

Heli Manninen

KOORDINAATTEJA
KARTTAPALVELUIHIN

Koordinaattien ohjelmallinen muuntaminen

Opinnäytetyö
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

Maaliskuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 11.3.2011	
Tekijä(t) Heli Manninen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma	
Nimeke Koordinaatteja karttapalveluihin Koordinaattien ohjelmallinen muuntaminen			
Tiivistelmä <p>Dynaamisen ja interaktiivisen karttapalvelun integroiminen verkkopalvelun osaksi on yksinkertaisimmillaan vaivatonta. Haastetta integrointiin tarjoaa karttapalvelujen monipuolisten rajapintojen ohella koordinaatteihin perustuva sijainnin esitystapa.</p> <p>Pisteen sijainti maapallolla voidaan esittää useiden eri koordinaattijärjestelmien ja koordinaatistojen mukaisina koordinaatteina. Esitystapa voi vaihdella myös koordinaattijärjestelmän sisällä. Kun sijainnin esittämisessä siirrytään koordinaattijärjestelmästä, koordinaatistosta tai esitystavasta toiseen, tarvitaan koordinaattien muuntamista.</p> <p>Opinnäytetyöni tutkimusongelma on kansallisen koordinaattijärjestelmän mukaisten koordinaattien ohjelmallinen muuntaminen kansainvälisten karttapalveluiden käyttämän kansainvälisen WGS84-koordinaattijärjestelmän mukaisiksi koordinaateiksi. Työn tavoite on ylläpitovälineinen dynaaminen verkkopalvelu, jossa Suomen kalliomaalausten sijainnit esitetään kansainvälisissä karttapalveluissa Google Maps, Bing Maps ja MapQuest ohjelmallista koordinaattien muuntamista hyödyntäen. Verkkopalvelun toteutus perustuu MySQL-tietokantaan ja PHP-ohjelmointikieleen. Karttapalvelujen ohjelmointirajapintoja hyödynnetään pääasiassa JavaScript-komentosarjakielen avulla.</p> <p>Suomessa ollaan siirtymässä uuteen kansainvälisesti yhteensopivaan koordinaattijärjestelmään. Tutkimusongelman ratkaiseminen vaatii koordinaattimuunnosta vanhan kansallisen koordinaattijärjestelmän ja uuden, identtisenä WGS84-järjestelmän kanssa pidettävän ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalaisen realisaation EUREF-FIN:in välillä. Maanmittauslaitoksen Kansalaisen Karttapaiska -verkkopalvelu tarjoaa sijaintitiedot uuden koordinaattijärjestelmän mukaisina ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatteina. Toteuttamani verkkopalvelu sisältää funktion, joka konvertoi nämä ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit maantieteellisiksi EUREF-FIN-koordinaateiksi Geodeettisen laitoksen ohjeen mukaisesti.</p> <p>Koordinaattijärjestelmien termien ja määritelmien, ohjelmointirajapintojen sekä muunnosten matemaattisten haasteiden tulos on julkaisujärjestelmään toimiva verkkopalvelu.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Karttapalvelut, koordinaatit, paikkatieto, verkko-ohjelmointi, verkkopalvelut			
Sivumäärä 35 s. + liitteet 4 s.	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Janne Turunen		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin ammattikorkeakoulu/Viva3	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 11 March 2011	
Author(s) Heli Manninen		Degree programme and option Business Information Technology	
Name of the bachelor's thesis Coordinates for Web Mapping Services Program-Related Conversion of Coordinates			
Abstract <p>The integration of dynamic and interactive web mapping to a web service is simple. However, the wide range of application programming interfaces of web mapping along with coordinate-based presentation of locations can offer quite a challenge. A location on the planet Earth can be presented by coordinates of several coordinate reference systems and coordinate reference frames. The form of the presentation can also vary within a coordinate reference system. When the presentation of a location changes from one coordinate reference system or one coordinate reference frame to another or the the form of presentation varies within a coordinate reference system the conversion of coordinates is required.</p> <p>The purpose of this bachelor's thesis was the program-related conversion of coordinates of a national coordinate reference system to the coordinates of international WGS84 coordinate reference system used by international web mapping services. The aim of the study was a dynamic web service with a maintenance tool presenting the rock paintings in Finland with international web mapping services such as Google Maps, Bing Maps and MapQuest utilising the program-related coordinate conversion. The implementation of the web service was based on the MySQL database and PHP programming language. The application programming interfaces of web mapping services are modified through JavaScript.</p> <p>In this study the program-related conversion of coordinates demanded conversion between the old national coordinate reference system and the realisation of the new ETRS89 coordinate reference system EUREF-FIN that is identical to the WGS84 system. Because Finland has been adopting a new internationally compatible coordinate reference system, a web service of the National Land Survey of Finland called Kansalaisen Karttapaikka already offered the locations in ETRS-TM35FIN coordinates of the ETRS89 coordinate system. My web service includes a function that converts the plane ETRS-TM35FIN coordinates to geographic coordinates of the ETRS89 coordinate system. After challenges with the terms and definitions of coordinate reference systems, application programming interfaces and mathematics of conversion the study resulted in a functional web service with a maintenance tool.</p>			
Subject headings, (keywords) Web mapping services, coordinates, geographic information, web programming, web services			
Pages 35 p. + app. 4 p.		Language Finnish	
URN			
Remarks, notes on appendices			
Tutor Janne Turunen		Bachelor's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences/Viva3	

SISÄLTÖ

1	ALUKSI.....	1
2	KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT.....	2
2.1	Maan mallintaminen	2
2.2	Globaalit koordinaatistot	6
2.3	Karttaprojektiot.....	8
2.4	Suomalaiset koordinaatistot.....	11
2.5	Muunnokset	14
3	KARTTAPALVELUJEN OHJELMOINTIRAJAPINNAT	17
3.1	Google Maps.....	17
3.2	Bing Maps.....	19
3.3	MapQuest.....	21
4	TOTEUTUS	22
4.1	Sovelluksen perustoiminta.....	22
4.2	Koordinaattien muuntaminen	24
4.3	Karttapalvelut	27
5	LOPUKSI.....	30
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	

1 ALUKSI

Karttapalvelun integroiminen osaksi verkkopalvelua on ohjelmoinnin arkipäivää. Yksinkertaisimmillaan karttapalvelujen käyttö vaatii ohjelmointiymmärrystä vain vähän, mutta tarjolla on haastavampiakin toteutustapoja. Ja kun on kyse sijainnin esittämisestä koordinaattien avulla, haasteet eivät rajoitu pelkkään dynaamisen karttakäyttöliittymän toteutukseen.

Pisteen sijainti maapallolla voidaan määrittää täsmällisesti koordinaattijärjestelmän avulla. Maailmassa on lukuisia koordinaattijärjestelmiä, joista osa alueellisia ja osa maailmanlaajuisia nykyisen paikannustekniikan mahdollistamana. Pisteen sijainti voidaan esittää eri koordinaattijärjestelmien ja koordinaatistojen mukaisina koordinaatteina. Tämän lisäksi esitystapa voi vaihdella myös koordinaattijärjestelmän sisällä. Kun pisteen esittämisessä siirrytään koordinaattijärjestelmästä, koordinaatistosta tai esitystavasta toiseen, tarvitaan koordinaattien muuntamista.

Opinnäytetyöni tutkimusongelma on kansallisen koordinaattijärjestelmämme mukaisen koordinaattien ohjelmallinen muuntaminen kansainvälisten karttapalveluiden käyttämän kansainvälisen koordinaattijärjestelmän mukaisiksi koordinaateiksi. Työn tavoite on tuottaa ylläpitovälineineen dynaaminen verkkopalvelu, jossa Suomen kallio- maalausten sijainnit esitetään muutamissa kansainvälisissä karttapalveluissa ohjelmallista koordinaattien muuntamista hyödyntäen. Suomessa ollaan parhaillaan siirtymässä kansainvälisesti yhteensopivan koordinaattijärjestelmän käyttöön. Tämän uuden koordinaattijärjestelmän käyttöönotto tarjoaa huomattavaa helpotusta tutkimusongelman ratkaisuun.

Johdantoa seuraavassa luvussa esittelen yleisesti koordinaattijärjestelmiä ja niihin liittyviä käsitteitä. Esillä ovat maan mallintamisen ohella globaalit ja suomalaiset koordinaatistot, karttaprojektiot sekä koordinaattien muuntaminen. Kolmannessa luvussa aiheena on kolmen ohjelmointityössä käyttämäni karttapalvelun ohjelmointirajapintojen esittely. Neljännessä luvussa siirryn esittelemään toteuttamaani ohjelmointityötä. Painopisteenä ovat koordinaattien ohjelmallisen muuntamisen toteutus sekä karttapalvelujen integrointi tätä ohjelmallisuutta hyödyntäen. Viidennessä luvussa käyn läpi toteutuksen vaiheita ja ongelmanratkaisun haasteita.

2 KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT

Paikkaa ilmaisevia koordinaatteja on käytetty vuosisatojen ajan, mutta niiden määrittely ja tarkkuus ovat muuttuneet ihmisten tarpeiden ja käytettävissä olevien tekniikoiden mukaan. Vielä muutamia vuosikymmeniä sitten käytettyjä järjestelmiä ja osin nykyisiäkin järjestelmiä voidaan sanoa paikallisiksi koordinaattijärjestelmiksi. Nykyiset paikannustekniikat mahdollistavat kuitenkin paikannuksen globaaleissa koordinaattijärjestelmissä. (Laurila 2008, 123.)

2.1 Maan mallintaminen

Maa on pallomainen kappale, jonka säde on noin 6 380 kilometriä. Koordinaattien määrittelyä ja käyttöä varten tämä tieto Maan muodosta ja mittasuhteista ei ole riittävän täsmällinen. Geodesia on tiede, jonka tutkimuksen tavoitteena on Maan muodon mallintaminen ja lähtökohtana Maan tosimuoto, joka on pinnaltaan epäsäännöllinen, mutta pallomainen kappale. (Laurila 2008, 123.)

Kun Maan tosimuotoa yksinkertaistetaan ja tasoitetaan painovoimaan liittyvän fysiikan mallin avulla, saadaan tuloksena geoidi, joka on se painovoiman tasavertopinta, johon vapaa keskimerenpinta asettuisi, jos se peittäisi koko maapallon. Todellisuudessa keskimerenpinta eroaa geoidista esimerkiksi veden lämpötila- ja suolaisuusvaihteluiden, ilmanpainevaihteluiden sekä vallitsevien tuulien ja merivirtojen vuoksi. Painovoiman suunta, luotiviiva, on aina kohtisuorassa geoidiin nähden. Liikuttaessa pitkin geoidin kuvitteellista pintaa painovoima on koko ajan vakio. Painovoima määräytyy Maan massaan liittyvän vetovoiman ja pyörimisliikkeeseen liittyvän keskipakoisvoiman yhteisvaikutuksena. Koska Maan massa on epätasaisesti jakautunut maapallon sisäosissa, on geoidin pintakin aaltoileva. Joillakin alueilla geoidin pinta on siis kauempana maapallon massakeskipisteestä kuin joillakin toisilla alueilla. Nämä vaihtelut ovat kuitenkin pieniä, korkeintaan noin 100 metriä, verrattuna Maan säteeseen. (Laurila 2008, 124; Maanmittauslaitos 2010.)

Maan muotoa ja mittasuhteita parhaiten kuvaava matemaattinen pinta on pyörähdysellipsoidi, joka on geometrisesti ellipsin pyörähdyskappale. Aiemmin ellipsoidit sovitettiin niin, että ne kuvasivat Maata parhaiten sillä alueella, jolla niitä käytettiin, mutta nykyisissä globaaleissa koordinaattijärjestelmissä käytetään geosentristä eli maakes-

keistä ellipsoidia, jonka keskipiste on maan massakeskipisteessä. Maan muotoa kuvaava pyörähdysellipsoidi on navoilta litistynyt pallo. Vertausellipsoidi voidaan siten määritellä kahdella vakiolla; useimmiten määrittelyyn käytetään isoakselin puolikkaan (maapallon säde metreissä päiväntasaajan kohdalla) pituutta a ja litistyssuhdetta f , joka saadaan vertaamalla isoakselin puolikkaan pituuden ja pikkuakselin puolikkaan (etäisyys päiväntasaajan tasosta navoille) pituuden erotusta isoakselin puolikkaan pituuteen. (Laurila 2008, 125; Maanmittauslaitos 2010.)

Vertausellipsoidiksi ellipsoidia kutsutaan silloin, kun se otetaan jonkin koordinaattijärjestelmän osaksi. Globaalina vertausellipsoidina käytetään tällä hetkellä yleisesti tarkempiin ja uudempiin satelliittimittauksiin perustuvaa GRS80-ellipsoidia. Suomessa käytettävien koordinaattijärjestelmien näkökulmasta tärkeimpiä Maan muotoa kuvaavia vertausellipsoideja ovat GRS80-ellipsoidin lisäksi Kansainvälinen ellipsoidi 1924 eli Hayfordin ellipsoidi sekä WGS84-ellipsoidi. (Laurila 2008, 126.) Taulukossa 1 esitetään näiden vertausellipsoidien parametrit.

TAULUKKO 1. Tärkeimpien vertausellipsoidien parametrit

Vertausellipsoidi	Isoakselin puolikas (a/m)	Litistyssuhde ($1/f$)
GRS80	6 378 137.0	298.257222101
Hayford	6 378 388.0	297.0
WGS84	6 378 137.0	298.25722356

Maailmanlaajuista koordinaattijärjestelmää määriteltäessä ongelmaksi muodostuu se, että maankuori ei ole stabiili. Maan sisäiseen lämmöntuotantoon ja sen aiheuttamiin vaipan konvektiovirtauksiin liittyvä mannerlaattojen jatkuva liike on tärkeä geofysikaalinen syy siihen, että eri mailla ja alueilla on omia koordinaattijärjestelmiään. Laatat liikkuvat muutamia senttejä vuodessa. Laattojen liikkeen vuoksi globaalit koordinaattijärjestelmät kiinnitetään tähtitaivaan kohteisiin. Globaaleissa koordinaattijärjestelmissä maanpäällisten kohteiden koordinaatit ovat ajasta riippuvia ja tämän vuoksi koordinaattijärjestelmälle ilmoitetaan ajankohta, johon se on sidottu. Tätä ajankohtaa kutsutaan nimellä epookki. (Laurila 2008, 143; Maanmittauslaitos 2010.)

Maapallon kolmiulotteisen todellisuuden kuvaamiseen käytetään koordinaattijärjestelmiä, joilla pisteiden ja kohteiden sijainti voidaan määrittää mahdollisimman tarkasti. Koordinaattijärjestelmällä (Coordinate Reference System) tarkoitetaan joukkoa suureita, joiden avulla koordinaatisto määritellään, sijoitetaan ja orientoidaan. Koordi-

naattijärjestelmä on maapalloon runkopisteiden avulla kiinnitetty koordinaatisto, joka on geodeettisten ja tähtitieteellisten mittausten sekä runkomittausten tulos. (Laurila 2008, 128; Maanmittauslaitos 2010.)

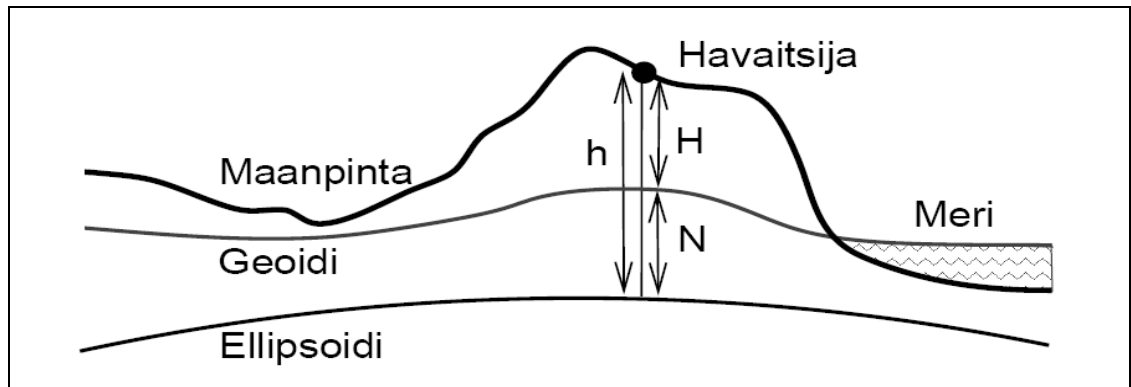
Koordinaattijärjestelmä on siis vertausjärjestelmä, jonka avulla kohteen sijainti voidaan ilmaista yksikäsitteisesti. Koordinaattijärjestelmä muodostuu datumista ja koordinaatistosta. Datumilla tarkoitetaan parametreja, jotka kiinnittävät koordinaatiston tarkasteltavaan kohteeseen. Paikallinen datumi määrittelee paikallisen koordinaatiston origon ja orientaation. Horisontaalinen datumi käsittää vertauspinnan ja koordinaatiston nollatasot eli akselit geodeettisen koordinaatiston horisontaalisten koordinaattien ilmaisemista varten ja korkeusdatumi määrittelee korkeusjärjestelmän vertauspinnan eli nollatason, jonka suhteen pisteiden korkeudet ilmaistaan ja sitoo sen maahan. Geodeettinen datumi määrittelee valitun vertausellipsoidin tai kolmiulotteisen suorakulmaisen koordinaatiston sijainnin ja orientaation suhteessa maapalloon. (Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2008b; Maanmittauslaitos 2010; Ruotsalainen 2010.)

Koordinaattijärjestelmä on teoreettinen määritelmä, joka on realisoitava käytännön toimia varten. Realisaatiolla tarkoitetaan maastossa olevia kiintopisteitä, joille on mitattu ja laskettu koordinaatit. Tämä koordinaattijärjestelmän realisaatio on koordinaatisto (Coordinate Reference Frame). Termillä koordinaatisto tarkoitetaan myös koordinaattiakselien muodostamaa mitta-akselistoa. (Maanmittauslaitos 2010.)

Pisteen sijainti valitussa koordinaatistossa määritellään koordinaateilla. Koordinaatteja eli lukuarvoja on yhtä monta kuin koordinaatistossa on akseleita. Esimerkkejä koordinaateista ovat maantieteelliset leveys- ja pituuskoordinaatit (φ , λ), geodeettiset leveys- ja pituuskoordinaatit (φ , λ , h), avaruuskoordinaatit (X , Y , Z) ja tasokoordinaatit (x , y tai N , E). (Maanmittauslaitos 2010.)

Korkeus voidaan mitata kohtisuorana etäisyytenä geoidin pinnasta tai pyörähdysellipsoidin pinnasta. Geoidin pinnasta mitattava korkeus on ortometrinen korkeus ja ellipsoidin pinnasta mitattava korkeus ellipsoidinen korkeus. Ortometrisia korkeuksia käytettäessä vesi virtaa aina korkeammalla sijaitsevasta pisteestä alempana olevaan pisteeseen. Tällaisia korkeuksia mitataan vaaitsemalla ja takymetrillä. Ellipsoidinen kor-

keus ei ole sidoksissa painovoimaan, eikä näin kerro veden virtaussuuntaa. Ellipsoidisia korkeuksia saadaan satelliittipaikannuksella. (Häkli ym. 2009; Laurila 2008, 152.)



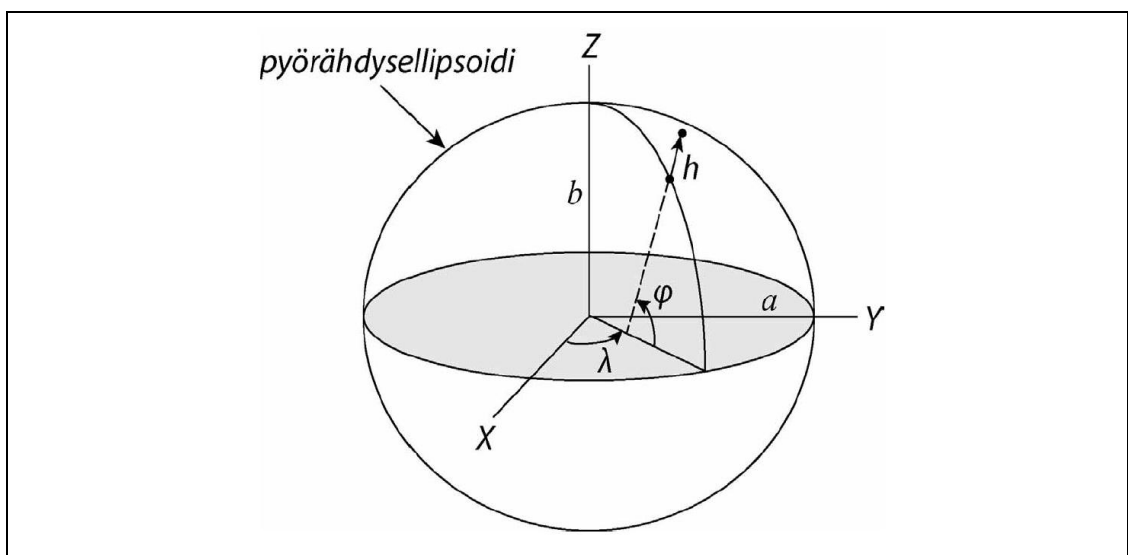
KUVA 1. Ellipsoidinen korkeus (h), ortometrinen korkeus (H) ja korkeus geoidista (N) (Häkli ym. 2009)

Maankuori ei ole stabiili myöskään korkeuden suhteen. Erityisesti Fennoskandian alueella tiedetään tapahtuvan maannousua, joka liittyy viimeisimpään jääkauteen. Korkeusjärjestelmä on uudistettava muutamien kymmenien vuosien välein, koska korkeudenmittausten perustana olevien korkeusrunkopisteiden väliset korkeuserot muuttuvat jatkuvasti, eikä maannousu ole yhtä suurta kaikkialla. (Laurila 2008, 154 – 155.)

Suomen valtakunnalliset korkeusjärjestelmät perustuvat tarkkavaaitukseen. Oman aikansa valtakunnallisia korkeusjärjestelmiä ovat olleet ja ovat NN-, N43-, N60- ja N2000-järjestelmät. N60-järjestelmä on ensimmäinen täsmällinen maannousun ja painovoiman vaikutuksen huomioon ottava korkeusjärjestelmä ja on edelleen Suomen yleisin korkeusjärjestelmä, vaikka onkin syrjäytymässä uudella järjestelmällä. Uusin kansallinen järjestelmä N2000 perustuu kolmanteen tarkkavaaitukseen, joka saatiin valmiiksi vuonna 2006. N2000-järjestelmän korkeuserot vastaavat maannousun tilannetta vuoden 2000 alussa. Valtakunnallisten korkeusjärjestelmien lisäksi muun muassa monilla kunnilla on käytössä omia korkeusjärjestelmiään, joita ei välttämättä ole liitetty viralliseen valtakunnalliseen korkeusjärjestelmään. (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009; Laurila 2008, 155 – 156.)

2.2 Globaalit koordinaatistot

Kolmiulotteisia koordinaatistoja on kahdenlaisia; suorakulmainen avaruuskoordinaatisto sekä geodeettinen koordinaatisto. Suorakulmaisen avaruuskoordinaatiston akselit ovat X, Y ja Z ja origo on useimmiten Maan massakeskipiste tai pyörähdysellipsoidin keskipiste. X-akseli on suunnattu Maan massakeskipisteestä nollameridiaanin ja päiväntasaajan leikkauspisteen kautta, Z-akseli on suunnattu Maan pyörähdysakselin eli pohjoisnavan mukaisesti ja Y-akseli on kohtisuorassa edellisiä vastaan. Tällaisessa koordinaatistossa koordinaatit ovat etäisyyksiä maan massakeskipisteestä koordinaattiakseleita pitkin. Näiden koordinaattien käyttäminen ei ole kovin havainnollista, koska koordinaattiarvoista ei voi mieltää omaa sijaintiaan maapallolla, mutta koordinaatisto on kuitenkin tarpeellinen satelliittipaikannuksessa sekä koordinaattijärjestelmien välisissä muunnoslaskuissa. (Laurila 2008, 131; Maanmittauslaitos 2010.)



KUVA 2. Avaruuskoordinaatit (X, Y, Z) ja geodeettiset koordinaatit (φ , λ , h) (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009)

Sijainnin esittämisessä käytetään yleensä maantieteellistä koordinaatistoa. Tässä koordinaattijärjestelmässä maantieteelliset koordinaatit kuvataan maapallon muotoa kuvaavan pyörähdysellipsoidin pinnalla. Maantieteelliset koordinaatit ovat kulmamittoja, joilla määritetään maantieteellinen leveys φ ja maantieteellinen pituus λ . Maantieteellinen leveys φ on ellipsoidin normaalin ja päiväntasaajatasen välinen kulma ja maantieteellinen pituus λ pisteen meridiaanitason ja nollameridiaanin välinen kulma. Käytännössä leveys on etäisyys päiväntasaajasta ja pituus on etäisyys nollameridiaanista. Maantieteellinen koordinaatisto voidaan esittää maapallon pinnalla asteverkkona, jon-

ka muodostavat tasaisin astevälein piirretyt pituus- ja leveyspiirit. Koordinaattilukujen kasvusuunta voidaan esittää ilmauksina pohjoista leveyttä (suomenkielinen lyhenne P/englanninkielinen lyhenne N), eteläistä leveyttä (E/S), itäistä pituutta (I/E) ja läntistä pituutta (L/W). Kulman arvo voidaan ilmaista esimerkiksi asteina ($^{\circ}$), minuutteina ($'$) ja sekunteina ($''$) tai radiaaneina. Geodeettinen koordinaatisto vastaa maantieteellistä koordinaatistoa, mutta sisältää myös korkeuskoordinaatin (h) eli ellipsoidisen korkeuden (Laurila 2008, 129; Maanmittauslaitos 2010.)

ITRS (International Terrestrial Reference System) on maailmanlaajuinen koordinaattijärjestelmä, jonka realisaatiota kutsutaan nimellä ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Tämä koordinaattijärjestelmä on määritetty muun muassa tähtihavaintojen, kuulaserhavaintojen ja globaalin GPS-havaintoverkon avulla. Koordinaatiston pisteille on määritetty suorakulmaiset avaruuskoordinaatit ja niiden vuotuinen liike. Viimeisin käytössä oleva koordinaattijärjestelmän realisaatio, siis koordinaatisto, on ITRF2005. (Maanmittauslaitos 2010.)

ETRS89 (European Terrestrial Reference System) on koordinaattijärjestelmä, jossa ITRS on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan Euroopan puoleiseen kiinteään osaan ja joka on yhtenevä ITRS-koordinaattijärjestelmän kanssa epookissa 1989.0. ETRS89 realisoitiin ensi kerran vuonna 1989 tehdyn mittauskampanjan seurauksena ja realisaatiota kutsutaan nimellä ETRF89 (European Terrestrial Reference Frame) tai Euref89. Eri ETRS89-realisaatiot vastaavat sen hetkistä ITRS-ratkaisua. ETRS89-järjestelmän vertausellipsoidi on GRS80. Koko Euroopan alueelle määritetty realisaatio on piste-määrältään käytännössä liian harva ja ETRS89-koordinaattijärjestelmästä onkin useimmissa Euroopan maissa oma kansallinen realisaatio. Suomen ETRS89-realisaation nimi on EUREF-FIN. (Laurila 2008, 148; Maanmittauslaitos 2010, Poutanen 1998, 59.)

WGS84 (World Geodetic System 1984) on GPS-satelliittipaikannusjärjestelmän käytämä geosentrinen suorakulmainen koordinaattijärjestelmä ja on määrittelyiltään lähes identtinen ITRS-koordinaattijärjestelmän kanssa. Siten myös ETRS89-järjestelmää ja sen suomalaista realisaatiota EUREF-FIN:iä voidaan pitää identtisenä WGS84:n kanssa. WGS84-järjestelmän realisaatio on määritetty Yhdysvaltain armeijan karttaviraston toimesta. Viimeisin päivitys WGS84-järjestelmän määrittelyihin on tehty vuonna 2004. (Laurila 2008, 147; Maanmittauslaitos 2010.)

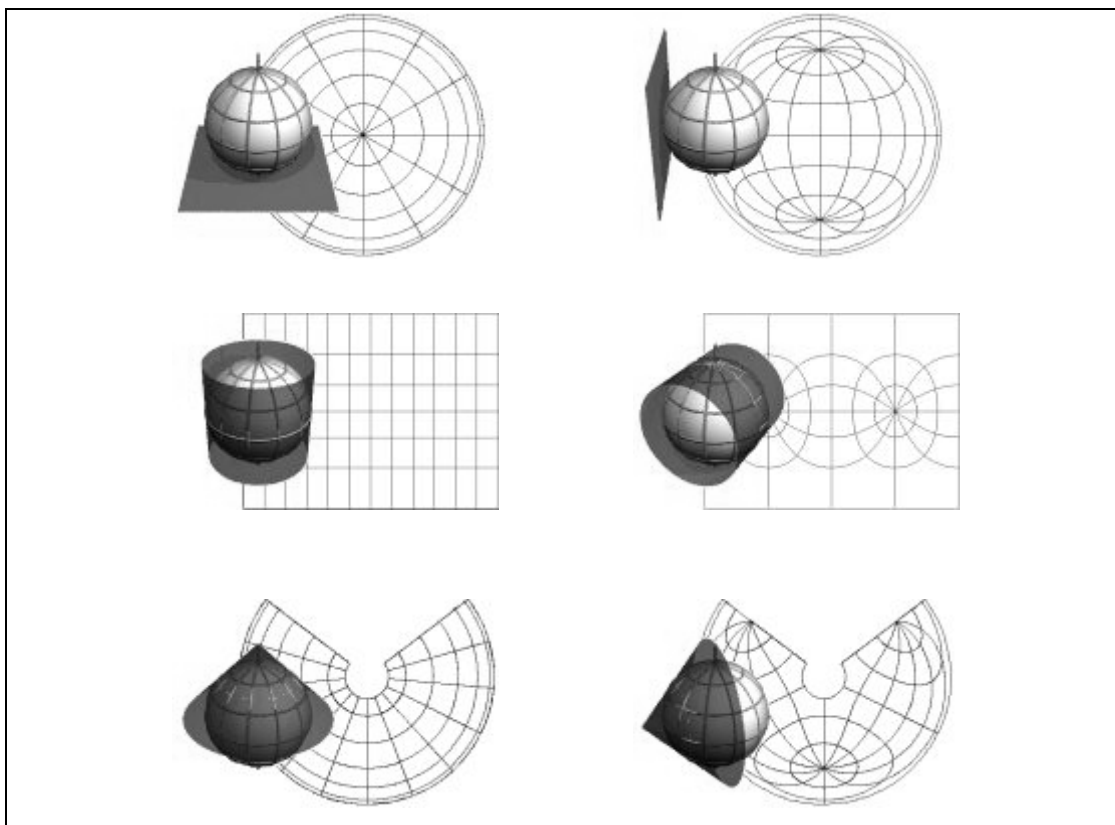
2.3 Karttaprojektiot

Käsitteellä projektiio tarkoitetaan kappaleen tasokuvaa. Näin ollen karttaprojektiio on menetelmä, jolla maapallon kolmiulotteinen pinta kuvataan kaksiulotteiselle karttatasolle. Koska Maan pinta on pallomainen, ei sitä voida levittää suoraan tasoksi tai kuvata tasopinnalla ilman välimatkojen, pinta-alojen, muotojen tai suuntien vääristymistä. Eri käyttötarkoituksia varten on kehitetty useita erilaisia karttaprojektioita, jotka näyttävät tarvittavat asiat mahdollisimman totuudenmukaisina. (Laurila 2008, 131; Maanmittauslaitos 2010.)

Karttaprojektiot voidaan jakaa eri tyyppeihin esimerkiksi projisointipinnan, projektion kuvausominaisuuksien tai käyttötarkoituksen mukaan. Projisointipinnan perusteella karttaprojektiot ovat joko taso-, lieriö- tai kartioprojektioita. Tasoprojektiossa Maan pinta kuvataan suoraan tasolle, kun taas lieriö- ja kartioprojektioissa kohteet projisoidaan nimensä mukaiselle matemaattiselle pinnalle, joka sitten leikataan auki tasoksi. (Maanmittauslaitos 2010.)

Projisointipinnat voivat olla myös eri asennoissa. Normaaliasentoisessa tasoprojektiossa kuvataso on kohtisuorassa maapallon pyörimisakseliin nähden, kun taas poikittaisasentoisessa projektiossa kuvataso on yhdensuuntainen pyörimisakselin kanssa. Normaaliasentoisen lieriöprojektion symmetria-akseli yhtyy pyörimisakseliin ja vastaavasti poikittaisasentoisessa projektiossa symmetria-akseli on kohtisuorassa pyörimisakseliin nähden. (Laurila 2008, 134.)

Kuva 3 havainnollistaa normaali- ja poikittaisasentoiset taso-, lieriö- ja kartioprojektiot. Vasemmanpuoleiset kohteet ovat normaaliasentoisia projektioita, oikeanpuoleiset kohteet poikittaisasentoisia projektioita.



KUVA 3. Normaali- ja poikittaisasentoiset taso-, lieriö- ja kartioprojektiot (Furuti 2011)

Kuvausominaisuuksiensa perusteella karttaprojektiot voidaan ryhmitellä muun muassa sen mukaan, miten kuvattavien kohteiden suunnat, pinta-alat ja muodot säilyvät kartalla esitettäessä. Kuvausominaisuuksien yhteydessä käytetään nimityksiä oikeapintaisuus, oikeakulmaisuus ja oikeapituisuus. Oikeapintaisessa eli pintatarkassa projektiossa kuvattavien kohteiden pinta-alojen suhteet säilyvät muuttumattomina. Pintatarkkoja projektioita käytetään maantieteellisissä kartoissa. Oikeakulmaisessa (konformisessa) eli kulmatarkassa projektiossa pienet kuviot säilyvät oikeanmuotoisina ja näiden kulmat oikeansuuruisina. Kulmatarkkoja projektioita käytetään suurikaavaisemmissa kartoissa. Oikeapituudessa eli viivatarkassa projektiossa projisointi tehdään siten, että viivojen pituudet säilyvät muuttumattomina jossakin suunnassa, jolloin etäisyyksien suhteet säilyvät kuvauksessa. Oikeapituisia projektioita käytetään maantieteellisissä kartoissa. Oikeapituisen projektion kohdalla on huomioitava, ettei mikään kartta voi olla koko projektion alueella oikeapituinen. (Laurila 2008, 134 – 135; Maanmittauslaitos 2010.)

Sekä taso-, lieriö- tai kartioprojektiot voivat olla oikeapintaisia tai oikeakulmaisia, mutta vain toinen näistä kuvausominaisuuksista voi olla kerrallaan voimassa. Kartta ei

välttämättä toteuta mitään kuvausominaisuutta. Kartan projektioista sovittaessa on kyse kartan käyttötarkoituksen perusteella tehtävästä valinnasta. (Laurila 2008, 136.)

Karttaprojektioista käytetyin on lieriöprojektiio, jonka muunnelmiin useat kansalliset koordinaatistot perustuvat. Tällaisia lieriöprojektiota ovat esimerkiksi Mercatorin projektiio, UTM-projektiio sekä Gauss-Krügerin projektiio. (Tokola ym. 2000, 13.)

Mercatorin projektiio normaaliasentoinen lieriöprojektiio, jossa lieriö sivuaa maapalloa päiväntasaajaa pitkin. Mercatorin projektiossa pituus- ja leveysasteet kuvautuvat suorina. Projektiio on oikeakulmainen, mutta mittakaava suurenee napoja kohti mentäessä. Mercatorin projektiota käytetään paljon esimerkiksi merikartoissa ja maailmankartoissa, koska projektiioon piirretty suora viiva leikkaa pituuspiirit maapallon pinnalla samassa kulmassa kuin kartalla. (Laurila 2008, 137; Tokola ym. 2000, 13.)

Käytännössä globaalin standardin asemaan päässyt Universal Transverse Mercator (UTM) on poikittainen lieriöprojektiio ja tasokoordinaatisto. Alun perin UTM on kehitetty Yhdysvaltain armeijan karttaviraston toimesta Yhdysvaltojen armeijan ja NATO:n käyttöön, mutta sen käyttö on levinnyt myös sotilaspiirien ulkopuolelle koko maapallon kattavana projektiona. UTM-projektiossa maapallo jaetaan 60 pituuspiirien suuntaiseen vyöhykkeeseen, jotka ovat kuusi astetta leveitä ja joilla on kullakin oma keskimeridiaaninsa. Projektion sovellusalue on 80 asteesta eteläistä leveyttä 84 asteen pohjoista leveyttä. Napa-alueiden läheisyydessä projektiio on epätarkka ja näillä alueilla käytetäänkin UPS (Universal Polar Stereographic) -projektiota. UTM-projektiossa itäkoordinaatilla mitataan kohteen etäisyyttä keskimeridiaanilta, jolla itäkoordinaatti saa arvon 500 000 metriä. Pohjoiskoordinaatilla mitataan etäisyyttä päiväntasaajalta ja päiväntasaajan eteläpuolella käytetään 10 000 000 metrin pohjoissiirtymää. Maapallon kaarevuudesta johtuvaa vääristymää korjataan mittakaavalla, joka on keskimeridiaanilla 0.9996. Suomi osuu kolmelle UTM-kaistalle, kaistoille 34, 35 ja 36. (Maanmittauslaitos 2010; Tokola 2000, 13.)

Gauss-Krügerin projektiio on poikittaisasentoinen sivuva lieriöprojektiio, jossa lieriö sivuaa maapalloa yhtä meridiaania pitkin. Sivuumismeridiaani kuvautuu kartalla suorana, muut meridiaanit kaarevina. Projektiio on oikeakulmainen ja sivuumismeridiaanin lähellä myös lähes oikeamittainen. Mittakaava kuitenkin suurenee keskimeridiaanista etäännyttäessä ja projektiovirheitä pienennetään kapeilla projektiokaistoilla.

Gauss-Krügerin projektio on ollut suomalaisten valtakunnallisten tasokoordinaatistojen pohjana vuodesta 1922. (Maanmittauslaitos 2010; Tokola 2000, 13 – 14.)

2.4 Suomalaiset koordinaatistot

Suomessa on käytössä kaksi valtakunnallista koordinaatistoa: ensimmäisen luokan kolmioverkkoon perustuva kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) ja satelliittipaikannukseen perustuva EUREF-FIN (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009).

Kartastokoordinaattijärjestelmä on vielä laajasti käytössä oleva, 1900-luvulla tehtyihin kolmiomittauksiin perustuva suorakulmainen tasokoordinaatisto. Kolmiomittaus koostuu kolmesta mittausmenetelmästä ja perustuu geometriseen tosiasiaan; kun tunnetaan kolmion kaksi kulmaa ja yksi sivu, voidaan kaksi muuta sivua määrittää kulmahavainnoista laskemalla. Ensimmäisen luokan kolmioverkko suunniteltiin siten, että kolmioiden sivujen pituudet olivat 30 – 50 kilometriä ja kolmioiden kulmat vähintään 40 astetta. (Häkli ym. 2009; Poutanen 1998, 54.)

Maanmittaushallitus otti kartastokoordinaattijärjestelmän käyttöön vuonna 1970. Sen karttaprojektio on Gauss-Krügerin projektio ja vertausellipsoidi Hayfordin ellipsoidi. Kartastokoordinaattijärjestelmä koostuu kuudesta kolme astetta leveästä projektiokaistasta, joista jokainen muodostaa oman tasokoordinaatistonsa, niin kutsutun peruskoordinaatiston. Kaistojen 0 ja 5 keskimeridiaanit ovat Suomen rajojen ulkopuolella ja näitä kaistoja tarvitaankin vain harvoin äärimmäisinä lännessä ja idässä sijaitsevien alueiden karttakuvauksissa. Koko maa voidaan esittää myös yhdessä projektiokaistassa. Tällöin käytetään kolmannen kaistan peruskoordinaatistoa, josta käytetään nimitystä yhtenäiskoordinaatisto (YKJ). (Häkli ym. 2009; Laurila 2008, 145; Maanmittauslaitos 2010.)

Kartastokoordinaattijärjestelmän mukainen pohjoiskoordinaatti (P , p tai X) on etäisyys päiväntasaajalta metreinä projektiotasoa pitkin mitattuna. Itäkoordinaatin (I , i tai Y) arvoksi annetaan keskimeridiaanilla 500 000 metriä ja luvun eteen laitetaan kaistan tunnusnumero. Yhtenäiskoordinaatistossa kaistan numero on aina kolme. Kun itäkoordinaatin arvo origossa ei ole nolla, puhutaan origon siirrosta. (Laurila 2008, 146 – 147; Maanmittauslaitos 2010.)

Vaikka kartastokoordinaattijärjestelmä on lähtökohtaisesti tasokoordinaatisto, voidaan siinä käyttää myös maantieteellisiä koordinaatteja tai ellipsoidikeskeisiä suorakulmaisia koordinaatteja. Koordinaatteja tarvitaan koordinaattijärjestelmien välisiä muunnoksia laskettaessa. (Laurila 2008, 147; Maanmittauslaitos 2010.)

Suomen ETRS89-järjestelmän kansallinen realisaatio EUREF-FIN on avaruusgeodeettisiin mittauksiin ja kansainvälisiin koordinaattijärjestelmiin pohjautuva koordinaatisto. Kansainväliset maanmittaus- ja kartoitusalan järjestöt ovat kiinnittäneet huomiota yhtenäisen, globaalin koordinaattijärjestelmän tarpeellisuuteen Euroopassa. Kansainvälisen Geodeettisen Assosiaation alakomission ohjauksessa Euroopan alueelle luotiin 1990-luvulla yhtenäinen koordinaattijärjestelmä. Euroopan komission aloitteesta organisoitiin vuonna 1999 kokous, joka suositteli ETRS89-koordinaattijärjestelmän hyväksymistä yleiseurooppalaiseksi maantieteellisten koordinaattien järjestelmäksi ja suositteli edelleen, että eri maiden kansalliset mittausviranomaiset toimittaisivat julkiseen käyttöön siirtoparametrit sekä menetelmät, joiden avulla siirtyminen kansallisesta koordinaattijärjestelmästä ETRS89-järjestelmään voidaan tehdä. Geodeettinen laitos ja Maanmittauslaitos laativat julkisen hallinnon suosittelut JHS 153 ja JHS 154 ETRS89-järjestelmän käyttöönoton nopeuttamiseksi ja yhtenäistämiseksi. Yhteisen koordinaattijärjestelmän omaksuminen niin kansallisesti kuin kansainvälisestikin helpottaa tietojen vaihtoa ja paikannustekniikan hyödyntämisestä muunnosten tarpeen poistuessa. Maanmittauslaitos otti ETRS89-koordinaattijärjestelmän käyttöön omassa toiminnassaan, tuotteissaan ja tietopalveluissaan helmikuussa 2010. (Häkli ym. 2009; Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2008a; Ollikainen 2010.)

Valtakunnallisissa kartastotöissä suositellaan käytettäväksi EUREF-FIN-koordinaatistoa. Koko Suomen kattava tasokoordinaatisto suositellaan muodostettavaksi käyttäen UTM-karttaprojektiota kaistassa 35. Näin muodostetusta tasokoordinaatistosta käytetään nimitystä ETRS-TM35FIN, jossa ETRS viittaa datumiin, TM projektion tyyppiin ja 35 UTM-projektiokaistan numeroon. FIN-pääte ilmaisee, että projektio poikkeaa standardista 6 asteen kaistanleveydestä. ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistossa kaistanleveys on 13 astetta. Suomen valtakunnallinen ETRS-TM35FIN-koordinaatisto vastaa suurelta osin yleiseurooppalaista projektiosuositusta; ainoana erona UTM-standardiin on juuri kaistan leveys, joka on Suomessa laajennettu koko maan kattavaksi. Koordinaatiston keskimeridiaanin itäkoordinaatin arvoksi on

määritetty 500 000 m, jotta vältetään negatiivisilta koordinaateilta koko valtakunnan alueella. (Häkli ym. 2009; Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2008b.)

ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatiston vääristymät saattavat tulla liian suuriksi projektiokaistan reunoilla. Siksi on määritelty myös astein välein ETRS-GKn-tasokoordinaatistot käyttäen Gauss-Krügerin projektiota. ETRS viittaa datumiin ja GKn Gauss-Krügerin projektioon kaistassa n (käytetyn keskimeridiaanin asteluku). Gauss-Krügerin projektioon perustuvan tasokoordinaatiston keskimeridiaaniksi voidaan valita parhaiten soveltuva tasa-aste, jolloin projektiokorjaukset pysyvät pieninä. Kaistaa voidaan käyttää siinä leveydessä kuin on tarkoituksenmukaista. Koordinaatiston origo on päiväntasaajan ja käytetyn kaistan keskimeridiaanin leikkauspisteessä. Itäkoordinaatin arvo on keskimeridiaanilla n 500 000 m, missä n tarkoittaa kaistan keskimeridiaanin astelukua. (Häkli ym. 2009; Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2008b.)

Taulukossa 2 vertaillaan Suomessa käytettävien tasokoordinaatistojen ominaisuuksia.

TAULUKKO 2. Suomessa käytettävien tasokoordinaatistojen ominaisuuksia

	ETRS-TM35FIN	ETRS-GKn	YKJ	KKJ
Karttaprojektio	UTM	Gauss-Krüger	Gauss-Krüger	Gauss-Krüger
Datumi	ETRS89	ETRS89	KKJ	KKJ
Vertausellipsoidi	GRS80	GRS80	Hayford	Hayford
Keskimeridiaani(t)	27°	19°, 20° ... 31°	27°	18°, 21°, 24°, 27°, 30°, 33°
Meridiaanikaistoja	1	13	1	6
Kaistanleveys (suhteessa keskimeridiaaniin)	$n. 13^\circ$ ($-8^\circ \dots +5^\circ$)	Tarkoituksen mukainen	$n. 13^\circ$ ($-8^\circ \dots +5^\circ$)	3° ($\pm 1.5^\circ$)
Itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla	500 000 m	n 500 000 m, missä n on keskimeridiaanin asteluku	3 500 000 m	n 500 000 m, missä n on kaistan numero (0 ... 5)
Mittakaava keskimeridiaanilla	0.9996	1.0	1.0	1.0

Kansainvälisen yhteensopivuuden vaatiessa voidaan edellä mainittujen lisäksi käyttää myös 6 asteen levyisiä UTM-projektiokaistoja 34 – 36 (Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2008b).

2.5 Muunnokset

Koordinaatteja voidaan muuntaa koordinaattijärjestelmästä, koordinaatistosta tai esitystavasta toiseen. Muunnokset voidaan jakaa koordinaattimuunnoksiin ja koordinaattikonversioihin. Koordinaattimuunnoksessa koordinaatit muunnetaan koordinaattijärjestelmästä toiseen (niin sanottu datum-muunnos), kun taas koordinaattikonversiossa muunnetaan koordinaattien esitystapaa saman koordinaattijärjestelmän sisällä. (Maanmittauslaitos 2010.)

Koordinaattijärjestelmän sisällä kohteen sijainti voidaan esittää yhtä tarkasti kolmella eri tavalla: kolmiulotteisina suorakulmaisina avaruuskoordinaatteina (X, Y, Z), maantieteellisinä koordinaatteina (φ, λ) ja korkeutena (h tai H) sekä projektiopinnan suorakulmaisina koordinaatteina (esimerkiksi P ja I) ja korkeutena (h tai H). Koordinaattikonversiot ovatkin puhtaasti matemaattisia laskutoimituksia; usein voidaan ajatella muutettavan vain koordinaattien esitystapaa tarkkuuden juurikaan kärsimättä. Koordinaattikonversio suoritetaan yleisesti tunnettujen kaavojen avulla. Koordinaattikonversioihin luetaan myös karttaprojektioilta tai tasokoordinaatistolta toiseen karttaprojektioon tai tasokoordinaatistoon siirtyminen. (Häkli ym. 2009; Laurila 2008, 156 – 157.)

Koordinaattimuunnokset ovat monimutkaisempia ja monivaiheisempia toimenpiteitä koordinaattikonversioihin verrattuna. Kun koordinaattimuunnoksessa muunnetaan koordinaatteja datumista toiseen, voidaan myös siirtyä vertausellipsoidilta toiselle. Koordinaattimuunnos suoritetaan muunnosparametreilla, jotka on laskettu molemmissa koordinaatistoissa mitattujen yhteisten pisteiden avulla. Muunnosta suoritettaessa koordinaatit on ensin muutettava samaan esitysmuotoon. Projisoitujen tasokoordinaattien yhteydessä on ennen muunnoksen laskemista varmistettava, että projektiotyyppi ja keskimeridiaani ovat samoja, muutoin muunnokseen voi aiheutua huomattavat jäännösvirheet. (Häkli ym. 2009; Laurila 2008, 157.)

Koordinaatistot ovat aina jollakin tavalla deformatuneita mittausvirheiden takia. Koordinaattimuunnoksiin liittyykin aina muunnosvirhe, joka heikentää koordinaattien tarkkuutta. Virheen suuruus vaihtelee esimerkiksi muunnosmenetelmästä, muunnoksen määrittämisessä käytettyjen pisteiden laadusta ja muunnosalueen koosta riippuen. (Häkli ym. 2009; Maanmittauslaitos 2010.)

Muunnosmenetelmiä on useita ja menetelmän valintaan vaikuttavat esimerkiksi haluttu muunnostarkkuus ja muunnoksen käyttötarkoitus. Koordinaatistojen väliset muunnosparametrit lasketaan yhteisten, molemmissa koordinaatistoissa tunnettujen ja mitattujen vastinpisteiden avulla. Jotta muunnosta voidaan pitää mahdollisimman luotettavana, vastinpisteitä tulisi olla mahdollisimman paljon ja mahdollisesti poikkeavat pisteet tulee hylätä. (Häkli ym. 2009.)

Koordinaattimuunnos suoritetaan tasokoordinaatistojen tai suorakulmaisten kolmiulotteisten koordinaatistojen välillä. Yleisimmin käytettyjä muunnoksia ovat yhdenmuotoisuus- eli Helmert-muunnos sekä affiininen muunnos. (Häkli ym. 2009.)

Kolmiulotteinen yhdenmuotoisuusmuunnos, 7-parametrinen Helmert-muunnos voidaan suorittaa kahden kolmiulotteisen suorakulmaisen koordinaatiston välillä. Muunnoksen parametrit ovat koordinaatiston kierto kolmen akselin suhteen, origon siirto ja mittakaavan muutos

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \mathbf{C} + m \begin{bmatrix} R_3 \\ R_2 \\ R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix},$$

jossa $\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}^T$ on origon siirto, $1+m$ on koordinaatistojen välinen mittakaavakerroin ja R_1 , R_2 ja R_3 ovat kiertomatriiseja X-, Y- ja Z-akselien suhteen. (Häkli ym. 2009.)

Neliparametrinen yhdenmuotoisuusmuunnos tasossa voidaan suorittaa kahden tasokoordinaatiston välillä. Muunnosparametrit ovat koordinaatiston kierto, origon siirto ja mittakaavan muutos

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \mathbf{C} + m \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix},$$

missä $\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}^T$ on origon siirto akselien suunnassa, $1+m$ on koordinaatistojen välinen mittakaavakerroin ja α koordinaatistojen kiertokulma. Kaava voidaan kirjoittaa myös muotoon

$$\begin{aligned} x_2 &= ax_1 - by_1 + c \\ y_2 &= bx_1 - ay_1 + d \end{aligned}$$

missä parametrit ovat $k = (1 + m)$, $a = k \cos \alpha$, $b = k \sin \alpha$, $c = \Delta x$, $d = \Delta y$. Muunnosparametreina ilmoitetaan vaihtoehtoisesti siirto, kiertokulma ja mittakaavan muutos tai näiden avulla johdetut parametrit a , b , c ja d . (Häkli ym. 2009.)

Affiininen muunnos poikkeaa yhdenmuotoisuusmuunnoksesta siinä, että molemmille koordinaattiakseleille on oma mittakaavakerroin ja kiertokulma. Muunnosparametreja on tasomuunnoksessa siis yhteensä kuusi. Affiininen muunnos ei yhdenmuotoisuusmuunnoksen tavoin säilytä kuvioden muotoja, mutta on ”joustavampi” koordinaatistojen deformaatioiden suhteen. Muunnos voidaan kirjoittaa muotoon

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

missä parametrit Δx ja Δy ovat origon siirto sekä a_1 , a_2 , b_1 ja b_2 akseleiden kiertokulmien ja mittakaavatekijöiden funktioita. (Häkli ym. 2009.)

Affiinisen muunnoksen erikoistapaus on affiininen muunnos kolmioittain. Kolmio menetelmällä suoritettavaa muunnosta varten muunnospisteistöstä muodostetaan kolmioverkko. Muunnosta varten kolmioverkossa paikallistetaan kolmio, jonka sisällä muunnettava piste sijaitsee. Affiinisen muunnoksen parametrit (a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , Δx ja Δy) lasketaan molemmissa koordinaatistoissa tunnettujen kolmion kärkipisteiden vastinpisteiden avulla ja piste muunnetaan parametrien avulla koordinaatistosta toiseen. (Häkli ym. 2009; Maanmittauslaitos 2010.)

Myös korkeuksia tulee voida muuntaa ellipsoidisien korkeuksien ja ortometrinen korkeuksien välillä. Korkeuksien välinen yhteys voidaan esittää geoidimallin avulla

$$N = h - H,$$

missä N on korkeus geoidista, h on korkeus ellipsoidista ja H on ortometrinen korkeus (ks. kuva 1). Ellipsoidinen korkeus on geometrinen suure, joka perustuu matemaattiseen pintaan, kun ortometrinen korkeus taas on ei-geometrinen suure, joka perustuu fysikaaliseen pintaan. Korkeuksien välillä ei ole täsmällistä matemaattista suhdetta, vaan korkeuksien muuntaminen perustuu pohjimmiltaan mittauksiin. (Häkli ym. 2009; Laurila 2008, 152 – 153.)

Suomessa käytettävät geoidimallit perustuvat jollakin tapaa globaaleihin geoidimalleihin, koska myös alueellisen geoidimallin pohjana on oltava tiedot koko maapallon painovoimakentästä. Suomessa on eri aikoina käytetty Geodeettisen laitoksen määrit-

tämiä geoidimalleja. Suomeen lasketut geoidimallit ja muunnospinnat poikkeavat määrittämenetelmän, käytetyn datumin ja valitun lähtötason takia jopa kymmeniä metrejä toisistaan. Nykyisin Suomessa on käytössä kaksi geoidimallia: FIN2000 ja FIN2005N00. FIN2000 on muunnospinta, jolla EUREF-FIN-koordinaatistossa mitatut ellipsoidiset korkeudet voidaan muuntaa N60-korkeusjärjestelmän mukaisiksi vaaituskorkeuksiksi. FIN2005N00 on uusin valtakunnallinen malli, jolla EUREF-FIN-koordinaatistossa mitatut ellipsoidiset korkeudet voidaan muuntaa N2000-korkeusjärjestelmän mukaisiksi vaaituskorkeuksiksi. (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009; Häkli ym. 2009; Laurila 2008, 153, 161.)

3 KARTTAPALVELUJEN OHJELMOINTIRAJAPINNAT

Ohjelmointirajapinnalla (Application Programming Interface, API) tarkoitetaan käyttöliittymää, jonka avulla voidaan vaihtaa tietoa erillisten sovellusten tai järjestelmien välillä. Ohjelmointirajapinnat ovat oleellinen osa Web Services -palveluita. Web Services -palveluilla tarkoitetaan joukkoa protokollia, joita käytetään tiedonvaihtoon erillisten sovellusten tai tietojärjestelmien välillä. Web Services -palveluiden ytimen muodostavat julkiset ja avoimet protokollat, kuten HTTP, yhdistettynä XML-merkintäkieleen. (Reinheimer 2006, 4, 97.)

3.1 Google Maps

Google Maps on yhdysvaltalaisen Googlen tuottama dynaaminen ja interaktiivinen karttapalvelu, joka tarjoaa katu- ja satelliittikarttoja, yritysten sijainti- ja yhteystietoja sekä reitti-ohjeita. Koordinaatistoltaan Google Maps -karttapalvelu perustuu WGS84-koordinaattijärjestelmään ja karttaprojektiona käytetään Mercator-projektiota. Karttatiedot tulevat TeleAtlas-yritykseltä. (Google 2011a; Google 2011b.)

Google Maps -karttapalvelun voi lisätä osaksi mitä tahansa loppukäyttäjälle ilmaista verkkopalvelua Google Maps API -ohjelmointirajapintojen avulla. Ilmaiset ohjelmointirajapinnat tarjoavat sovelluskehittäjälle useita mahdollisuuksia karttapalvelun toteuttamiseen. Google Maps API -ohjelmointirajapintoja ovat Maps JavaScript API, Maps API for Flash, Static Maps API sekä Google Maps API Web Services. (Google 2011a; Google 2011b.)

Maps JavaScript API mahdollistaa karttapalvelun lisäämisen sivuston osaksi JavaScriptiä hyödyntämällä. Tällä hetkellä ohjelmointirajapinnan virallinen versio on Google Maps Javascript API Version 3, joka on suunniteltu latautumaan nopeasti, erityisesti mobiiliselaimissa. Uusin versio on toteutettu räätälöidyllä MVC (Model-View-Controller) -arkkitehtuurilla. MVC-arkkitehtuurissa tietosisältö (Model) eristetään sen esittämisestä (View) ja siihen kohdistuvan käsittelyn hallinnasta (Controller). Sisältöoliot pitävät sisällään kaikki esitettävät tiedot ja niiden muuttamiseen tarvittavat operaatiot, mutta eivät tiedä mitään käyttöliittymästä, tietojen esittämismuodosta tai tiedoille käyttöliittymässä tehtävistä operaatioista. Näkymäoliot esittävät niihin liitetyn sisältöolion tilaa ja käyttävät hyväkseen sisältöolion kyselypalvelua saadakseen tilan selville. Ohjausolio puolestaan hallitsee sitä, miten käyttäjä voi vaikuttaa sisältöolioiden tietoihin. (Google 2011a; Laine 2000.)

Google Maps API for Flash mahdollistaa karttapalvelun lisäämisen sivuston osaksi hyödyntämällä Adobe Flash -lisäosaa dynaamisen karttasisällön esittämiseen. Monien Maps JavaScript API -ohjelmointirajapinnalle yhteisten ominaisuuksien lisäksi Google Maps API for Flash -rajapinta mahdollistaa Flash-sisällön yhdistelemisen Google Maps -karttapalveluun. Google Maps API for Flash tarjoaa tukea Flex SDK, Flex Builder sekä Flash CS3 -ympäristöjä käyttäville Flash-sovelluskehittäjille. Oman Flash-sisällön integroiminen edellyttää sovelluskehittäjältä Google Maps API for Flash -rajapintakirjaston sisällyttämistä sovellukseen sekä Maps API Key -avaimen käyttöä. (Google 2011a.)

Nopean ja yksinkertaisen Google Static Maps API -ohjelmointirajapinnan avulla karttapalvelu voidaan lisätä sivuston osaksi ilman ohjelmointiosaamista ja dynaamisuutta. Ohjelmointirajapinta luo kartan HTTP-pyyntöjen välityksellä lähetettyjen URL-parametrien perusteella ja lähettää vastauksen sivustolle liitettävänä kuvana (GIF, PNG tai JPEG). Pyyntöihin voidaan sisällyttää kartan sijainti, kuvan koko, zoomaus-taso, kartan tyyppi ja vapaaehtoisesti merkintä kartalla näkyvästä sijainnista. Ohjelmointirajapinnan käyttö on rajoitettu 1 000 päivittäiseen erilliseen kuvapyyntöön katsojaa kohti. URL-merkkijonon pituus on rajoitettu 2 048 merkkiin. (Google 2011a.)

Google Maps API Web Services -rajapinta tarjoaa sovelluskehittäjälle mahdollisuuden hyödyntää Googlen paikkatietopalveluja omissa karttasovelluksissa. Käytettävissä olevat palvelut ovat Geocoding API, Directions API, Elevation API sekä Places API.

Google Maps API Web Services -rajapinta käyttää URL-parametrien välittämiseen HTTP-pyyntöjä ja palauttaa pyyntöä vastaavan tiedon JSON- tai XML-muodossa asiakassovelluksen käytettäväksi. Ohjelmointirajapinnan käyttö edellyttää HTTP-pyyntöjen lähettäjältä validin URL-merkkijonon, jonka pituus on rajoitettu 2 048 merkkiin. (Google 2011a.)

3.2 Bing Maps

Bing Maps on Microsoftin tuottama karttapalvelu, jonka avulla käyttäjät voivat etsiä, tutkia, suunnitella ja jakaa tietoa yksittäisistä kohteista katu- tai satelliittikarttoja hyödyntäen. Google Maps -karttapalvelun tavoin Bing Maps -karttapalvelu perustuu WGS84-koordinaattijärjestelmään ja käyttää karttaprojektionaan Mercator-projektiota. Karttatiedot tulevat NAVTEQ-yritykseltä. (Microsoft Corporation 2011.)

Bing Maps voidaan lisätä osaksi verkkopalvelua Bing Maps API -ohjelmointirajapintojen avulla. Näitä rajapintoja ovat Bing Maps AJAX Control, Bing Maps Silverlight Control, Bing Maps SOAP Services, Bing Maps REST Services sekä Bing Spatial Data Services. Ohjelmointirajapintojen käyttö edellyttää Bing Maps Developer Account -tilin avulla hankittavaa ja todennusmenetelmänä toimivaa Bing Maps Key -avainta. Avaimen avulla Microsoft seuraa ja tallentaa palvelun käyttömääriä ja tarjoaa näitä tilastoja avaimen omistajan katsottavaksi. (Microsoft Corporation 2011.)

Bing Maps AJAX Control -rajapinta mahdollistaa karttapalvelun lisäämisen sivuston osaksi JavaScriptiä hyödyntämällä. Käsitteellä AJAX (Asynchronous JavaScript And XML) tarkoitetaan kokoelmaa ohjelmointimenetelmiä, joiden tarkoitus on tehostaa tiedonsiirtoa selaimen ja palvelimen välillä ottaen huomioon selaimessa tapahtuvan paikallisen vuorovaikutteisen käsittelyn tarpeet. Kyseessä on uusi tapa hyödyntää olemassa olevia standardeja perustuen JavaScriptiin ja HTTP-pyyntöihin. AJAX mahdollistaa suoran yhteyden (XMLHttpRequest) palvelimelle ja on palvelimen toteutuksesta riippumatonta selainpään tekniikkaa, joka perustuu JavaScript-, XML-, HTML- ja CSS-standardeihin. Bing Maps AJAX Control -ohjelmointirajapinta sisältää tarvittavat oliot, metodit ja tapahtumankäsittelijät Bing Maps -karttapalvelun esittämiseen. Uusin versio rajapinnasta on Bing Maps AJAX Control 7.0. (Microsoft Corporation 2011; Nuutinen 2008.)

Bing Maps Silverlight Control -rajapinta mahdollistaa karttapalvelun käytön Microsoftin Silverlight-ohjelmointiympäristöä hyödyntämällä. Valmiita web-tekniikoita ja -resursseja hyödyntävä Microsoft Silverlight -ohjelmointiympäristö on tarkoitettu mediasisällön tuottamiseen ja RIA (Rich Interactive Application) -sovellusten kehittämiseen. Rajapinnan käyttö vaatii Microsoft Visual Studio 2008 SP1 tai Microsoft Visual Studio 2010 -ympäristöjen sekä vastaavasti Microsoft Silverlight 3 Tools for Visual Studio 2008 SP1 tai Microsoft Silverlight 4 Tools -pakettien asennuksen. (Microsoft Corporation 2007; Microsoft Corporation 2011.)

Bing Maps SOAP Services -ohjelmointirajapinta tarjoaa valikoiman Web Services -palveluja kartoitus- ja hakutoimintojen mahdollistamiseksi. SOAP (Simple Access Object Protocol) on hajautetuissa ympäristöissä tapahtuvaan rakenteisen informaation välitykseen tarkoitettu kevyt, XML-kieleen perustuva etäkutsuprotokolla. Bing Maps SOAP Services -ohjelmointirajapinnan toteutus perustuu Windows Communication Foundation (WCF) -ohjelmointimalliin, joka on Microsoftin yhtenäinen ohjelmointimalli palvelukeskeisten sovellusten rakentamiseen. Bing Maps SOAP Services -rajapintaan kuuluvat palvelut ovat Geocode Service, Imagery Service, Route Service sekä Search Service. (Microsoft Corporation 2011; Lipitsäinen 2003; Tähtinen 2005, 118.)

Bing Maps REST Services -ohjelmointirajapinta tarjoaa karttapalvelun hyödyntämiseen Representational State Transfer (REST) -käyttöliittymän. REST on arkkitehtuurityyli, joka tähtää yhteentoimivuuden säilyttämiseen hajautetuissa järjestelmissä, joissa eri osapuolet kehittyvät ja muuttuvat toisistaan riippumatta. Google Maps API Web Services -rajapinnan tavoin Bing Maps REST Services -rajapinta käyttää URL-parametrien välittämiseen HTTP-pyyntöjä ja palauttaa pyyntöä vastaavan tiedon JSON- tai XML-muodossa. Myös Bing Spatial Data Services -rajapinta toimii REST-periaatteella. Rajapinnan avulla voidaan käsitellä suuria määriä paikkatietoaineistoa. (Microsoft Corporation 2011; Systä 2009.)

3.3 MapQuest

MapQuest on yhdysvaltalaisen MapQuest, Inc. -yrityksen tuottama karttapalvelu, joka on tarjonnut karttoja, reittiohjeita ja paikkatietoon perustuvia palveluita yli neljäkymmentä vuotta (MapQuest, Inc. 2011b).

MapQuest Developer Network tarjoaa ilmaisia ja muokattavia ohjelmointirajapintoja ja Web Services -palveluita, joiden avulla karttapalvelu voidaan liittää osaksi verkkopalvelua. MapQuest Developer Network -tilin ja Application Key -avaimen vaativia ohjelmointirajapintoja ovat JavaScript SDK (Software Development Kit), AS3/Flex SDK, C++ SDK, Java SDK, .NET SDK ja Web Services -rajapintoja Directions Web Service, Geocoding Web Service, Search Web Service, Static Map Web Service, Traffic Web Service sekä Long URL Web Service. (MapQuest, Inc. 2011a.)

Kaikkien ohjelmointirajapintojen taustalla on MapQuest Advantage API -palvelu, joka tukee kehitysympäristöjä paikallisen rajapinnan tai suorien HTTP-pyyntöjen välityksellä. Ohjelmointirajapinnat voidaan jakaa Web Services -palveluihin sekä asiakas- ja palvelinpuolen rajapintoihin. Web Services -palvelut tarjoavat REST-tyyppisen käyttöliittymän, joka Google Maps API Web Services -rajapinnan sekä Bing Maps REST Services -rajapinnan tavoin perustuu suoriin HTTP-pyyntöihin sekä XML- ja JSON-muotoihin. Asiakaspuolen rajapinnat (JavaScript SDK ja AS3/Flex SDK) tarjoavat asiakkaan käyttöön Web Services -palvelujen ydintoimintojen lisäksi muutamia ennalta määriteltäviä komponentteja, kuten zoomaustason. Palvelinpuolen rajapinnat (Java SDK, C++ SDK ja .NET SDK) tarjoavat mahdollisuuden Web Services -palvelujen integrointiin olioiden kautta. (MapQuest, Inc. 2011b.)

MapQuest JavaScript SDK mahdollistaa karttapalvelun lisäämisen sivustolle JavaScriptiä hyödyntämällä. Viimeisin vakaa versio ohjelmointirajapinnasta on JavaScript SDK version 6.0. MapQuest AS3/Flex SDK puolestaan mahdollistaa karttapalvelun lisäämisen sivustolle Adoben Flash-lisäosaa hyödyntämällä. Rajapinta tarjoaa tukea Adobe Flex -ympäristölle sekä erityisesti ActionScript 3 -kielelle. Viimeisin vakaa versio on AS3/Flex SDK version 6.1.2. (MapQuest, Inc. 2011a.)

Java SDK -ohjelmointirajapinta tarjoaa tukea useiden eri käyttöjärjestelmien tietyille JDK (Java Development Kit) -paketeille. C++ SDK -ohjelmointirajapinta tarjoaa käyt-

töliittymän Advantage API -palvelun hyödyntämiseen sekä Windows- että Unix-ympäristössä kirjastotiedostoilla. .NET SDK -rajapinta tukee Windows-käyttöjärjestelmää C#-, VB.NET- sekä ASP.NET-ohjelmistokehityksessä. (MapQuest, Inc. 2011a.)

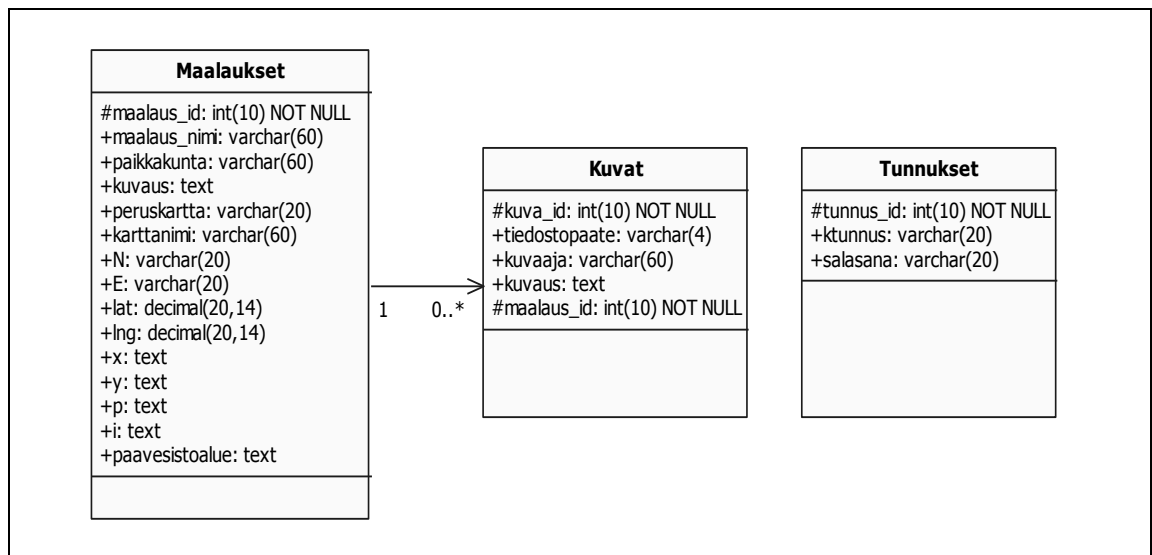
4 TOTEUTUS

Toteutuksen lähtökohtana oli staattinen HTML-merkkaukseen perustuva internet-sivusto, jossa Suomen kalliomaalaukset esitettiin kuvauksin, koordinaatti- ja karttatiedoin sekä kuvin. Tavoitteena oli luoda ylläpitovälineineen dynaaminen verkkopalvelu, joka perustuu kohteiden esittämiseen ja ylläpitämiseen paitsi kuvauksineen ja kuviineen, erityisesti kohteiden esittämiseen interaktiivisissa ja dynaamisissa karttapalveluissa, kuten Google Maps ja Bing Maps. Ongelma muodostuu alkuperäisellä sivustolla esitettyjen koordinaattitietojen ja karttapalvelun vaatimien koordinaattitietojen välisestä koordinaattijärjestelmien erosta. Tämä koordinaattien muuntamiseen liittyvän ongelman ohjelmallinen ratkaiseminen on opinnäytetyöni tutkimusongelma.

4.1 Sovelluksen perustoiminta

Sovelluksen toteutus perustuu MySQL-tietokannan päälle rakennettuun, PHP-ohjelmointikielellä toteutettuun ohjelmointilogiikkaan. Tietokanta rakentuu lähtökoh- tana ja lähdemateriaalina olleiden internet-sivujen tietosisällöstä. Tietojen siirto tietokantarakenteeseen on pyritty tekemään alkuperäisen esitystavan mukaisesti, mutta mahdollisuus inhimillisiin virheisiin on tietysti olemassa.

Sovelluksen tietokantarakenne rakentuu kolmen taulun varaan. Maalaukset-taulun kentät maalaus_nimi, paikkakunta, kuvaus, peruskartta, karttanimi, x, y, p, i ja paa- vesistoalue sekä Kuvat-taulun kentät kuvaaja ja kuvaus ovat alkuperäisellä sivustolla esitetyn maalaus- ja kuvakohtaisen tiedon vastineita. Muut kentät on luotu maalausten ja niihin liittyvien kuvien yksilöimistä, koordinaattitietojen tallentamista sekä koordi- naattikonversion suorittamista varten. Ylläpitäjien hallintaa varten luotu taulu Tun- nukset sisältää tarvittavat kentät ylläpitovälineeseen kirjautumista varten. Tietokannan rakenne esitetään kuvassa 4.



KUVA 4. Sovelluksen tietokantarakenne

Sovellus siis jakautuu kahteen osa-alueeseen; käyttäjälle tarjottavaan palveluun ja ylläpitäjän hallinnoimaan ylläpitovälineeseen. Käyttäjä voi siirtyä haluamansa maalauksen tietoihin etusivun karttapalvelun tarjoamien linkkien, maalaus- tai paikkakunta-kohtaisen haun tulosten tai kaikkien kohteiden listauksen avulla. Ylläpitäjä kirjautuu ylläpitovälineeseen tietokantaan tallennetuilla käyttäjätunnuksella ja salasanalla, joiden vastaavuuden sovellus tarkastaa kirjautumisen yhteydessä.

Maalauskohtaisten tietojen esittäminen perustuu tietokantahakuihin, jotka suoritetaan pääasiassa yksilöivien kenttien arvoja käyttämällä. Näiden yksilöivien kenttien arvot välittyvät käyttäjän valintojen mukana piilotettuina kenttinä, jotka näkyvät käyttäjälle vain lähdekoodissa. Jokaisesta maalauksesta esitetään tietokannasta löytyvät nimi-, paikkakunta-, kuvaus- ja sijaintitiedot, maalaukseen liittyvät kuvat sekä lisäksi sijaintitieto kolmen eri karttapalvelun käyttöliittymän avulla.

Ylläpitäjä voi kirjaututtuaan hallinnoida tietoja lisäämällä kohteita, muokkaamalla yksittäiseen kohteeseen liittyviä tietoja tai poistamalla kohteita. Lisätessään uuden kohteen ylläpitäjä voi syöttää tietokantaan maalauksen nimi-, paikkakunta-, kuvaus- ja sijaintitiedot. Yksittäisen kohteen muokkauksen yhteydessä käyttäjä voi muuttaa näitä tietoja, lisätä tai poistaa kohteeseen liittyviä kuvia tai tallentaa kohteen sijaintitiedon karttapalvelun käyttöliittymän avulla. Tiedot tallentuvat tietokantaan siten, että jokaisesta uutta kohdetta vastaa uusi yksilöivä kenttä, joka saa arvonsa automaattisesti. Kohteen poisto poistaa kaikki kyseiseen kohteeseen liittyvät tiedot ja kuvat.

Lisätessään kohteeseen kuvan käyttäjä siirtää kuvatiedoston (GIF, PNG, JPG tai JPEG) palvelimelle. Sovellus tarkistaa tiedostopäätteen avulla kuvatiedoston oikeellisuuden ja estää väärällä tiedostopäätteellä varustetun tiedoston lataamisen. Tietokantaan tallentuu kuvan tietoina yksilöivä tunnus, tiedostopäätte, kuvaaja, kuvaus kuvan sisällöstä sekä viiteavaimena sen maalauksen yksilöivä tunnus, johon kuvatiedosto liittyy. Näin ollen tietokantahaut perustuvat myös kuvien osalta maalauksen yksilöivään tunnukseen. Palvelimelle kuva tallentuu aina oman yksilöivän tunnuksensa nimisenä. Lisäyksen yhteydessä kuvasta tehdään ohjelmallisesti kuvasuhteensa säilyttävä pikkukuva, joka toimii Lightbox-skriptin avulla käyttäjälle ja ylläpitäjälle esitettävän kuvatiedoston valikkokuvana.

Sovelluksen hakemistorakenne on suunniteltu siten, että yksittäisten tiedostojen sisältämät suhteelliset viittaukset säilyvät muuttumattomina. Käyttäjä- ja ylläpitopuolen tarvitsemat PHP-tiedostot on sijoitettu tiedostoa käyttävän osapuolen nimeä vastaavaan kansioon. Molemmille puolille yhteisesti käytössä olevat PHP-tiedostot on ryhmitelty omiin kansioihinsa, jotka on nimetty käyttöyhteyttä kuvaavasti. Suhteellisten viittausten säilyminen helpottaa ja selkeyttää suuren tiedostomäärän käsittelyä muutoksia ja uusia ominaisuuksia toteutettaessa. Hakemiston juuressa oleva aloitussivun tiedosto ohjaa käyttäjän automaattisesti käyttäjäpuolen etusivulle.

Ohjelmointiteknisesti sovellus on pyritty toteuttamaan mahdollisimman pitkälle siten, että jokainen toiminnon sisältävä PHP-tiedosto sisällytetään vuorollaan pääsivun osaksi kutsuttaessa. Tällainen ohjelmointitapa mahdollistaa toimintojen sijoittelun omiin tiedostoihinsa ja vähentää kaikille sivuille yhteisten koodiosioiden toistoa.

4.2 Koordinaattien muuntaminen

Alkuperäisellä sivustolla esitettiin maalauskohteille Suomen kartastokoordinaattijärjestelmän tai mahdollisesti yhtenäiskoordinaatiston mukaiset koordinaattitiedot. Kohteiden esittämiseksi kansainvälisissä karttapalveluissa tarvitaan kuitenkin WGS84-koordinaattijärjestelmän mukaiset maantieteelliset koordinaatit. Tämän ongelman ratkaiseminen oli ohjelmointityöni varsinainen perusta.

Kartastokoordinaattijärjestelmän tai yhtenäiskoordinaatiston mukaisten koordinaattien muuntaminen WGS84-koordinaattijärjestelmän mukaisiksi koordinaateiksi tarkoittaa

käytännössä koordinaattimuunnosta kansallisen koordinaattijärjestelmän ja identtisenä WGS84:n kanssa pidettävän ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalaisen realisaation EUREF-FIN:in välillä.

Jokaisen kalliomaalauksen tietojen yhteydessä oli myös linkki Maanmittauslaitoksen ylläpitämään Kansalaisen Karttapaikka -palveluun. Tämä karttapalvelu esitti kohteen sijainnin kartalla URL-parametreina välitettyjen koordinaattitietojen perusteella. Kuten suomalaisia koordinaatistoja esittelevässä kappaleessa aiemmin todettiin, Maanmittauslaitos otti ETRS89-koordinaattijärjestelmän käyttöön toiminnassaan, tuotteissaan ja tietopalveluissaan helmikuussa 2010. Näin ollen Kansalaisen Karttapaikka -palvelu tarjosi automaattisesti tämän koordinaattijärjestelmän mukaiset ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit jokaiselle maalauskohteelle.

Oman työni kannalta tämä tarkoitti sitä, että minulla oli käytössäni tavoitekoordinaattijärjestelmän mukainen sijaintitieto tasokoordinaatteina esitettynä. Minun tehtäväkseni jäi ETRS-TM35FIN-tasokoordinaattien ohjelmallinen konvertoiminen maantieteelliseksi EUREF-FIN-koordinaateiksi. Apua tällaisen konversion suorittamiseen tarjoaa Geodeettisen laitoksen tiedote ”Suomen geodeettiset koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset”. Tiedotteen mukaiset konversiossa käytetyt kaavat laskuesimerkkeineen esitetään tämän työn liitteinä.

Ohjelmallisesti konversio on rakennettu erilliseen tiedostoon funktioksi, jota kutsutaan tarvittaessa. Konversion suorittamiseksi funktio tarvitsee parametreikseen ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatiston itä- ja pohjoiskoordinaatin. Nämä maalauskohtaiset sijaintitiedot haetaan funktion käytettäväksi kunkin maalauskohteen tietueen N- ja E-kentistä. Sisäänrakennettuja ja muuttumattomina säilyviä konversioon tarvittavia syötteitä ovat ellipsoidin isoakselin puolikas, ellipsoidin litistyssuhde, mittakaavakerroin keskimeridiaanilla, projektion keskimeridiaani radiaaneina sekä itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla. Tuloksena saadaan maantieteellinen leveys ja maantieteellinen pituus radiaaneina. Ennen funktion arvon palauttamista radiaanit muutetaan karttapalvelujen käyttämien arvojen mukaisesti asteiksi.

Konversion tarkkuus vastaa Kansalaisen Karttapaikka -sivuston tarjoaman muunnospalvelun tarkkuutta. Kuvassa 5 esitetään yksi tapa konversion suorittamiseen PHP-ohjelmointikielellä.

```

<?php
function MuunnaKoordinaatit ($E,$N) {

// Meridiaanin pituisen ympyrän säde
    $A1 = 6367449.14577105;

// Mittakaavakerroin keskimeridiaanilla
    $k0 = 0.9996;

// Itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla
    $E0 = 500000;

// Projektion keskimeridiaani (radiaaneina)
    $km = 0.471238898038469;

// Apusuureita
    $s = $N / ($A1 * $k0);
    $n = ($E - $E0) / ($A1 * $k0);

// Laskentaa
    $s1 = 0.000837732168164 * sin(2 * $s) * cosh(2 * $n);
    $s2 = 0.000000059058696 * sin(4 * $s) * cosh(4 * $n);
    $s3 = 0.000000000167349 * sin(6 * $s) * cosh(6 * $n);
    $s4 = 0.000000000000217 * sin(8 * $s) * cosh(8 * $n);

    $n1 = 0.000837732168164 * cos(2 * $s) * sinh(2 * $n);
    $n2 = 0.000000059058696 * cos(4 * $s) * sinh(4 * $n);
    $n3 = 0.000000000167349 * cos(6 * $s) * sinh(6 * $n);
    $n4 = 0.000000000000217 * cos(8 * $s) * sinh(8 * $n);

    $ss = $s - ($s1 + $s2 + $s3 + $s4);
    $nn = $n - ($n1 + $n2 + $n3 + $n4);

    $b = asin((sin($ss) / cosh($nn)));
    $l = asin(tanh($nn) / cos($b));

    $q = log(tan($b) + sqrt(pow(tan($b), 2) + 1));

// $e = ensimmäinen epäkeskisyyys
    $e = pow (2 * 1/298.257222101 - (pow(1/298.257222101, 2)), 0.5);

// Iteroidaan, kunnes muutos on tarpeeksi lähellä nollaa
    $q1 = $q + $e * (0.5 * log((1 + $e * tanh($q)) / (1 - $e * tanh($q))));
    $q2 = $q + $e * (0.5 * log((1 + $e * tanh($q1)) / (1 - $e * tanh($q1))));
    $q3 = $q + $e * (0.5 * log((1 + $e * tanh($q2)) / (1 - $e * tanh($q2))));
    $q4 = $q + $e * (0.5 * log((1 + $e * tanh($q3)) / (1 - $e * tanh($q3))));

// Lopputulos, maantieteelliset koordinaatit, asteina
    $NN = rad2deg(atan(sinh($q4)));
    $EE = rad2deg($km + $l);

    return $NN.", ".$EE;

} //function
?>

```

KUVA 5. Koordinaattikonversio PHP-ohjelmointikielellä

Koordinaattikonversion ohjelmallista suorittamista helpottaa PHP:n tuki monille matemaattisille funktioille. Esimerkkejä konversiossa tarvittavista valmiiksi tuetuista funktioista ovat neliöjuuri, potenssi, logaritmi, trigonometriset funktiot sekä hyperbo-

liset funktiot. Osalle käänteisistä hyperbolisista funktioista käyttämäni PHP:n versio ei kuitenkaan suoraa tukea tarjonnut. Tällaisissa tapauksissa laskennassa on käytetty käänteisten hyperbolisten funktioiden kaavaa konversion onnistumisen varmistamiseksi kaikilla PHP:n versioilla.

4.3 Karttapalvelut

Sovelluksessa käytettävät karttapalvelut ovat Google Maps, Bing Maps ja MapQuest. Karttapalveluja käytetään palveluntarjoajien ohjelmointirajapintoja hyödyntämällä. Google Maps -rajapinnoista käytössä on Maps JavaScript API, Bing Maps -rajapinnoista Bing Maps AJAX Control ja MapQuest-rajapinnoista MapQuest JavaScript SDK. Karttapalvelujen dynaamisia toimintoja siis hyödynnetään pääasiallisesti JavaScript-komentosarjakielen avulla.

Kuvassa 6 nähtävässä etusivulle toteutetussa Google Maps -kartassa näkyvät yhtäaikaaisesti kaikkien kalliomaalauskohteiden sijaintia osoittavat merkinnät. Merkintöjen yhteydessä on kohteista saatavilla infoikkuna, jossa esitetään kohteen nimi, sijaintipaikkakunta sekä kuvaus. Infoikkunassa näkyvä nimi toimii linkkinä kohteen varsinaisen esittelyn sisältävälle sivulle.



KUVA 6. Kaikkien kohteiden yhtäaikainen esittäminen karttapalvelussa

Yhtäaikaisten merkintöjen näyttäminen suoritetaan kaksiosaisesti. Kaikki kohteet sisältävä tietokantahaun tulos tallennetaan ensin XML-tiedostoksi. Ennen XML-tiedoston luomista kohteiden ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatit konvertoidaan EUREF-FIN-koordinaateiksi funktiota kutsumalla. Varsinainen merkintöjen ja niihin liittyvien infoikkunoiden käsittely tapahtuu karttapalvelun toteutustavan mukaisesti JavaScriptillä. XML-tiedostomuodon käyttäminen on tarpeellista siksi, että JavaScript ei tue PHP:n muuttujia. Merkintöjen ja infoikkunoiden ohjelmallinen lisääminen karttapalveluun ulkopuolista XML-tiedostoa hyödyntämällä esitetään kuvassa 7.


```
function initialize() {

    var myLatLng = new google.maps.LatLng(63.23243818380735, 26.730752783981007);
    var myOptions = {
        zoom: 6,
        center: myLatLng,
        mapTypeId: google.maps.MapTypeId.ROADMAP
    }
    var map = new google.maps.Map(document.getElementById("map_canvas"), myOptions);
    downloadUrl("../user/coords.php", function(data) {
        var markers = data.documentElement.getElementsByTagName("marker");
        for (var i = 0; i < markers.length; i++) {
            var latlng = new google.maps.LatLng(parseFloat(markers[i].getAttribute("lat")),
                parseFloat(markers[i].getAttribute("lng")));
            var marker = new google.maps.Marker({
                position: latlng,
                map: map,
                title: markers[i].getAttribute('nimi'),
            });

            var infowindow = new google.maps.InfoWindow();
            google.maps.event.addListener(marker, 'click', (function(marker, i) {
                return function() {
                    infowindow.setContent(
                        "<a href=../user/list.php?value="+markers[i].getAttribute('id')+"><b>"
                        +markers[i].getAttribute('nimi')+"</b></a><p>"
                        +markers[i].getAttribute("paikkakunta")+"<p>"
                        +markers[i].getAttribute("kuvaus")");
                    infowindow.open(map, marker);
                }
            })(marker, i));
        }
    });
}

google.maps.event.addDomListener(window, 'load', initialize);
```

KUVA 7. Sijaintimerkintöjen ja infoikkunoiden lisääminen XML-tiedostoa hyödyntäen

Käyttäjä voi tarkastella valitsemansa maalauskohteen sijaintia kolmessa karttapalvelussa. Monipuolisimman informaation käyttäjälle tarjoaa Google Maps, jossa kartalla näkyvän sijaintia osoittavan merkinnän ja infoikkunan lisäksi esitetään sijainti maantieteellisinä koordinaatteina sekä lähimpänä tätä sijaintia oleva osoitetieto. Infoikkunan sisältämät tiedot ovat etusivun tavoin maalauskohteen nimi, paikkakunta ja kuvaus. Muissa karttapalveluissa käyttäjän näkyville avautuvat sijainnin osoittava merkintä sekä infoikkunat.

Kohdekohtaisilla sivuilla merkintöjen sijainnit ja infoikkunoiden sisällöt lisätään karttapalveluun sivustolla esitettävän kohdekohtaisen tiedon perusteella. Tietokantahaun tulokset sisällytetään osaksi HTML-kokonaisuuksia ja näiden kokonaisuuksien sisällöt integroidaan karttapalveluihin ohjelmointirajapintojen mukaisesti JavaScriptin avulla. Kaikilla karttapalveluilla on omat sisäänrakennetut sijainnin osoittavat merkintänsä,

joita voidaan kutsua ja muokata rajapintojen avulla. Myös infoikkunat ovat sisäänrakennettuja, lukuun ottamatta Bing Maps AJAX Control -ohjelmointirajapintaa, jonka uusin versio ei valmista infoikkunoiden toiminnallisuutta tarjoa. Bing Maps -ohjelmointirajapinnan osalta infoikkunat ovatkin JavaScriptin avulla merkintään liitettyjä itse määriteltyjä toimintoja.

Ylläpitotyöväline tarjoaa ylläpitäjälle mahdollisuuden lisätä maalauskohteen sijaintitiedon tietokantaan karttakäyttöliittymän avulla. Näin lisätyt maantieteelliset EUREF-FIN-koordinaatit tallentuvat niille tietokannassa varattuihin kenttiin, eivätkä siis kumoaa kohteen ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatteja. Kun maalauskohteen sijainti esitetään karttapalvelussa, sovellus käyttää koordinaatteina oletusarvoisesti näitä EUREF-FIN-koordinaatteja. Jos kentät ovat tyhjä, sovellus käyttää sijainnin esittämiseen maantieteellisiksi koordinaateiksi konvertoitavia ETRS-TM35FIN-koordinaatteja. Ylläpitäjä voi tallentaa EUREF-FIN-koordinaatit tietokantaan lisätessään uutta kohdetta tai muokatessaan jo olemassa olevan kohteen tietoja.

5 LOPUKSI

Vastaanottohetkellä niin yksinkertaiselta ja selkeältä tehtävältä vaikuttanut työ tutkimusongelmineen osoittautui prosessin edetessä vähintäänkin monimutkaiseksi ja monivaiheiseksi haasteeksi. Haastavimmat toteutuksen vaiheet ovat luokiteltavissa kolmeen osa-alueeseen: teoreettisen viitekehykseen, julkaisujärjestelmän toteutukseen sekä varsinaiseen tutkimusongelmaan, koordinaattien muuntamiseen.

Koordinaattijärjestelmien perusteiden ja käsitteiden kuvaaminen oli aiemmin asiaan perehtymättömälle aikaa vievä suoritus. Ponnistuksesta tekivät haastavan erityisesti tietojen oikeellisuuden ja koordinaattien muuntamistoimenpiteiden kannalta oleellisten sisältöjen arvioiminen. Niin tutulta kuin ilmaus ”koordinaatti” tuntuukin, ei taustalle mahtuva määrittely ole mitenkään helposti hahmotettava kokonaisuus; ainakaan tietojenkäsittelyn opiskelijalle.

Julkaisujärjestelmän toteutus lienee yksi ohjelmoijan tavallisimmista työtehtävistä. Toteutuksessa on ensisijaisesti varmistettava sovelluksen toiminta, mutta huolehdittava toiminnallisuudesta myös käyttäjän näkökulmasta. Kun käytettävyyteen on kiinni-

tetty huomiota, käyttäjän virheelliset syötteet vähenevät, mutta niihin tulee silti varautua. Haastavinta julkaisujärjestelmän toteutuksessa onkin silkan teknisen toteutuksen ohella mahdollisiin käyttäjän aiheuttamiin, tahattomiin tai tahallisiin virhetilanteisiin varautuminen.

Ylivoimaisesti suurin haaste oli kuitenkin tutkimusongelman ratkaiseminen: koordinaattien muuntaminen kansallisen koordinaattijärjestelmän mukaisista koordinaateista WGS84-järjestelmän mukaisiksi koordinaateiksi. Ensivaikutelmana syntyi mielikuva lukuarvoihin kohdistuvasta matemaattisesta toimenpiteestä tietyn laskukaavan avulla. Laskukaavan, jonka täytyy olla yleisessä käytössä. Minun tehtäväni olisi laskukaavan kirjoittaminen PHP-ohjelmointikielen muotoon.

Päätelmä oli aivan oikea, mutta aliarvioin tehtävän haasteellisuuden. Kuten jo mainitsin, eivät koordinaattijärjestelmiin liittyvät asiat ole yksinkertaisia. Haasteellisuus kävi ilmeiseksi jo määritelmien ja termien osalta, mutta aihe vaikuttaa olevan haastava matemaattisestikin. Kenen tahansa käytettävissä on ohjelmia, joilla koordinaatteja voidaan muuntaa haluttuun koordinaatistoon. Tällaiset ohjelmat vain eivät sovellu integroitavaksi omalle sivustolle ohjelmointirajapinnan avulla ja halutun muunnoksen suorittavat funktiot jäävät käyttäjälle näkymättömiksi. Valmiit muunnosohjelmat eivät tarjoa apua muunnosten itsenäiseen matemaattiseen suorittamiseen.

Huomattavan helpotuksen tutkimusongelman ratkaisemiseen tarjosi Kansalaisen Karttapaiska -verkkopalvelu. Kun sain käyttööni Maanmittauslaitoksen suorittaman koordinaattijärjestelmien välisen muunnoksen jälkeiset arvot, työ vaati enää konversion tasokoordinaattien ja maatieteellisten koordinaattien välillä. Muunnokseen ja konversioihin tarvittavien laskukaavojen löytäminen vaati työtä. Kaavan kirjoittaminen ohjelmalliseen muotoon oli sitä vastoin ennakko-odotuksia helpompaa. PHP:n valmiit matemaattiset funktiot tarjoavat merkittävän avun tällaisissa ongelmissa.

Koordinaattimuunnokseen liittyy aina muunnosvirhe, kun taas konversio voidaan suorittaa lähes tai täysin virheettömästi. Tässä tapauksessa varsinainen muunnos on Maanmittauslaitoksen suorittama ja konversio suoritetaan Geodeettisen laitoksen mallin mukaisesti. Suorittamani konversion oikeellisuuden tarkistamiseen käytin Kansalaisen Karttapaiska -sivuston muunnospalvelua. Tulokset täsmäävät, joten arvioisin muunnosprosessin tarkkuuden riittäväksi. Kun kyseessä on kalliomaalausten sijainnin

esittäminen karttapalveluissa tavalliselle kohteessa vierailijalle, senttimetreissä mitattava tarkkuus on tuskin edes tarpeellinen.

Työn tulos on toimiva sovellus, joka vastaa tavoitetta ja ratkaisee asetetun tutkimusongelman. On kuitenkin syytä huomioda, että koordinaattien muuntaminen suoritetaan ohjelmallisesti nimenomaan ETRS-TM35FIN-tasokoordinaateista EUREF-FIN-järjestelmän mukaisiksi maantieteellisiksi koordinaateiksi, jotka ovat identtisiä WGS84-järjestelmän kanssa. Konversiofunktio on toimiva tällä yhdistelmällä, mutta kyseessä on vain yksi yhdistelmä, joka toimii yksisuuntaisesti. Laskukaava muuttuu jo silloin, jos konversio suoritetaan EUREF-FIN-järjestelmän maantieteellisistä koordinaateista ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatteihin. Koordinaatistoja on lukuisia, joten muunnos- ja konversioyhdistelmiäkin on paljon.

Sovellus on toimiva, mutta käytettävyyteen voi tuskin koskaan kiinnittää liiaksi huomiota. Ohjelmointilogiikassa on tilaa yksinkertaistamiselle ja toimintojen rakentamisessa sekä virhetilanteisiin varautumisessa on aina tilaa kehitykselle. Avarammasta näkökulmasta tarkasteltuna yksi tapa sovelluksen kehittämiseksi voisi olla sen laajentaminen mobiilisovellukseksi. Sen sijaan, että kohteelle matkalla oleva käyttäjä hakee sijaintitiedon kohteen nimen tai paikkakunnan sijaintitiedon perusteella, käyttäjälle on mobiililaitteen paikannuksen avulla mahdollista tarjota tieto hänen sijaintiaan lähimpänä olevista maalauskohteista.

Mitä minä tästä kaikesta opin? Ohjelmoinnissa ei ole kyse vain ohjelmoinnista.

Ohjelmoinnissa on kyse toimivan ohjelman ohella ennen kaikkea sen käyttäjästä. Ohjelman käytettävyyttä ei määrittele sovelluskehittäjä itse, käytettävyyden määrittelee loppukäyttäjä. Sovellus voi olla käyttötarkoitukseensa sopiva ja käyttäjäkeskeisesti suunniteltu, mutta sen käytön mielekkyys riippuu käyttäjän kokemuksista. Kokemukset taas eivät synny hetkessä. Käytettävyyden arviointi vie aikaa.

Ohjelmoinnissa on kyse myös ohjelman viitekehyksestä. Sovelluksen rakentamiseen tarvittava tieto ei välttämättä rajoitu pelkkään ohjelmointiosaamiseen. Tarvittava tieto määräytyy sen viitekehysten mukaan, johon ohjelma rakennetaan. Tarvittavan tiedon hankinta ja omaksuminen voi olla sovelluskehittäjälle hyvinkin haasteellista. Kaikella tiedolla on kuitenkin paikkansa.

LÄHTEET

Bilker-Koivula, Mirjam & Ollikainen, Matti 2009. Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa. PDF-dokumentti. www.fgi.fi/julkaisut/pdf/GLtiedote29.pdf. Päivitetty 15.10.2009. Luettu 6.1.2011.

Furuti, Carlos A. 2011. Map Projections: Mapping Definitions and Concepts. WWW-dokumentti. <http://www.progonos.com/furuti/MapProj/Normal/MapDef/MapDef.html>. Päivitetty 10.1.2011. Luettu 9.2.2011.

Google 2011a. Google Maps API Family. WWW-sivu. <http://code.google.com/intl/fi-FI/apis/maps/>. Ei päivitystietoa. Luettu 21.1.2011.

Google 2011b. Tietoja Google Mapsista. WWW-sivu. <http://maps.google.com/support/bin/answer.py?answer=7060&cbid=-1e48xj7d8ubru&src=cb&lev=%20topic>. Ei päivitystietoa. Luettu 21.1.2011.

Häkli, Pasi, Puupponen, Jyrki, Koivula, Hannu & Poutanen, Markku 2009. Suomen geodeettiset koordinaatit ja niiden väliset muunnokset. PDF-dokumentti. <http://www.fgi.fi/julkaisut/pdf/GLtiedote30.pdf>. Päivitetty 10.12.2009. Luettu 1.1.2011.

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2008a. JHS 153 ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. PDF-dokumentti. <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS153/JHS153.pdf>. Päivitetty 6.6.2008. Luettu 8.1.2011.

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2008b. JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako. PDF-dokumentti. <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154.pdf>. Päivitetty 6.6.2008. Luettu 8.1.2011.

Laine, Harri 2000. Arkkitehtoniset standardiratkaisut - model-view-controller. PDF-dokumentti. www.cs.helsinki.fi/u/laine/arkki/k00/jarkki5.pdf. Päivitetty 19.3.2000. Luettu 24.1.2011.

Laurila, Pasi 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Tornion kirjapaino.

Lipitsäinen, Arvo 2003. Web-palvelut - Web Services. WWW-dokumentti. <http://myy.helia.fi/~atk90d/soap/webservices.html>. Päivitetty 19.5.2003. Luettu 26.1.2011.

Maanmittauslaitos 2010. Koordinaattijärjestelmät. WWW-dokumentti. <http://etrs.nls.fi/>. Päivitetty 14.6.2010. Luettu 16.12.2010.

MapQuest, Inc. 2011a. MapQuest Developer Network. <http://developer.mapquest.com/>. Ei päivitystietoa. Luettu 27.1.2011.

MapQuest, Inc. 2011b. MapQuest The Company. WWW-sivu. <http://company.mapquest.com/>. Ei päivitystietoa. Luettu 27.1.2011.

Microsoft Corporation 2011. Bing Maps. WWW-dokumentti. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd877180.aspx>. Ei päivitystietoa. Luettu 25.1.2011.

Microsoft Corporation 2007. Microsoft julkisti Silverlightin uuden sukupolven web-mediakokemusten tuottamiseen. WWW-dokumentti. http://www.microsoft.com/finland/pr/news/silverlight_160407.msp. Päivitetty 15.4.2007. Luettu 26.1.2011.

Miettinen, Samuli 2006. GPS käsikirja. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Nuutinen, Petri 2008. Arkkitehtuurituntemus. AJAX. PDF-dokumentti. <http://www.bit.spt.fi/petri.nuutinen/Arkkitehtuuri/09AJAX.pdf>. Päivitetty 15.9.2008. Luettu 26.1.2011.

Ollikainen, Marko 2010. Maanmittauslaitos ETRS89-koordinaattijärjestelmään. PDF-dokumentti. http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk210/mk210_1365_ollikainen.pdf. Päivitetty 14.5.2010. Luettu 8.1.2011.

Poutanen, Markku 2006. Koordinaatistot. PDF-dokumentti. www.helsinki.fi/~korpela/MINV12/koordinaatit.pdf. Päivitetty 2.3.2006. Luettu 31.12.2010.

Poutanen, Markku 1998. GPS-paikanmäärittäminen. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Reinheimer, Paul 2006. Professional Web APIs with PHP: eBay, Google, PayPal, Amazon, FedEx plus Web feeds. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.

Ruotsalainen, Reino 2010. Koordinaattimuunnospalvelut. PDF-dokumentti. http://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document_library/get_file?uuid=9d0a47f2-10b4-4fea-b322-676a2827f142&groupId=108478. Päivitetty 7.5.2010. Luettu 16.12.2010.

Systä, Tarja 2009. Representational State Transfer (REST). PDF-dokumentti. <http://www.cs.tut.fi/kurssit/OHJ-5201/materiaali/9.pdf>. Päivitetty 4.9.2009. Luettu 26.1.2011.

Tokola, Timo, Soimasuo, Janne, Turkia, Ari, Talkkari, Ari, Store, Ron & Uuttera, Janne 2000. Metsät paikkatietojärjestelmissä. Saarijärvi: Gummerus Kirjapaino Oy.

Tähtinen, Sami 2005. Järjestelmäintegraatio. Tarve, vaihtoehdot, toteutus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Konversiokaavat. Maantieteellisten ja tasokoordinaattien väliset kaavat
(JHS 154) (Häkli ym. 2009)

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	= maantieteellinen leveys
λ	= maantieteellinen pituus
E	= projektion itäkoordinaatti
N	= projektion pohjoiskoordinaatti
k	= mittakaavakerroin
A_1	= meridiaanin pituisen ympyrän säde
e^2	= ensimmäisen epäkeskisyyden neliö
e'^2	= toisen epäkeskisyyden neliö
n	= toinen litistyssuhde

Hyperboliset ja käänteiset hyperboliset (area-) funktiot:

(Hyperbolisten funktioiden kaavoissa e = Neperin luku, muutoin e = ensimmäinen epäkeskisyyden)

$$\begin{aligned} \sinh(x) &= \frac{e^x - e^{-x}}{2} \\ \cosh(x) &= \frac{e^x + e^{-x}}{2} \\ \tanh(x) &= \frac{\sinh(x)}{\cosh(x)} = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \\ \operatorname{arsinh}(x) &= \ln(x + \sqrt{x^2 + 1}) \\ \operatorname{artanh}(x) &= \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+x}{1-x}\right) \\ \operatorname{sech}(x) &= \frac{1}{\cosh(x)} = \frac{2}{e^x + e^{-x}} \\ \operatorname{arsech}(x) &= \ln\left(\frac{1 + \sqrt{1 - x^2}}{x}\right) \end{aligned}$$

**Konversiokaavat. Maantieteellisten ja tasokoordinaattien väliset kaavat
(JHS 154) (Häkli ym. 2009)**

Apusuureet

$$n = \frac{f}{2-f} = \frac{a-b}{a+b}$$

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

$$e^2 = 2f - f^2$$

$$e'^2 = \frac{e^2}{1-e^2}$$

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

$$h_2 = \frac{1}{48}n^2 + \frac{1}{15}n^3 - \frac{437}{1440}n^4$$

$$h_3 = \frac{17}{480}n^3 - \frac{37}{840}n^4$$

$$h_4 = \frac{4397}{161280}n^4$$

$$h_1' = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{5}{16}n^3 + \frac{41}{180}n^4$$

$$h_2' = \frac{13}{48}n^2 - \frac{3}{5}n^3 + \frac{557}{1440}n^4$$

$$h_3' = \frac{61}{240}n^3 - \frac{103}{140}n^4$$

$$h_4' = \frac{49561}{161280}n^4$$

Poikittaisen lieriöprojektion tasokoordinaateista (N, E) maantieteellisiin koordinaatteihin (φ , λ) (Häkli ym. 2009)

syöte:

a	=	ellipsoidin isoakselin puolikas
f	=	ellipsoidin litistyssuhde
k_0	=	mittakaavakerroin keskimeridiaanilla
λ_0	=	projektion keskimeridiaani (radiaaneina)
E_0	=	itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla
N	=	pohjoiskoordinaatti
E	=	itäkoordinaatti

tulos: maantieteelliset koordinaatit

φ	=	maantieteellinen leveys (radiaaneina)
λ	=	maantieteellinen pituus (radiaaneina)

Apusuureet ja laskenta:

$$\xi = \frac{N}{A_1 \cdot k_0} \quad (\text{B.14})$$

$$\eta = \frac{E - E_0}{A_1 \cdot k_0} \quad (\text{B.15})$$

$$\xi_1' = h_1 \sin(2\xi) \cosh(2\eta) \quad (\text{B.16})$$

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

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

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

$$\eta_1' = h_1 \cos(2\xi) \sinh(2\eta) \quad (\text{B.17})$$

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

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

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

$$\xi'' = \xi - (\xi_1' + \xi_2' + \xi_3' + \xi_4') \quad (\text{B.18})$$

$$\eta' = \eta - (\eta_1' + \eta_2' + \eta_3' + \eta_4') \quad (\text{B.19})$$

$$\beta = \arcsin[\operatorname{sech}(\eta') \cdot \sin(\xi'')] \quad (\text{B.20})$$

$$l = \arcsin\left[\frac{\tanh(\eta')}{\cos(\beta)}\right] \quad (\text{B.21})$$

$$Q = \operatorname{arsinh}[\tan(\beta)] \quad (\text{B.22})$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q)] \quad (\text{B.23})$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q')] \quad \text{iterointi, kunnes muutos} = 0 \quad (\text{B.24})$$

$$\varphi = \arctan[\sinh(Q')] \quad (\text{B.25})$$

$$\lambda = \lambda_0 + l \quad (\text{B.26})$$

Käytännössä kaavassa (B.24) riittää kolme iteraatiokierrosta. Ensin kaavalla (B.22) laskettu Q sijoitetaan kaavaan (B.23), jolla saadaan Q' :n ensimmäinen likiarvo. Q' :n likiarvo sijoitetaan kaavaan (B.24), jota iteroidaan.

Laskuesimerkki: ETRS-TM35FIN-koordinaattien konvertoiminen maantieteelliseksi EUREF-FIN-koordinaateiksi (Häkli ym. 2009)

syöte:	ETRS-TM35FIN-koordinaatit	
a	= ellipsoidin isoakselin puolikas (GRS80)	= 6 378 137 m
f	= ellipsoidin litistyssuhde (GRS80)	= 1/298.257222101
k_0	= mittakaavakerroin keskimeridiaanilla (UTM)	= 0.9996
λ_0	= projektion keskimeridiaani (radiaaneina) (TM35)	= 0.471238898038469 (27°)
E_0	= itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla (UTM)	= 500 000
E	= projektion itäkoordinaatti (ETRS-TM35FIN)	= 7016196.1450 m
N	= projektion pohjoiskoordinaatti (ETRS-TM35FIN)	= 214141.4227 m
Apusuureet ja laskennan eteneminen		
n	=	0.001679220394629
A_1	=	6367449.14577105
e^2	=	0.006694380022901
h_1	=	0.000837732168164
h_2	=	0.000000059058696
h_3	=	0.000000000167349
h_4	=	0.000000000000217
ξ	=	1.102325842862880
η	=	-0.044911700107809
ξ_1'	=	0.000677727690141
ξ_2'	=	-0.000000057278817
ξ_3'	=	0.000000000056335
ξ_4'	=	0.000000000000132
η_1'	=	0.000044625973871
η_2'	=	0.000000003183703
η_3'	=	-0.000000000043169
η_4'	=	0.000000000000065
ξ'	=	1.101648172395089
η'	=	-0.044956329222279
β	=	1.099660165745797
l	=	-0.099140449258980
Q	=	1.427014567121504
Q'	=	1.432990217860975
Q'	=	1.432998459625033
Q'	=	1.432998470931802
Q'	=	1.432998470947313
Q'	=	1.432998470947335
iterointia		
tulos:	(maantieteelliset EUREF-FIN-koord.)	asteina
φ	= 1.102369021935 (rad)	= 63° 9' 39.93272''
λ	= 0.372098448779 (rad)	= 21° 19' 10.81444''