

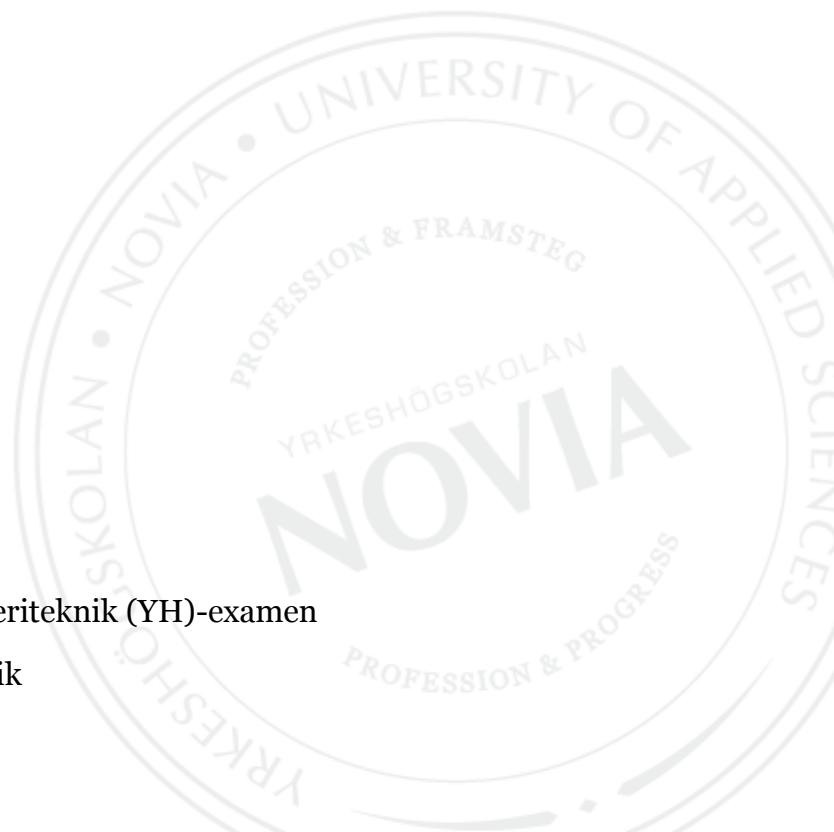
Dokumentering av utgångsläge samt preliminär plan för byte av höjdsystem i Jakobstad

Björn Jusslin

Examensarbete för lantmäteriteknik (YH)-examen

Utbildning i lantmäteriteknik

Vasa, 2015



EXAMENSARBETE

Författare: Björn Jusslin
Utbildning och ort: Lantmäteriteknik, Vasa
Handledare: Sem Timmerbacka
Uppdragsgivare: Sören Vikström

Titel: Dokumentering av utgångsläge samt preliminär plan för byte av höjdsystem i Jakobstad

16.3.2015 64 sidor

Abstrakt

Jakobstad vill övergå från sitt lokalt anpassade Normal Noll-höjdsystem till N2000-höjdsystemet. Ett förenhetligt plankoordinatsystem och höjdkoordinatsystem eftersträvas i vårt land, eftersom det är ett av många önskemål i INSPIRE direktivet och underlättar utbyte av information i sammanhanget. Lantmäteriverket och andra institutioner, mestadels statliga, har redan övergått till N2000-höjdsystemet. Det är därför tänkt att kommunerna i Finland skall följa samma linje. En del av teorin handlar om vad som redan har gjorts inom området för Jakobstads del. Två av grundproblemen ligger i att grannkommunerna har ett fåtal av höjdfixpunkterna N60-höjdsystemet på sina områden, samt att de yttre delarna av Jakobstad skulle behöva precisionsavvägas. Utredning av andra städers tillvägagångssätt vid bytet av höjdsystem från de nämnda höjdsystemen, NN till N2000, behandlas också.

Från början fick jag bara ett område bestående av sex stycken höjdfixpunkter i Skutnäs, men senare fick jag alla Jakobstads 613 stycken stompunkter i höjd. Teorin för projektet utreds i detta examensarbete. Riktlinjer för de huvudsakliga metoderna, som kan användas beskrivs. Examensarbetets praktiska del går ut på att visa olika tillvägagångssätt och föreslå vilka avvägningsslinjer som kunde mätas, även om de vid mätprocessen kan komma att se annorlunda ut.

De flesta av Normal Noll- höjdsystemets stompunkter i höjd och en del av existerande N2000 stompunkter i höjd används vid uppgörande av avvägningsslingor som grund för bytet av höjdsystem. Stompunkterna i höjd i höjdsystemet NN bör avvägas på nytt eller transformeras via beräkning för att få de ortometriska höjderna i N2000. Bakgrunden från Jakobstad kopplas ihop med teorin i slutprovet och har utmynnat i ett förslag till byte av höjdsystem.

Språk: svenska
Nyckelord: höjdmätningssätt, osäkerhet, avvägning, GNSS

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Björn Jusslin
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Maanmittaustekniikka, Vaasa
Ohjaajat:	Sem Timmerbacka
Tehtävänantaja:	Sören Vikström

Nimike: Lähtötilanteen dokumentointi sekä esisuunnitelma korkeusjärjestelmän vaihtamisesta Pietarsaaren kaupungissa

16.3.2015

64 sivua

Tiivistelmä

Pietarsaaren kaupunki haluaa siirtyä paikallisesti sovelletusta Normaalista Nolla-korkeusjärjestelmästä, valtakunnalliseen N2000-korkeusjärjestelmään. Yhtenäiseen tasokoordinaattijärjestelmään ja korkeusjärjestelmään on pyritty maassamme, koska se on yksi monista toivomuksista INSPIRE toimintaohjeessa ja helpottaa tietojen vaihtamista näissä tilanteissa. Maanmittauslaitos ja muut järjestöt, suurin osa valtakunnallisia, ovat jo siirtyneet käyttämään N2000- korkeusjärjestelmää. Tarkoituksena on että kunnat Suomessa seuraavat samaa linjaa. Osa teoriasta käsittelee mitä on jo tehty maanmittauksen alueella Pietarsaaren osalta. Kaksi perusongelmaa on, että naapurikunnilla on omilla alueellaan, pieni määrä N60-korkeusjärjestelmään kuuluvia korkeuskiintopisteistä, ja kaupungin reunaosat tarvitsevat korkeuskiintopisteitä. Muiden kaupunkien menettely korkeusjärjestelmän vaihtamisessa, on myös käsitelty.

Alussa sain ainoastaan kuusi kappaletta korkeuskiintopisteitä Skutnäsin kaupunginosasta, mutta myöhemmin olen saanut kaikki 613 kappaletta korkeuskiintopistettä. Korkeusjärjestelmien perusteet ja niitä koskevia ohjeita käsitellään tässä lopputyössä. Opinnäytetyön käytännön osassa osoitan eri menetelmiä, ja ehdotan vaaittavat linjat, vaikka ne mittausprosessin jälkeen voivatkin näyttää erilaiselta.

Useimpia Normaali Nolla-korkeusjärjestelmän korkeuskiintopisteistä ja osaa N2000-korkeusjärjestelmän pisteistä käytetään vaaituslinjoissa, korkeusjärjestelmän vaihdon perustana. NN-järjestelmän korkeuskiintopisteet tulee vaaita uudelleen, tai muuntaa laskennallisesti, jotta saadaan ortometriset korkeudet N2000-järjestelmässä. Pietarsaaren lähtötilanne yhdistettynä teoriaan, on johtanut ehdotukseen korkeusjärjestelmän vaihdon suorittamisesta.

Kieli: ruotsiksi

Avainsanat: korkeusmittausmetodeja, epätarkkuus, vaaitus, GNSS

BACHELOR'S THESIS

Author: Björn Jusslin
Degree Programme: Land Surveying
Supervisor: Sem Timmerbacka
Employer of subject: Sören Vikström

Title: Documentation of initial state and preliminary plan for height system change in Pietarsaari

16.3.2015 64 pages

Summary

Pietarsaari want to transform their locally adapted Normal Null-height system to N2000-height system. A unified plane coordinate system and height coordinate system are strived for in our country, since it's one of many wishes in the INSPIRE directive and makes exchange of information in this context easier. The National Land Survey and other institutions, mostly state, have already gone to N2000-height system. Therefore it is thought that the municipalities in Finland will follow the same line. A part of the theory is about what has already been done in the area of study for part of Pietarsaari. Two of the main issues lie in the fact that the neighboring municipalities have a few of the elevation markers in the N60-height system in their area, and that the suburban areas of Pietarsaari would need to be precision leveled. A survey of other city's approaches of height system change between the mentioned height systems, NN and N2000, are investigated as well.

From the beginning I only got an area consisting of six number of elevation markers in Skutnäs, but later I got all Pietarsaaris 613 number of elevation markers. The theory for the project is investigated in this Bachelor's thesis. Guidelines for the main methods, which can be used, are unraveled. The Bachelor's thesis practical part is meant to show the different tactics and suggest receivable leveling lines, even if these at the measurement process will look different.

Most of the Normal Null-height systems elevation markers and a part of the existing N2000 elevation markers are used at the creation of the levelling loops as the basis for the height system change. The elevation markers in the height system NN should be leveled again or transformed through calculation in order to get the orthometric heights in N2000. The background from Pietarsaari are bound together with the theory in the Bachelor's thesis and will result in a suggestion to height system change.

Language: swedish

Key words: height measurement method, uncertainty, leveling, GNSS

1. INLEDNING	1
2. BAKGRUND	2
3. SYFTET MED SLUTPROVET	3
4. BESTÄMMELSER OM HÖJDSTOMNÄT	4
4.1. EUROPEISKA BESTÄMMELSER OCH DIREKTIV	4
4.2. NATIONELLA HÖJDFIXNÄTS ANVISNINGAR	5
4.2.1. JUHTA	5
4.2.2. Övriga lagar, förordningar och anvisningar för höjdstomnät	10
5. GEOIDEN OCH GEOIDMODELLER	12
5.1. ELLIPSOIDEN	13
5.2. MARKYTAN ELLER JORDYTAN.....	14
5.3. GEOIDEN.....	14
5.3.1. Några geoidmodeller	15
6. DE FINSKA HÖJDSYSTEMEN OCH PRECISIONSAVVÄGNINGARNA	17
6.1. HÖJDSYSTEMET NN.....	17
6.2. HÖJDSYSTEMET N43	18
6.3. N60 HÖJDSYSTEMET.....	18
6.3.1. <i>Lapin Nolla</i>	19
6.4. EUROPEISK INPASSADE N2000 HÖJDSYSTEMET	19
7. HÖJDMÄTNINGSMETODER	20
7.1. AVVÄGNING	20
7.1.1 <i>Avvägning i Sverige</i>	21
7.1.2 <i>Avvägning i Finland</i>	23
7.1.3 <i>Återstående om avvägning</i>	26
7.2. TRIGONOMETRISK HÖJDMÄTNING.....	27
7.3. TRIGONOMETRISK AVVÄGNING	30
7.4. HÖJDMÄTNING MED GNSS.....	32
7.4.1. <i>Statisk höjdmätning med GNSS</i>	33
7.4.2. <i>Real Time Kinematic</i>	35
7.4.3. <i>Real tids Uppdaterad FRI Station RUFRI</i>	40
8. DET AKTUELLA HÖJDNÄTET I JAKOBSTAD	44
8.1. MÄTNINGARS PLANLÄGGNING	45
8.2. HÖJDMÄTNINGEN I JAKOBSTAD 1948-1949	45
8.2.1 <i>Precisionsavvägning</i>	45
9. ÖVERGÅNGEN TILL N2000-HÖJDSYSTEMET I ANDRA STÄDER	46
9.1. ULEÅBORG	46
9.2. LAHTI STAD	47
9.3. VASA STAD	48
9.3.1. <i>Allmänt</i>	48
9.3.2. <i>Uppbyggnad av höjdnätet</i>	50
9.3.3. <i>Avvägningen</i>	56
9.3.4. <i>Beräkningen av höjdnätet</i>	57
10. FÖRSLAG FÖR ÖVERGÅNGEN TILL NYTT HÖJDSYSTEM I JAKOBSTAD	58
11. AVSLUTNING	64
KÄLLFÖRTECKNING	65

1. Inledning

I dagens samhälle är vi alltmer beroende av nät, såsom elnät, vvs-nät, kabelnät och telefonnät. Ett led i att skydda dessa nät är att enklare kunna hålla reda på och kontrollera dem. Gemensamma plan- och höjdkoordinatsystem är ett sätt för att kunna upprätthålla insynen och kontrollen. Unisona koordinatsystem på lägre nivå passar ihop med de globala. De globala systemen gör att insynen och kontrollen blir lättare.

Positionering och navigering kan ske tack vare koordinatangivelser. Navigering baserar sig på satellitmätningar. En tredimensionell modell kan fås från ett flertal satellitbilder. Vi kan tänka oss att de geografiska koordinaterna latitud och longitud eller allmänt uttryckt breddgrader och längdgrader, kan ges som nordkoordinat och östkoordinat. (Lantmäteriet (LM), Kungliga tekniska högskolan (KTH), Lunds universitet (LU) och Högskolan i Gävle (HiG) och Kartografiska Sällskapet (KS), 2013, s.2 och s.5)

Ett världsomfattande, gemensamt koordinatsystem är systemgrunden för smidig användning av satellit positionering. Landsomspännande samarbete inom vetenskaps- och teknologiområden, framförallt användning av positioneringssystem för navigation, förutsätter en igenkännbarhetsfaktor hos ett gemensamt och universellt koordinatsystem. Nationella lägesdatainnehåll kommer att bli till gemensamma, globala plan- och höjdsystem. Landets lantmäteri- och kartläggningsbranschens organisering har noterat ett behov av en ömsesidig, global koordinatsammanställning i Europa. (JUHTA, JHS 153, 2008, s.1)

Koordinatsystemen i Europa bör vara gemensamma. (Poutanen, 2004, s.30)

2. Bakgrund

Genom geodetiska mätningar slås plantransformationen fast mellan Jakobstads egna koordinatsystem till ETRS Gauss Krüger 23: dje gradens zon, som är överensstämmande med statliga EUREF-FIN systemet. (Laamanen 2012, Euref mätningar för ledningar, s.2)

Plankoordinattransformationen från kartverkskoordinatsystemet, kks, till EUREF-FIN, har redan ägt rum. En del planfixpunkter låg i grannkommunen Nykarleby och där existerade förutsättningar för Helmert parametrar. Det är därför en lokal Helmert transformation valdes för övergången av planfixpunkterna. (Laamanen, Euref mätningar för ledningar, 2012, s.2)

Jakobstads äldre mätningar innehöll inga projektionskorrektioner och därför var en direkt plantransformation från före detta systemet till ETRS-GK 23 den bästa lösningen. (Laamanen 2012, Slutrapport, s.2)

GK står för Gauss Krüger, som är en liggande cylinder projektion. (Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta JUHTA 2008, Julkisen Hallinnon Suositukset JHS 154, s.4 Käytetyt lyhenteet)

Syftet med Jakobstads projektplan är uppnå ett tillräckligt noga och likformigt stomnät, i plan och, i höjd, för staden och andra parter. (Laamanen 2012, s.3)

Administrativt ligger det i Jakobstads ekonomiska intresse att övergå både från det lokala kks kartverkskoordinatsystemet till EUREF-FIN och från Normal Noll höjdsystemet till N2000 i samma veva. (Laamanen 2012, Staden Jakobstad- Projektplan för Euref-mätningar, s.9)

Ett fåtal höjdfixpunkter inom det nuvarande höjdsystemet N2000 är utfört inom helhetsmässigt önskad precision i Jakobstad. Det valda antalet stompunkter i höjd inom Jakobstad kontrollerades, i stora drag, med GPS. (Vikström & Tonberg, Diskussioner vid ett antal tillfällen under årets gång, 2014)

Höjdsystemet N2000 baserar sig på resultat från Finlands tredje precisionsavvägning. (Bilker-Koivula & Ollikainen, 2009, s.3)

N2000-höjdsystemet har tagit i beaktande europeiska European Vertical Reference System EVRS höjdsystemets bestämmelser och EU:s INSPIRE-direktivets krav. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, 2007, JHS 163, s.2)

EUREF-FIN plankoordinatsystemet är Finlands realisering av ETRS-89. European Terrestrial Reference System 1989 är hela namnet på systemet, som är tredimensionellt. N2000-höjdsystemet är p.g.a. detta både kopplat till ETRS-89 och till EVRS. EVRS realiseras genom EVRF, där F:et står för Frame, alltså ram. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2007, s.13 Lyhenteet ja s.1)

Det är egentligen via dessa gemensamma europeiska system EU kan framföra krav, som bl.a. går ut på att EU-länderna skall ha moderna tidsenliga höjdsystem. EU gör detta t.ex. genom INSPIRE direktivet.

INSPIRE betyder the INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe, som är EU:s direktiv för lägesbundet data. NAP är en förkortning på Normaal Amsterdams Peil och är en startpunkt för många europeiska höjdsystem, framförallt västeuropeiska. Den baserar sig på det genomsnittliga tidvattnets högsta nivå vid översvämningar år 1684. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2007, s.14)

INSPIRE arbetsgruppen har angett att i Finland skall de landsomfattande plankoordinat- och höjdsystemen upprätthållas av Geodetiska Institutet och Lantmäteriverket. INSPIRE direktivets skribenter och utformare uppmanar vårt lands kommuner att använda samma koordinatsystem över hela landet. (INSPIRE Arbetsgruppen 2008, s.13-14)

Ett höjdsystem innehåller ett höjddatum och detta gör att en stompunkt i höjd fastställs entydigt. Höjdsystem består av en definierad nollnivå, i de flesta fall en referensyta, och syns via höjdstompunkter uppmätta i terrängen. Höjder och villkoren för höjderna i terrängen förändras på grund av landhöjningen, som uppstod efter den senaste istiden. Finland bör därför med vissa intervaller byta höjdsystem. (INSPIRE Arbetsgruppen, 2008, s.14)

Ett geodetiskt datums koordinat- och/eller höjdsystemet är kopplat till ett referenssystem, som är olika på olika nivå. Nivåerna kan t.ex. vara lokal, nationell, skandinavisk, nordisk eller global. Referenssystemets plats och riktning definieras härigenom eller jordklotets läge till ett, rätvinkligt treymds, koordinatsystem. (Lantmäteriverket i Finland, u.å.)

Ett höjdsystem består av höjddatum, som anger en punkts höjd exakt eller i varje fall entydigt. Höjdsystemet har en referensyta eller nollnivå och genomförs med hjälp av inmätta höjdfixpunkter i terrängen. (INSPIRE Arbetsgruppen, 2008, s.14)

3. Syftet med slutprovet

Syftet är att reda ut bestämmelserna för, framförallt de kommunala, höjdstomnäten. Alternativ och metoder för byte av höjdsystem presenteras. Teorierna bakom dessa reds ut och principerna för de väsentligaste metoderna visas. En del av teorin utgår från det som Jakobstad redan har gjort. Valda stompunkter i höjd som underlag för uppgörandet av avvägningsslingor, samt valmöjligheterna för avvägningsslingorna uppvisas.

De andra städer, som gjort samma höjdsystemsbyte har, på ett eller annat sätt fått lov att ta del av de gemensamma europeiska höjd- och plankoordinatsystem. Bakgrundsfakta och andra städers sätt att lösa problem vid byte av höjdsystem från NN till N2000 är viktigt, eftersom de gjort eller håller på att göra samma höjdsystemsbyte, som Jakobstad. Ett par städers sätt att lösa övergången mellan nämnda höjdsystem kommer senare i detta slutprov.

4. Bestämmelser om höjdstomnät

De bestämmelser, som främst berör höjdstomnät i Finland är de europeiska bestämmelserna och direktiven, samt de nationella lagarna, förordningarna och anvisningarna.

Ett höjdstomnät är i stort sett detsamma som ett höjdfixnät, eftersom en höjdfix eller höjdfixpunkt är en stompunkt i höjddled. (Lantmäteriverket i Sverige, HMK Detaljmätning, 1996, s.4)

Nödvändiga punktbeskrivningar över stompunkter i plan- och höjd behövs, som förberedande åtgärd för tillämpad inmätning. Inventering av fixpunkterna i horisontell och vertikal riktning behövs ute på fältet. Detta ger en uppfattning om dessa punkters skick och en kontroll på att markeringarna inte blivit slitna eller t.o.m. förstörda. (Lantmäteriverket i Sverige, HMK Detaljmätning, 1996, s.55)

Precis som tomt- och lägenhetsrämärken kan även stompunkter i plan och höjd förstöras t.ex. av byggnadsverksamhet eller utsträckning av väg.

Landhöjningen gör att höjdsystem med tiden omformas och därför behöver de ändras efter en tid. Olika kommuner har varierande villkor för mät- och kartverksamhet. (Jonsson & Engberg, 2000, s.30 och s.17)

Kommunernas storlek, pengar och mättekniska historia påverkar befintlig kart- och mätverksamhet både inom kommunens område och i närliggande kommuner. Kommuner använder fortfarande provinsiala koordinatsystem, men likaså finns regionbundna och nationella system. Flera olika koordinatsystem används ibland och kvantiteten existerande lokala koordinatsystem är ansenligt. Koordinattillgången och; – system både i plan och höjd i regionala och inom landet är allmänt viktigt för ett ökat utbyte av geografisk information och för GIS entrén i kommunerna. Satellitpositionerings- och mättningsverksamheter inom orterna tilltar och blir nödvändigare i framtiden. De flesta tycker att dagens stomnät har en tillräcklig precision för mätning med satellitteknologi. Resultaten från enkätundersökningar i Sverige år 1999 visar att en ovisshet om de lokala koordinatsystemens noggrannhet existerar. Enkätundersökningen gjordes i 83 stycken kommuner och som en del av examensarbetet vid KTH i Stockholm, ”*Jämförelse av olika metoder att föra över kartdetaljer till ett nytt koordinatsystem*(LMV-rapport 2000:4)” Enkätens resultat presenterades i denna rapport från Lantmäteriverket i Sverige. (Jonsson & Engberg, 2000, s.17)

4.1. Europeiska bestämmelser och direktiv

INSPIRE direktivet visar EU:s makt genom att bl.a. juridiskt binda medlemsstaterna att följa direktivet. Direktivet utkom år 2007 och syftar att etablera infrastruktur för rumslig information i Europa till förmån för den europeiska gemenskapens naturregler och regler eller aktiviteter, som kan påverka omgivningen. Alla EU-länder använder sig av reglerna i direktivet inom olika områden, såsom metadata, data specifikationer, nätverks underhåll, data- och underhållsutdelning, samt styrning och rapportering. INSPIRE direktivet visar att Finlands gemensamma höjdsystem N2000 färdigställdes år 2007.(Maa- ja metsätalousministeriö, 2010; European commission, 2007; INSPIRE Arbetsgruppen, 2008, s.14)

Höjder i atmosfären ges som den internationella standardatmosfären, som följer ISO 2533:1 975. Denna standard ger sex olika höjder, hälften bestämmer hur internationella standard atmosfären, ISA, beräknas och de andra tre hur användningen av ISA tabeller sker. De tre tillhörande den första kategorin är absolut, geometrisk och geopotentiell höjd och de tre andra är tryck-, temperatur- och densitetshöjd. (Förordning om interoperabilitet nr 1089/2010, s.23; Palo, P & V Konsult HB, Standardatmosfären, u.d.)

PSI direktivet från EU behandlar hur information får spridas, inklusive höjduppgifter. Höjduppgifterna ingår i den geografiska informationen. (The European Parliament and The Council of The European Union 2003, n.d., page 90)

Sedan 2003 har dock en del ändrat fram till utformningen av 2013 års PSI direktiv, Public Sector Information Directive, som ungefär kan översättas till Direktivet för den offentliga sektorn. Femte stycket har en s.k. EEA relevans, d.v.s. European Economic Area relevans. EEA är ett frihandelsavtal, där varor, människor, tjänster och pengar skall kunna cirkulera fritt inom Europa, men även på andra platser. EFTA Surveillance är auktoritet för kontrollen av att reglerna för detta frihandelsavtal följs. EFTA står för European Free Trade Association. Femte stycket i PSI direktivet visar att nya typer av data genereras och samlas. Det här, bl.a., gäller för data inom EU; ” In parallel, we are witnessing a continuous evolution in technologies for analysis, exploitation and processing of data. This rapid technological evolution makes it possible to create new services and new applications, which are built upon the use, aggregation or combination of data.” (The European Parliament and the Council of the European Union 2013, p.1; EFTA Surveillance Authority, EEA, n.d.; European Free Trade Organisation 2014, Disclaimer and Privacy policy concerning Standardisation)

4.2. Nationella höjdfixnäts anvisningar

De flesta av de nationella grundreglerna för höjdstomnät tas till stora delar upp i JHS, men även en del i lagar, förordningar, plus övriga av landets anvisningar för höjdfixnät och Geodetiska Institutets utgåva 29, Suomen Geoidimallit ja niiden käyttöäminen korkeuden muunnoksissa och utgåva 30, Suomen Geodeettiset koordinatit ja niiden väliet muunnokset.

4.2.1. JUHTA

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta har JHS Julkisen Hallinnon Suositukset, som betyder ungefär ”Den offentliga förvaltningens rekommendationer”. Dessa följs inom olika områden i Finland.

En transformation mellan kks och EUREF-FIN kan göras som en endimensionell transformation i höjd mellan NN och N2000 höjdsystemen, tvådimensionell plankoordinat omvandling, eller tredimensionellt i rymden. (JUHTA- Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 154, 2008, s.3)

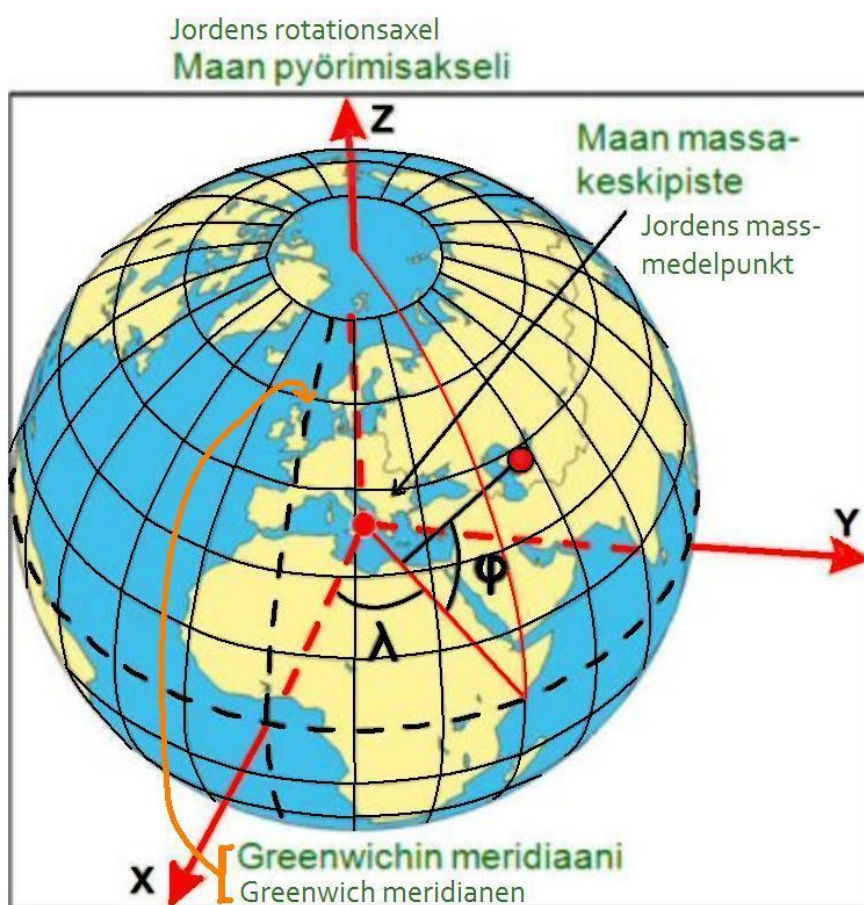
De nuvarande höjdsystemen i Finland är bundna till gravitationen. Höjdsystemet inom en kommun bör bytas inom en viss tid, eftersom landhöjningen äger rum och höjdförhållanden ändras med tiden. (JUHTA 2007, JHS 163, s.1)

Finland strävar till att använda höjdsystemet N2000 i hela landet. Detta höjdsystem rekommenderas bl.a. att användas i statliga kartverks- och positioneringstjänster. (JUHTA 2007, s.2)

EVRS är bundet till gravitationen, som i Finland kan räknas som $9,82 \text{ m/s}^2$. (JUHTA 2007, JHS 163, s.2; Kolehmainen 2012 ja 2013, gravitaatiovakiota)

EU kommissionens förordning nummer 1089/2010 gällande interoperabilitet anger att EVRS skall användas vid höjder relaterade till tyngdkraften på det område, som det täcker till ytan. Dessutom skall andra referenssystem i höjd bindas till tyngdkraftsfältet, sålunda tyngdkraftsrelaterade höjder, som är utanför EVRS området. Höjder i atmosfären ges som den internationella standardatmosfären, som följer ISO 2533:1 975, vilket tidigare omnämndes. (Förordning om interoperabilitet nr 1089/2010, s.23)

EU:s INSPIRE direktiv har önskemål om nya uppdaterade höjdsystem. (JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 163, 2007, s.1)



Bilden visar principen för ett rätvinkligt tredimensionellt koordinatsystem.

Figur 1; En kort beskrivning finns i ovan given bildtext. Vinkeln λ , anges i grader, minuter och sekunder och är vinkeln mellan Greenwich meridianen och angiven punkts meridian. Greenwich nollmeridianen anges via orangea pilen till dess, på bilden, streckade läge. Vinkeln ϕ , går från ekvatorialplanet till given punkts breddgrad, latitud. (Lantmäteriverket i Finland, Originalbild från Lantmäteriverket, u.å.)

En meridian eller en längdgrad har ett visst antal grader per zon och över hela jordklotet blir modellen ett sätt att ange koordinater, då i form av latitud och longitud. Antalet grader

för en zon kan variera, beroende på hur modellen är uppbyggd. Graderna till en definierad punkt på jordklotet fås som jordens massmedelpunkts vinkel mellan medelmeridianen och den givna punkten, för då går det att göra en meridian genom denna punkt. En lämplig longitud väljs då, som medelmeridian över det geografiska området och kan på så sätt bindas till ett referenssystem. Antalet grader på denna vinkel anger då den longitud eller längdgrad som punkten får. Hälften av meridianerna kommer att finnas öster och resten väster om nollmeridianen, som i de flesta fall är Greenwich nollmeridian. Longitud betecknas med grekiska bokstaven lambda, alltså λ . (Geodz 2010; Lantmäteriverket i Finland, u.d.)

EVRS nollnivån bestäms enligt International Association of Geodesy, IAG:s slutsats. Organisationen hette från början "Mitteleuropäische Gradmessung" och grundades av tysken Johann Jakob Baeyer, som år 1861 överlämnar sin modell av jordklotet till det kungliga Preussiska krigsministeriet. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 163, 2007, s.2; International Association of Geodesy, u.d.; Kansy, et al. 2004, Seite 40)

När Baeyer dog 1885 och W. Foerster tog över som president för organisationen under hösten 1886 vid organisationsmötet i Berlin gavs organisationen namnet "der Internationalen Erdmessung". 1919 bildas slutligen organisationerna "Die Internationale Assoziation für Geodäsie, IAG und der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik, IUGG". Båda dessa organisationer har sitt ursprung i "Internationalen Erdmessung". IAG vill utveckla geodesin, medan IUGG utvecklar, påvisar, och ger vidare information om jordglobens system, dess atmosfär och de dynamiska processer, som påvekar den. (Kansy, et al. 2004, Seite 41 und 43; International Association of Geodesy, n.d.; The International Union of Geodesy and Geophysics, n.d.)

Normaal Amsterdaams Peil:s nollpunkt betecknas c_{NAP} och är lika med 0, eftersom globala nollnivån går genom punkten. N2000 höjdsystemet kommer från NAP, genom att EVRF grundstorheterna överensstämmer med N2000 höjdsystemets grundstorheter. Realisationen av EVRS, d.v.s. EVRF eller European Vertical Reference Frame har sin nollpunkt i NAP. EVRS geoidmodellen är global och NAP är 11 centimeter lägre än denna geoidmodell. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 163, 2007, s.2 ja 4-5)

Rösen omnämns i ett statligt avtal från 1946 mellan Finland och Sovjetunionen. Råmärken skall här vara mätta med trigonometrisk höjdmätning baserade på Finlands trianguleringspunkters höjder och ha cirka en meters noggrannhet. Detta kan betyda att rösen anges, tredimensionellt med x,y och z koordinater, eller med x,y och en skild höjd, varav det sistnämnda är noggrannare sätt att ange speciellt på längre sträckor p.g.a. jordkrökning och refraktion. (SNT-Liitto ja Suomi, valtiosopimus 5/1946, osa 4)

Rösenas plats bestäms i de flesta fall genom mätningar med takymeter eller GNSS RTK mätning. Andra mätningsmetoder kan användas, så länge de givna precisionskraven uppnås. (JUHTA 2014, JHS 185, s.9)

Det är möjligt att i positioneringssystemet hos detaljplanens grundkarta foga samman information för sökta höjd data inom ramen för planläggningen. De inmätta höjderna, där höjdkurvor och höjdvärden inte beaktas, kan i normala fall inte visas på baskartan. Styr insamling och hantering av inmätta objekt behöver dock utföras. Objektens lokalisering och höjder på markytan tolkas med en tillräcklig punkttäthet för jämförelsen med precisionen hos kartan. Byggnaders position i plan inmäts längs vägglinjen. Avbildade

höjdkurvor av jordytans höjder på området är höjdkurvor av samma grad. (JUHTA, JHS 185, 2014, s.5)

Fixpunkter kräver olika utformning beroende på vilken typ, som skall visas i verkligheten. Det gemensamma för dem är att de skall vara bestående, orörda och stabila. En planfixpunkt märks ut med metallrör, metallstång eller metallbult. Höjdfixpunkter i terrängen är skruvade bultar. En kombinerad plan- och höjdfixpunkt har en skruvad bult, med ett godtagbart märke i centrum. Alla fixpunkter skall ha nödvändig punktinformation. För höjdfixpunkter i klass ett och två mätta för detaljplan skall inmätningen ske via avvägning, för att få en tillräcklig noggrannhet. (JUHTA, JHS 185, s.8)



Figur 2; Höjdfixpunkt på en klippa i hamnen i, på rätoromanska Genevra och på franska Genève, i Schweiz. En avvägning är på gång. (Swisstopo, Einen Hohenfixpunkt im Genf, o.d.; Firmendb , verschiedene Namen auf Genf, 2007-2014)

Det bör vara så tätt med höjdfixpunkter, att det är lätt att införa på byggnadsarbetsplatserna med de krav, som omnämns härnäst. Avståndet mellan två höjdfixpunkter, gäller åt alla håll, får inte överstiga en kilometer. Höjdfixpunkternas relativa noggrannhet skall vara bättre än 5 ppm, five parts per million, d.v.s. 5 millimeter per kilometer. (JUHTA 2014, JHS 185, s.8)

För avvägning av höjdfixpunkter gäller att lokala höjdfixpunkter fås i ett nationellt höjdsystem genom avvägning av ett specificerat antal statliga höjdfixpunkter, som är i klasserna 1-3. Arealmässigt större områden kan mätas med ett höjdfixnät av högre klass, när utgångspunkterna skall vara minst av andra klass. (JUHTA- Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 185-Liite 1, 2014)

Mätningssklass 3:s höjdfixar kan basera sig på planfixpunkter, där höjderna bestäms genom höjdtågsavvägning, trigonometrisk höjdtågsmätning eller satellitmätning, såsom GNSS. (JUHTA 2014, JHS 185, s.8)

Dessa metoder tas upp senare i examensarbetet.

Standardavvägningar skall genomföras med precisionsavvägningssinstrument och invarlatta. Avvägningen av höjdtåget skall göras genom horisontering av avvägningssinstrumentet eller med hjälp av ett självhorisonterande avvägningssinstrument. (JUHTA 2014, JHS 185- Liite 1 Korkeuskiintopisteiden vaaitseminen)

De organisationer som har hand om geodetiska mätningssinstrument skall ha utrustning för kontrollering av dessa. Dessa apparater kan vara bänk för justering av optiska lodet, kalibreringsfundament för t.ex. nollpunktsfel och cykliska fel hos Elektroniska Distans Mätare EDM-instrument, grund för kontrollmätning av avvägningssinstrumentets kollimationsfel, bas för etalonering av måttband och kollimator för granskning och rättelse av alla sorters kollimationsfel. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.109-110)

Dagens elektroniska instrument möjliggör elimination av instrumentfel matematiskt, så även av kollimationsfelet. Det förutsätter att instrumenten är kalibrerade. Enskilda instrumenttillverkare har egna sätt att hantera felen och instrumentmakarens handbok bör följas. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.110)

De två främsta typerna av kollimationsfel är det plana kollimationsfelet och kollimationsfelet i höjd. Det sistnämnda kallas även för indexfel. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.111)

Avvägningar kan utföras som slutna slinga, d.v.s. börja och sluta i samma punkt, istället för en långa mätningar i höjddled som kallas höjdtåg. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Stommätning, s.13)

Dubbelavvägning innebär fram och tillbaka avvägning mellan de punkter, som avvägs. (Jureskog, 2002, reviderad av Ulf Brising 2008, s.11)

Byggnaders plats bestäms på basen av byggnadslovshandlingars huvudritningar. Den lägsta krävda kartnoggrannheten är den som fås från byggnadens egen mätklass, samt att byggnadsinspektionen meddelar det väsentligaste. Det mest betydande är byggnadsobjektets placering. Höjderna på objekt inom arbetsplatsen fås genom mätning, först mot en känd punkt, sedan mot en annan känd punkt i höjdfixtåget, eftersom en avvägning bör ske till minst två kända utgångspunkter. Slutningsfelet i slingan får högst uppnå;

$10 \text{ mm} * L^{1/2}$, där L är höjdfixtågets längd angivet i kilometer. Om längden är mindre än 0,5 km anges ett standardvärde på 7 mm. (JUHTA 2014, s.9)

Kriterierna för godkännande av avvägningens beräkningar och standardosäkerhet är som följer. Avvägningsnätet utjämnas genom utjämnning av knutpunkter eller felekvationsutjämnning, exempelvis med hjälp av minsta kvadratmetoden. Avvägning av höjdtåg kan ske genom enskilda avvägningslinjer. Den högsta klassens avvägningars observationers beräknade km-standardosäkerhet får inte vara mer än 3 mm/km, alltså 3 ppm. (JUHTA, JHS 185- Liite 1, 2014)

Osäkerheten hos en höjdfixpunkt kan bestämmas genom:

$$\sigma_{\text{Höjd}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [(H_{\text{mä}} - H)^2]}$$

där,

H är den teoretiska medelhöjden

$H_{\text{mä}}$ är en inmätt höjd

Figur 3; Verk skapat från plankoordinatformler. Höjdens osäkerhet har symbolen, sigma σ , nersänkt i ”höjd”. (JUHTA, JHS 185 Liite 4, Pistekeskivirhekaava, 2014, s.2)

Alla råmärken i naturen skall kunna identifieras utan problem och motsvara mätklassens noggrannhet på kartan. Rösen, vars tidigare karteringsprecision, RSK-talet, inte är tillräcklig, skall kartläggas på nytt. (JUHTA 2014, JHS 185- Liite 4 Kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset, s.3)

Passande Real Time Kinematic, RTK-mätning och nätverks-RTK-mätning utrustning bör användas vid användningen av denna metod för mätning av råmärken. Hur väl mätningen lyckas beror på markytan, topografin, satellitgeometrin och andra faktorer. Noggrannare instrument, såsom takymeter, bör användas vid svåra förhållanden. (Lantmäteriverket i Finland 2011, s.6)

Minst 5 % av råmärkena skall mätas två gånger, antingen från en skilt uppgjord basstationspunkt eller med början i samma basstation eller genom nätverks-RTK-metoden, då satellitgeometrin förändras tillräckligt, för att kunna kontrollera mätningarnas riktighet. Initialiseringen av periodobekanta kan behöva göras på nytt vid N-RTK. De råmärken som nymäts bör vara jämnt distribuerade över hela mätningområdet. (Lantmäteriverket i Finland 2011, s.6)

Vid RTK-mätning och nätverks-RTK-mätning är följande råd goda att ha i bakhuvudet. FIX-lösningar, som vanligtvis är mellan 2 och 4 cm, är de enda typer av lösningar som accepteras vid RTK och NRTK mätningar och alla FLOAT lösningar, d.v.s. över cirka fyra centimeters fel kan inte användas eller sparas för framtiden. Cirka används bara, eftersom gränsen mellan FIX och FLOAT lösning kan ställas in för givna krav, i mätninginstrumentet. (Lantmäteriverket i Finland 2011, s.6 och s.3)

Vid beräkning av observationer kan efterberäkning tillämpas, exempelvis om en god lösning, FIX lösning, inte lyckades. Satellitgeometrin måste vara god, för att få ett tillförlitligt resultat och mätningen bör ske mot minst 6-7 stycken satelliter. Särskild akt skall ges på att undvika reflektion från flera objekt eller m.a.o. satellitsignalen anländer inte direkt till antennen utan reflekteras från något objekt. Detta är viktigare vid byggnader, träd, vatten osv. (Lantmäteriverket i Finland 2011, s.6)

JHS 185 ersätter en del av informationen i Anvisningar för planläggningsmätning från år 2003. (Maanmittauslaitos, JHS 185 korvaa Kaavoitusmittausohjeet 2003 seminaari)

4.2.2. Övriga lagar, förordningar och anvisningar för höjdstomnät

Det visades i och för sig en hel del andra källor även i ”JUHTA” delen, men det var förklaringar till sådant, som kom fram i just JUHTA rekommendationerna. Till följande kommer dock lagar, förordningar och övriga anvisningar för höjdfixnät att tas upp.

Lagen om en infrastruktur för geografisk information tar i andra kap. 3§ 1 mom. upp bestämmelserna som tillämpas på offentliga geografiska datamängder som innehas av myndigheter. Höjd och höjdsystem, samtidigt som annat för detta examensarbete viktigt omnämns i korthet; referenskoordinatsystem och höjdsystem, administrativa enheter, fastigheter, trafiknät, hydrografi och skyddade områden, samt höjd, landtäcke, ortofoto, men även byggnader, mark, markanvändning, allmännyttiga och offentliga tjänster, nätverk och anläggningar för miljöövervakning, produktions- och industrianläggningar, jordbruks- och vattenbruksanläggningar, naturliga riskområden, atmosfäriska förhållanden, geografiska meteorologiska förhållanden, geografiska oceanografiska förhållanden, havsområden och sist men inte minst biogeografiska regioner. (Finlex, Lag om en infrastruktur för geografisk information 421/2009- 3§ Geografiska datamängder som omfattas av lagen 1 mom.)

I tillämpliga delar tas höjd och höjdsystem även upp i Fastighetsbildningslagen och Markanvändnings- och bygglagen. Allt om höjder i Föreskrift om mätningarnas noggrannhet och råmärken vid fastighetsförrättning har behandlats så långt som behövt. (Finlex, Fastighetsbildningslagen 12.4.1995/554; Finlex, Markanvändnings- och bygglagen 5.2.1999/132)

Jord- och skogsbruksministeriet föreslog år 2009 en förordning inför den verkställande makten i Finland. Den behandlade infrastruktur för geografisk information. Förordningen innehåller höjdsystem, höjddata och höjdrelationer hos finska Lantmäteriverkets datamängder. (Statsrådet i Finland, Förordning 725/2009)

Täktområdet och platsen för täkten, såsom malmbrytning, skall markeras i terrängen. Terrängmärken skall vara stabila och placerade på rätt sätt, så att de hålls kvar under verksamhetsperioden. För enklare kontroll av täkten skall höjdfixpunkter och nivåer märkas ut i täktområdet. Tillsynsmyndigheterna i ärendet är den kommunala tillsynsmyndigheten, de regionala miljöcentralerna och miljöministeriet. Arbeten på ett täktområde inom kommunens gränser har den kommunala tillsynsmyndigheten, som övervakande myndighet. (Miljöministeriet, 2009, s.32 och s.45)

Miljöcentralerna har inte bindande makt att besluta i uppdrag, som angår kommunen. De bestämmer över alla andra täktområden. Miljöministeriet kontrollerar täktområden enligt Marktäktlagen 24.7.1981/555. Vid första tillsynsinspektionen av täktverksamhetsområden kontrolleras bl.a., markeringar av täkt- och utgrävningsområdet på området. I fortsättningen bör man också kontrollera det reella grävdjupet och mätningresultaten, nivåmärken och fluktkäppar. Detta bör regelbundet kontrolleras av kommunen via precisionsavvägningar och mätningar i fält. (Miljöministeriet, 2009, s.45-46)



Figur 4; Avvägning av gräv djupet vid täktområde. (Miljöministeriet, Bild från täktområde, 2009, s.46)

Plankartor bör vara klara och tydliga. En stor mängd information kräver ett större antal plankartor. Täktområdets storlek ger den skala, som passar bäst. En översiktskarta är, i skalan 1:200 000–1:100 000. Nästa plankarta är en grundkarta mellan skalorna 1:20 000–1:10 000, där planområdesgränserna, täktområdet och platsen för täkt, registernummer och gränserna hos fastigheterna, samt de fastigheter som har en gräns till det planerade området ges. Grundkartan skall ha en karta med nuvarande planbestämmelser. (Miljöministeriet, Hållbar marktäkt, 2009, bilaga 3 s.4)

Detaljerade plankartor i skala 1:5 000–1:500 beskriver det aktuella samläget hos täktområdet och den slutliga positionen efter täkt verksamheten. Instruktionen torde kompletteras via områdes mätningar, flygbilder och visuella datautskrift. Kartan skall inkludera ett territorium som sträcker sig åtminstone 50 meter utanför täktområdet och därutöver skall kartan visa alla ställen som störs av täktverksamheten inom 300 meters radie från täktområdets gränser. (Miljöministeriet, Hållbar marktäkt, 2009, bilaga 3 s.4)

Sektionsritningarna anges i lämplig skala. Skalan i plan får vara 1:500–1:5 000 och höjdskalet 1:200–1:500. Delritningarna bör till så långt som möjligt visa den rådande marknivån i täktområdet, samt den slutliga terrängnivån och framlägga utformningsåtgärd och annan kvarskötsel. (Miljöministeriet, Hållbar marktäkt, 2009, bilaga 3 s.4)

5. Geoiden och geoidmodeller

För att förklara höjdsystem bör förklaringar på ett geodetiskt datum genomgå. Ett geodetiskt datum är ett parameterbaserat system, som ansluter koordinatsystemet och beskriver förhållandet till jorden hos ett koordinatsystem, i plan och/eller höjd, till lämpliga globala system och därför bildar detta referenssystem. Ett geodetiskt datum kan ange en referensellipsoids placering och orientering. (Lantmäteriverket i Finland, u.d.)

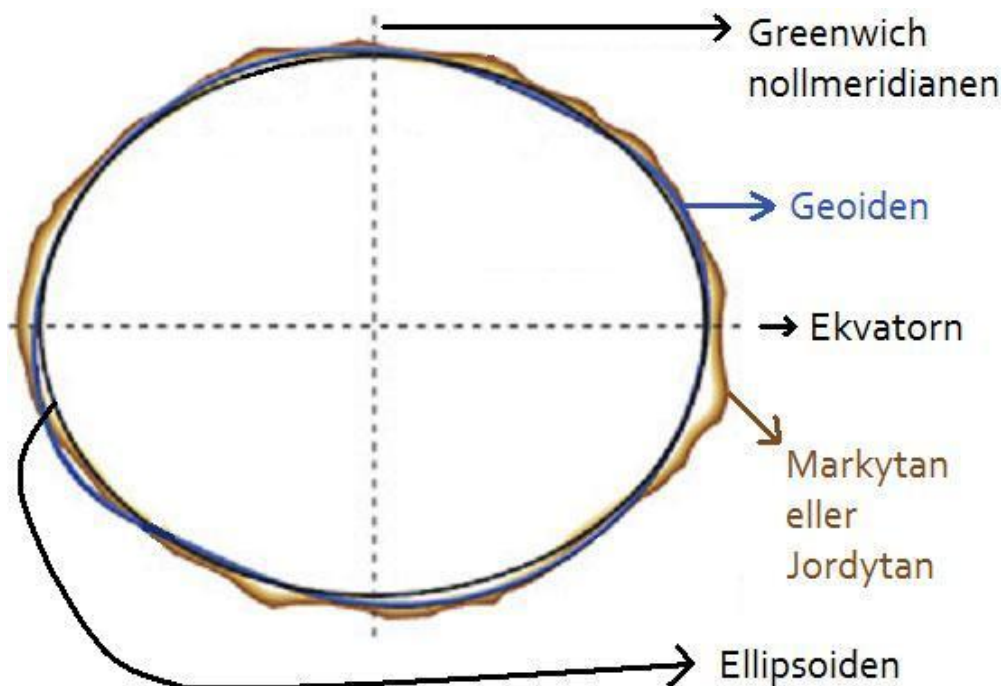
Geodetiska datumet kan också bara visa ett tredimensionellt eller ett 2D + 1D, som har två plandimensioner och en skild höjd från given geoid i form av geoidmodell eller ellipsoid, koordinatsystem i relation till Tellus. Dessa höjder beskrivs i detta kapitel, främst i figur 5 och 6.

Ett horisontalt geodetiskt datum eller plankoordinatsystems geodetiska datum anger referensytan och koordinatsystemets nollnivåer eller axlar för att visa horisontala koordinater i ett geodetiskt koordinatsystem. Ett geodetiskt höjddatum är höjdsystemets referensyta eller nollnivå i förhållande till vilken punkternas höjder uttrycks och hur de

förhåller sig till markytan. Höjddatum har så gott som alltid en geoidyta som referensyta. (Geomatikk sektionen i Norge 2009, horisontale och vertikal geodetisk datum eller geodetisk höjddatum)

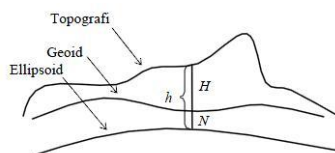
5.1. Ellipsoiden

De teoretiska ellipsoiderna är ellipsformade d.v.s. tillplattade vid polerna och uppgjorda i abstraktare form för att underlätta beräkningar längs dem och referering till dem. (Mårtensson 2012, s.16)



Figur 5; Bilden är främst tänkt att framhäva ellipsoiden, men visar även förhållandet till de övriga ytorna. (The National Academies Press 2009, Original picture from Kevin McMaster, used without permission due to radical changes)

Höjden över referensellipsoiden är en höjd från ellipsoidytan till markytan. När ellipsoiderna är tillplattade vid polerna, bildas en kortare och en längre axel från jordens massmedelpunkt eller, enklare förklarad, från jordens mittpunkt som ligger innanför magmalagret. Den kortare axeln kallas halva lillaxeln och den längre axeln för halva storaxeln. De brukar betecknas a och b . Hela lillaxeln går mellan norr och söder och storaxeln mellan väster och öster. (Mårtensson 2012, s.16; Aarnio, u.d.)



Förhållandet mellan topografi, geoid och ellipsoid.

Figur 6; Teoretisk definierade ytorna och markytan, vars höjder kan anges som topografi. Detta avspeglar läget på land, eftersom Middle Water, MW, höjdsystem används på havet och utgår från andra faktorer. (Mårtensson 2012, Figur 2.3.; Meteorologiska Institutet i Finland, u.d.)

5.2. Markytan eller jordytan

Markytans former kan i höjdsammanhang kallas för topografi. Vårt land och Norge använder sig av namnet ortometrisk höjd, medan svenskarna brukar namnet normalhöjd. Höjden över ellipsoiden anges till markytan eller jordytan, som alltså då blir en ellipsoidhöjd. Detta framgår ur figur 6, där h är ellipsoidhöjden. Höjden mellan geoiden och markytan är den ortometriska höjden, H i figur 6, medan en normalhöjd är baserad på en kvasigeoid. (Mårtensson 2012, s.15)

5.3. Geoiden

Teoretiskt sätt är en geoid medelvattenståndet och dess fortsättning in i berggrunden, i vilken den följer markytans former. Gravitationen är konstant hos en geoid och därför är den en ekvipotentialyta. De höjder det talas om inom geodesin och vid geodetiska beräkningar är höjd över ellipsoiden, geoidhöjden och ortometrisk höjd. Formeln, som delvis beskriver dessa höjder är $H=h-N$. Det här innebär detta att geoidhöjden fås som den ortometriska höjden subtraherat från höjden över referensellipsoiden. (Mårtensson 2012, s.14; Dencker, Quasigeoidmodelle, o.d.)

Höjder över havet är det, som inom geodesin kallas för meter över geoiden. En geoid är vattentytan, men även dess fortsättning in i jordytan, där den följer jordytans former och bildar på så vis en teoretisk referensyta för ett specifikt område. (Mårtensson 2012, s.15)

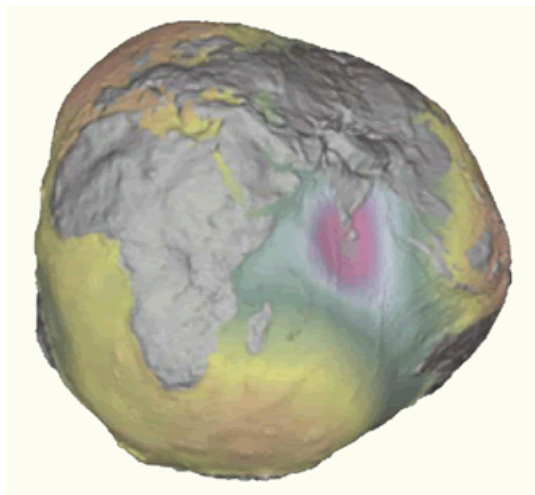
Geoiden är en geopotentiellt likvärdig yta, efter vilken den fria medelvattentytan följer. (JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 163, 2007, s.1)

En kvasigeoid är ingen ekvipotentiell yta och detta innebär att tyngdkraften inte är konstant. (Physics Handbook, Equipotential surface, n.d.)

Kvasigeoider är referensytor i höjd. Skillnaden mellan geoid och kvasigeoid ligger i topografin och olikheterna hos gravitationen. På haven är skillnaden mellan geoid och kvasigeoid väldigt liten, men i europeiska berg och bergskedjor kan den vara upp till 2 meter. Kvasigeoidernas inverkan måste också vid lokala GNSS mätningar beaktas, då kvasigeoidhöjdernas gradienter överstiger flera centimeter per kilometer. (Dencker, Quasigeoidmodelle, o.d.)

En gradient är i detta fall lutningar eller förändringar. (WordPress & Atahualpa 2014, Gradient)

Det finns bara en geoid, men många geoidmodeller. (Mårtensson 2012, s.15)



Figur 7; En överdriven geoidmodell, för att visa höjdskillnaderna. (Kartoweb, n.d.)

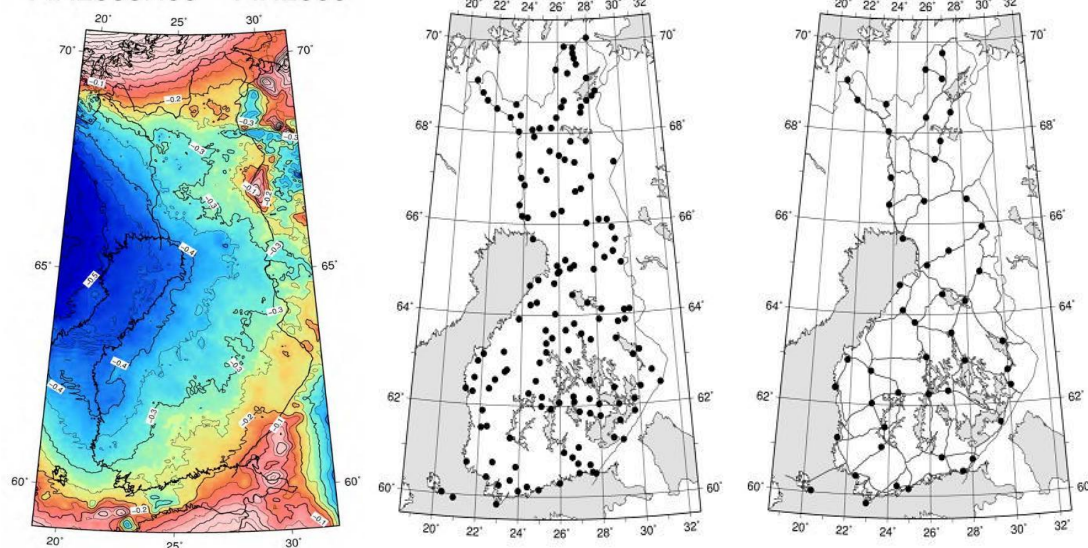
Geoidmodeller följer jordklotets struktur. Geoiden är en ekvipotentialyta och motsvarar en stilla havsyta medelnivå. Geoiden är en imaginär fortsättning av havets medelnivå på fastlandet. Variationer i vattnets gradtal, salthalt, lufttryck, befintliga vindar och havsströmmar gör att havsyta medelnivå skiljer sig från geoiden i praktiken. Geoidens yta är ojämn, eftersom jordens materia är oregelbundet fördelat i jordens inre delar. Jordklotet är tillplattat vid polerna. Högst ca 100 meters avvikelser från jordens massmedelpunkt finns. (Lantmäteriverket i Finland, u.d.)

5.3.1. Några geoidmodeller

FIN2000 geoidmodellen är föregångaren till FIN2005 och den använder sig av rejält många fler GPS mätta punkter än vad som görs vid utformningen av FIN 2005. FIN2000 baserar sig på EGM-96 och NGK-96. NGK-96 har en allmän osäkerhet på ca ± 10 cm. När de över 300 GPS inmätta punkterna adderas till systemet, fås Root Mean Square eller då RMS-talet ± 12 cm i Finland och en standardosäkerhet på ± 6 cm. (Bilker, et al., 2003)

EGM-96 står för Earth Gravitational Model 1996 och NGK-96 för Nordic Geodetic Commission model 1996. Detta innebär jordens gravitations modell och nordiska geodetiska kommissionens, den sista förkortat enligt det här namnet, modell. (National Geospatial-Intelligence Agency 2008, n.d.; Nordic Geodetic Commission, n.d.)

FIN2005N00 – FIN2000



Figur 8; Skillnaden mellan på bilden angivna geoidmodeller. (Bilker-Koivula & Ollikainen, Tiedote 29, 2007, s.18)

Figur 9; Antalet GPS mätta eller avvägda höjdfixpunkter i NN höjdsystemet, totalt 300 stycken, för beräkning av FIN2000 geoidmodellen. (Bilker-Koivula, Suomen nykyiset geoidimallit, i.v., s.2)

Figur 10; Antalet European Vertical Network Densification Act, EUVN-DA, GPS mätta eller avvägda höjdfixpunkter för beräkning av FIN2005N00:s geoid. Höjdfixarna är 156 stycken. (Bilker-Koivula, Suomen nykyiset geoidimallit, i.v., s.2)

Mellan åren 1996-1999 användes 156 GPS inmätta höjdfixpunkter i N60-höjdsystemet. Dessa var en grundpelare för FIN2005N00 geoidmodellen och gav bättre resultat än NGK-96 geoidmodellen, genom att vara en polynomfunktionsbaserad geoid. Ett polynom kan t.ex. beskriva en linjes sträcka och riktning. Denna polymbaserade geoid hade NGK-96 geoidmodellen som grund. Genom att jämföra 300 höjdfixpunkter i N60 höjdsystem mätta med GPS med NGK-96 geoidmodellens höjder, skapas den kompletta FIN2000 geoidmodellen, med hjälp av vilken EUREF-FIN höjder kan transformeras till N60 höjdsystemets höjder. Restosäkerheterna används för denna polynomfunktionsmodell med noggrannheten 2,8 cm och största transformationsosäkerhet på plus 9 cm. När den allmänna N2000 höjdsystemsutvecklingen i Finland skett, så fanns behovet för att utveckla en ny geoidmodell. European Vertical Network Densification Act, EUVN-DA, möjliggjorde att de tillsammans med den då nya NGK-2004 geoidmodellen, kunde räkna ut grunden för FIN2005N00. Dessutom användes ca.80 stycken höjdfixpunkter för att börja få fram den geoidmodell, som eftersträvades. (Ollikainen 2002, FIN2000)

6. De finska höjdsystemen och precisionsavvägningarna

De olika höjdsystemen i Finland anges genom stabila höjdfixpunkter, d.v.s. punkterna på markytan eller höjderna i förhållande till geoiden skall röra på sig så litet som möjligt. (Alandiamap, u.d.)

Finlands statliga höjdsystem NN, N43 och N60 är bundna till medelvattenståndet i Helsingfors åren 1900, 1943 och 1960. Plankoordinat- och höjdkoordinatsystem är bundna till gravitationen naturligt, eftersom havsströmmarna påverkas av månens rörelser och av de geopotentiella skillnaderna. (JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 163, 2007, s.1)

En kartlagdpunkt i höjd längs med en höjdkurva eller en punkt i höjd interpolerad från en ytmodell har höjdnoggrannhetskravet ≤ 0.12 m i klass 1, ≤ 20 cm i mätklass 2 och ≤ 0.40 m i mätklass tre. För tredimensionell kartläggning i mätklass 1e gäller ≤ 0.08 m, fast i besvärlig terräng tillåts en standardosäkerhet å det dubbla. (JUHTA 2014, JHS 185- Liite 4 Kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset, s.18)

En höjdfixpunkt kan markeras i terrängen på flera olika sätt. Eskilstuna kommun i Sverige använder en dubb i berg, som exempel på en byggd höjdfixpunkt. (Eskilstuna kommun, u.d.)



Figur 11; En dubb i ett berg. (Eskilstuna kommun, u.d.)

6.1. Höjdsystemet NN

Finlands första höjdsystems precisa avvägning genomfördes av Väg- och Vattenbyggnadsstyrelsen, på finska Tie- ja Vesirakennusten Ylihallitus, mellan åren 1892 och 1910 och gavs namnet NN-höjdsystemet. (BLOMQVIST & RENQVIST, 1910, s.31)

Avvägningsnätet, som gäller för höjdavvägning, gick endast en bit över en teoretisk linje mellan Uleåborg och Kajana och utelämnade därmed en del av landet. En ortometrisk korrektion för gravitationskraften adderades till avvägningens mätresultat, men däremot lades inte en korrektion för landhöjningen till dessa resultat. (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009, s.3)

Höjdsystemet NN motsvarar dock inte geoidytan lika väl som N60 höjdsystemet, eftersom N60 höjdsystemet baserar sig på första och andra precisionsavvägningen av Finland, medan NN baseras på den första. NN eller Normal Noll höjdsystemets nollpunkt har valts

som en nollpunkt på bryggpiren på Skatudden i Helsingfors. Punkten befinner sig 30,4652 meter under Finlands huvudreferenspunkt. Referenspunkten ligger i närheten av Helsingfors Astronomiska Observatorium. (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009, s.3)

Den första höjdavvägningen för NN höjdsystemet i vårt land ägde rum från 1892 till 1910. Det var inte möjligt att ta landhöjningen i beaktande vid denna avvägning. Avvägningens medelårstal var 1900 och höjdskillnaderna hos höjdfixpunkterna motsvarar situationen vid detta årtal. (JUHTA 2007, JHS 163, s.1)



Figur 12; Bryggpiren i Helsingfors. Sökordet "piren på Skatudden i Helsingfors". Ett utdrag från Google Maps.

6.2. Höjdsystemet N43

En förbättring av NN-systemet skedde mellan åren 1935-1955, som senare kallades N43 höjdsystemet. Detta var dock ett tillfälligt höjdsystem. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, 2007, s.1)

Då man redogör för detta höjdsystem används inte hela avvägningsnätet och landhöjningens inverkan under mätningstiden tas inte i beaktande. (Meteorologiska Institutet N43, u.d.)

6.3. N60 höjdsystemet

Vid utformningen av N60 höjdsystemet användes reducerade landhöjningskoefficienter hos höjdskillnaderna på höjdstompunkterna. (JUHTA, JHS 163, 2007, s.1-2)

N60 baserade sig på de två första noggrannhetsutjämningsarna och beaktade även en beräknad landhöjning. Som sagts förr, så lydde N60 höjdsystemet geoidytan bättre än de två föregående höjdsystemen. N60-höjderna består, precis som NN, av ortometriska höjder, d.v.s. höjderna mellan geoiden och jordytan. (Meteorologiska Institutet N60, u.d.; JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2007, JHS 163, s.8; Lantmäteriet i Sverige, Höjd; Ortometrisk, u.d.)

6.3.1. Lapin Nolla

Lapin Nolla, som på svenska kan kallas Lapplands Noll, gjordes upp på samma gång som N60 höjdsystemet. Namnet verkar ange att systemet uppstått kring år 1900, men Poutanen skriver i Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 41 att höjdsystemet istället gjorts upp efter N60 höjdsystemet. Lapplands höjdavvägning skedde i två skeden. Första höjdavvägningen ägde rum mellan åren 1953–1962. Andra halvan höjdavvägdes endast mellan 1971-1972. Båda dessa höjdavvägningar gjordes längs linjen Aavasaksa–Rovaniemi–Kemijärvi. Landhöjningen togs även i beaktande genom mätningar 1973-1975. (Poutanen & Saaranen 2004, s.2)

6.4. Europeisk inpassade N2000 höjdsystemet

Höjdsystemet N2000 baserar sig på Finlands tredje precisionsavvägning, som utfördes 1978-2006. Den huvudsakliga baspunkten i detta höjdsystem är Normaal Amsterdaams Peil eller förkortat NAP. Höjdsystemet är därmed en del av ett gemensamt europeisk höjdsystem, European Vertical Reference System, EVRS. Det blir skillnader i beräkningarna mellan N60 och N2000 höjderna och förutom skillnader i parametrarna, skiljer sig höjdsystemen även genom landhöjningen. Tillsammans utgör dessa faktorer en 13-43 centimeters addition till höjderna i höjdsystemen nämnda ovan. (Meteorologiska Institutet, Geodetiska Höjdsystem i Finland, u.d.)

För att underlätta användning av höjdsystemet i vårt land skall N2000 användas i nationella, regionala och lokala platstjänster och kartläggningsuppgifter. Höjdsystemet N2000 används i projekt med höjdinformation eller så görs planer och beslut utgående från olika mätningar med höjdmätningstationer. För övergång till N2000 rekommenderas FIN2005 geoidmodellen och GNSS inmätta höjdotservationer. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, 2007, JHS 163, s.2)

Det rekommenderas att FIN2005 geoidmodellen används med N2000. Den baserar sig på NGK2004-geoiden, som är inpassad genom GPS/avvägning till N2000 höjdsystemet. (JUHTA Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, JHS 163, 2007, s.11)

FIN2005N00 brukar skrivas i ett, för att visa att höjdsystemet N2000 passar ihop med geoidmodellen FIN2005. Inmätta punkter i Jakobstads NN höjdsystem med geoidmodellen FIN2005 med höjddatum används i samband med GNSS-observanda via satellit positionering och kan konverteras till höjdsystemet N2000. (INSPIRE arbetsgruppen 2008, s.23; Laamanen, Projektplan för Euref- mätningar, 2012, s.4)

Beskrivning av GNSS kommer i kapitel 7.3, som handlar om höjdmätning med GNSS.

7. Höjdmätningmetoder

En höjdmätningmetod är ett sätt att mäta och bestämma en höjd på. Detta leder följaktligen till att höjdmätning och höjdbestämmning är två användbara uttryck för terminologin inom geodesin, men även inom andra delar av lantmäteriindustrin. (Nationalencyklopedin AB 2015, höjdmätning)

7.1. Avvägning

En avvägning kan användas vid höjdmätning och höjdbestämmning. Höjdmätningen sker mellan två höjdfixpunkter, medan höjdbestämmningen anger höjdfixpunkternas höjd över geoiden. Ett avvägningsinstrument kommer ursprungligen från två olika delar; en kikare och en libell på ett vattenpass. Kikardelen möjliggör förstoring av små objekt, i avvägningsinstrumentets fall avläsning mot en latta eller en avvägningsstång. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.49)

En precisionsavvägning är i enkla termer en noggrann höjdmätning med avvägningsinstrument och invarlatta, det sistnämnda en typ av linjal och i detta fall, med millimeter streck och gjord av metallegeringen invar, som har en låg värmeutvidgningskoefficient. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.49)

Den tredje precisionsavvägningens linjer går genom mareografer, som tas upp senare, i Sverige, Norge och Ryssland. (Bilker-Koivula & Ollikainen, 2009, s.3)

En libell är en inbunden vätskebehållare med en luftbubbla. Förr var behållaren ofta av glas och nuförtiden är den gjord av annan godtagbar plast eller akrylplast. Den sistnämnda ämnessammansättningen, akrylplast, kan bl.a. anses vara skottsäker. Glasbehållaren var oftast i vattenpass omgiven av trämaterial, för att bära och vara tillräckligt hållbar. Det finns tre typer av rörlibeller; välvda libeller, tunnlibell och blocklibeller. De förstnämnda är i pluralis, eftersom de sätts mittemot varandra. (Mitaxin Oy, u.d.)

De välvda libellerna, vare sig i glas eller av plast, är böjda eftersom välvd, bottnar i ordet valv. Spriten, som luftbubblorna sätts i, har en kulör för att underlätta synligheten. Utöver detta har de välvda libellerna dessutom två svarta streck, som tydligt anger intervallet inom vilket luftbubblan skall hållas. Tunnlibellen å sin sida är tunnare i kanterna och tjockare på mitten. Denna effekt gör också att de svart justeringsstrecken syns sämre. Tunnlibellerna är därför inte så exakta och det har även att göra med gjutningsprocessen, likaså för de välvda libellerna. (Mitaxin Oy, u.d.)

Blocklibellen är av akrylplast och formar sig fenomenalt mot den yta den sätts mot i nyss nämnda instrument eller i ett vattenpass. En blocklibell är tjock och ger därför en jämn rörelse hos den luftbubbla som rör sig i alkoholen inuti den. Två svarta smala metallringar är infästa på ytan av libellen och anger dess tillåtna förflyttning, som anger att instrumentet är vågrätt. Detta fenomen ger upphov till en högre noggrannhet hos det instrument, som den används inne i. (Mitaxin Oy, u.d.)

Samtliga av ovan nämnda libeller kontrolleras enligt följande tabell.

Toleranstabell för vattenpass enligt SS 64 11 21 (1980)

Vattenpass indelas med hänsyn till libellernas skaldelsvärde (libellblåsans förflyttning) i två toleransklasser I och II.

Toleransklass	I	II
Avvikelse h	<5 mm	5-10 mm

2 mm förflyttning av libell-blåsan.
Avvikelse h i väg/lod på 1000 mm avstånd.

Tabell 1; Toleranstabellen är ämnad för libellerna i vattenpass. (SS 64 11 21, 1980)

7.1.1 Avvägning i Sverige

Avvägningsinstrumentets kikare skall ha sin siktaxel horisontellt. Siktaxeln skall gå från trådkorsets skärningspunkt till mittpunkten på okularlinsen för att vara horisontal. Det här är väldigt viktigt, eftersom olika avstånd från avvägningsinstrumentet vid framåt- och bakåtläsning genererar fel i höjdskillnaden. Tabell 2 behandlar noggrannhetskraven på avvägningsinstrument vid olika typer av mätningar. Fältmätningar kräver en kontroll av kollimationsfelet en gång per vecka och vid stommätningar behövs kontrollen en gång dagligen. Kollimationsfelet beror också på temperaturen, och gradtalet hos instrumentet bör vara i samklang med de omkringande luftlagren. En 10 graders skillnad mellan mättillfället och kalibreringen innebär att kalibreringen skall göras om. (Malmberg & Lundén, 1997, s.45)

Tillämpning	Medelfel i höjdskillnad för 1 km dubbelavvägning
Stommätning	1 mm
Detaljmetning av spåranläggningar	2 mm
Övrig detaljmetning	4 mm
Kontrollmetning av spåranläggningar	1 mm
Kontroll av övrig detaljmetning	2 mm

Tabell 2; Noggrannhetskrav på avvägningsinstrument. (Malmberg & Lundén, 1997, s.45)

Kollimationsfel kan kontrolleras på flera sätt, men Trafikverket i Sverige ger i sina dokument ett exempel på ett tillvägagångssätt. Du har två punkter du ställer upp avvägningsinstrumentet på, en mitt emellan avvägningsstängerna och en två meter bakom den ena av dessa stänger. Från den s.k. mittuppställningen skall siktavstånderna till bägge avvägningsstänger vara ca. 20 m, huvudsaken är att avståndet är samma i båda riktningarna. Resultatet i detta fall blir att kollimationsfelet är ungefär lika stort åt båda hållen och därmed elimineras felet. Fall två med instrumentet två meter bakom ena stängen ger slutresultatet större kollimationsfel. Detta sker eftersom den närliggande avläsningen på den närliggande avvägningsstången är lägre än avläsningen på den bortre, med följden att skillnaden mellan avläsningarna är större och ger ett större kollimationsfel. Detta beror även på skillnaden i siktavstånderna, d.v.s. 2 m och 42 m. Avvägningen skall ske på vis att inställningarna i instrumentet görs så att siktaxeln hos den närliggande och bortre punkten är densamma. (Malmberg & Lundén, 1997, s.199)

Bägge punkter bör markeras stadigvarande och bestämmas höjdskillnaden emellan, om den förnyade avvägningen utförs på samma område. Den andra instrument formationen är den enda som krävs vid varje kontroll i dessa fall. Digitala avvägningsinstrumentets kalibreringsprogram utför kontrollen. Hanteraren av instrumentet observerar och noterar avläsningarna och instrumentet räknar ut och lagrar en korrektion, som senare läggs till på instrumentavläsningarna. Kollimationsfelet pre och post kalibrering skall noteras i instrumentets loggbok. Instrumenthandboken kan ha ett avvikande tillvägagångssätt. (Malmberg & Lundén, 1997, s.199-200)

Avläsningar före justering				Korrigerad avläsning	
A1	1.531	A2	1.746	$A2_k = \Delta H + B2$	1.755
B1	2.064	B2	2.288		

$\Delta H =$ A1 - B1	-0.533	A2 - B2	-0.542
		$-\Delta H$	-0.533
		Koll.fel = (A2 - B2) - ΔH	-0.009

Avläsningar efter justering				Korrigerad avläsning	
A1	-	A2	1.531	$A2_k = \Delta H + B2$	
B1	-	B2	2.064		

$\Delta H =$ A1 - B1		A2 - B2	-0.533
		$-\Delta H$	-0.533
		Koll.fel = (A2 - B2) - ΔH	0.000

Kollimationsfel ≤ 4 mm: <input type="checkbox"/>
Kollimationsfel ≤ 2 mm: <input type="checkbox"/>
Kollimationsfel ≤ 1 mm: <input type="checkbox"/>

Figur 13; Exempel på instrumentets kontroll logg. (Malmberg & Lundén, 1997, s.200-201)

På en del instrument av olika instrumenttyper görs en mekanisk ändring. Streckplattan flyttas, då kompensatorn förbättras. Ett reflektorprisma i strålpassagen kan också vridas, för en förbättring av kompensator instrumentet. Libellens justerskruv eller en kilplatta på objektivet ändrar på elevations-, höjd, skruven på ett libellinstrument. Ett libellinstrument med en solid tubkikare flyttar sig då streckplattans position ändras på. En modifikation utförs om instrumentet har ett större kollimationsfel än den standardosäkerhet, som anges i tabell 2. (Malmberg & Lundén, 1997, s.200)

Om lodlinjen ändras, så leder detta till fel vid avvägning med avvägningsinstrumentet. Denna förändring eller vinkel kompenseras med en kompensator, vilket gör att

horisonteringen av nivelleringsinstrumentet blir precist. Lodlinjen skall vara vertikal mot siktaxeln. (Leica Geosystems, u.å.)

Vid varje uppställning skall kompensator funktionen hos kompensatorn på avvägningsinstrumentet kontrolleras. En del avvägningsinstrument har en knapp att trycka på för att visa funktionaliteten, medan andra bara behöver knackas lätt på och förflytta sig innan de återtar grundpositionen. Instrumentet bör föras på verkstad, om kompensatorn inte fungerar. Det är även viktigt att se till att avvägningsinstrumentet är grovhorisongerat och detta görs via doslibellen. Avvägningsstångens doslibell skall kontrolleras en gång per dag enligt tabell 1. (Malmberg & Lundén, 1997, s.45-46)

Linjalvattenpassets ändring granskas då vattenpasset vänds år två olika håll. En lutande avvägningsstång ger ett skalfel vid mätning av höjder. Avvägningsstänger med flera delar skall kontrolleras regelbundet gällande glapp i led och skarvar. En kontrollmätning med ett godkänt måttband skall genomföras på avstånd mellan skalstreck på icke lika sidor om leder och skarvar, om fel bland dessa misstänks. (Malmberg & Lundén, 1997, s.45-46)

Doslibellens finhorisontering kontrolleras via vridning av avvägningsinstrumentet. Instrumentet ställs alltså i motsatt riktning i förhållande till första avvägningsriktningen redan vid instrumentuppställningen. Sedan vrids det efter första finhorisonteringen 200 gon, alltså 180 grader motsvarande ett halvt varv, för att se om finhorisonteringen kvarstår. Om finhorisonteringen inte lämnar kvar är det samma procedur med fotskruvarna som gäller. Denna procedur upprepas tills luftbubblan i doslibellen hålls kvar där den sig bör. (Malmberg & Lundén, 1997, s.48)

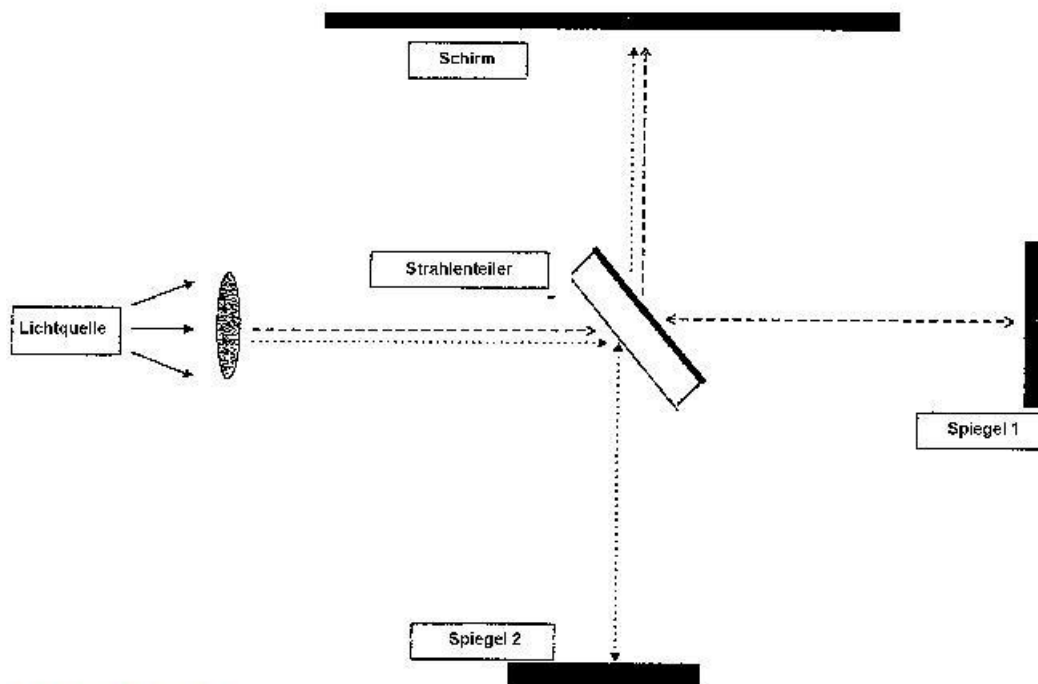
7.1.2. Avvägning i Finland

Korrektionen för en latta beskrivs som följande fyra stycken; Korrektheten på avvägningens skala kan nuförtiden kontrolleras via kalibrering av lator och systemkalibrering och dessa kalibreringstyper har noggrannheterna ± 1 ppm och ± 5 ppm. (Takalo, 2004, s.40)



Figur 14; Två mät tjänstemän med lator, varav den enes blir mätt mot i bakgrunden. Mannen mellan dem använder sig av ett avvägningsinstrument uppställd på en trefot. (Lantmäteriverket i Finland, u.å.)

Avvägningens skala syns på en graderad latta, vars längd ger den riktiga måtenheten. Måttenheten är, *Système International d'Unités* eller SI-enheten, meter. Den senaste definitionen på en meter gavs år 1983. Den lød; ”en meter är sådant avstånd, som ljus färdas i en tom tidsrymd $1/299\,792\,458$ sekunder”. Härifrån defineras ljusåret, som har underlättat meterns realisering med interferometer. (Takalo, 2004, s.40)



Michelson-Interferometer

Figur 15; En Michelson Interferometer. Ljuskällan finns till vänster i bild, vars ljus går genom en konvex lins till en stråldelare, t.ex. en glasbit och reflekteras via två speglar och ger en bild på mottagaren på skärmen. (Fischer, o.d.)

Den verkliga måttenheten kontrolleras genom att jämföra graderingen på lattan med längden hos måttenheten. Detta är av stor betydelse för den mätta höjden, eftersom ju större höjdskillnaden är, desto viktigare är skalfelet för avvägningen. Verkligheten är sådan, att skalfelet alltid är systematiskt och syns inte ens vid slutningsfel i avvägningsnätets slinga. (Takalo, 2004, s.41)

Kalibrering av lattan görs, var och en av den graderade linjens avstånd från lattans bottenplatta eller från graderingens startlinje. Denna linje bestäms genom att definiera längdstandarden utgående från erhållen längd [elm] och lattans nominella längd [nlm]. Skillnaden mellan dessa längder kallas skiljelinjens korrektion, som innehåller korrektionen för skalan och en temperatur korrektion. Den korrigerade skalan blir då;

$$[nlm] = [elm] + \delta[nlm] + \alpha(t-t_0) * [nlm], \text{ där}$$

[elm] = skalan som används vid avvägningen d.v.s. längden på latta mätaren

$\delta[nlm]$ = korrektionen för skalan

α = linjär koefficient för temperaturutvidgning eller temperaturlängd

t = mätningstemperatur och

t₀ = grundtemperatur, t.ex. 20°C

(Takalo, 2004, s.44)

Libellernas känslighet, angett i sekunder, får högst vara fyra. De högre klassernas avvägningslinjer mäts som observationer genom framåt- och bakåttavvägning. Avvägningen bör följa riktlinjerna uppräknade härnäst. Avvägningslinjerna skall referera till kända höjdfixpunkter eller bilda ett eget höjdfixnät på lägre nivå. Minst två fasta kända punkter med bekräftad identifiering måste användas som utgångspunkter. Om avvägningen

inte kan utföras som ett slutet nät, så skall den utföras som framåt- och bakåttavvågning. (JUHTA 2014, JHS 185- Liite 1 Korkeuskiintopisteiden vaaitseminen)

Avvågning med start vid en bekant punkt till en annan känd punkt är en metod för linjeavvågning. Metodiken går ut på att gå från en känd stompunkt i höjd via ett antal punkter med okänd höjd till en annan höjdstompunkt i avvägningståget där höjden känns igen. Denna sistnämnda höjdfixpunkt ger en finfin kontroll av avvägningen. Ett mättningsprotokoll görs vanligen upp. (Mårtensson, 2012, s.110)

Inom precisionsavvågningen framåt och bakåt vid stationsetablering skall avstånden vara lika långa och inom en meter. Det längsta en siktlängd får vara är 60 m, men vid högre klassers linjer endast 50 meter. Siktlängdernas skillnader hos höjdtåget vid instrumentuppställning får inte överstiga 20 m. Den längsta tillåtna siktlängden får vara 100 meter mot ett siktoobjekt i höjdtåget. (JUHTA 2014, JHS 185- Liite 1 Korkeuskiintopisteiden vaaitseminen)

Bestämmande av stompunkter i plan och höjd kan genom precisions- och linjeavvågning utföras. Det är möjligt att genomföra, elektronisk eller manuell precisionsavvågning, med precisionsavvågningsinstrument och invarstänger. Linjeavvågningen med ett icke- eller självhorisonterande avvågningsinstrument görs vid val av denna metod. Ett sådant instrument måste ha en upplösning på minst 4 sekunder, då grader, minuter och sekunder är det som används. (Generaldirektör Ratia, 2003, s.15)

Anvisningar från planläggningsmätning ger vid avvågning dessa regler att följa. Tanken bakom och utförandet av observationerna inkluderar ett flertal faktorer, som bör beaktas. Avvågningslinjerna är tänkta att gå mellan stompunkter med kända höjder eller bilda slutna slingor. Startpunkterna skall vara två kända punkter, vilkas stabilitet och identifikation kan fastställas på ett säkert sätt. Om avvågningen inte kan ske i slutna slingor skall avvågningståget mätas en gång i båda riktningarna. En noggrann avvågning skall ha siktavståndet framåt och bakåt vara samma på metern när. Siktavstånden vid linjeavvågning är inte tillåtet att fluktuera mer än 20 meter. Det längsta siktavståndet, som tillåts, är 100 meter. (Generaldirektör Ratia, 2003, s.15)

Anvisningar från planläggningsmätning ger vid avvågningsberäkningar dessa regler att följa. Beräkning utförs genom att utjämna ett avvågningsnät. Detta kan ske genom knutpunktsutjämning eller elementutjämning. Varje enskild kan också utjämnas genom linjeutjämning. Slutningsfelet i höjd hos avvågningslinjen W_H skall ha 95 % signifikans nivå. Det fås ur formeln $((W_H)^{1/2})^2 < 1,96 \cdot 10^{-6} \cdot \mu \cdot L$. Formeln tillämpar noggrannhetskravet på stompunkter och hypotesprövning. (Generaldirektör Ratia, 2003, s.15)

Mätningars precision ges som föränderlig noggrannhet, vilket innebär förhållandet mellan standarosäkerheten hos punkterna och avståndet mellan punkterna. Startpunkternas relativa precision torde vara ≤ 20 mm/km. Bruksfixpunkter i plan skall ha en ≤ 50 ppm eller 15 mm vid avstånd mindre än eller lika med 300 m i mätklass 1 och 2. Mätklass 3 har ≤ 80 ppm eller 25 mm vid avstånd mindre än eller lika med 300 m. (Generaldirektör Ratia, 2003, s.10)

Stompunkterna i höjd skall ha en relativ noggrannhet på ≤ 5 ppm. Bruksfixpunktens relativa noggrannhet i höjd skall kunna beskrivas som mindre än eller lika med 50 ppm eller 5 mm vid avstånd mindre än eller lika med 100 m i mätklass 1 och 2 och ≤ 80 ppm eller 8 mm vid distanser lägre än eller lika med 100 m i mätklass 3. (Generaldirektör Ratia, 2003, s.10)

Orsaken till avvikelse i plan eller höjd och observationer skall vid behov göras om, då precisionskraven inte uppnås. (Generaldirektör Ratia, 2003, s.10)

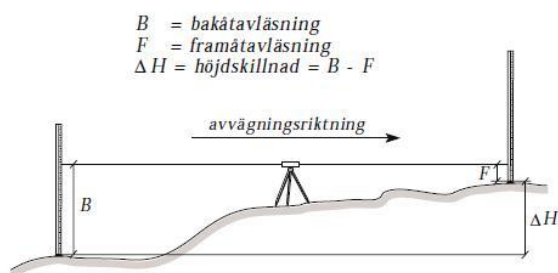
Det ställda kravet på noggrannheten i höjd ges som μ i mm/km eller m.a.o. ppm. (Generaldirektör Ratia, Anvisningar för planläggningsmätningar, 2003, s.49)

Kravets värde för standardosäkerheten i höjd fås då av formeln; $m^c_H = \mu * 10^{-6} * L$, där L är avståndet hos avvägningsslinjen. Nollhypotesen eller grundteorin, H_0 , beskrivs så att mätningens utrustning och metoder baserar sig på kravets värde på punktosäkerheten ovan, samt att mätningarna inte har grova fel. En normalfördelad standardosäkerhet, m_H , används vid beräkningen av höjdslutningsfelet, W_H . Kravets värde kan användas för att visa att $((W_H)^{1/2})^2 < 1,96 * 10^{-6} * \mu * L$ är detsamma som $((W_H)^{1/2})^2 < 1,96 * m^c_H$ vid 95 procents signifikansnivå. Detta krävs om H_0 skall gälla. Prövogränserna för avvägning och tredimensionellt exempel är vid signifikansnivåerna 95 %, 97,5 % och 99 % är 1.96, 2.24 och 2.57 och 1.61, 1.77 och 1.94. (Generaldirektör Ratia, 2003, s.50)

Slutna slingor förklaras i Vasa delen.

7.1.3. Återstående om avvägning

Standardavvägning betyder att en avläsning görs direkt mot en centimetergraderad latta, och i vissa fall även med millimetrar. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.49)



Figur 16; Principen för avvägning. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.50)

Dagens avvägningar är mera precisa än förut, när man enbart använde sig av vattenpass. Finavvägning görs med ett avvägningsinstrument försett med en planglasmikrometer samt mätning mot en invarstång. Invar är ett material som påverkas mindre av värmeutvidgning och därför kan avläsningen vara så noggrann som $\pm 0,01$ mm, i jämförelse med den normala 0,1 mm. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, s.49 och tabellerna med bildtext på sidan 51)

Standardosäkerheterna vid avvägning tas upp senare i detta slutprov.

Figur 17; Topcon AT-G4 Avvägningsinstrument. (Ramirent, 2014)

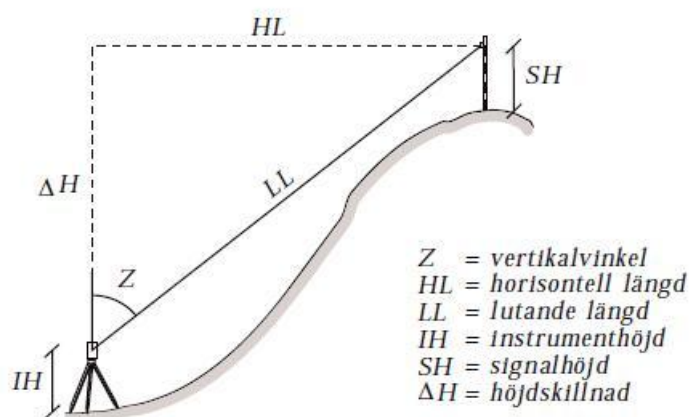


7.2. Trigonometrisk höjdmätning

Vid trigonometrisk höjdmätning fastställs, utgående från lodräta vinkeln och olika avstånd, höjdskillnader. Figur 18 visar att höjdskillnaden kan fås med hjälp av vertikalvinkeln, lutande längden och den horisontella längden. Den lodräta vinkeln kan kallas zenitvinkel. Zenit betyder i stort sett att någonting är rakt uppåt på en definierad höjd från din position. Zenitvinkel är vinkeln mellan lodlinjen och sikthöjden på det objekt, som vi siktar mot. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.7)

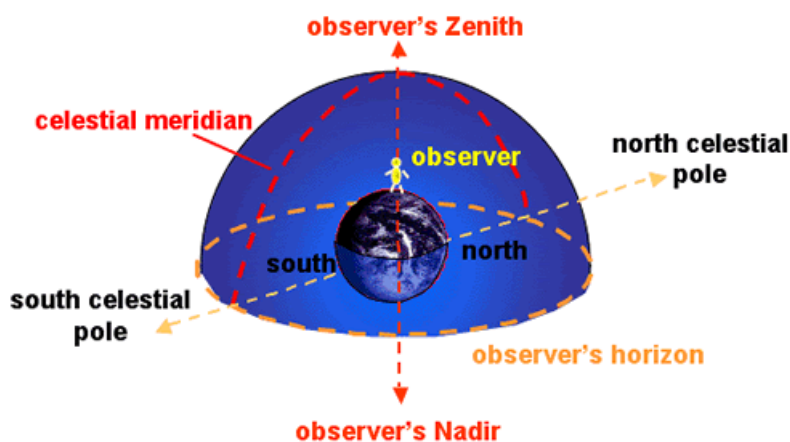
Standardosäkerheten för trigonometrisk höjdmätning på 50 m, 100 m och 200 m är 2 mm, 4 mm och 7 mm. Zenitvinkelns standardosäkerhet ligger på 2 mgon, vilket motsvarar $0,0015^\circ$:s vinkel. Den allmänna standardosäkerheten vid avståndsmätning med metoden ligger på 5 mm. Fel vid instrumenthöjds bestämning, signalhöjdsfel och fel i utgångspunkter kommer till. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.53)

Den vanliga avvägningen har på samma avstånd standardosäkerheterna 2,5 mm, 4 mm och 7,5 mm. Finavvägningen är bäst lämpad i städer med tät bebyggelse och andra ställen, där höga noggrannhetskrav ställs, eftersom standardosäkerheterna på 5, 10 och 20 m:s avstånd är 0,03 mm, 0,04 mm och 0,06 mm vid inläsningen 0,01 mm. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.51)

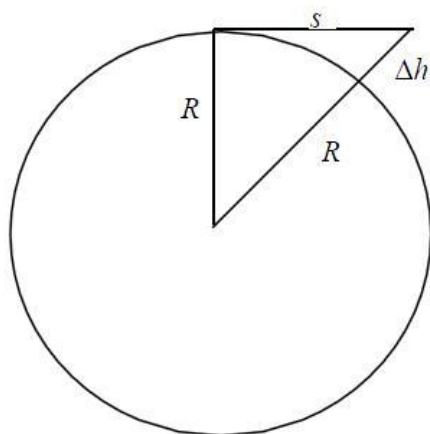


Figur 18; Principen för trigonometrisk höjdmätning. Instrumentet vid IH kan vara en takymeter eller en teodolit. "Linjalen bredvid SH " är i de flesta fall en avvägningsstång. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.52)

Det finns ett flertal olika uttryck inom detta område, som beskriver tillvägagångssättet för en trigonometrisk höjdmätning. Nadir är vinkeln mellan lodlinjen och sikthöjden på siktobjektet på en lägre höjd. Av figur 19 framgår att en nadirvinkel är in mot jordytan. Dessa två vinklar, zenitvinkel och nadirvinkel, används vid uppgörande av ett med denna höjdmätningssätt inmätt höjdnät. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.53)



Figur 19; Zenit och Nadir, samt en medelmeridian, ett ekvatorialplan och nord;- och sydpol. (Centre for Astrophysics & Supercomputing/ Coppermine Photo Gallery, n.d.)



Jordkrökningseffekten
vid höjdmätning.

Figur 20; Jordkrökningen ser ut så här.
(Mårtensson 2012, s.33 och 34)

$$\begin{aligned}(R + \Delta h)^2 &= R^2 + s^2 \Rightarrow \\ R^2 + \Delta h^2 + 2R\Delta h &= R^2 + s^2 \Rightarrow \\ 2R \Delta h = s^2 &\Rightarrow \\ \Delta h &= \frac{s^2}{2R}\end{aligned}$$

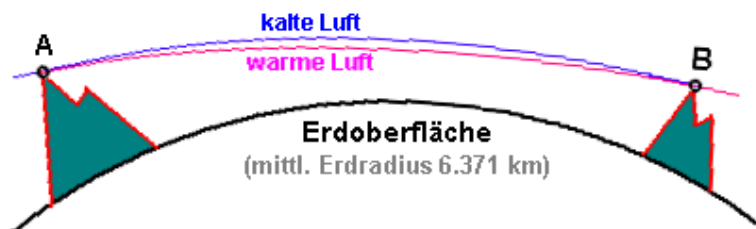
De två R^2 tar ut varandra
 Δh^2 är en mycket liten term
i jämförelse med de övriga

Sätts siktsträckan s till 10 km
och jordradien R till 6 378 km, fås:

$$\Delta h \approx 7.84 \text{ m}$$

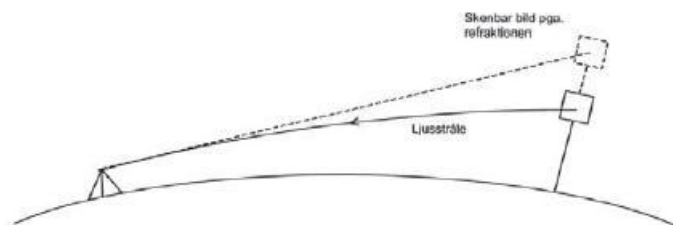
Samt Figur 21; Jordkrökningens formlerna i korthet.

Refraktion beror på olika lufttätheter och jordkrökningen på att jorden har en litet elliptisk bana, eftersom jorden är tillplattad vid polerna, men är vid uppgörande av modeller oftast rund. Refraktionen ger också upphov till ett brytningsindex, för de olika luftlager instrumentsignalen passerar. Sammanpressning och temperatur är de främsta faktorerna, som påverkar graden av refraktion. (Mårtensson 2012, s.34)



Figur 22; En enkel bild av refraktionsfenomenet. Vi kan tänka oss att A och B är höjdfixpunkter i en slinga, som vi mäter ifrån och till. Vi mäter alltså både framåt och tillbaka, förutsatt att det finns en höjdfixpunkt eller nydefinierad höjd att mäta mot. (Deutsches Scienceblog, 2012)

Refraktionens inverkan
vid höjdbestämning.



Figur 23; En helhetsbild av refraktionen. Den översta bilden till höger är den skenbara bilden, som uppstår p.g.a. refraktionen. (Mårtensson 2012, s.34)

Standardisering av brytningsindexen har dock gjorts och då har en refraktionskoefficient på 0,14 uppnåtts. Verkligheten är dock sådan, att refraktionskoefficienten borde varieras mellan 0,08 och 0,2. Faktorerna nämnda ovan bör beaktas, när man räknar ut höjdskillnaden, som betecknas ΔH . Refraktionen beror på att sikt riktningen förändras vid luftlager av varierande densitet och riktas till följd av brytningen mot ett annat håll. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.52)

Refraktion tillkommer vid siktlängder större än 300 meter. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.30)

Osäkerheten hos differensen i höjddled av refraktion och jordkrökning är proportionellt mot kvadraten på den plana sträckan, och de två faktorerna arbetar vanligen emot varandra. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.52)

$$\Delta H = LL \cdot \cos Z + (1 - k) \cdot \frac{(LL \cdot \sin Z)^2}{2 \cdot R}$$

där:

ΔH = höjdskillnad mellan instrument och signal

LL = mätt lutande längd

HL = horisontell längd

Z = mätt vertikalvinkel (zenitvinkel)

R = jordens krökningsradie ≈ 6389000 meter

k = refraktionskoefficient ≈ 0.14

Anmärkning: Om avståndet mellan instrument och objekt är känt krävs endast mätning av vertikalvinkel för bestämning av höjdskillnaden. Observera att det då ej är avstånd i projektningsplanet som skall användas. Därför skall projektningskorrektion och höjdreduktion räknas bort från avstånd beräknat ur plana koordinater.

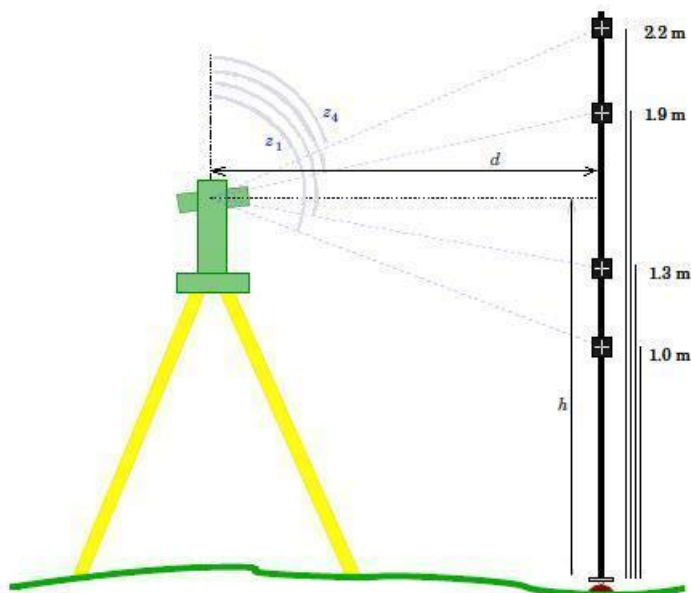
Figur 24; Formel med beskrivning för bestämning av höjdskillnad vid trigonometrisk höjdmätning. Ett utdrag från bilaga C i HMK Detaljmätning. Detta är huvudformeln, formlerna för höjdbestämning och viktsfunktion finns också. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.144-145)

7.3. Trigonometrisk avvägning

Trigonometrisk avvägning används i samband med digitalavvägning med godtyckligt beräknade stompunkter i höjd vid koordinattransformering. Den trigonometriska avvägningen drar främst nytta av stora höjdskillnader på korta avstånd eller om markförhållandena är olämpliga, såsom sumpmark eller vid vattendrag. Denna höjdmätningssätt har utvecklats vid geodetiska laboratoriet i Finland. Grundprincipen är att stationsetableringen inte sker på för många höjdfixpunkter och strategisk planering, av höjdfixpunkterna, som skall mätas mot. På så vis går instrumentuppställningen snabbt och genom att planera avstånd mellan svårtillgängliga punkterna med så få uppställningar som möjligt. Trigonometrisk avvägning har ett antal komponenter för genomförandet. Två elektroniska teodoliter för vinkelmätningar, lator och en skild avståndsmätare används. (Vermeer, i.p., muutettu 11/2008 Sonja Nybergistä)

Lattan är specialanpassad för avvägningssättet. Avvägningssstången har fyra siktojekt som skall mätas mot, vilket visas i figur 25. (Vermeer, i.p., muutettu 11/2008 Sonja Nybergistä)

Avläsningarna hos de fyra siktoobjekten från avvägningsstångens optiska lod är väl kända, vilket möjliggör att teodolitens horisontella axel och vertikallinjen hos avvägningsstången bildar skärningspunkten, således en av de fyra punkter som skall mätas in, och utgående från denna görs beräkningarna på höjdskillnaderna. Avståndet mellan två instrumentuppställningar får högst vara ett par hundra meter. (Vermeer, i.p., muutettu 11/2008 Sonja Nybergistä)



Figur 25; Principen för trigonometrisk avvägning. Bilden representerar mätningen av zenitvinklarna i en serie från z_1 till z_4 . Koordinaterna x och y , samt en ortometrisk höjd H används på avvägningsstången. (Vermeer, i.p., muutettu 11/2008 Sonja Nybergistä)

Den trigonometriska avvägningen bestäms genom tre huvudpunkter. Först bestäms zenitvinklarna, som representeras av z_1 - z_4 i figur 25, genom att d distansen och h höjden på teodoliten är kända. De fyra höjdfixpunkterna görs upp, som i figur 25 med givna avstånd. Mätningen görs i två kompletta serier, genom att mäta zenitvinklarna z_1 - z_4 som en serie och börja med z_1 och fortsätta som föregående serie vid nästa serie. Avståndet mellan den höjdfixpunkt, som instrumentet ställs upp på och närmaste höjdfixpunkt att mäta mot ligger på ett fåtal meter. (Vermeer, i.p., muutettu 11/2008 Sonja Nybergistä)

Nästa huvudpunkt i bestämningen gäller metoden för utförandet, i många fall bockhoppsmetoden. Metoden går ut på att flytta lattan från den punkt som mättes först och sedan förflytta den till varannan punkt i höjdtåget. Samma procedur gäller för teodoliten, men där är uppställningspunkten startpunkt, men förflyttning av instrumenten sker i höjdtågsriktningen. Det går också att tillämpa proceduren att flytta instrumenten varje gång, men detta faller inte inom ramen för bockhoppsmetoden. Situationen styr vilket av dessa två nämnda tillvägagångssätt som används. Refraktionsfenomenets inverkan minskas, genom samtidig mätning åt bägge håll med en betryggande precision. En sidas lutande avstånd mäts endast fem oberoende mätningar, från andra hållet, som avståndsobservationer med avståndsmätare. På detta sätt flyttas höjden mellan uppställningspunkterna tills slutpunkten närmar sig. (Vermeer, i.p., muutettu 11/2008 Sonja Nybergistä)

Sista huvudpunkten dikterar att på ändpunkten observeras ännu höjdskillnaden hos ändpunktens bult på samma sätt som avvägningsstången användes från startpunkten. (Vermeer, i.p., muutettu 11/2008 Sonja Nybergistä)

Efter detta samlas ännu information från dataapparaterna in till en mjukvara, som kallas trigo-softa. (Vermeer, i.p., modifioitu 23 marraskuuta 2007)

7.4. Höjdmätning med GNSS

Global Positioning System, eller som det oftast anges GPS, är ett av många GNSS. Det andra militära satellit systemet är det ryska Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema eller kort GLONASS. Det tredje satellit systemet, som kan nämnas, är det civila i Europa förekommande GALILEO. Integritet med satellitsystemet eftersträvas. (Engfeldt & Jivall 2003, s.4-5)

Galileo Galilei var astronom och härifrån har förnamnet använts på satellitsystemet.

GNSS är i korthet Globala Navigations Satellit System och kodmätning, bärvågs mätning, bärvågsunderstödd kodmätning och olika positionsbestämelsemetoder kan utföras med hjälp av detta. GNSS har t.ex. GPS; Global Positioning System, Glonass; Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema och europeiska Galileo satelliterna för positionering, mätning och annat. GNSS använder en rad applikationer med mångfasetterade precisionskrav, såsom inmätning till Geografiska Informations System eller kort GIS, geodetisk stommätning och deformationsmätning. (Engfeldt & Jivall 2003, s.6 och 13-22)

Det finns tre huvudsakliga typer av höjdmätning med GNSS. Dessa är statisk, Real Time Kinematic förkortat RTK, samt RUFRIIS, d.v.s. Real tids Uppdaterad FRI Station, metoderna. Sedan finns även Nätverks RTK och Projekt Anpassad-NRTK. Dessa två typer av NRTK tas upp till vissa delar. (Trafikverket i Sverige, Stomnät i Luften för anläggningsprojekt, 2011)

C-GNSS, Constant-Global Navigation Satellite Systems, har möjliggjort konstant uppföljning av exempelvis landhöjning och kontinentalplattornas förflyttning. GNSS är både ett navigations- och mätningssystem som använder sig av satellitsignaler. Uppgjorda modeller av jordytan från medelvattenståndet och grundnivån som följer jordens former kallas geoidmodeller, men eftersom de inte hinner uppdateras i takt med jordeffecker, såsom landhöjning och skillnader hos medelvattenståndet, så kan ett behov av att skapa en teoretisk geoidmodell som följer dessa jordeffecker finnas. Nya GNSS observationer har genomförts för att underlätta och fungerar som understöd till den nya geoidmodell, som kan skapas. (Poutanen, julkistettu 2012, s.8 ja s.108-109)



Figur 26; Ett GNSS instrument placerat över en markerad höjdfixpunkt med hjälp av en trefot. Det kan vara en Rover eller en Base, vilket ger den olika egenskaper. I vanliga fall används en basstation, alltså Base. Rover är en rörlig mottagare och den brukar flyttas. En statisk GPS mätning utförs. (Lantmäteriverket i Finland, GNSS instrument, u.d.)

7.4.1. Statisk höjdmätning med GNSS

Statisk mätning är en mätmetod som använder sig av efterberäkning, eftersom satellitbanorna lättare kan beräknas och goda uppskattningar av felkällor kan utföras. Inom ramen för mätmetoden ställs GNSS komponenten upp över en punkt, som positionsbestäms, såsom en stompunkt i höjd. Trefot och optiskt lod används för tvångscentrering av GNSS instrumentet. En statisk höjdmätning med GNSS kan ha en eller flera referensplatser med känd position vid instrumentuppställningen. Efterberäkningen ges i allmänna dataformatet RINEX, som står för Receiver INdependent EXchange format. Översatt betyder det här ungefär mottagaroberoende dataformat. Data i RINEX kan sändas till en automatiserad kalkyltjänst. (Lantmäteriet i Sverige u.å., Statisk mätning med efterberäkning)

Statisk mätning går ut på att mottagaren är stående på en punkt, där mätningar behöver tid för att lyckas. Den statistiska mätningen med GNSS hör under kategorin relativ mätning, d.v.s. den kräver minst fyra satelliter för att fungera. Avstånden mellan observationspunkterna är ofta långa och därför korrigeras tillfälliga fel, periodiska fel m.a.o. flervägsfel och fel orsakade av atmosfäriska förhållanden. Tvåfrekvensmottagare kan brukas för att få en osäkerhet i centimeter klassen. Detta fås via efterbehandling och användande av exakta data för satellitbanorna. Inom bokvärlden kallas detta PPP, Precise Point Positioning, Precis Punkt Positionering. (Lantmäteriet (LM), Kungliga tekniska högskolan (KTH), Lunds universitet (LU) och Högskolan i Gävle (HiG) 2013, s.176-177)

Ett flervägsfel kan förklaras som att en signalstråle går genom luftlager, som minskar dess fart och gör dess riktning annorlunda. Strålen träffar så speglade ytor t.ex. fastigheter, konstruktioner, vattenytor, sump mark eller satellitskrovet. Felet är svårt att framvisa, därför att det är beroende på positioneringen med hjälp av fem satelliter mellan de återkastande ytorna och mottagaren. En längre mättid och specialanpassade algoritmer ger ofta en passande antennutformning, vilket oftast reducerar flervägsfelet. Felet är vanligen några meter vid navigering och någon eller några cm vid relativ mätning. (Lantmäteriet (LM), Kungliga tekniska högskolan (KTH), Lunds universitet (LU) och Högskolan i Gävle (HiG) 2013, s.169)

Root Mean Square RMS

A kind of average sometimes used in statistics and engineering, often abbreviated as RMS.

To find the root mean square of a set of numbers, square all the numbers in the set and then find the arithmetic mean of the squares. Take the square root of the result. This is the root mean square.

$$\text{Formula: } \text{RMS} = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_n^2}{n}} \quad \text{or} \quad \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{n}}$$

Example: For the numbers 4 and 9,

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{4^2 + 9^2}{2}} \approx 6.96$$

Figur 27; En förklaring på RMS värdet, alltså kvadratiska medelvärdet. Detta är vanligtvis sista steget som tas vid beräkningarna. Numrorna som representeras ovan, d.v.s. a_1, a_2 o.s.v. kan vara antalet enskilda mätvärden eller antalet enskilda medelvärden. Enskilda medelvärden kan behöva räknas ut, som en aritmetisk standardosäkerhet, om mätningarna t.ex. har utförts i flera sessioner för jämförelse och naturligtvis för att få standardosäkerheten på varje enskild mätning inom mätsessionerna. Det betyder att exempelvis a_1 både finns i mätsession 1 och 2, om två mätsessioner genomförs. Avarage är medelvärde, set kan översättas med mängd, arithmetic mean betyder aritmetiskt medeltal där talet som läggs i nämnaren är samma som antalet kvadreringar. Square root är kvadratroten och en sådan omsluter den aritmetiska formeln ovan och därför blir standardosäkerheten kvadratisk. (Simmons, page updated 28-jul-14)

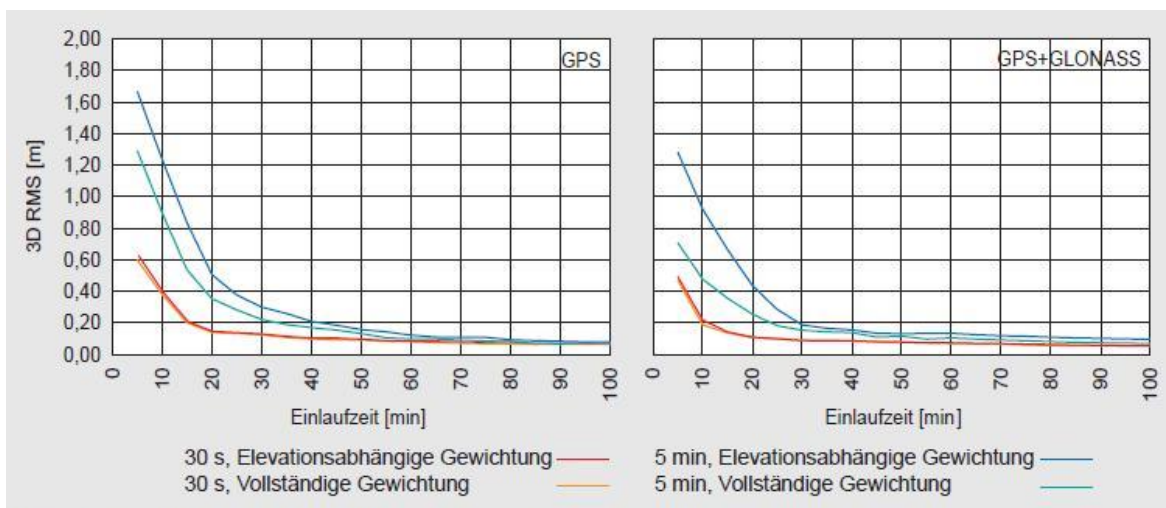


Abb. 2: Konvergenzverhalten einer statischen Messung

Figur 28; Konvergens jämförelse hos statiska mätningar. Y-axeln från 0,00 till 2,00 är den tredimensionella kvadratiska standardosäkerheten. Antalet minuter som gått går på x-axeln. Tidsintervallerna 30 sekunder och 5 minuter samt höjdberoende eller fullständiga viktningar visas med givna färger i graferna. GPS och GLONASS är närmare GNSS fundamentet. (Heßelbarth, 2009)

Tabell 3 och Tabell 4; Dessa tabeller är relaterade till Figur 29 ovan. RMS värdena är för northing, easting och höjd. Standardosäkerheten i höjd är större än två centimeter. (Heßelbarth, 2009)

Tab. 3: RMS-Werte für Nord/Ost/Höhe nach einer statischen PPP-Auswertung für GPS

Uhrintervall	Gewichtsfunktion	RMS _N [m]	RMS _E [m]	RMS _H [m]
30 s	vollständig	0,015	0,023	0,024
30 s	elevationsabhängig	0,016	0,022	0,027
5 min	vollständig	0,014	0,024	0,031
5 min	elevationsabhängig	0,015	0,023	0,035

Tab. 4: RMS-Werte für Nord/Ost/Höhe nach einer statischen PPP-Auswertung für GPS/GLONASS

Uhrintervall	Gewichtsfunktion	RMS _N [m]	RMS _E [m]	RMS _H [m]
30 s	vollständig	0,013	0,019	0,021
30 s	elevationsabhängig	0,013	0,017	0,023
5 min	vollständig	0,013	0,021	0,025
5 min	elevationsabhängig	0,015	0,024	0,028

Antalet basstationer med bara en 30 sekunders tidskorrektur har ett interpolationsfel, som är ca fem gånger mindre än hos ett intervall på fem minuter och det kan eventuellt införlivas med bara en höjdosäkerhet vid viktsättningen. Viktsfunktionen blir då; $p=1/s^2$. (Heßelbarth 2009, s. 282)

7.4.2. Real Time Kinematic

RTK är en satellitmättningsmetod, där minst två mottagare används. En av mottagarna är basstation och läggs på en stompunkt i höjd med kända koordinater. Den andra satellitmottagaren är rörlig. Signalerna mellan mottagarna kan vara radio, GSM eller motsvarande. En eller flera basstationer kan användas vid kartering och etablering av en egen basstation behövs inte i så fall. Av alla mätningar skall 5 % av höjdfixpunkterna mätas minst två gånger från en och samma eller från en annan basstation om satellitförhållandena ändras lagom. Periodobekanta skall fastställas på nytt vid mätning från annan basstation. Höjdfixpunkterna skall vara jämnt spridda över kartläggningområdet. Mottagare med två frekvenser bör användas. Periodobekanta skall fås ut från mätning via Fixed lösning. Satellitgeometrin får gärna vara god och minst 6-7 olika satelliter bör mätningen ske mot. Reflektion av satellitsignalen nära träd, byggnader, vatten m.m. skall beaktas. Noggrannheten säkras genom att mäta stompunkter i höjd i bruksnät i närheten av karteringsobjekten. (Generaldirektör Ratia, Anvisningar för planläggningsmätningar, 2003, s.25-26)

Beräkningseffektiviteten och från algoritmernas utveckling RealTids Kinematisk mätning, RTK blev kvickt allmännare under 2000-talets ankomst.

Satellitantalet är betydande vid exempelvis RTK-mätningar. (Poutanen 2012, s.10 ja s.24)

Traditionell höjdbestämmning, avvägning, behandlar geopotentialskillnader som höjd, som är en fysikalisk storhet. Vi behöver en transformationsyta, en geoid, från vilken vi kan få GNSS:s ellipsoid höjder att bli till ortometriska höjder. (Poutanen 2012, s.38)

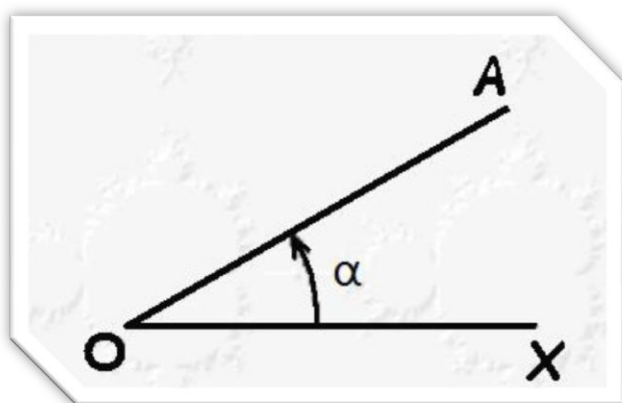
Avvägning baserar sig på mätning av geopotentialskillnaderna. En så kallad fri medelvattenståndsyta ställs i enlighet med geopotentialytan och rinner alltid från en högre potential till en lägre, alltså det vi på svenska kallar för "nedströms". Äldre

avvägningsinstrument har vattenpass, men i nutidens digitala avvägningsinstrument finns elektroniska libeller som läggs parallella med geopotentialen.

GNSS-höjdmätning beror på många olika saker, men i stora drag är avvägningens osäkerheter på korta sträckor lägre än GNSS bestämningens. De bestående GNSS stationernas höjdmätningar kan följas noggrannare, men GNSS mätning ersätter ändå inte i samtliga fall avvägning. (Poutanen 2012, s.98 ja s.103)

Ett höjdsystem bundet till geopotentialen är naturligt, eftersom vattnet rinner enligt de potentiella skillnaderna. (JUHTA 2007, JHS 163, s.1)

Basstationspunkter skall vid RTK-mätning vara fixpunkter i plan och/eller höjd och inga hinder över elevationsvinkeln på 15° får förekomma. (Lantmäteriverket i Finland 2011, s.6)



Figur 29; **X** representerar horisontalplanet. **A** är objektet som sikts mot, t.ex. en satellit. **O** är siktinstrumentet, som i detta fall lämpligen kan vara ett GPS-instrument. Vinkeln α är elevationsvinkeln mellan **X** och **A** i punkten **O**. (Kevius, Originalet är en enklare bild på elevationsvinkel, u.d.)

Avstånd mindre än 10 km från referensstationen är RTK algoritmerna anpassade för. Refraktionens, i princip signalbrytning i jonosfären, inverkar på RTK mätningar längre än 10 km från basstationen. (Engfeldt & Jivall, Så fungerar GNSS, 2003, s.19)

Jonosfären är det översta luftlagret i jordatmosfären på ca 70–1 000 km höjd, där gasen delvis joniseras, så att fria elektroner och joner existerar på denna plats. (Boström, NE förklaring på jonosfären, 2014)

Korrekationer från flera basstationer bildar NRTK, alltså Network Real Time Kinematic. GNSS-mottagare placeras på en punkt med kända koordinater. (Engfeldt & Jivall 2003, s.21)

En Global Navigation Satellite Systems, GNSS mottagare har en standardosäkerhet på 1-3 cm och metoden är vanlig RTK mätning. NRTK kan använda flera basstationer och på så vis kan en egen basstation avstås från. (Lantmäteriverket i Finland 2011, s.6; Engfeldt & Jivall 2003, s.17)

RTK eller NRTK mätningens minsta höjdvinkel får vara 15° . Mätningar och mätmetoders precision kontrolleras bl.a. via att höjdfixpunkter nära ett objekt utnyttjas för att säkerställa ett objekts noggrannhet. Nätverks-RTK praktiska funktion och mätresultatens riktighet kan

testas också t.ex. med en känd punkt nära verksamhetsstället innan man åker till mätstället. (Lantmäteriverket i Finland 2011, s.6 och s.3)

Anvisningar för planläggningsmätningar från 2003 och Föreskrift om mätningars noggrannhet och råmärken vid fastighetsförrättningar är litet oklara vad gäller angivelsen av elevationsvinkeln vid RTK-mätning. Tidigare text kring höjd- och elevationsvinkel styckena stöder detta påstående. Saken reds upp genom att kolla hurudant tillvägagångssätt som tillämpas i Sverige gällande saken. Sidorna 40 och 45 i LMV rapport fyra ”Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer” ger svaret. Lantmäteriet i Sverige använder en 13° elevationsmask. En satellitsignal kan brytas för mycket, om den ligger under 10° . En elevationsvinkel på 13-15 grader är det bästa och därmed gäller under vinkeln 10 grader och över 15 i Finland. (Eriksson 2010, s.40 och s.45)

Beräkning görs i realtid vid RTK-mätning. Koordinaterna, oavsett om de är longitud, latitud och en ortometrisk höjd eller angivna på annat sätt, fås alltså direkt vid inmätning. Basen är en mottagare på en känd punkt, oftast är de ändå två stycken, och kartläggningsmottagaren eller Rovern kan flyttas runt. Mellan dessa mottagare går en data förbindelse. (Lantmäteriverket i Finland, u.d.; Trimble, u.d.)

Redovisningskrav för RTK mätningar bör finnas. Kategorierna är ringa, medel och rejäl. Ringa kategorin innehåller GNSS utrustning, satellitsystem, tiden för mätningarna vid RTK, interna kvalitetstal med mera. (Alfredsson, 2014, s.13)

Interna kvalitetstal är en hopsamling av flera faktorer och är olika beroende på tillverkare. Detta tal för GNSS mottagare ger en fingervisning om osäkerheten vid mätning, som ges av mottagaren under mätning. GNSS utrustningens tillverkare använder sig av olika konfidensintervall, t.ex. 95, 99 och 99,9% av alla mätningar, vid RTK mätningarna. (Norin, et al., 2006, utgåva 3 år 2010, s.18 och s.12)

Medel kategorin redovisar distans till referensstation, bortfall genom korrektion av fel, korrektion för jonosfären m.m. Den rejäla kategorin har densitetsgrad, höjdskillnad, väderförhållanden och SNR-tal. (Alfredsson, 2014, s.13)

SNR talet anger signalstyrkan som ett förhållande mellan signal och brus. Sättet att mäta varierar mellan olika fabrikat. (Norin, et al., 2006, utgåva 3 2010, s.16)

Dessa redovisningskrav kopplas till nivåer med s.k. mätparametrar, som är påverkbara. Mätningparametrarna är exempelvis längden för en session, tidsfördelning och mätningsskontroll. (Alfredsson, 2014, s.13)

	I	II	III	IV	V
Sessionslängd	1-5 sekunder	≥ 5 sekunder	≥ 5 sekunder	≥ 15 sekunder	≥ 3 minuter
Antal sessioner	1	1	2	2	3
Tidsseparation	-	-	10-20 minuter	15-30 minuter	20-45 minuter
Redovisning	"Lätt"	"Medel"	"Medel"	"Medel/Tung"	"Tung"
Kontroll ingår	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja
Nominell mätosäkerhet	Se tabell x.x	Se tabell x.x	Se tabell x.x	Se tabell x.x	Se tabell x.x

	"Lätt"	"Medel"	"Tung"
Utförare	✓	✓	✓
Roverutrustning	✓	✓	✓
GNSS	✓	✓	✓
RTK-teknik/tjänst	✓	✓	✓
Förtätningsgrad			✓
Avstånd till närmaste fysiska referensstation		✓	✓
Jonosfäraktivitet		✓	✓

Figur 30; "Förslag till kvalitetsnivåer för RTK-mätning". Uttrycken i texten är desamma som här, men andra ord används. Tabell "x.x." varierar från fall till fall. (Alfredsson, 2014, s.14)

Dessa tre parametrar: sessionslängd, tidsfördelning och mätningskontroll ingår i de riktlinjer som bör granskas och godkännas. Studier görs på uppgifter från mätningarna för att bestämma rekommendationer som sifferformat, t.ex. mätsessionslängd eller gränsvärden för inställningarna i rovern. (Alfredsson, 2014, s.15)

En rovernottagare som använder sig av två olika mottagarfrekvenser, L1 och L2, och port för reelltidsmätning med RTK, samt möjligheter till efterberäkning, beräknas ha en 0,5 - 5 centimeters precision. Dessa är de dyraste som finns i Sverige år 2007 och kostnaden ligger på 100000-200000 kr plus kostnaden för abonnemanget vid relativ mätning. Den simplaste formen av mottagare för mätning med GNSS RTK mätning är en mottagare som tillämpar absolut mätning. Den absoluta mätningen använder sig av minst fyra satelliter, vilket nämndes tidigare i examensarbetet. Noggrannheten på den anspråkslösaste formen av mottagare är 10-20 m med en kostnad på 1-3000 kr. (Lilje, et al., 2007, s.39)

GNSS mottagare är i vanliga fall uppbyggda av följande delar; preförstärkare före förstärkaren på antenn, radiofrekvensdel, kraftaggregat som en styrande enhet, processor för GNSS-signaler, mikroprocessor som styr satellitsignalernas inkodning och bearbetar observations fakta vid verksamhetsområden, en eller flera kontrollpaneler samt en komponent för dataregistrering. (Lilje, et al., 2007, s.38)

För god prestanda hos mottagarna skall GNSS mottagaren, utföra både kod- och bärvågsmätningar, ha en hög upplösning i kodmätningen gärna genom bärvågsunderstöd, ta emot data från flera olika typer av satelliter, använda sig av två eller flera frekvenser, registrera flera signaler från satelliter samtidigt, bruka en eller flera kanaler från satelliter, användas inom kinematisk och statisk mätning med GNSS, samla data till

efterberäkningen, ha en användning för GNSS RTK, ha dataport för reguljärformatet RTCM, göra realtidsmätning genom att satellitmässigt ha goda kommunikations möjligheter, GNSS antennen vara god och nätet för jordplan vara enkelt att referera till, finna en fenomenal signalbehandling så att en primitivare GNSS anten kan användas. (Lilje, et al., 2007, s.38)

Resultatet vid GNSS RTK påverkas huvudsakligen av tillgången på satelliterna och på deras kvalitet, geometri och banor, sikt barriärer, antenn, flervägsfel som på engelska kallas multipath, och refraktion p.g.a. atmosfären. (Lilje, et al., 2007, s.40)

Satellitillgänglighet styrs av två faktorer, antalet satelliter som finns att tillgå, samt hur hygglig kvalitet vid en viss tidpunkt GNSS RTK mottagaren erhåller. (Lilje, et al., 2007, s.40)

Det sistnämnda kollas genom att titta i en satellitalmanacka. (Lilje, et al., 2007, s.41)

Dessa finns tillgängliga på internet, GPS World The Almanac är dock en av de mest informativa. (North Coast Media LLC, 2015)

GNSS almanackan skall vara ny, alltså inte äldre än två veckor gammal. Banparametrarna går att få, en del från GNSS mottagare, eller från nätet. (Lilje, et al., 2007, s.41)

DOP värdet anger hur suverän satellitgeometri som fås. DOP står för Dilution Of Precision och skall vara ett så lågt tal, som möjligt. Det finns flera typer av DOP, beroende på vilken periodobekant som skall lösas. De första bokstäverna G, P, H, T och V står för geometrisk, positions, horisontal, tid och vertikal. GDOP inkluderar tre positionerings koordinater och klockfel, PDOP x,y och, z, eller den enskilda ortometrisk höjden H i koordinatform som obekanta, HDOP två vågräta koordinater, TDOP bara klockfel och VDOP endast vertikal eller höjdkoordinat. (Lilje, et al., 2007, s.42)

Ett klockfel beror på att signalen inte skickas ut var för sig och mottas precis vid angiven tid. (Lantmäteriet i Sverige, u.å.)

Flervägsfel innebär reflektion av satellitsignal och beror många gånger på lokala förhållanden. Lång mättid och högkvalitativ utrustning minskar på denna osäkerhet. (Lantmäteriet i Sverige, u.å.)

När en GNSS-satellits utgivna banddata inte finns där det är tänkt att den skall vara, så uppstår ett banfel. Reducering genom relativ mätning, eller efterhandsberäkning av positioneringen vid förfogande över iakttagna/uträknade banddata av fin kaliber. (Lantmäteriet i Sverige, u.å.)

Det nämndes tidigare om jonosfären, som ligger på 70-1000 km:s höjd. Troposfären är det luftlager som finns på mellan 7-17 km:s höjd, beroende på breddgrad. GNSS signalen påverkas inom detta luftlager av vattenånga och väderlek. ”Troposfärfelet” är något mindre än ”jonosfärfelet”, även om båda är osäkerheter p.g.a. atmosfär. (Lantmäteriet i Sverige, u.å.)

Böjningen av signalen i dessa atmosfärlager leder till refraktionsfenomenet.

7.4.3. Real tids Uppdaterad FRI Station RUFRI

Referenssystem görs upp utgående från plan- och höjdstomnät som innehåller fysiskt utmarkerade punkter, koordinatbestämda vågrätt och i höjd. Punkterna brukas senare vid detaljmätning och kontrollmätning med totalstation, avvägningsinstrument och troligen mest använt GNSS-utrustning. Nuförtiden och samtidigt verksamhetsmässigt projektanpassat genomförande av referens sammanställningar är kombinerat av satellit grundad teknik för placering och fysiskt markerade stommärken i plan och höjd. Verkliga etablerade stompunkter är lägre eftersom maskinstyrningssättet av maskinerna på en entreprenad bygger på satellitgrundad positioneringsteknik. Stompunkter vågrätt och lodrätt är mestadels startpunkter vid kontrollmätningar och mätning utföranden där en högre precision krävs. (Hederos 2011, s.3)

Realiseringen som beskrivs gäller vid jobb ovan jord. Användningen under jordytan sker fortsättningsvis med traditionella mätförfaranden som görs från i praktiken angivna punkter. (Hederos 2011, s.3)

Styrning av GNSS signaler sker från monitoreringscentraler eller liknande. Direkt monitorering innebär att ett system kan fullgöras med en referensstation i anslutning till projektområdet och en lokal monitorstation. Monitorn ser till att eller har under uppsikt om radion används, att informationen sänds ut rätt och att data inte har grova fel. Detta sker kontinuerligt via ett program för monitorn som styr GNSS-mottagaren så att initialiseringen, exakta positionsberäkningen, upprepas. Tid innan fixlösning, noggrannhet i horisontell och vertikal positionering och antal satelliter är data som under händelsen loggas, lagras och är tillgänglig för godkända monitoranvändare. Stationen läggs vanligen ut i samband med projektet t.ex. vid ett projekts ortskontor. (Hederos 2011, s.8)

Referenssystem i höjd utförs genom stompunkter i höjd med acceptabel förbindelse med närmaste granne höjdfixar i landets system. Korrektionsmodellen i höjd sker som en genomgång av utvald geoidmodell, som beror på föremålets höjdsystem. Utförandet görs via en kvantitet kända punkter som avvägts i höjd med statisk-GNSS och efteråt utträttas en kalkyl, där mätdata beräknas tillsammans med data från referensstationerna i systemet. (Hederos 2011, s.9)

Högst tre veckor på förhand innan systemet satts i drift kan uträkningarna ske. Tidsfördröjning mellan satelliterna och GNSS mottagarna beaktas i detta skede. Beräkningen har som mål att jämföra referensstationernas realisation av referenssystemet och mätningarnas realisation av referenssystemet. (Hederos 2011, s.8)

Således bekräftas det transformations samband som räknats ut och resultatet kompareras efter detta med avvägd höjd. (Hederos 2011, s.9)

Ett godkänt samband leder till att den geoidmodell som har valts används inom projektet, i vissa fall med ett ortsbestämt skift. Dokumentation av beräkningarna med dess slutsatser verkställs av utträttande part. (Hederos 2011, s.9)

Utredd noggrannhet vid olika förtätningar av referensstationer i NRTK-nät från olika utredningar i plan/höjd i mm, (1σ).

	70 km	35 km	20 km	10 km	5 km
CLOSE 1	12/28	10/20	8/16	7/12	
SP, Optimering av referensstationskonfiguration (endast höjd)			Ca 13	Ca 9	Ca 8
Jansson 2011, exjobb Lantmäteriet	15/13		8/11	8/9	
Produktionskontroll BViv				8/11 ⁹	
Lantmäteriet	15/25				

Noggrannhet i mätningarna skiljer sig stort på grund av bland annat få mätningar, plats och tid för mätning, se vidare Norin m.fl. (2010) för mätningrutiner vid RTK-mätning. Noggrannhetsangivelserna i tabellen bör därför ses som optimala.

Noggrannhet vid mätning i NRTK-nät vid olika förtätningar av referensstationer med ursprung av högsta noggrannhetsvärde i mm från olika utredningar (se ovan), (1σ).

	70 km	35 km	20 km	10 km
Plan	15	10	8	8
Höjd	25	20	11	11

Den generella beräkningstjänsten som erbjuds med SWEPOS NRTK-tjänst ger ett medelfel i plan på 10 mm och i höjd på 15-20 mm vid mätning över 3 timmar, källa SWEPOS hemsida (2011-11-08). Vid användning av den projektanpassade beräkningstjänsten kan noggrannhet vid mätning i 60 min uppnå 5 mm i plan och 10 mm i höjd, Norin mfl. (2006).

Noggrannhet vid användning av beräkningstjänster (mm)

	Plan	höjd	mättid
SWEPOS standard	10	15-20	>240 min
Projektanpassad	5	10	60 min

Figur 31; PA-NRTK noggrannheter vid olika skeden i processen. Bilden är modifierad, men kan hänvisas till originalet. (von Malmberg & Andersson, 2011, s.10)
0.6826894850 är 1σ , då alla mätvärden anges som, 1, vilket ju är 100%. (OriginLab Corporation, n.d.)

Vid användning av GNSS PA-NRTK är standardosäkerheten baserat på standardosäkerheten i andra områden ± 13 mm i höjd. (Hederos 2011, tillägg till kortmanual, s.4)

Anslutningspunkter vågrätt och lodrätt skall vara grunden för alla arbetsmoment där en högre noggrannhet krävs än PA-NRTK ger. (Hederos 2011, Upphandling av mätningstekniska tjänster, s.7)

Repeterbarheten är fördelaktigare än 3 mm i vertikal led. Sämre repeterbarhet i höjd fås via instrumentets höjdmätning och även lägre precision i RTK-höjdmätning. Centrerung av instrument ger en högre precision. (Horemuz 2011, Testmätningar BanaVäg i Väst, s.7)

Den fria uppställningen av instrumentet fås via mätning mot bakåtomjekt med GNSS RTK, och samtidigt sker inmätningar av riktning, elevationsvinkel och längd mot samma objekt in med totalstationen. För att kunna reda ut detta skall distansen mellan referenspunkten, det elektroniska centrum som kan fås upp på instrumentet, på antennen på GNSS

mottagaren och prismet vara kända och givna från instrumentets inställningsdata. Tillvägagångssättet repeteras tills tillräckligt många bakåtoobjekt för projektets precision fås och fri stations koordinaterna och inriktning är deklarerad. (Andersson 2011, metodbeskrivning RUFRIIS, s.3)

Till RUFRIIS förberedelserna hör ett antal punkter. Valet av totalstation för detaljmätning, som har toleranskrav. Byggnoggrannhetsboken SIS-TS 21143:2009 tabell 1 om totalstationens mättningsnoggrannhet ger viss vägledning för hur stor bedömningen och beräkningen av obekanta blir vid RUFRIIS. Kvaliteten hos GNSS RTK mätvärdena i boken är den avgörande faktorn. RTK mätningens planering sköts, här, via LMV rapport 2006/2 utgåva 3 kapitel 5 och mätningförberedelserna genomförs med sådana prepareringar som skall bevisas skriftligen samt alla hänvisningar till givet referensnät, i Sverige Swepos. En prövning av RTK-mätningens precision på arbetsregionen, som görs upp i vårt grannland i enlighet med SIS-TS 21143:2009 7.2. Experiment med instrument och tillhörande utrustning genomförs mätning i förväg enligt boken SIS-TS 21143:2009 kapitel 4.1.2 och processeras fullt ut genom en skild undersökning av distansen mellan en antennis lägescentrum och kärnan i prismet. RTK definierade koordinater vid genomförandet av RUFRIIS uppskattas uppställningshöjden, då denna inte fås från närliggande nät i vertikalled. Regionala skillnader på av Lantmäteriet givna geoidmodeller finns. Dessa fall leder till att regelmässiga avvikelser mellan GNSS RTK mätta höjder och avvägda höjder noteras. (Andersson 2011, metodbeskrivning RUFRIIS, s.4)

Mätning och kontroll vid RUFRIIS har ett antal steg. Först skall en temporär markering på uppställningspunkten göras, där totalstationen sedan placeras. Blocklibell, den mest precisa typen av rörlibell eller kompensator skall användas vid horisontering. Efter horisontering centreras totalstationen med hjälp av laser- eller optiskt lod. En s.k. instrumenthöjdsjämnare skall användas för att mäta instrumenthöjden mera exakt. Den kända punkten mäts in som bakåtoobjekt och är möjligt att använda för koll av startriktningen hos stationen pre och post detaljmätning, vilket innebär att båda cirkellägena på totalstationen används två gånger för mätning mot bakåtoobjektet. (Andersson 2011, metodbeskrivning RUFRIIS, s.4)

Nu skall gemensamma punkter mätas in. Goda villkor för beräkning av plana stationskoordinater och sökandet av grova fel förutsätter att de gemensamma punkterna är spridda runt stationspunkten på ett klart sätt. Fördelningen skall vara på minst 180 grader eller 200 nygrader runt stationspunkten. Omgivningen kan tvinga arbetaren att lägga punkterna inom ett mindre parti inom vilket avstånden kan fluktuera. Geometrin hos punkternas höjddata påverkar inte resultatet, men nog antalet punkter påverkar detta. Konsekventa skillnader i höjddata kan uppkomma mellan avvägda och RTK inmätta höjder. Totalstationens riktning fås bäst då 20 procent av dessa gemensamma punkter ställs på samma avstånd eller längre ifrån detaljpunkterna som skall mätas in. Exempelvis 15 punkter är godtagbart antal. De kan placeras i ett cirkelsegment runt stationspunkten eller i en liknande, s.k. wedge formation, med god spridning inom detta parti.

Kontinuerlig inmätning av gemensamma punkter görs till den tidpunkt då önskad uppställnings och riktningens standardosäkerhet fås. Dessa punkters lägsta kvantitet är 15 stycken, som ger en fin kontrollerbarhet. Vid inmätningen av gemensamma punkter skall RTK mätningens noggrannhet vara av bästa kvalitet och RTK kvalitetsindikator såsom DOP ha ett schyst värde. Rutiner vid GNSS ges i ” LMV Rapport 2006:2 utgåva 3”. Simultan mätning med totalstation och RTK inverkar på resultatet. RTK och totalstations

mätningarna utförs samtidigt, så att rörelse av mätstången blir mindre. Stöd av stakkäppar är ett val då möjligheten ges. (Andersson 2011, metodbeskrivning RUFRIIS, s.5-7)
Den fria stationens toleranser är vid orientering uträknad på en punktdistans på 250 m är 7 mm i plan, 5 mm i höjd och 0,0018 gons riktinkel inom geodetiska stomnät och 14 mm, 7 mm och 0,0036 gon i bruksnät. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.32)

Om ett höjdnät kan fås, så skall höjden hämtas trigonometriskt mätt i båda cirkellägena från en närliggande stompunkt i höjd på ett högst 250 meters sträcka. Detaljmätning från flera stationer som använder RUFRIIS använder omlottsmättnings metoden enligt SIS-TS 21143:2009 kapitel 7.4. Mätning mot bakåtojekt kontrollerar stationsorienteringen. Kontrollmätningens krav ges i SIS-TS 21143:2009 tabell 24. Avslutningsvis görs kontroll av centreringar och instrumenthöjder. (Andersson 2011, metodbeskrivning RUFRIIS, s.5)

RUFRIIS beräkningen inkluderar insatt data, såsom inmätta orienteringar och avstånd och dessutom koordinater från mätningarna med RTK. Periodbekanta vid uträkningen är stations koordinaterna (N,E,H) och utgångsriktningen och viktning av orienteringar och avstånd görs med totalstationens a prioridata. Varians kovarians matrisen räknas ut vid inmätningen av punkternas northing, easting och normalhöjden från mätningen med RTK. Minsta kvadratmetoden, MKM, används vid den stränga utjämningen i det räkningssteget. Grova fel skall sökas efter vid utjämningen och punkten tas bort, om den innehåller ett sådant. Dessutom tas alla observationer mot den gemensamma punkten bort. Korrektionerna för höjdreduktion och projektion i enlighet med SIS-TS 21143:2009 5.1 eller motsvarande. RUFRIIS dokumentering ger punkternas nummer, datum, tid, genomförare, väder, mätningarnas värden som innehåller temperatur och lufttryck, uträkningar och avvikelser mot bakåtojekt som kontrollerande värden samt koordinat- och orienterings standardosäkerheter RUFRIIS etablering, kontroller vid etableringar av stationer och bakåtojekt, instrumenthöjd pre och post detaljmätning och en mätplan samt de nya punkternas placering. (Andersson 2011, metodbeskrivning RUFRIIS, s.7)

Korrelationsanalysen skrevs, för att få reda på om kontinuerliga effekter vid RUFRIIS observationerna under ett kortare tidsintervall, tidsbundna fel vid den fria uppställning och om spridning av observationerna för etablering av fria stationen tidsmässigt avlägsnar eventuella tidens korrelerade fel. Osäkerheten hos totalstationens, TS, och GPS-mätningarna ger den fria instrumentuppställningen en platsbunden och riktningsmässig osäkerhet. Samordningen av GPS och TS mätningar d.v.s. att med metoderna mellan mättillfällena påverkar också denna osäkerhet, där felkällan hos samordningen av dessa mätningar är det som nämnts sist kan utgallras.

RUFRIIS uppstod under projektet Bana Väg i Väst. Trafikverket i Sverige var den största pådrivaren för projektet. Metoden, RUFRIIS, möjliggör enkelt byte mellan traditionell mätning med takymeter och RTK mätning. Etablering av fri station sker genom att samtida mätningar sker med takymeter och RTK. Projektets utvecklingsmål är att studera; RUFRIIS repeterbar- och kontrollerbarhet, hur tiden vid RTK-mätning påverkar slutgiltiga koordinater och orientering vid etablering av RUFRIIS, samt en praktisk studie av hur det hela fungerar i SWEPOS-nätet som inte har anpassats för projektet. SWEPOS är Lantmäteriets stödsystem för satellit positionering i Sverige med ca 300 referensstationer. Ett gemensamt kontrollerbarhetstal, k-tal, från redundansen eller med andra termer varje enskild mätningens k-tal i RUFRIIS. Ett k-tal är antalet överbestämningar dividerat med antalet mätningar. Punkternas koordinater och orienteringar görs upp genom att använda

minsta kvadratmetoden, som ger en sträng utjämning av samtliga mätningar. (Trafikverket i Sverige 2011, s.7 och s.12-13; Lantmäteriet i Sverige, GPS dag 306, 2014)

En överbestämning är en mätning utöver det som krävs. Statistiska skäl och urvalet bland mängden mätningar är ofta orsaken till att överbestämningar behövs. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Stommätning, s.16)

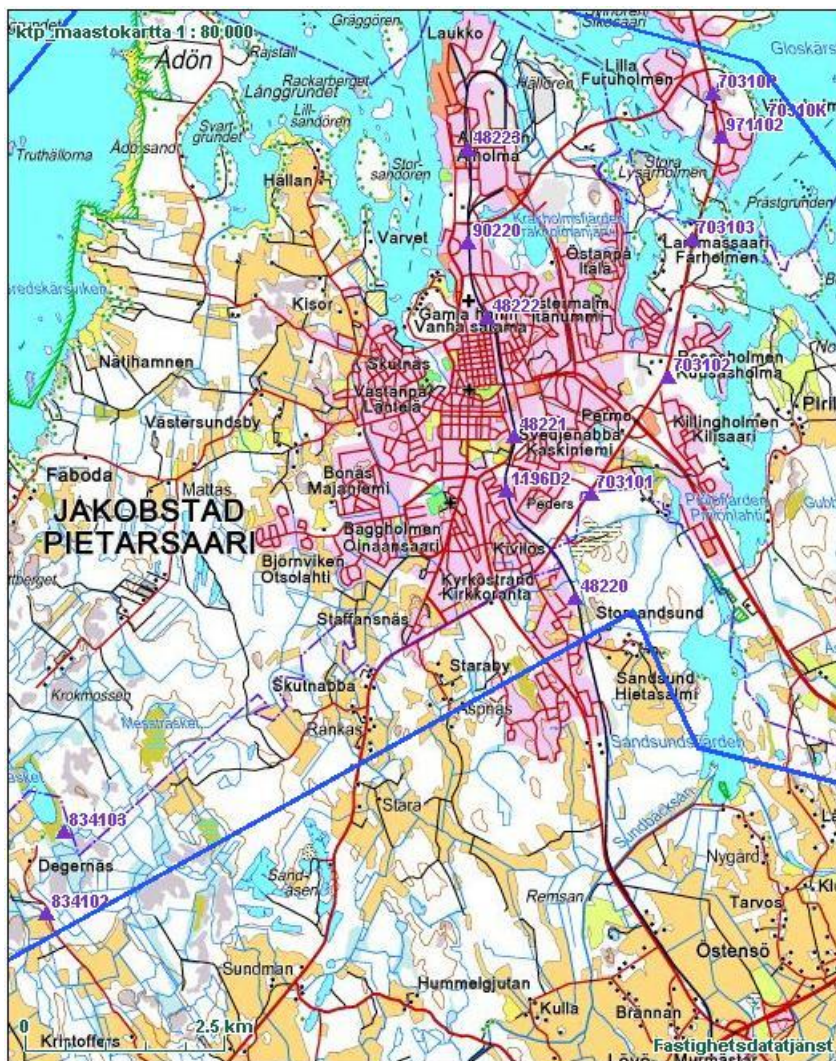
8. Det aktuella höjdnätet i Jakobstad

Höjdsystem och höjdkoordinatsystem kan i detta fall tolkas som samma sak. Båda kan dock utgå från en geoidmodell och oftast har höjdfixkoordinaterna en höjd över ett medelvattenstånd, som anges in i markytan som en teoretisk geoidyta. Geoidytan och geoidmodellen refererar till samma geoid, förutsatt att de är på samma område och täcker en likadan areal i två dimensioner eller volym i tre dimensioner. Geoiden syns i verkligheten genom höjdfixpunkter, som även har plankoordinater angivna. Vikström anser också att Lahti stad har en högre noggrannhet på stompunkterna i höjd, eftersom de har gjort upp en laserskannad modell med jämna höjdmetrars mellanrum. Detta tas upp senare i detta slutprov. (Laamanen, Projektplan för Euref- mätningar, 2012, s.4)

Lantmäteriverket och eventuellt andra institutioner i Finland önskar att kommunerna skall övergå från kartverkskoordinatsystemet och uppdatera plankoordinatsystemen till EUREF-FIN och höjdsystemet till N2000. Detta beror på att dessa institutioner, i de flesta fall statliga, har övergått från kartverkskoordinatsystemet och höjdsystemet NN till EUREF-FIN och höjdsystemet N2000. (Laamanen, Projektplan för Euref- mätningar, 2012, s.4)

Under kapitel sex i Jakobstads projektplan för Euref-mätningar sägs en genomsnittlig skillnad mellan höjdsystemen NN och N2000 vara 0,83m enligt landhöjningen. (Laamanen 2012, s.3)

Jakobstad har byggt upp en egen geoid i NN höjdsystemet, som har anpassats enligt 14 stycken avvägningpunkter utförda av Lantmäteriverket och Geodetiska Institutet. Dessa höjdfixpunkter är av första till tredje ordningens höjdfixpunkter. Sex av dem ligger i den centrala delen av staden längs tågbanan. I stadens centrum har avvägningarna lyckats bättre, men i förorterna gäller inte detsamma. Planen är att en ny precisionsavvägning genomförs vid byte av höjdsystem. Att informera befolkningen om saken är av stor vikt, då många påverkas av det som händer i samband med höjdsystemsbytet. Intressentskaror använder dessutom olika system och vill därför få information om höjdsystemsbytet. (Laamanen 2012, s.9-10)



Figur 32; Statens första klass stompunkter i höjd i Jakobstad. (Lantmäteriverket i Finland, Första ordningens stompunkter i och runt Jakobstad)

8.1. Mätningars planläggning

Ett stort område ungefär 5999 polygonpunkter indelat i sex distrikt, som fodrar systematisering av mätningarna och deras planläggning. Samma gäller för höjdfixpunkterna, som numreras från 500-999 och täcker Jakobstads areal år 1948.

8.2. Höjdmätningen i Jakobstad 1948-1949

Mellan åren 1912-1913 hade ingenjören Al. Ahlström avvägt ett stornät i höjd. Nätet i fråga har bundits till Hydrografiska Institutets höjdfixpunkter. Avvägningsprotokoll och utjämningsräkningar finns inte tillgängliga, men vi kan heller inte betvivla noggrannheten i mätningarna. (Jakobstad, Arkivdokumentation, 1948, s.9)

8.2.1 Precisionsavvägning

Geodetiska Institutet har avvägt höjdfixpunkterna 48220, 48221, 48222, 48223, 48224, 1196D, 1196G och 1196E år 1948. Punkterna ligger längs tågbanan Bennäs- Jakobstad-Alholmen. Landhöjningen från år 1912 tills detta år var då 0,248 m. Landhöjningen beräknas vara 7 mm per år. Året 1948 var även Jakobstads nollnivå 30 cm över

normalnollnivån. Vid detta tillfälle behövdes ingen korrektion av nollnivån. Vid planeringen av höjdfixpunktsnätet skall om möjligt alla punkter i det gamla nätet tas med. Observationernas fel utjämnas inte enligt minsta kvadratmetoden, utan enligt det s.k. knutpunktssystemet. Denna utjämnning möjliggör fördelning av felen på de olika avvägningsträckorna omvänt mot antalet stag. (Jakobstad 1948, s.10)

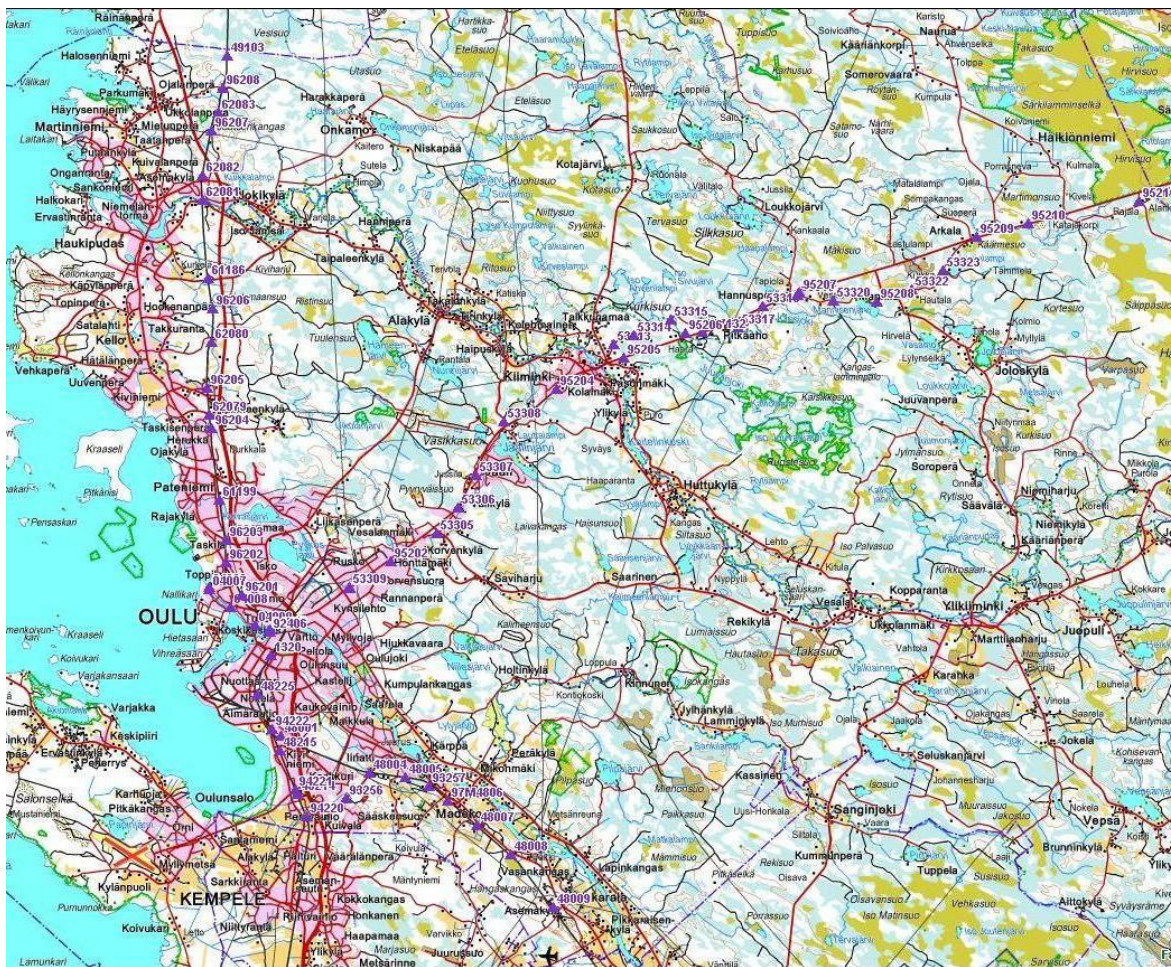
9. Övergången till N2000-höjdsystemet i andra städer

Det är inte bara Jakobstad, som har åtagit sig att övergå från NN till N2000. Det kan finnas flera städer, som har gått eller kommer att övergå till N2000-höjdsystemet. Här kan Uleåborg, Lahtis och Vasa nämnas. De har använt litet olika tillvägagångssätt vid bytet av höjdsystem. Orsaken till att detta utreds är att se om Jakobstad kan tillämpa något av sätten i sin helhet eller delar av tillvägagångssätten, för sitt byte av höjdsystem.

9.1. Uleåborg

Uleåborg utförde övergången mellan NN och N2000 som en geoid genom de redan befintliga höjdfixpunkterna och höja upp geoiden + 0,75 m. (Oulun kaupunki, 2012)

Detta tal räknades ut utgående från JHS 163. Det exakta omvandlingstalet blev + 0,747 m, men Uleåborgs stad valde att använda + 0,75 m inom vanliga mätningar. De yttre delarna beräknades skilt, bl.a. eftersom deras stompunkter i höjd var angivna i N60 höjdsystemet. De sex stadsdelar som staden delades in i Haukipudas, Kiminge, Oulunsalo, Yli-Ii, före detta Övrekiminge och från NN höjdsystemet i Uleåborg. + 0,747 m, fås genom valda steg i JHS 163 . (Oulun kaupunki, i.v.)



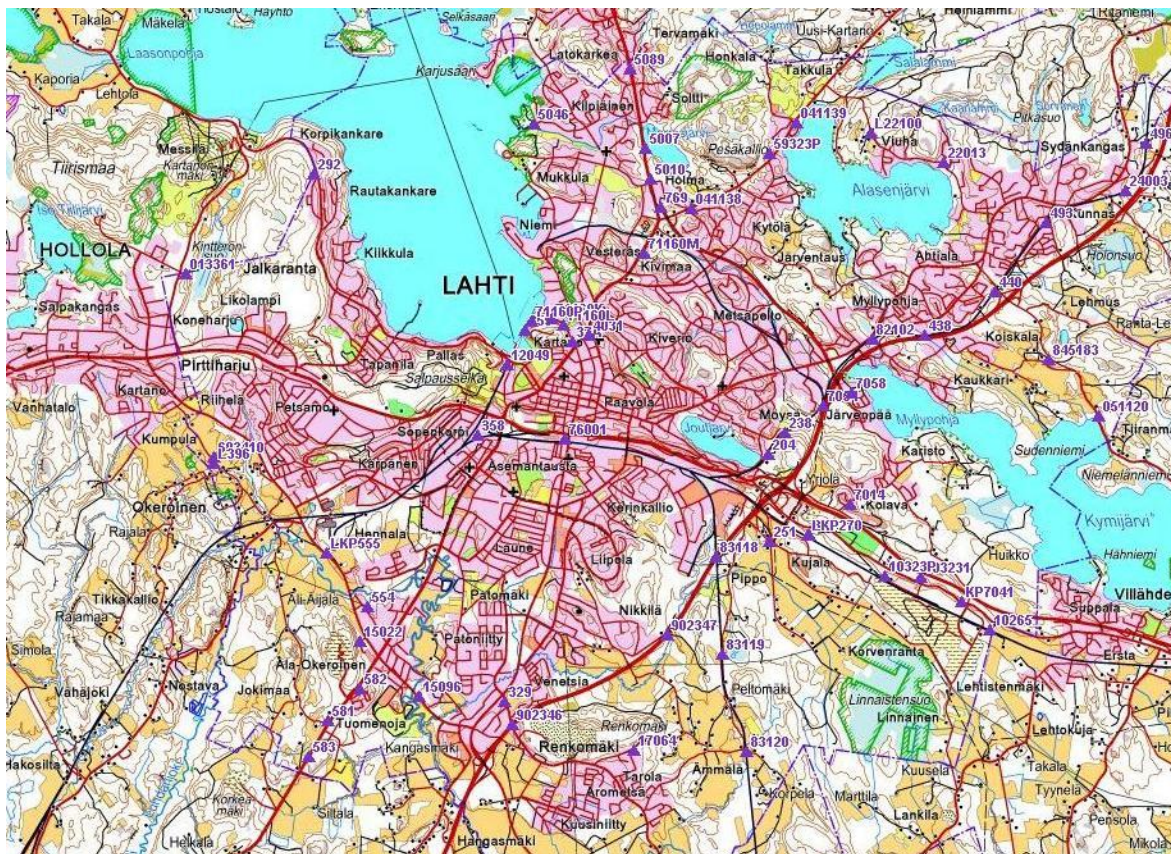
Figur 33; Alla höjdfixpunkter i första klass i Uleåborg med omnejd. Gränsdragningarna mellan höjdfixpunkterna baseras på tidigare indelning och sammanställda enligt medeltal för alla höjdfixpunkter sammanförda till sex olika områden. (Lantmäteriverket i Finland, Klass 1 stompunkter i höjd i Uleåborg med omnejd, u.d.)

Dessutom var en del höjder, precis som i Jakobstad och eventuellt i Vasa, höjder i N60 höjdsystemet. Till dessa lades + 0,40 m, även om förortererna kan ha ett lägre additionsvärde, såsom + 0,38 m. (Oulun kaupunki, 2012)

9.2. Lahti stad

Lahti stads lokala NN höjdsystems geoid blev till genom att addera en liten korrektion till det som kallas NN grundgeoiden. Lahtis modell skiljde endast 3 millimeter ifrån grundgeoiden, vilket förmodligen är en av de minsta skillnaderna bland de städer och kommuner, som har eller håller på att genomföra byte av höjdsystem från NN till N2000. Bytet av höjdsystemet i Lahtis gjordes i två etapper. Tidschemat och budgeteringen var orsakerna till det här. Mellan åren 2007 och 2008 laserskannades hela Lahtis. En noggrann ytmodell skapades utgående från denna laserskanning. Modellen förenklades genom att bilda höjdkurvor med jämna höjdmetrars mellanrum. (Honkanen 2010, Paikkatietoikkuna)

Den slutgiltiga höjdtransformationen baserade sig på Nylands lantmäteribyrås avvägningsprojekt, inom vilket sammanlagt 93 av Lahtis stompunkter i höjd var N2000 höjder. De statligt mätta stompunkterna i höjd är 58 st, vilket visas i följande figur. Transformationspunkterna valdes så att lokala skillnader skulle passa utmärkt i höjdsystemet. Avvägningslinjerna var allt som allt 65 km. Alla avvägningars dellinjers anslutningsfel underskred 3,2 ppm. (Honkanen 2010, Paikkatietoikkuna)



Figur 34; De 58 st statligt inmätta stompunkterna i höjd i Lahti stad. (Lantmäteriverket i Finland, Alla Lahti stads stompunkter i höjd)

Medelvärden och medelavvikelsen för transformationspunkterna beräknades för att få fram höjdskillnaden mellan höjdsystemen. För att välja bort punkter på ett pålitligt sätt, så togs de punkter som överskred medelavvikelsen tre gånger. Punkterna var sammanlagt fem stycken och skillnaden mellan Lahtis NN höjdsystem och N2000 var + 382 mm. Höjdskillnaden mellan resultatet från höjdtransformationen och den slutliga höjd avvägningen blev då 1 mm. (Honkanen 2010, Paikkatiетоikkuna)

9.3. Vasa stad

Vasa stad håller på att skapa nya höjdkurvor, men har redan övergått från NN till N2000-höjdsystemet. Grund höjdfixpunkterna i avvägningståget finns färdigt dokumenterade i Geodetiska Institutets Suomen kolmannen tarkkavaaituksen kiintopisteluettelo. En fri översättning kan vara; fixpunktsförteckning från Finlands tredje precisionsavvägning. (Blom, 2014)

9.3.1. Allmänt

Höjdfixpunkterna från avvägningsslingan mellan Höstves och Vasas gamla mareograf i boken har använts och de utgör referenspunkter för Vasa stads höjdfixpunkter. Dessa nya avvägda höjdfixpunkter ligger till grund för övergången från NN till N2000, eftersom de är stompunkter i höjd av första klass. Vasa stad har utgått från en avvägningsslinga längs tågbanan i Vasa. Mätningarna av denna har utförts av Geodetiska Institutet. Klas Blom, mätningstekniker på Vasa stad, har deltagit i processen och intervjuats. (Blom, Intervju, maj 2014; Blom, Allmänna samtal, 2014)

Höstves ligger ungefär 12 km från Vasa centrum i vädersträcket östsydöst.



Figur 35; Vasas gamla mareograf. (Havsforskningsinstitutet, Mareografen i Vasa har varit verksam i 80 år, 2002)



Figur 36; Vasas nya mareograf. (Havsforskningsinstitutet, Mareografen i Vasa har varit verksam i 80 år, 2002)

År 1921 byggdes den gamla mareografen på, vad som då var, Finska Socker Ab:s brygga. Vasa Tekniska Fabrik Ab stod för byggandet av den. En petroleumlampa var tänkt att hålla mätningsbrunnen isfri, men eftersom detta inte riktigt fungerade kan det mycket väl hända att detta är en av orsakerna till dess rivning. Havsforskningsinstitutets direktörer Witting och Renqvist, den senare på vattenståndavdelningen, planerade några år på förhand den apparat, som skulle rita vattenståndskurvorna längre fram i tiden. H. Renqvist var förövrigt även den som planerade Vasas gamla mareograf. Kurvorna enligt vattenståndsmätningarna ritades i naturlig storlek på en 2,85cm stor pappersrulle. Vattenståndets förändringar blev i skalan 1:1. Motvikten till flottören utgjordes av ett hjul, som var en meter i diameter och följde mätningsbrunn flottörens rörelser. Hjulet hade 10 fastsatta pennor med jämna mellanrum i olika färger. Dessa 10 pennor angav, via färger, observationstalen med en decimeters noggrannhet.

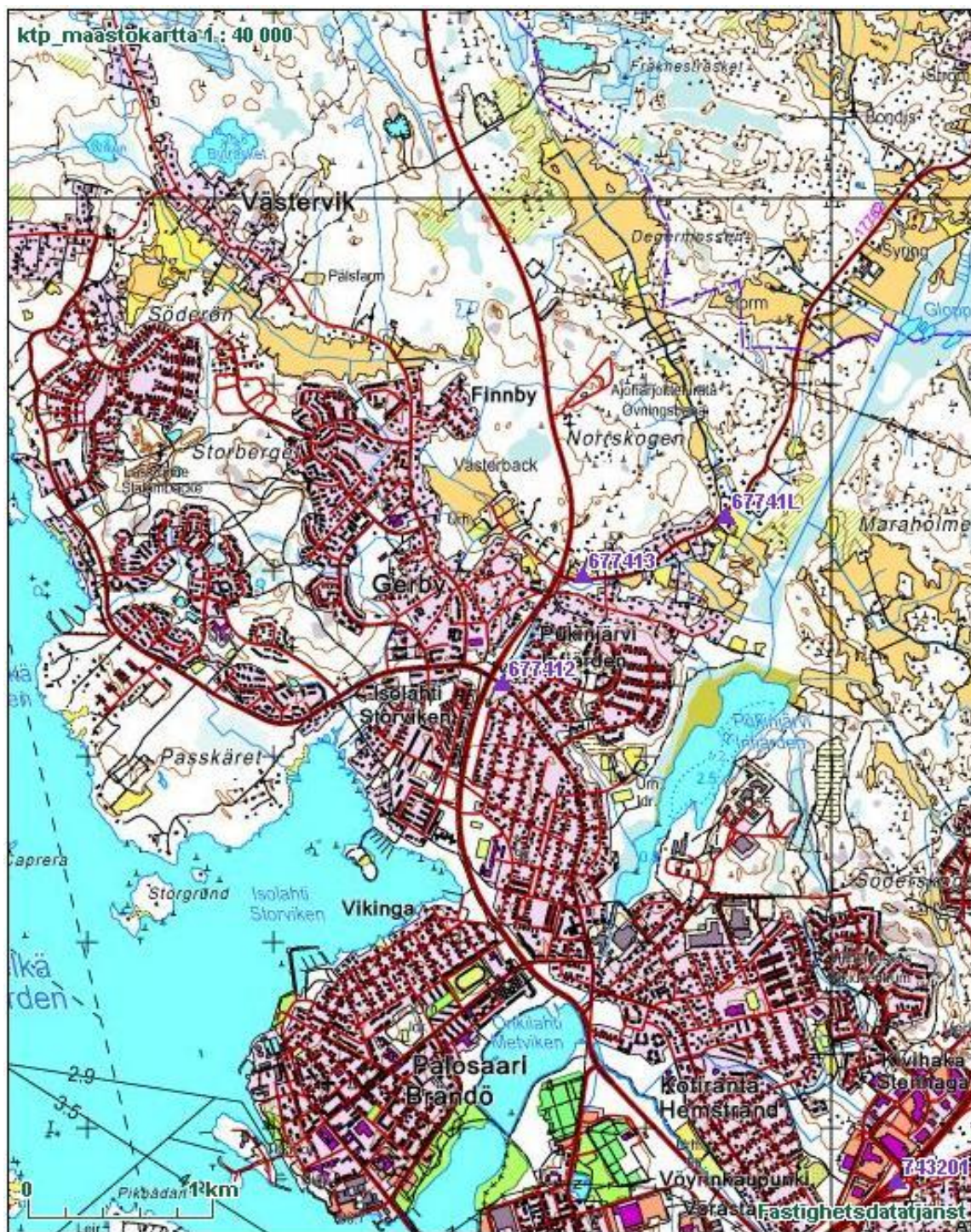
Urverket och kontrollmätning ingick i mareografskötarens uppgifter. Detta mekaniska urverk styr den inre funktionaliteten och behövdes dras upp en gång i veckan. Förbindelsen mellan havet och mätningsbrunnen är ett dämpningsrör, som står emot påverkan från vågrörelserna. Varenda månad lösgjordes pappret med det ritade vattenståndet och sändes till Havsforskningsinstitutets vattenståndsavdelning för avläsning och registrering. Vattenståndsmätningar i realtid fanns alltså inte. Redan på 1960-talet var det svårigheter med en ofta igenfrusen brunn och ett tilltäppt dämpningsrör. Den nya mareografen, som visas ovan på figur 32, ligger i Vasklot nära farleden vid stationens strand bredvid

Sundombron. Den nya mareografen togs i bruk den 23.8.2000.(Havsforskningsinstitutet 2002, Vasas mareograf; Visa & Koivula 2005, Om mareografer från Mäntyluoto mareografen)

9.3.2. Uppbyggnad av höjdnätet

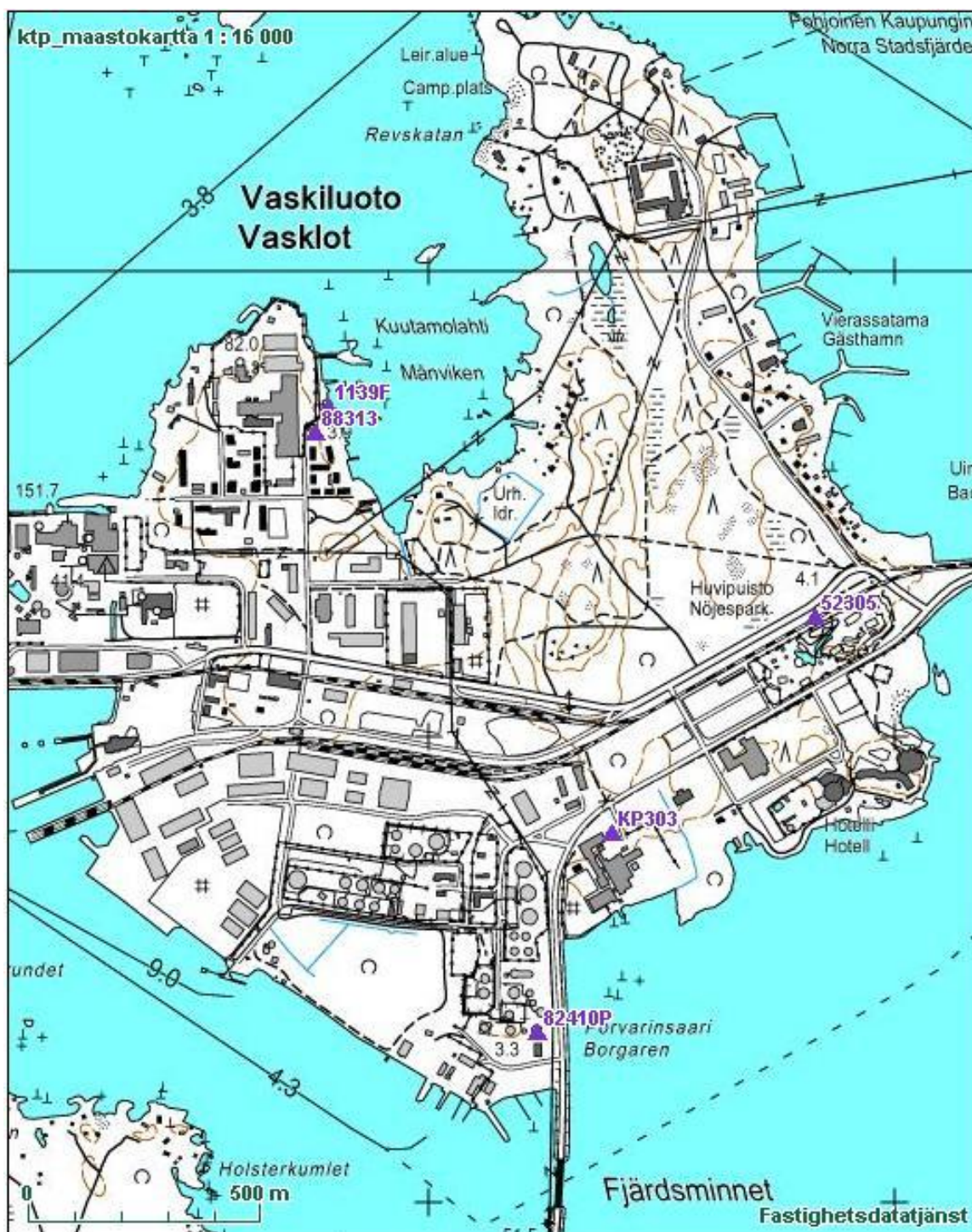
Vasa stads N2000 precisionsavvägning genomfördes 2012-2013. SITO Tietotekniikka Oy planerade dessa avvägningar, medan staden genomförde dem. Nätets utjämningsberäkningar utträttade Geopixel Oy. Målsättningarna var att verkställa ett noggrant N2000 stomnät i höjd för praktiska mätningssändamål, att få en korrektion för flyttningen av referensytan, grundgeoiden, mellan NN och N2000 höjdsystemen, samt att bestämma en lokal grundgeoid med hjälp av precisionsavvägda GNSS mätpunkter. Nuförtiden utförs precisionsavvägningarna ofta i en riktning beroende på tid och resurser. (Hakala 2013, s.2)

De yttre delarna av höjdfixnätet ansluts via Höstves. De yttre delarna består bl.a. av Västervik, Vasklot och Malax. Den förstnämnda orten har bara tre stycken stompunkter i höjd av tredje klass, vilket visas i Figur 6. Punkt 743201 är längre in mot centrum och räknas därför inte till området. De tre stompunkterna i höjd i Västervik är 67741L, 677413 och 677412. 67741L är en bult i jordsten, 677413 har bult och nummer i jordsten och 677412 har bult och nummer i berg.



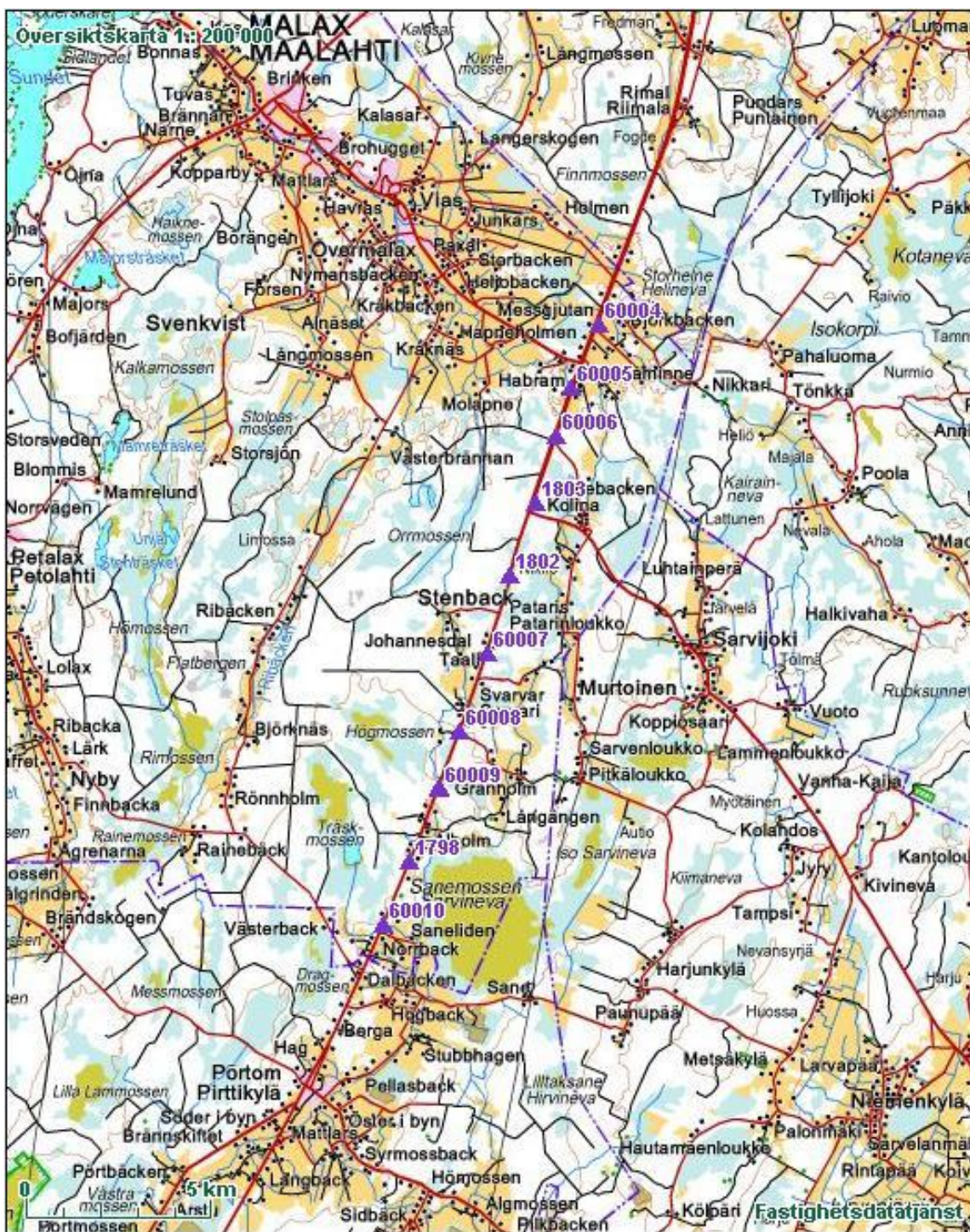
Figur 37; Stompunkter i höjd av tredje klass i Västervik. (Lantmäteriverket i Finland, Tredje klassens stompunkter i höjd i Västervik, Vasa, u.å.)

Vasklot har tre höjdfixpunkter av första ordningen och två av tredje. 1139F är av första klass och ligger 14,3 m från vägen. Höjdfixpunkten är en punkt i berg. Grannpunkten 88313 är också av första klass, men den är en kulbult i berg och ligger 3,5 m ifrån Industrivägen. Stompunkten i höjd nära Wasalandia är också en kulbult i berg. Samtliga av första klassens stompunkter i höjd har inmätts av Geodetiska Institutet. Höjdfixpunkterna KP303 och 82410P är följaktligen av tredje klass, KP303 är en kulbult i byggnadsgrund och 82410P är ett rör i en jordsten vid ett oljeförvaringsområde.



Figur 38; Första och tredje klassens höjdfixpunkter i Vasklot. (Lantmäteriverket i Finland, Första och tredje klassens stompunkter i höjd i Vasklot, Vasa)

Malax har hela 10 stompunkter i höjd av första klass. 60004 och 60010 är bultar i jordsten, 60008 är kulturbult i berg och resten av stompunkterna i höjd är bult i berg. Alla torde ligga på en allmän asfalterad väg.

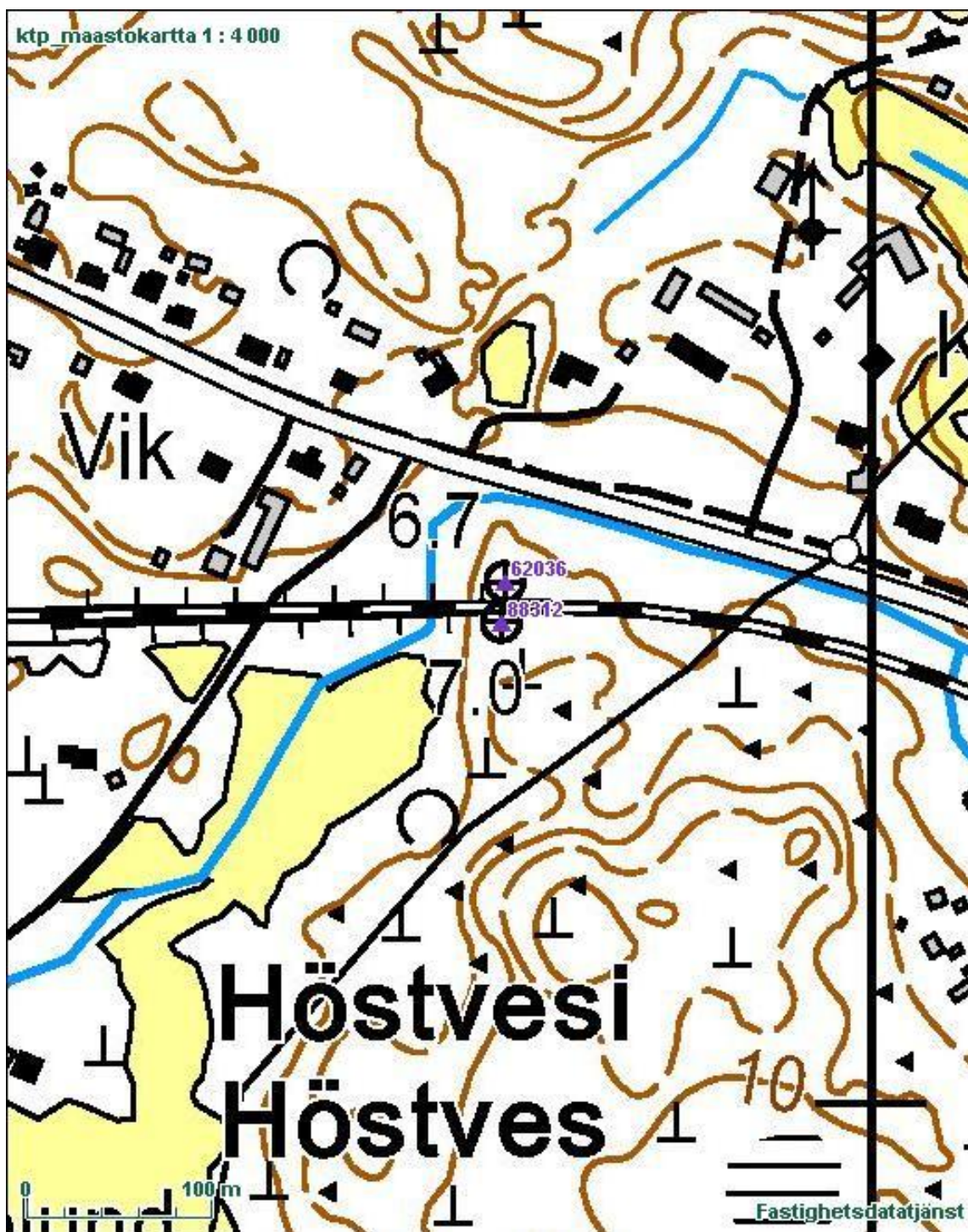


Figur 39; Stompunkter i höjd av första klass i Malax. (Lantmäteriverket i Finland, Stompunkter i höjd av första klass i Malax, u.å.)

Alla dessa stompunkter i höjd, 17 st., har anslutits via i främsta hand första klassens stompunkter i höjd i Höstves. Figur 7 och 8 visar fördelningen av de här 5 st. höjdfixpunkterna i Höstves. (Blom, Allmänna samtal, 2014; Lantmäteriverket i Finland, Stompunkter i höjd av första klass i Malax, u.å.; Lantmäteriverket i Finland, Tredje klassens stompunkter i höjd i Västervik, Vasa, u.å.; Lantmäteriverket i Finland, Höstves stompunkter i höjd av första och tredje klass, u.å.; Lantmäteriverket i Finland, Två stompunkter i höjd av första klass i Höstves, u.å)



Figur 40; Höstves stompunkter i höjd av första klass och 7221 av tredje klass. (Lantmäteriverket i Finland, Höstves stompunkter i höjd av första och tredje klass, u.å.)



Figur 41; Höjdfixpunkter av första klass i Höstves. Kartan har skalan 1:4 000. (Lantmäteriverket i Finland, Två stompunkter i höjd av första klass i Höstves, u.å)

9.3.3. Avvägningen

Precisionsavvägda stompunkter i höjd skall enligt JHS 185 ha en relativ noggrannhet som är bättre än 5 ppm, alltså 5 mm/km. (JUHTA, JHS 185, 2014, s.8)

Utgångspunkter tas i de flesta fall från avvägningsslingor eller -tåg, eftersom det oftast utförs som precisionsavvägning. (Eriksson, LMV rapport Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning 2010-5, s.41)

Fri station, fri uppställning eller fri etablering betyder att från instrumentet t.ex. avvägningsinstrument, GPS eller takymeter, mäts riktning och avstånd från en fritt vald arrangemangspunkt. Höjdmätningen fordrar en höjdbestämmning av instrumentet. En högre regional precision uppnås, eftersom den fria stationspunkten interpoleras från flera närliggande brukspunkter av samma slag som den kända punkten. Felaktigheter vid stationsetablering ger ett händelseförlopp hos kommande punkter i detaljmätningen och skall därför genomföras med stor noggrannhet. (Lantmäteriverket i Sverige 1996, HMK Detaljmätning, s.5, 25 och 27)

Mätninginstrumenten Topcon DL-101C digitalt avvägningsinstrument och två stycken SI-3 invarlattor användes i Vasas höjdnät. Tillverkaren lovar att DL 101C:an skall vid dubbelavvägning ha en kilometersäkerhet på $\pm 0,6 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ och om precisionsavvägningen endast utförs i en riktning fås i ideal fallet ca $\pm 1 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$. (Hakala 2013, s.3)

Ett avvägningsnät innehar, bara avvägningståg eller avvägningståg med fri stations punkter. Avvägningstågen innehåller knutpunkter, där knutpunkt är en punkt där två avvägningsslingor möts och blir till en. (Lantmäteriet i Sverige m.fl., Geodetisk och fotogrammetrisk mätning- och beräkningsteknik, 2013, s.100)

Laamanen konstaterar att ingen klassificering av stompunkterna i höjd förekommer i Anvisningar för planläggningsmätning 2003 och JHS 185. Han anser att en sådan klassificering behövs och att ingen skillnad mellan avvägda och höjdfixpunkter omvandlade via en förflyttningkoefficient finns. (Laamanen 2013, s.3)

Vasa har dock gjort en enklare klassificering av de höjdfixpunkter som finns inom dess areal. Klass ett består av höjdfixpunkter i berg, klass 2 av, rörstompunkter i höjd, av jordsten och resten i tredje klass. (Blom, Allmänna samtal, 2014)

Det togs tidigare upp punktklasserna 1,1e, 2,3,4 och 5. De fyra förstnämnda punktklasserna brukar dock användas mest. (JUHTA, JHS 185, 2014, s.4)

Geodetiska Institutets landsomfattande geoidmodell FIN2005N00 kan användas, för att korrigera EUREF-FIN koordinatsystemets ellipsoidhöjder till normalhöjder (Laamanen 2013, s.3)

9.3.4. Beräkningen av höjdnätet

Formeln för den relativa noggrannheten hos begränsningsvärdet, där B_g är begränsningsvärdet angivet i mm/km och σ_{sobu} , alltså sigma sobu, som anger standardosäkerheten hos skillnaderna vid mellanrummen hos bultarna i mm och S för längden mellan två punkter i meter, kan lyda;

$$B_g = 1000 * \sigma_{sobu} / S$$

Utgångspunkterna i precisionsavvägningsnätet var sammanlagt åtta stycken. Sex höjdfixpunkter var statliga stompunkterna i höjd av första klass. De två resterande stompunkterna i höjd var av tredje klass. Det optimala sättet att minimera osäkerheterna hos dessa punkter är att ha de nyinmätta höjdfixpunkterna innanför utgångspunkterna. Fördelen med Vasa stads precisionsavvägning var att det var möjligt att binda nyinmätta punkter till avvägningsslingor, som oftast har en högre noggrannhet, samt att spridningen och den gynnsamma positioneringen av utgångspunkterna var relativt jämn. (Hakala 2013, s.2-3)

Beräkning av anslutningsfel vid utjämning görs med hjälp av viktning, d.v.s. att sätta ett förhållande mellan inmätta punkter. Slutningsfelet i avvägningsslingan, där utgångspunkterna för det mesta är, påverkar höjdfixpunkternas osäkerhet. (Hakala 2013, s.3)

Från utgångspunkterna till andra observationer inom tåget inverkar också osäkerheterna hos höjdfixpunkterna. På samma inmätta punkt fås endast ett slutningsfel på höjdskillnadsobservationerna hos den slutna länken. (Hakala 2013, s.3)

Från tågens slutningsfel uppskattas standardosäkerheten i kilometer.

Kilometerstandardosäkerheten var $m_0 \approx \pm 8 \text{ mm} / \sqrt{\text{KM}}$, vilket tyder på ett relativt grovt fel på ett eller flera av mätningresultaten i båda avvägningsslingorna. (Hakala 2013, s.3)

Minsta KvadratMetoden, MKM, nätutjämning kan ske via de vanligaste transformationssätten förutom Helmert och skillnaden gentemot andra nätutjämningsätt är att tillvägagångssätten vid en MKM-nätutjämning kan variera mera.

I början av N2000-höjdsystems beräkning erhöles en $\pm 3 \text{ mm} / \sqrt{\text{KM}}$ kilometerstandardosäkerhet. (Hakala 2013, laskentarapportti, s.4)

Det fanns två möjligheter att utföra nätutjämningsätt, en del via stompunkt, som utgångspunkt i höjd med standardosäkerheten $\pm 0 \text{ mm} / \sqrt{\text{KM}}$, eller via viktade, ett givet förhållande för jämförelse mellan punkterna, utgångspunkter med lämplig standardosäkerhet, t.ex. $\pm 3 \text{ mm} / \sqrt{\text{KM}}$. Vissa höjdfixpunkter i avvägningsslingan har avvägts på nytt. Detta kunde bero på flera faktorer, men först och främst det faktum att stompunkterna i höjd avvägdes på vintern, då snö och is kan ackumuleras och horisontering av avvägningsinstrumentet är svårare. Andra delar av staden lämnades bort, för att de redan i viss mån har precisionsavvägts, såsom Vasklot, Sundom och Malax. De hör till de yttre delarna av Vasa stad. (Hakala 2013, laskentarapportti, s.4)

Höjdnätet innehöll 82 stycken höjdfixpunktsobservationer, som behövde utjämnas. Detta var en av parametrarna som ingick i utjämningsätt. Efter den slutliga nätutjämningsätt fås en kilometerstandard osäkerhet på $\pm 2,5 \text{ mm} / \sqrt{\text{KM}}$ och standardosäkerheten hos höjdsobservationerna låg på $\pm 1,5 \text{ mm}$. Vid nätutjämningsätt nya beräknade utjämnade N2000-höjdpunkternas standardosäkerhet i medeltal var ca $\pm 2,7 \text{ mm} / \sqrt{\text{KM}}$.

Restosäkerheterna låg inom det givna $\pm 1,5$ mm mellanrummet. Vasa stads N2000-höjdnäts relativa noggrannhet var i medeltal 4,2 mm/km. (Hakala 2013, s.5-7)

Detta uppfyller kravet i JHS 185, där noggrannhetskravet för ett sådant nät anges till mindre än 5 mm/km. (JUHTA, JHS 185, 2014, s.8)

Vasas N2000-höjdnät har vid nätutjämnningen nya beräknade utjämnade N2000-höjdpunkternas standardosäkerhet i medeltal $\pm 2,7$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$ och är jämnt och noggrant. (Hakala 2013, s.7)

Den allmänna skillnaden mellan NN och N2000 höjdsystemen ligger i Vasa på över 80 cm. SITO Oy:s konsultarbete inkluderade planering av mättningsarbeten för övergången mellan höjdsystemen och att uppgöra en slutligt gällande förflyttningskoefficient. Vasa stad genomförde dessutom i samarbete med Lantmäteriverket tredje klassen stompunkter i höjd mellan Sundom och Solf. Dessa stompunkter användes inte vid arbetet med förflyttningskonstanten. Den slutgiltiga förflyttningskonstanten bestämdes till + 0,809 m och då andra sätt användes att räkna var skillnaderna under ± 2 mm. (Laamanen, Konsulttityön loppuraportti, 2013, s.2)

Geoidmodellens utförande har stor betydelse för Vasa stads mätningar med hjälp av satellit. Satellitmätningens höjder behöver fastslås, när höjderna i det nya höjdsystemet N2000 skall erhållas. För att testa geoidmodellen, som referensyta för höjdsystemet N2000 i Vasa användes fyra stycken statisk GPS inmätta stompunkterna i höjd. Dessa stompunkter hade ellipsoidhöjder, vilket betyder att höjderna var större. Förutom de här användes även en statlig stompunkt i höjd, som även användes i plan, i Vasklot. Geoidmodellen gav i regel en skillnad i kategorin 0-30 mm. Satellitmätningarnas noggrannhet hade ett väldigt gott resultat. En mera precis modell kan fås genom fler inmätta punkter med satellitmätning och avvägda N2000-höjder eller göra RTK mätningar på ellipsoidhöjden hos utvalda stompunkter i höjd. Det måste ses till att mottagarens antennparametrar, exempelvis avstånd, signalkvalitet etc., är kända och används vid beräkning. (Laamanen 2013, s.3)

10. Förslag för övergången till nytt höjdsystem i Jakobstad

Det är ett antal faktorer att ta i beaktande för att kunna ge det förslag, som omnämns i rubriken. Först och främst tas det reda på hur många stompunkter i höjd som finns i hela staden Jakobstad och hur stor del av arealen, som höjdfixpunkterna täcker. Från materialet jag fick på stadens tekniska verk räknades antalet stompunkter i höjd i NN höjdsystemet att vara 613 st, samt 5 st av statens första klass höjdfixpunkter, som togs upp i kapitel 8. Vid utformningen av förslaget har jag inte beaktat höjdfixpunkterna vid Degernästräsket, men de kan tas med vid utformningen av förslaget t.ex. som utgångspunkter.

De metoder, som jag har valt är, precisionsavvägning, GNSS och RUFRIIS. Inom ramen för Real tids Uppdaterad FRI Station har precisionsavvägda och GNSS inmätta stompunkter i höjd valts.

Idag finns ett antal avvägningsslingor i Jakobstad. De är i de allra flesta fall precisionsavvägda och har därför en god precision. Det finns även stompunkter i höjd, som är precisionsavvägda inom stadens gränser, oavsett om de är punkter i en avvägningsslinga eller fristående eller delar av höjdstompunktsnät. Några av dessa punkter skall utgöra utgångspunkterna för höjdstomnätet i N2000-höjdsystemet. Dessa utgångspunkter bör

väljas ut. Det svåra här är att samtidigt plocka ut utmärkta höjdstompunkter för de enskilda områdena, men även ha passande höjdstompunkter för hela Jakobstad. Geoidmodellen förankras i höjdfixpunkterna över hela stadens område. Kapitel 8 angav, som ett av många objekt, att behov av en precisionsavvägning i de yttre delarna av Jakobstad finns.

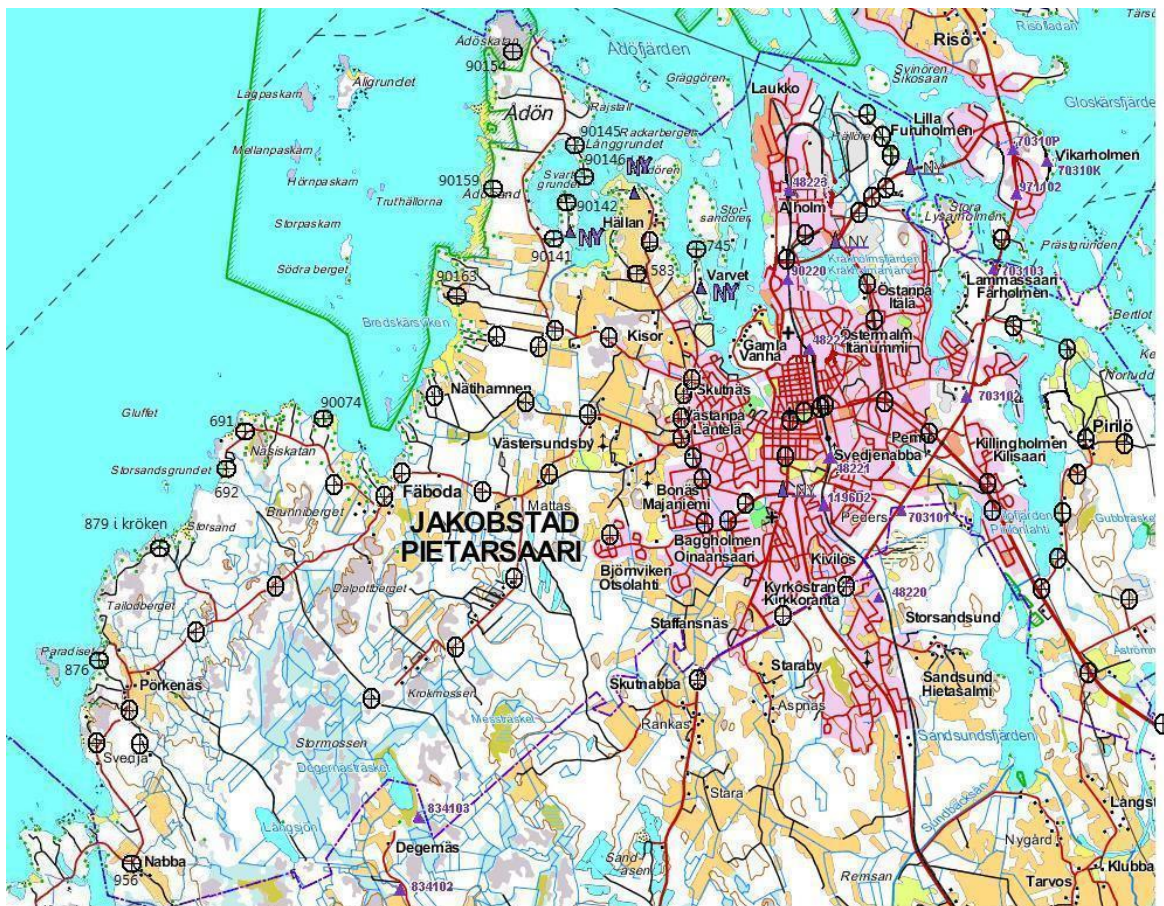
Avvägning är den enda metod med vilken en tillräcklig noggrannhet kan uppnås. För att kunna utföra precisionsavvägningar rätt bör det som står i Anvisningar för planläggningsmätningar från 2003, JHS 185 och JHS 185- Liite 1 Korkeuskiintopisteiden vaaitseminen följas. Precisionsavvägningar görs i dagens läge ofta i en riktning. Satellitmätningssatser används i första hand vid kartläggning.

När metoderna för höjdmätning av stompunkterna i höjd har gjorts upp är det bara att välja var vilken metod skall tillämpas. Grundgeoiden får gärna vara FIN2005N00. Elevationsvinklarna vid GNSS mätningarna, vare sig inom RUFRIIS metoden eller fristående, skall minst vara 15°. Sessionstiden anser jag i detta fall enbart behöver vara 30 minuter inom RTK mätningen i RUFRIIS metoden. Den ”fristående” GNSS metoden kan gott tänkas vara statisk GNSS. Efterberäkning skall användas vid statiska GNSS mätningar. Tjugo minuters observationstid för god satellitgeometri bör tillämpas. Det lär dock behövas mera tid för denna process, eftersom stompunkterna i höjd är långt ifrån varandra i de flesta fall. En dubbling av observationstiden till 40 minuter bör eliminera detta problem. Vid RUFRIIS RTK metoden skall tvåfrekvensmottagare användas, en godtagbar gräns mellan fix och float lösningar bör sättas. Fixa lösningar är det som skall accepteras, men vid misslyckade fix lösningar bör man tillämpa efterberäkning. Satellittillgängligheten kan kollas på internet före mätningstillfället, men vi får utgå från att sju stycken satelliter är minimiantalet satelliter för god satellitgeometri, som skall eftersträvas. Reflektion och eventuella sikthinder bör kartläggas. Detta gäller även för den statiska GNSS mätningen. Antennparametrarna skall vara kända och användas i efterberäkningen vid RTK-mätning.

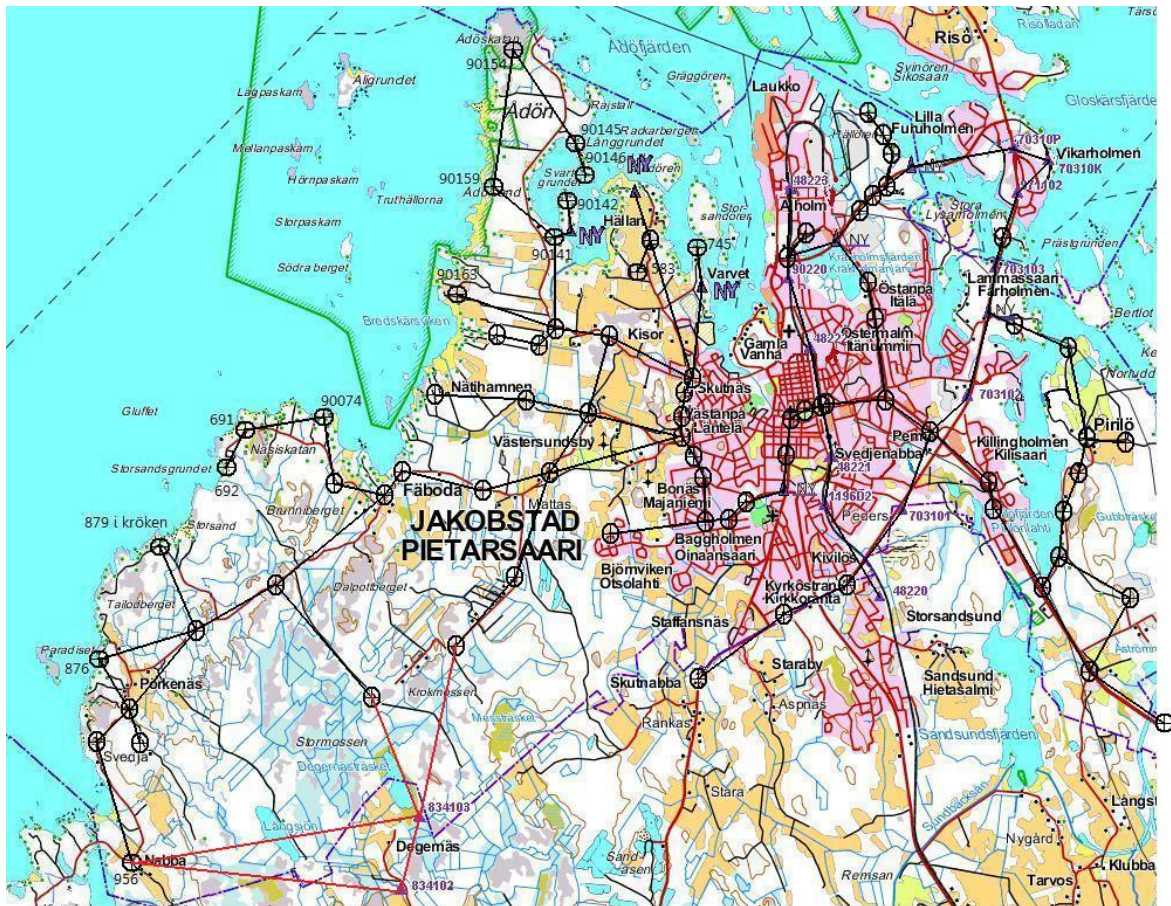
Precisionen för mätning med GNSS räcker bara till kartering. RUFRIIS, alltså Real tids Uppdaterad FRI Station, duger också som karteringsnoggrannhet, speciellt i områden som samtidigt har få befintliga höjdfixpunkter och dåligt underlag såsom de flesta tilländningar. De stompunkter i höjd av första och tredje klass mätt av statliga myndigheter i Jakobstad är en del av de utgångspunkter, som skall väljas vid bytet av höjdsystem.

Ibruktagandet av ett nytt höjdsystem är en lång och krävande process, som t.o.m. kan vara grundligare än att byta till ett nytt koordinatsystem. (Poutanen, 2006)

Samtliga NN höjdfixpunkter, de ”svartcirklade med svartsikte” eller höjdfixpunktsmärken, i dessa figurer finns även bland alla de 613 höjdfixpunkter som för närvarande befinner sig inom Jakobstad. De tas upp härnäst. En del höjder i figur 42-45 är precisionsavvägda i N2000.



Figur 42; Fördelning av valda punkter för uppgörande av avvägningsslingor.



Figur 44; Denna bild visar hur punkterna ser ut som avvägningsslingor inom Jakobstad. Dessa avvägningsslingor är riktgivande och de få röda avvägningsslingor som syns i nedre vänstra hörnet är avstånd som kan vara exceptionellt svåra att mäta in. Alla andra avvägningsslingor följer till största del vägar eller järnvägen.

De tre ovan visade figurerna 42-45 visar en riktlinje för hur stompunkterna i höjd kan väljas ut och avvägningsslinjerna kan göras upp. Bilderna är riktgivande, eftersom de inte beaktar alla de regler som krävs. Det är däremot således, att bestämmelserna vid kommunala höjdstomnät och val av geoidmodell m.m., som tidigare togs upp skall beaktas vid utformningen. Materialtillgång och lokala förhållanden styr också framställningen av projektet. Konsulter kan anlitas för att utföra en del arbeten och material kan lånas om det inte finns vid projektets gång. En lokal geoidmodell, precis som i NN höjdsystemet, rekommenderar jag. Det betyder att exempelvis FIN2005N00 geoidens parametrar och ”grundgång” kan användas, men med hjälp av de inmätta stompunkterna i höjd framställs den lokala geoidmodellen med sin lokalt anpassade ”gång”. Figur 44 kommer troligen att se litet annorlunda ut vid utformningen, liksom figur 45. Det beror på vilken punkttäthet som eftersträvas och en del annat, såsom de verkliga lokala förhållandena. Täckningen har varit väldigt viktig vid uppgörandet av dessa avvägningsslingor, men eftersom de inmätta punkterna kommer att vara i punktclass 1-3 så kanske den inte behöver vara lika stor.

11. Avslutning

Jakobstad har nu riktlinjerna och ett antal möjligheter för olika processer vid byte av höjdsystem. Höjdstomnätens bestämmelser har behandlats i tillräcklig utsträckning. Höjdsystemet N2000 överensstämmer med europeiska vertikala referens systemet.

Beräkningsprocessen vid bytet av höjdsystem kan vara enklare än vid plankoordinatsystems bytet. De praktiska processerna är dock besvärligare, men detta examensarbete ger teorier och bestämmelser för valmöjligheterna vid byte av höjdsystem. Både teorierna och de praktiska ideerna som ges i examensarbetet utgör ett stöd för de praktiska processerna. RUFRIIS kan främst testas på de befintliga stompunkterna i höjd och de höjdfixpunkter som etableras för en tillräcklig punkt täthet på området kring Degernästräsket.

De tre andra städernas byte av höjdsystem kan även användas som utgångspunkt. Uleåborg, Lahti och Vasa har bra och praktisk bakgrundsfakta. Det här kan Jakobstad använda sig av. Valet av stompunkterna i höjd för avvägningsslingorna skall vara punkter i berg, eftersom de är bestående, orörda och stabila. Höjdfixpunkter kommer att finnas i framtiden och därför följer höjdsystemen med landhöjningen. Höjdsystem bör därmed vara tillräckligt tidsenliga.

Jag vill rikta ett tack till de som varit med och deltagit i processen för att förverkliga examensarbetet.

Källförteckning

Aarnio, C., Jordens mittpunkt, Real Time. *Kärnan, manteln och jordskorpan Kap. rubrik "Vad består kärnan av?".* [Online]

<http://www.geologia.fi/index.php/sv/geologi/jordklotet/kaernan-manteln-och-jordskorpan>
[Använd 6.10.2014].

Alandiamap, Höjdsystem, Real Time. *Vad är ett höjdsystem?.* [Online]

<http://www.alandiamap.com/n2000.htm>
[Använd 29.10.2014].

Alfredsson, A., 2014, *HMK-Geodesi MätKart14*, Lantmäteriverket i Sverige.

Andersson 2011, J. V., metodbeskrivning RUFRIIS, *Underlag till metodbeskrivning RUFRIIS*, Stockholm: WSP Samhällsbyggnad.

Bilker-Koivula, M. & Ollikainen, M., *Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa*, 2009. ISBN-13: 978-951-711-259-8, ISSN: 0787-9172, pdf-ISBN: 978-951-711-260-4 red. Helsinki: Geodeettinen Laitos.

Bilker-Koivula, M., Suomen nykyiset geoidimallit, Anon. *SUOMEN NYKYISET GEOIDIMALLIT- TAUSTA JA TARKUUS*, Helsinki: Geodeettinen Laitos.

Bilker, M., Ollikainen, M. & Markku, P., Evaluation of Geoid Models, 2003. *Evaluation of Geoid Models with GPS/Levelling Points in Sweden and Finland*. Helsinki: Geodetical Institute of Finland.

BLOMQVIST, E. & RENQVIST, H., 1910. *Das präcisionsnivellement Finlands 1892-1910*. 2:a upplagan red. Helsingfors: Fennia.

Boström, R., NE förklaring på jonosfären, 2014. *NE-Jonosfären*. [Online]
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/jonosf%C3%A4ren>
[Använd 25.11.2014].

Centre for Astrophysics & Supercomputing/ Coppermine Photo Gallery, Real Time. *CAS still image database for Drupal 7*. [Online]

<http://astronomy.swin.edu.au/cms/cpg15x/albums/userpics/nadir1.gif>
[Used 22.10.2014].

Dencker, D., Quasigeoidmodelle, Real Time. *Saarland- Landesamt für Vermessung, Geoinformation und Landentwicklung- Quasigeoidmodelle*. [Eine Internetquelle]

<http://www.saarland.de/74892.htm>
[Braucht 26.11.2014].

Deutsches Scienceblog, ein Refraktion, 2012. *Mathlog*. [Eine Internetquelle]

<http://scienceblogs.de/mathlog/wp-content/blogs.dir/18/files/2012/09/i-393043def05f2ff51911ed259a2c6b3e-Terrestr.Refraktion.png>
[Braucht 22.10.2014].

EFTA Surveillance Authority, EEA, Real Time. *The EEA Agreement*. [Online]
<http://www.eftasurv.int/about-the-authority/legal-texts/eea-agreement/>
 [Used 29.11.2014].

Engfeldt, A. & Jivall, L., Så fungerar GNSS, 2003. *Så fungerar GNSS- ISSN 280-5731 LMV rapport 2003:10*, Gävle: Ett samarbete mellan Banverket, Lantmäteriet och Vägverket.

Eriksson, P.-O., 2010, LMV rapport Anslutning av lokala höjdnät till RH 2000 med GNSS-stommätning 2010-5, Gävle: Lantmäteriverket i Sverige.

Eriksson 2010, P.-O., *Höjdmätning med GNSS – vägledning för olika mätsituationer rapport 4*, Gävle: Lantmäteriverket i Sverige.

Eskilstuna kommun, Real Time. *Kartor och geografisk information - Stomnät*. [Online]
<http://www.eskilstuna.se/sv/Bygga-bo-och-miljo/Kartor-och-geografisk-information/Stomnat/>
 [Använd 30.10.2014].

European commission, 2007. *INSPIRE Directive*. [Online]
<http://inspire.ec.europa.eu/>
 [Used 5.11.2014].

European Free Trade Organisation, Disclaimer - Privacy policy- 2014. *Standardisation EFTA*. [Online]
<http://www.efta.int/eea/policy-areas/goods/standardisation-mra-technical-cooperation/standardisation>
 [Used 29.11.2014].

Europeiska kommissionens förordning om interoperabilitet nr 1089/2010, Europeiska Unionen, Europa.

Fastighetsbildningslagen(FBL) 12.4.1995/554. Helsingfors: Statsrådet i Finland.

Lag om en infrastruktur för geografisk information 421/2009, Helsingfors: Statsrådet i Finland.

Markanvändnings;- och bygglagen(MBL), 5.2.1999/132. [Internetkälla]
<http://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/1999/19990132>
 [Använd 22.11.2014].

Firmendb, verschiedenen Namen an Genf, © 2007-2014. *Adressen & Firmenverzeichnis Genf/ Schweiz*. [Eine Internetquelle]
<http://www.firmendb.de/schweiz/Genf.php>
 [Braucht 5.11.2014].

Fischer, S., o.d.. *Interferometer*. [Eine Internetquelle]
<http://www.philippi-trust.de/hendrik/braunschweig/wirbeldoku/fischer.html>
 [Braucht 8.1.2015].

Europeiska kommissionens förordning om interoperabilitet nr 1089/2010, Europeiska Unionen(EU), Europa.

Generaldirektör Ratia, J., 2003, *Anvisningar för planläggningsmätningar*. 94:e publikationen red. Helsingfors: Lantmäteriverket i Finland.

GeodZ, 2010 GeoDZ.com. *Gradmessung*. [Eine Internetquelle]
<http://www.geodz.com/deu/d/Gradmessung>
[Braucht 20.11.2014].

Geomatikk seksjonen i Norge, horisontale och vertikal geodetisk datum eller geodetisk höjddatum, 2009. *Store Norske Leksikon - Geodetisk datum*. [Online]
Texten er tat fra: https://snl.no/geodetisk_datum
[Använd 26.10.2014].

Hakala, J., laskentaraaportti, 2013, *Vaasan kaupunki N2000-tarkkavavaaitushanke 2013*, Vaasa: Geopixel Oy.

Havsforskningsinstitutet, Vasas mareograf, 2002. *Östersjöportalen-Mareografen i Vasa har varit verksam i 80 år*. [Online]
http://www.itameriportaali.fi/sv/ajankohtaista/mtl_uutisarkisto/2002/sv_SE/23/
[Använd 4.11.2014 och 3.12.2014].

Hederos , S., 2011, *Etablering av projektanpassat nätverks-RTK (PA-NRTK) enligt Trafikverkets koncept*, Göteborg: WSP Samhällsbyggnad.

Hederos 2011, S., tillägg till kortmanual. *Trafikverksanpassade tillägg för projektanpassad Nätverks-RTK-tjänst gällande Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst*, Göteborg: WSP Samhällsbyggnad.

Hederos 2011, S., Upphandling av mätningstekniska tjänster, *Rådgivande text för uppdrag/entreprenader där en projektanpassad nätverks-RTK-tjänst finns etablerad*, Göteborg: WSP Samhällsbyggnad.

Heßelbarth, A., 2009, *Fachbeitrag GNSS-Auswertung mittels Precise Point Positioning*, V(134).

Honkanen, P., Paikkatietoikkuna- Lahti siirtyi N2000-korkeusjärjestelmään, 2010. [Online]
http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/pos_1_2010_lahti-siirtyi-n2000-korkeusjarjestelmaan
[Använd 3.12.2014].

Horemuz 2011, M., Testmätningar BanaVäg i Väst, *Realtidsuppdaterad fristation-Testmätningar BanaVäg i Väst*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

INSPIRE Arbetsgruppen, Slutrapport till Jord;- och skogsbruksministeriet, 2008, Helsingfors.

International Association of Geodesy, Real Time. *Welcome to the International Association of Geodesy*. [Online]
<http://www.iag-aig.org/>
 [Source in action 20.11.2014].

Intervju med Klas Blom på Vasa stads tekniska verk den 7 Maj 2014.

Jakobstad, NN nätet- Arkivdokumentation i form av maskinskrivna papper, 1948.

Jonsson, B. & Engberg, L. E., Refstrat- slutrapport, 2000. *Refstrat- Strategier för referenssystem och referensnät*, Sverige: Lantmäteriet i Sverige.

JUHTA - Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, *Julkinnon Hallinnon Suositus (JHS) 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000*, 2007, Helsinki: JUHTA.

JUHTA- Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, *Julkisen Hallinnon Suositus(JHS) 154-ETRS89järjestelmään liittyvät karttaprojektiot*, 2008, Helsinki.

JUHTA- Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, *Julkinnon Hallinnon Suositus 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen -Liite yksi Korkeuskiintopisteiden vaaitseminen*, 2014. Helsinki.

JUHTA 2008. *JHS 153 ETRS89järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa*, Helsinki.

JUHTA, *JHS 178-Kunnan paikkatietopalvelurajapinta*, 2010. Helsinki.

JUHTA, *JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen*, 2014. Helsinki.

JUHTA- Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, *Julkinnon Hallinnon Suositus 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen -Liite yksi Korkeuskiintopisteiden vaaitseminen*, 2014 Helsinki.

JUHTA, *JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen- Liite 4 Kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset*, 2014. Helsinki.

Jureskog, P.-Å., 2002, reviderad av Ulf Brising 2008, s.11. *Upprättande av riksnätsanslutet stomnät i plan och höjd för Forsmarks undersökningsområde*, Forsmark: Svensk Kärnbränslehantering AB.

Kansy, A., Manthey, B. & Voß, B., Friedrich H.C. Paschen, 2004. *dem mecklenburgischen Geodäten und Astronomen zum 200. Geburtstag*, Mecklenburg: DVW - Deutscher Verein für Vermessungswesen e. V.Landesverein Mecklenburg-Vorpommern unterstütz BDVI - Bund der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure und Verband-II-VDV.

Kartoweb, n.d.. *Geometric Aspects of Mapping: reference surfaces*. [Online]
<http://kartoweb.itc.nl/geometrics/reference%20surfaces/body.htm>
 [Used 12.1.2015].

Kevius, B., Originalen är en enklare bild på elevationsvinkel, Real Time. *Geometri - Praktiska tillämpningar; All kopiering tillåten!*. [Online]
<http://matmin.kevius.com/geoprakt.php>
[Använd 25.11.2014].

Kolehmainen, K., 2012 ja 2013. *Pascalin kolmio osana gravitaativakiota-Pascal's Triangle as a Part of Gravitational Constant*. [Online]
<http://www.karikolehmainen.com/593>
[Käytetty 29.10.2014].

Laamanen, K., Euref mätningar för ledningar, 2012. *Staden Jakobstad, Euref-mätningar 2012; Transformationsparametrarna KKK2 - EUREF*, Jakobstad och SITO Tietotekniikka.

Laamanen, K., Konsulttityön loppuraportti, *Vaasan kaupunki, N2000 - korkeusjärjestelmän siirtyminen*, 2013, Vaasa: Vaasan kaupunki ja SITO Tietotekniikka.

Laamanen, K., Projektplan för Euref- mätningar, 2012. *Staden Jakobstad- Projektplan för Euref- mätningar*, SITO Tietotekniikka och Jakobstad.

Laamanen, K., Slutrapport-Granskning av mätningarna och beräkning av transformationsparametrarna, 2012, Staden Jakobstad och SITO Tietotekniikka.

Lantmäteriet (LM), Kungliga tekniska högskolan (KTH), Lunds universitet (LU) och Högskolan i Gävle (HiG) och Kartografiska Sällskapet (KS), 2013. *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik*. 1:a upplagan red. Gävle, Stockholm och Lund: Lantmäteriet m.fl. - creative commons by-nc-nd licens.

Lantmäteriet i Sverige m.fl., Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik, 2013, *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik*, Stockholm, Lund, Gävle: Lantmäteriet (LM), Kungliga tekniska högskolan (KTH), Lunds universitet (LU) och Högskolan i Gävle (HiG).

Lantmäteriet i Sverige u.å., Statisk mätning med efterberäkning. *CPS och geodetisk mätning- GPS och satellitpositionering- Absolut och relativ positionering- Statisk mätning med efterberäkning*. [Online]
<http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Statisk-matning-med-efterberakning/>
[Använd 8.1.2015].

Lantmäteriet i Sverige, GPS dag 306, 2014. *SWEPOS-Lantmäteriet*. [Online]
<https://swepos.lantmateriet.se/>
[Använd 2.11.2014].

Lantmäteriet i Sverige, u.å., Höjd; Ortometrisk. *Ordlista-Lantmäteriet*. [Online]
<http://www.lantmateriet.se/sv/Fastigheter/Andra-fastighet/Ordlista/>
[Använd 8.10.2014].

Lantmäteriet i Sverige, u.å.. *Felkällor vid GNSS-mätning*. [Online]
<http://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Felkallor-vid-GNSS-matning/>
[Använd 27.1.2015].

Lantmäteriverket i Finland, Föreskrift om mätningarnas noggrannhet och råmärken vid fastighetsförrättningar, 2011

Lantmäteriverket i Finland, geodetiskt datum, u.å. *LMV Lantmäteriverket-Definitioner*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/8094>
[Använd 26.06.2014].

Lantmäteriverket i Finland, GNSS instrument, Real Time. *Mätning av fixpunkter- Avvägningsinstrument används för att bestämma höjden*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-36>
[Använd 2.11.2014].

Lantmäteriverket i Finland, höjdfixpunktsnät, 2014. *Lantmäteriverket upprätthåller och förtätar sitt höjdfixpunktsnät*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-36>
[Använd 24.10.2014].

Lantmäteriverket i Finland, u.d. *Gauss-Krüger*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/8107>
[Använd 25.11.2014].

Lantmäteriverket i Finland, u.d. *LMV- Kartläggning- GPS-mätning*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/kartor-40>
[Använd 18.12.2014].

Lantmäteriverket i Finland, Höstves stompunkter i höjd av första och tredje klass, u.å.. *Fastighetsdatatjänst*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/aineistot-ja-palvelut>
[Använd 13.12.2014].

Lantmäteriverket i Finland, Klass 1 stompunkter i höjd i Uleåborg med omnejd, u.d.. *Fastighetsdatatjänst*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/aineistot-ja-palvelut>
[Använd 7.2.2015].

Lantmäteriverket i Finland, Medelmeridian, u.å. *Gauss-Krüger*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/8107>
[Använd 25.11.2014].

Lantmäteriverket i Finland, Originalbild från Lantmäteriverket, u.å.. *Rätvinkliga och geografiska*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/8095>
[Använd 25.11.2014].

Lantmäteriverket i Finland, u.å., Geoid. *Maanmittauslaitos/ Lantmäteriverket om Geoid.* [Online]

<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/8096>

[Använd 26.11.2014].

Lantmäteriverket i Finland, Originalbild från Lantmäteriverket, u.å.. *Rätvinkliga och geografiska.* [Online]

<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/8095>

[Använd 25.11.2014].

Lantmäteriverket i Finland, Stompunkter i höjd av första klass i Malax, u.å..

Fastighetsdatatjänst. [Online]

Kan stöpas fram via: <http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/aineistot-ja-palvelut>

[Använd 13.12.2014].

Lantmäteriverket i Finland, Tredje klassens stompunkter i höjd i Västervik, Vasa, u.å..

Fastighetsdatatjänst. [Online]

Kan stöpas fram via: <http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/aineistot-ja-palvelut>

[Använd 13.12.2014].

Lantmäteriverket i Finland, Två stompunkter i höjd av första klass i Höstves, u.å..

Fastighetsdatatjänst. [Online]

Kan stöpas fram via: <http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/aineistot-ja-palvelut>

[Använd 13.12.2014].

Lantmäteriverket i Finland, u.å.. *Definitioner I Maanmittauslaitos.* [Online]

<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/8094>

[Använd 9.1.2015].

Lantmäteriverket i Finland, Registerenheter-Kartfunktioner-Visa Nyttjanderättsenheter, u.å.. [Online]

<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/material-och-tjanster-73>

[Använd 21.12.2014].

Lantmäteriverket i Sverige, 1996, *Handbok till Mättnings Kungörelsen(HMK) Geodesi, Detaljmätning.* 1:a upplagan red. Gävle: Trycksam ab, Gävle 1996.

Lantmäteriverket i Sverige, 1996, *Handbok till Mättnings Kungörelsen(HMK) Geodesi, Stommätning.* 1:a upplagan red. Gävle: Trycksam ab 1996.

Lilje, C., Engfeldt, A. & Jivall, L., 2007, *Introduktion till GNSS*, Gävle: Sveriges Banverket, Lantmäteriet och Vägverket.

LM, KTH, LU, HiG och KS, 2013. *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik.* 1:a upplagan red. Gävle, Stockholm och Lund: Lantmäteriet m.fl..

Maa- ja metsätalousministeriö, 2010. *Paikkatietoinfrastruktuurin kehittäminen*. [Online]
http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/maanmittaus_paikkatiedot/paikkatietojenyhteiskaytto/inspire.html
 [Käytetty: 5.11.2014].

Maanmittauslaitos, JHS 185 korjaa Kaavoitusmittausohjeet 2003. *Paikkatiedon JHS-seminaari*. [Online]
<http://www.maanmittauslaitos.fi/node/14901>
 [Käytetään 30.11.2014].
 Malmberg, M. & Lundén, S., 1997, *Banverket- Geodetisk Mätning Handbok BVH 584.10*.
 DNr: T95-2317/63 red. Sverige: CT.

Meteorologiska Institutet i Finland, *MI: Det teoretiska medelvattnet (MW) och de geodetiska höjdsystemen i Finland*, Real Time. [Online]
<http://sv.ilmatieteenlaitos.fi/teoretiska-medelvattnet>
 [Använd 26.11.2014].

Meteorologiska Institutet, Geodetiska Höjdsystem i Finland, Real Time. *Det teoretiska medelvattnet (MW) och de geodetiska höjdsystemen i Finland*. [Online]
<http://sv.ilmatieteenlaitos.fi/teoretiska-medelvattnet>
 [Använd 5.10.2014].

Meteorologiska Institutet, Real Time, N43. *Meteorologiska Institutet N43*. [Online]
<http://sv.ilmatieteenlaitos.fi/teoretiska-medelvattnet>
 [Använd 8.10.2014].

Meteorologiska Institutet, Real Time, N60. *Meteorologiska Institutet N60*. [Online]
<http://sv.ilmatieteenlaitos.fi/teoretiska-medelvattnet>
 [Använd 8.10.2014].

Miljöministeriet. *Hållbar marktäkt- Handbok för reglering och ordnande av täktverksamhet*, 2009, Helsingfors: Miljöministeriet och PasaNet Oy.

Mitaxin Oy, u.d.. *MITAX-Libeller*. [Online]
<http://www.mitaxin.fi/tietopaketti/libellit/?zlang=sv>
 [Använd 2.1.2015].

Mårtensson, S.-G., 2012, Figur 2.3 m.m.. *Kompendium i Geodetisk mätningsteknik*. 8:e upplagan red. Gävle och Trollhättan: Högskolan i Gävle och Högskolan Väst.

Nationalencyklopedin AB 2015, höjdmätning. *Nationalencyklopedin-höjdmätning*. [Online]
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/h%C3%B6jdm%C3%A4tning>
 [Använd 1.3.2015].

Nordic Geodetic Commission, n.d. [Online]
<http://www.nkg.fi/>
 [Used on 8.2.2015].

Norin, D., Engfeldt, A., Öberg, S. & Jämnäs, L., 2006, utgåva 3 år 2010, *Kortmanual för mätning med SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst*, Gävle: Lantmäteriverket i Sverige.

North Coast Media LLC, 2015. *The Almanac: GPS World*. [Online]
<http://gpsworld.com/the-almanac/>
 [Used 27.1.2015].

Ollikainen, M., FIN2000, 2002. *The Finnish geoid model FIN2000*. Helsinki University of Technology, Espoo: In: Poutanen, M and H. Suurmäki (Eds.) on the 14th General Meeting of the Nordic Geodetic Commission October 1-5, pp. 111-116, Geodeettinen Laitos tiedote 29 is given as second source.

OriginLab Corporation, n.d.. *What are the confidence intervals associated with 1σ , 2σ , 3σ , and etc. for Gaussian distribution?*. [Online]
<http://www.originlab.com/www/support/resultstech.aspx?ID=886&language=English&Version=All>
 [Used 6.2.2015].

Oulun kaupunki kautta lehtisivun antaminen, 2012. *N2000 jakelutiedote-KORKEUSJÄRJESTELMÄ MUUTTUU*.

Oulun kaupunki, i.v.. *Oulun kaupunki > Kadut, kartat ja liikenne > Kartat ja paikkatieto > N2000-korkeusjärjestelmä*. [Online]
<http://www.ouka.fi/oulu/kadut-kartat-ja-liikenne/n2000-korkeusjarjestelma>
 [Käytetty 8.1.2015].

Palo, J., P & V Konsult HB, Standardatmosfären, Real Time. *MTM175 – Allmän flygteknik-Kapitel 3. Standardatmosfären*, Sverige: P & V Konsult HB.

Pavlis, N., Earth Gravitational Model 2008, 2013
 [Online]
<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>
 [Used 8.2.2015].

Physics Handbook, Equipotential surface, n.d.. *Physics Topics- Equipotential surface*. [Online]
<http://www.physics handbook.com/topic/topice/equipotential.htm>
 [Required for information 26.11.2014].

Poutanen, M., 2012, 64 omaa lähteitä, Sateliittipaikannus. Ensimmäinen painos, 2011 red. Helsinki: Geodeettinen Laitos.

Poutanen, M., Koordinaatistoista, 2004, Helsinki: Geodeettinen Laitos.

Poutanen, M., 2006. Suomen uusi korkeusjärjestelmä N2000. *Maankäyttö*, 4

Poutanen, M. & Saaranen, V., Lapin Nolla, 2004. *Maanmittautieteiden Seuran julkaisu 41-Suomen uusi korkeusjärjestelmä*, Masala: Maanmittautieteiden Seura ja Geodeettinen Laitos.

Ramirent, 2014. *Ramirents produktsida*. [Online]
<http://www.ramirent.se/Sok/?Query=Topcon+AT+G4>
 [Använd 24.10.2014].

Simmons, B., page updated 28-jul-14. *Mathwords- Root Mean Square*. [Online]
http://www.mathwords.com/r/root_mean_square.htm
 [Used 4.2.2015].

SNT-Liitto ja Suomi, valtiosopimus 5/1946, osa 4. *Valtiosopimus 5/1946*. [Online]
<https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1946/19460005#idp1098624>
 [Käytetty 27.2.2015].

SS 64 11 21, 1980. *Toleranstabell för vattenpass enligt SS 64 11 21*. [Online]
<http://hbg.imab.se/Doc/100/00/10000045.PDF>
 [Använd 4.1.2015].

Förordning om en infrastruktur för geografisk information 725/2009, Statsrådet i Finland, Helsingfors.

Swisstopo, Einen Hohenfixpunkt im Genf, o.d.. *Confederaziun Svizra/ Schweizerische Eidgenossenschaft- Vermessung oder Geodäsie- Ausgangpunkt Höhenmessungen*. [Eine Internetquelle]
<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/topics/survey/faq/niton.html>
 [Braucht 5.11.2014].

Takalo, M., 2004, Vaaituksen mittakaavasta. i: G. j. g. o. Geodeettinen laitos, red. *Maanmittaus 79:1-2 (2004)*. Masala, Suomi: Geodeettinen laitos, Geodesian ja geodynamiikan osasto, 14 sivua.

The European Parliament and The Council of The European Union, PSI directive, 2003. DIRECTIVE 2003/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. *Official Journal of the European Union*, I(1), p. 7. Consists of pages 90-97, but p. 90 is used.

The European Parliament and the Council of the European Union, PSI directive, 2013, Directive 2013/37/EU amending the Directive 2003/98/EC on the re-use of public sector information. *Official Journal of the European Union about Public Sector Information(PSI)*, 8 pages.

The International Union of Geodesy and Geophysics , Real Time. *Welcome to IUGG*. [Online]
<http://www.iugg.org/>
 [Used 20.11.2014].

The National Academies Press, Original picture from Kevin McMaster, used without permission due to radical changes, 2009. *Mapping the zone: Improving Flood Map Accuracy*. [Online]
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12573&page=26
 [Used 2.12.2014].

Trafikverket i Sverige, Stomnät i Luften för anläggningsprojekt, 2011. *SLUTRAPPORT Stomnät i Luften för anläggningsprojekt*, Borlänge, Gävle, Stockholm och Göteborg: FOI-projekt/ Trafikverket i Sverige.

Trafikverket i Sverige, 2010-2011, Begrepp. *Stomnät i Luften för anläggningsprojekt*, Götaland, Sverige: Lantmäteriverket, WSP Samhällsbyggnad, Kungliga Tekniska Högskolan avdelningen för geodesi samt Chalmers Tekniska Högskola via Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP).

Trimble, u.d. *Home > Rover Applications > Configuring the Receiver > Setting up a pair of SPS Modular GPS receivers to provide heading*. [Online]
http://www.trimble.com/EC_ReceiverHelp/V4.19/en/ReceiverSetup_Heading.htm
[Used 18.12.2014].

Vermeer, M., i.d., modifioitu 07/2008 Sonja Nybergistä. *TKK Geodesian Maastoharjoitukset*. [Online]
<https://wiki.aalto.fi/display/maastarit/Geodesian+maastoharjoitukset>
[Käytetty 23.1.2015].

Vermeer, M., i.d., modifioitu 23 marraskuuta 2007. *Geodesian Maastoharjoitukset- trigo-softa*. [Online]
<https://wiki.aalto.fi/display/maastarit/trigo-softa>
[Käytetty 25.1.2015].

Vikström, S., Diskussioner vid ett antal tillfällen under årets gång, 2014 [Intervju]

Visa, S. & Koivula, M., Om mareografer utgående från Mäntyluoto mareografen, 2005. *Mareografen i Mäntyluoto har varit verksam i 80 år*. [Online]
<http://stok.fimr.fi/sv/palvelut/uutiset/74.html>
[Använd 4.11.2014].

von Malmborg, H. & Andersson, J. V., 2011, *Studie över hur befintliga och framtida NRTK är tillräckliga för mätningssarbeten och maskinstyrning i olika projektfaser*, Stockholm: WSP Samhällsbyggnad.

WordPress & Atahualpa, Gradient, 2014 . *Dagens ord: Vad betyder gradient?*. [Online]
<http://www.dagensord.net/2012/06/dagens-ord-vad-betyder-gradient/>
[Använd 26.11.2014].