880	A	-6699506,327
B	4400002,419	B	-4400058,941
C	1,00004718	C	0,99995282
D	-0,00003942	D	0,00003942

KOTKA		Muunnoksen keskivirhe: ei tietoa	
Kotka -> KKJ3		KKJ3 -> Kotka	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6710721,373	U	Xvanha - 6710721,235
V	Yvanha - 3495281,985	V	Yvanha - 3495283,290
A	6710721,235	A	6710721,373
B	3495283,290	B	3495281,985
C	0,999988308	C	1,000011692
D	-0,0000242052	D	0,0000242057

Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

KOUVOLA		Muunnoksen keskivirhe: 0,029 m	
Kouvola -> KKJ3		KKJ3 -> Kouvola	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6751222,562	U	Xvanha - 6751221,920
V	Yvanha - 484458,296	V	Yvanha - 3484459,255
A	6751221,920	A	6751222,562
B	3484459,255	B	3484458,296
C	0,9999912	C	1,0000088
D	-0,0000195	D	0,0000195

LAHTI		Muunnoksen keskivirhe: 0,069 m	
		HUOM! Alueittain yli 0,200 m	
Lahti -> KKJ3		KKJ3 -> Lahti	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 6766244,351	U	Xvanha - 6766243,030
V	Yvanha - 591612,207	V	Yvanha - 2591614,013
A	6766243,030	A	6766244,351
B	2591614,013	B	591612,207
C	1,0001053	C	0,9998947
D	0,0000052	D	-0,0000052

Liite 3: Muunnosparametrit HELMERT-muunnokseen kaupunkien paikallisista järjestelmistä KKJ:hin

Pohjois-Suomen rata-alue

KEMI		Muunnoksen keskivirhe: 0,024 m	
Kemi -> KKJ2		KKJ2 -> Kemi	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha - 11369,819	U	Xvanha - 7297254,572
V	Yvanha - 6685,548	V	Yvanha - 2526723,767
A	7297254,572	A	11369,819
B	2526723,767	B	6685,548
C	1,000003	C	0,999997
D	0,0000643	D	-0,0000643

OULU		Muunnoksen keskivirhe: ei tietoa	
Oulu -> KKJ3		KKJ3 -> Oulu	
Parametri	Arvo	Parametri	Arvo
U	Xvanha	U	Xvanha
V	Yvanha	V	Yvanha
A	7203343,7879	A	-7354841,9553
B	3358082,5932	B	-3012633,2177
C	0,998835948	C	0,998911513
D	-0,047445784	D	0,047449373

Liite 4: Muunnoskaava ja –parametrit HELMERT-muunnosta varten VVJ:stä KKJ:hin

Muunnosparametrit on määritelty pisteille jotka sijaitsevat Vantaan kaupungin alueella.

Neliparametrisen HELMERT-muunnoksen kaava [1]:

$$X_{uusi} = a * X_{vanha} + b * Y_{vanha} + c$$

$$Y_{uusi} = a * Y_{vanha} - b * X_{vanha} + d$$

Muunnosparametrit VVJ:stä KKJ:hin [1]:

Parametri	Kun formaatissa 5 kokonaista ja desimaalit	Kun formaatissa 7 kokonaista ja desimaalit
a	1,0000010447826000	1,0000010447867850
b	0,0000069328887995	0,0000069329137614
c	-1,6598204367553860	-25,8882364586103800
d	2,0651760776496190	45,2102071873051700

Muunnosparametrit KKJ:stä VVJ:hin [1]:

Parametri	Kun formaatissa 5 kokonaista ja desimaalit	Kun formaatissa 7 kokonaista ja desimaalit
a	0,9999989551584171	0,9999989550476869
b	-0,0000069328743202	-0,0000069328916170
c	1,6598341046825040	25,8882514143330400
d	-2,0651617722778260	-45,2101273295294800

Lähde

1. Vantaan koordinaattijärjestelmä. (WWW-dokumentti.) Vantaan kaupunki.
<<http://kartta.vantaa.fi/fin/info/html/Metadata/vaneuref.htm>>. Luettu 20.3.2010.