

31.1.2003

MML/1/012/2003

KAAVOITUSMITTAUSOHJEET

Maanmittauslaitos on tänään antanut maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 206 §:n 3 momentissa tarkoitetut, oheisesta liitteestä ilmenevät kaavoitusmittauksen teknistä suorittamista koskevat määräykset.

Määräykset tulevat voimaan 1.3.2003.

Helsingissä 30. päivänä tammikuuta 2003

Pääjohtaja

Jarmo Ratia

LIITE

Kaavoitusmittausohjeet 2003, Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 94



KAAVOITUSMITTAUSOHJEET

Maanmittauslaitos on antanut liitteenä olevat uudet kaavoitusmittausohjeet, jotka tulevat voimaan 1.3.2003. Aikaisemmat kaavoitusmittausta koskevat ohjeet vuodelta 1983 (Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 49) ovat lakanneet olemasta voimassa vanhan kaavoitusmittausasetuksen (493/82) kumouduttua.

Uudet kaavoitusmittausohjeet sisältävät kaavoitusmittauksen teknistä suoritusta koskevia määräyksiä ja suosituksia.

Näitä mittausohjeita täydentää karttakohteiden mallinnusta ja esitystapaa koskeva Karttakohdemalli, joka on esitetty Maanmittauslaitoksen julkaisussa n:o 85 KAAVAN POHJAKARTTA 1997.

Koska valtakunnan koordinaattijärjestelmä uudistuu tulevien vuosien aikana, ohjeiden liitteissä on tehty selkoa erityisesti koordinaattijärjestelmästä ja karttaprojektioista. Uusi koordinaattijärjestelmä (ETRS89) on määritelty julkisen hallinnon suosituksessa JHS 153. Karttaprojektioita ja lehtijakoa koskeva suositus on vasta valmisteltavana, joten näiden osalta on jouduttu ennakoida suosituksen todennäköistä sisältöä.

Uusia ohjeita on valmistellut Maanmittauslaitoksen kutsuma työryhmä, jossa ovat olleet edustettuina seuraavat tahot:

- ☐ Geodeettinen laitos
- ☐ Oppilaitoksia (Helsingin ja Tampereen teknilliset korkeakoulut sekä Espoon-Vantaan Teknillinen Ammattikorkeakoulu)
- ☐ Pääkaupunkiseudun kuntia (Espoo, Vantaa, Helsinki)
- ☐ Suomen Konsulttitoimistojen liiton jäsenyrityksiä (FM-Kartta Oy, Maa ja Vesi Oy, SITO-yhtiöt)
- ☐ Suomen Kuntaliitto
- ☐ Topografikunta
- ☐ Ympäristöministeriö

Maanmittauslaitos kiittää kaikkia valmisteluun osallistuneita tahoja arvokkaasta panoksesta näiden ohjeiden hyväksi.



Kaavoitusmittausohjeet julkaistaan myös Maanmittauslaitoksen kotisivuilla (www.maanmittauslaitos.fi) jatkuvasti ajantasaistettavana verkkoversiona. Ohjeet liitteineen ovat saatavissa maanmittaustoimistoista ja Maanmittauslaitoksen hallintopalvelukeskuksen kirjaamosta.

Käyntiosoite: Pasilan virastokeskus
Opastinsilta 12 C, Helsinki
Postiosoite: PL 84, 00521 HELSINKI
Puhelin: 0205 41 5069

Pääjohtaja

Jarmo Ratia

LIITE Kaavoitusmittausohjeet 2003, Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 94

JAKELU Maanmittaustoimistot

TIEDOKSI

Ylijohtaja
Keskushallinto
Valtakunnalliset tuotanto- ja palveluyksiköt
Geodeettinen laitos
Maa- ja metsätalousministeriö maanmittausyksikkö
Suomen Konsulttitoimistojen Liitto
Suomen Kuntaliitto
Topografikunta
Ympäristöministeriö
Tiehallinto
Kunnat

KAAVOITUSMITTAUSOHJEET

1. JOHDANTO.....	3
1.1. TERMIT, MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET.....	3
1.2. MITTAUSLUOKAT	5
1.3. KARTTOJEN MITTAKAAVAT	5
1.4. PAIKKATIEDON JA KARTAN AJANTASAISUUS	6
2. RUNKOVERKOT JA NIIDEN MITTAUS.....	6
2.1. KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJESTELMÄT	6
2.1.1. KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT JA KARTTAPROJEKTIOT	7
2.1.2. KORKEUSJÄRJESTELMÄT	7
2.2. KIINTOPISTEET	8
2.2.1. TASOKIINTOPISTEET	8
2.2.2. KORKEUSKIINTOPISTEET	9
2.3. KIINTOPISTEIDEN RAKENNE JA DOKUMENTOINTI	9
2.4. KIINTOPISTEIDEN TARKKUUSVAATIMUKSET	10
2.5. KIINTOPISTEIDEN MITTAUS JA LASKENTA	10
2.5.1. SATELLIITTIMITTAUS	11
2.5.2. JONOMITTAUS	13
2.5.3. VAAITUS	15
3. KARTOITUSMITTAUKSET.....	16
3.1. KARTOITETTAVIEN KOHTEIDEN TARKKUUSVAATIMUKSET	16
3.2. ILMAKUVAUS	16
3.2.1. KUVAUSSUUNNITELMA	16
3.2.2. KUVAUKSESSA KÄYTETTÄVÄ KAMERAKALUSTO JA ILMAKUVAUSFILMI	17
3.2.3. KUVAMITTAUS	17
3.2.4. SIGNALOINTI	18
3.2.5. ILMAKUVAKUVAN SUORITTAMINEN	18
3.2.6. ILMAKUVAFILMIN PROSESSOINTI JA KUVIEN LAATUVAATIMUKSET	19
3.2.7. ILMAKUVIEN SKANNAUS	20
3.3. KUVAMITTAUS	21
3.3.1. FOTOGRAFMETRINEN KOLMIOINTI	21
3.3.2. ANALYYTTINEN KUVAMITTAUS	22
3.3.3. DIGITAALINEN KUVAMITTAUS	23
3.3.4. BLOKKITASOITUS	23
3.3.5. YKSITYISKOHTIEN MITTAUS (STEREOKARTOITUS)	24
3.4. ORTOKUVATUOTANTO	24
3.5. MAASTOKARTOITUS	25
3.5.1. TAKYMETRIKARTOITUS	25
3.5.2. KARTOITUS SATELLIITTIMITTAUKSENA (RTK-MITTAUS)	26
3.6. KIINTEISTÖRAJOJEN JA RAKENNUSTEN MAASTOON MERKITSEMINEN	26
3.6.1. KIINTEISTÖRAJOJEN MERKINTÄMITTAUS ASEMAKAAVA-ALUEILLA	26
3.6.2. RAJAMERKKIEN MERKINTÄMITTAUKSEN TARKKUUSVAATIMUKSET	27
3.6.3. RAKENNUSTEN MERKINTÄMITTAUS	27
3.7. GRAAFISTEN KARTTOJEN NUMEERISTAMINEN	28
4. KAAVAN POHJAKARTAN LAADINTA	28
4.1. KAAVAN POHJAKARTAN TIETOSISÄLTÖ	28
4.2. KAAVAN POHJAKARTAN ESITYSMUODOT	29
4.2.1. NUMEERINEN, VEKTORIMUOTOINEN KAAVAN POHJAKARTTA	30
4.2.2. ILMAKUVAKARTTA KAAVAN POHJAKARTTANA	30
4.2.3. NUMEERINEN, RASTERIMUOTOINEN KAAVAN POHJAKARTTA	30
4.2.4. GRAAFINEN KAAVAN POHJAKARTTA	30
4.3. KAAVAN POHJAKARTTA-AINEISTON TUOTANTOYMPÄRISTÖ JA YLLÄPITO	30
5. MITTAUKSEN DOKUMENTOINTI JA TARKASTAMINEN	31

5.1.	TYÖKANSIO	31
5.2.	NUMEERINEN MAASTOTIETO.....	31
5.3.	NUMEERINEN PISTEREKISTERIAINEISTO.....	31
5.4.	GRAAFISET TULOSTEET	32
5.5.	MUU AINEISTO.....	32
5.6.	TARKASTUSTOIMENPITEET	32
5.6.1.	YLEISTÄ	32
5.6.2.	TYÖSUUNNITELMA	32
5.6.3.	KIINTOPISTEMITTAUKSEN TARKASTAMINEN	33
5.6.4.	FOTOGRAMMETRISEN KOLMIOINNIN TARKASTAMINEN	33
5.6.5.	KARTAN TARKASTAMINEN	33
VIITE- JA LÄHDELUETTELO		35
LIITE 1. KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJESTELMÄT.....		36
1.	KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT	36
1.1	ED50-järjestelmä (European Datum 1950).....	36
1.2	Kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj).....	36
1.3	WGS84-järjestelmä.....	38
1.4	EUREF89-järjestelmä	38
1.5	EUREF-FIN-koordinaatisto	39
1.6	EUREF-FIN-pisteistön tihentäminen	39
1.7	EUREF-FIN:in ja kkj:n väliset siirtoparametrit.....	40
2	KORKEUSJÄRJESTELMÄT	41
2.1	NN-järjestelmä.....	41
2.2	N43-järjestelmä	42
2.3	N60-järjestelmä	42
2.4	Paikalliset korkeusjärjestelmät.....	43
2.5	Korkeusjärjestelmien väliset erot	43
3	GEOIDIMALLIT	43
3.1	NKG96-geoidimalli.....	43
3.2	FIN95-geoidimalli	43
3.3	FIN2000-geoidimalli	44
LIITE 2. KAAVOITUSMITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT KARTTAPROJEKTIOT		45
1.	YLEISTÄ.....	45
2.	GAUSS-KRÜGER-PROJEKTIO	45
3.	UTM-PROJEKTIO	46
LIITE 3. PAIKALLISEN KIINTOPISTEVERKON LIITTÄMINEN EUREF-FIN-KOORDINAATISTOON		47
LIITE 4. JONOMITTAUKSEN JA VAAITUKSEN SULKUVIRHEIDEN HYVÄKSYMISKRITEERIT.....		49
1.	JONOMITTAUS	49
2.	VAAITUS.....	50
3.	TESTAUSRAJAT	50
LIITE 5. KARTOITETTAVIEN KOHTEIDEN PISTEKESKIVIRHEET		51
LIITE 6. YHTEENVETO KAAVOITUSMITTAUSOHJEESSA MÄÄRITELLYISTÄ KOHTEISTA, NIIDEN MITTAUSMENETELMISTÄ JA TARKKUUSVAATIMUKSISTA.....		56
LIITE 7. TYÖSUUNNITELMAN SISÄLTÖ.....		57

1. JOHDANTO

Kaavoitusmittauksella tarkoitetaan asemakaavan pohjakarttaa sekä tonttijaon pohjakarttaa ja kaavan maastoon merkitsemistä varten suoritettavaa mittausta ja kartan laatimista.

Kaavoituksen lisäksi kaavoitusmittauksella kerättyjä maastotietoja sekä niistä laadittuja karttoja ja muita tuotteita käytetään yleisemminkin kuntien teknisessä suunnittelussa sekä kiinteistötoimituksissa.

Kaavoitusmittauksia suorittavien henkilöiden on oltava ammattitaitoisia ja mittaukset on suoritettava hyvää mittaustapaa ja kaavoitusmittauksista annettuja ohjeita noudattaen.

Kaavoitusmittauksissa käytettävien mittauslaitteiden on oltava tarkkuudeltaan työhön soveltuvia ja asianmukaisesti huollettuja ja kalibroituja.

1.1. TERMIT, MÄÄRITELMÄT JA LYHENTEET

ETRS89 ja ETRF89

ETRS89 on yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä, joka yhtyy globaaliin ITRS-järjestelmään epookkina 1989.0. ETRS89-järjestelmän realisaatioita kutsutaan nimellä ETRF89. Sen ensimmäiselle realisaatiolle annettiin nimi EUREF89 (katso myös liite 1).

EUREF-FIN

ETRS89-järjestelmä realisoitiin Suomessa vuosina 1996-97 tehdyn GPS-mittauksen avulla, jossa määritettiin 100 pisteen koordinaatit. Lopputuloksena ovat koordinaatit määrittävät ETRF89-koordinaatiston mittaushetken epookissa, joka oli 1997.0. Koska epookki poikkeaa ETRF89-koordinaatiston alkuperäisestä epookista, suomalaiselle ratkaisulle annettiin nimeksi EUREF-FIN. Vuosina 1998-99 EUREF-FIN-pisteistöön on liitetty vielä noin 350 lisäpistettä (katso myös liite 1).

Finnref

12 jatkuvasti toimivan GPS-aseman verkko, jonka avulla mittaukset voidaan liittää kansainvälisiin koordinaattijärjestelmiin. *FinnRef*-verkko muodostaa EUREF-FIN-koordinaatiston rungon.

Gauss–Krüger–karttaprojektio

Gauss–Krüger–projektio on kulmatarkka poikittainen lieriöprojektio, jossa lieriö sivuaa maapalloa keskimeridiaania pitkin. Keskimeridiaani muodostaa suorakulmaisen koordinaatiston x-akselin ja päiväntasaaja y-akselin. Kartastokoordinaattijärjestelmä perustuu Gauss–Krüger–projektiioon ja 3° levyisiin projektiokaistoihin (katso myös liite 2).

GDOP

Geometric Dilution of Precision, satelliittigeometrian aiheuttama tarkkuuden heikentyminen; odotettavissa olevan sijaintiepätarkkuuden suhde teoreettiseen havaintotarkkuuteen

geoidimalli

Geoidimallin avulla ilmaistaan geoidin eli valtameren keskiveden pinnan korkeus ellipsoidista. Geoidin korkeuden (N) suhde ortometriseen korkeuteen (H, korkeus meren pinnasta) ja korkeuteen ellipsoidista pinnasta (h) voidaan ilmoittaa kaavalla $N = h - H$ (katso myös liite 1).

kaavan pohjakartta

Kaavan pohjakartta on asemakaavan laadinnassa käytettävä suurimittakaavainen maastokartta. Pohjakartan ja sille laaditun asemakaavan yhdistelmää kutsutaan asemakaavakartaksi.

kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj)

Kartastokoordinaattijärjestelmä on valtakunnallisissa kartastotöissä käytetty tasokoordinaatisto. Kkj koostuu peruskoordinaatistosta (Suomi kuvattu kuudessa Gauss-Krüger-projektiokaistassa, leveys 3°) ja yhtenäiskoordinaatistosta (Suomi kuvattu yhdessä projektiokaistassa). Katso myös liite 1.

koordinaattijärjestelmä

Joukko suureita, jotka tarvitaan koordinaatiston määrittelemiseksi, sijoittamiseksi ja orientoimiseksi. Geodeettisen koordinaattijärjestelmän määrittelemiseen tarvittavia suureita ovat vertausellipsoidin isoakselin puolikas (a), Maan geosentrinen vetovoimavakio (GM), dynaaminen muotokerroin (J_2), pyörähdysliikkeen kulmanopeus (ω), koordinaatiston origon sijainti ja koordinaattiakselien suunnat.

koordinaatisto

3D- tai 2D-, yleensä suorakulmainen akselisto, jonka avulla pisteen paikka voidaan määrittää koordinaatiston origoon nähden. Koordinaatisto on koordinaattijärjestelmän realisaatio, joka on toteutettu mittaamalla joukolle maastossa olevia kiintopisteitä järjestelmän mukaiset koordinaatit.

korkeusjärjestelmät NN, LN, N43 ja N60

Suomessa käytössä olevia korkeusjärjestelmiä, joiden nollataso on sidottu tietyn ajanhetken keskimerenpinnan tasoon (katso myös liite 1).

RTK

RTK (Real Time Kinematic) on eräs satelliittimittausmenetelmä, jossa käytetään vähintään kahta satelliitivastaanotinta. Toinen vastaanotin on koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä ja toisella kartoitetaan halutut kohteet reaaliajassa. Mittauksen tarkkuus on senttimetriluokkaa (katso myös 3.5.2).

runkopiste

Runkopisteitä ovat koordinaateiltaan ja/tai korkeudeltaan määritetyt kiintopisteet ja tukipisteet. Pysyvästi maastoon merkityt ovat kiintopisteitä. Tukipisteet ovat tilapäisesti merkittyjä tai (ilmakuvalta) valittuja taso- tai korkeustukipisteitä.

UTM-karttaprojektio

UTM-projektio (Universal Transverse Mercator) on poikittainen leikkaava lieriöprojektio, jossa on kaksi oikeanpituista leikkausviivaa. Näiden välillä suurennussuhde on alle 1.0 (keskimeridiaanilla 0.9996) ja ulkopuolella yli 1.0 projektiovirheiden pienentämiseksi. UTM-projektio perustuu 6° levyisiin projektiokaistoihin (katso myös liite 2).

WGS84

WGS84 (World Geodetic System) on GPS-satelliittien käyttämä koordinaattijärjestelmä. WGS84 on Yhdysvaltain puolustushallinnon karttalaitoksen määrittelemä ja yhtyy noin metrin tarkkuudella EUREF-FIN-koordinaatistoon (katso myös liite 1).

1.2. MITTAUSLUOKAT

Kartoitusalueet jaetaan kolmeen mittausluokkaan seuraavasti. Mittausluokka määrää mittaus- ja kuvaustarkkuuden.

Mittausluokka 1:

Taajama-alueet, joilla maa on erittäin arvokasta, rakennusoikeudet suuria ja yhdyskuntarakenne kaupunkimaista. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on sitova tonttijako.

Yleensä tämän tyyppisillä alueilla ylläpidetään kantakarttaa tai numeerista maastotietojärjestelmää, jonka laatu on vähintään tämän ohjeen suositamaa tasoa.

Jos karttatietokantaa on tarkoitus käyttää osana kunnan maastotietojärjestelmää ja hyödyntää suurta tarkkuutta edellyttävässä teknisessä suunnittelussa, suositellaan käytettäväksi tarkempaa vaatimustasoa (mittausluokka 1e).

Mittausluokka 2:

Taajama-alueet, joilla maa on arvokasta, rakentaminen pientalovaltaista mutta suhteellisen intensiivistä. Alueille laadittavissa asemakaavoissa on yleensä ohjeellinen tonttijako.

Näitä ovat pienempien kuntien keskusta-alueet ja muut taajamat. Näihin kuuluvat myös lomaa-asumista tarkoittavat kaava-alueet, joille suunnitellaan runsaasti rakennusoikeutta.

Mittausluokka 3:

Muut alueet, joille laaditaan yleiskaavaa yksityiskohtaisempi mutta vain vähäistä rakennusoikeutta tarkoittava kaava.

Tällaisia voivat olla alueet, joille laaditaan ranta-asemakaava, kaatopaikka-alueet ja muut erityisalueet, joiden kaavoittaminen ei edellytä kunnallisteknisen rakentamisen suunnittelua.

1.3. KARTTOJEN MITTAKAAVAT

Mittausluokassa 1 kartan mittakaava on 1:500 tai 1:1000.

Mittausluokassa 2 kartan mittakaava on 1:1000 tai 1:2000.

Mittausluokassa 3 kartan mittakaava on yleensä 1:2000.

Erityistapauksissa mittakaavaksi voidaan hyväksyä 1:4000 tai 1:5000, mikäli kaava sille asetettavia vaatimuksia olennaisesti syrjäyttämättä voidaan tällaiselle kartalle laatia.

Numeerisella kartalla ei ole mittakaavaa. Mittakaavalla voidaan kuitenkin kuvata tiedon tarkkuutta. Kerätyn tiedon tarkkuus vastaa tietyn mittakaavan mukaista karttaa. Numeerisesta tiedokannasta ei pidä tulostaa suurempimittakaavaisia graafisia tuotteita, kuin mitä tietojen tarkkuus edellyttää.

Mittausmenetelmää ja kartan mittakaavaa valittaessa on otettava huomioon myös alueella tai sen lähistöllä aikaisemmin suoritettut kartoitukset sekä kartoitettavan alueen laajuus ja luonne.

1.4. PAIKKATIEDON JA KARTAN AJANTASAISUUS

Vanhentunutta karttaa ei saa käyttää kaavan pohjana.

Kartta on vanhentunut, jos siitä puuttuu maankäytön suunnittelun kannalta tärkeitä yksityiskoh-
tia, kuten

- rajamerkkejä ja kiinteistörajoja,
- rakennuksia ja rakennelmia,
- teitä, rautateitä, kevyen liikenteen väyliä,
- suurjännitelinjoja, maakaasujohtoja.

Vähäinen kaavamuuos voidaan kuitenkin hyväksyä pohjakartan vanhentuneisuudesta huoli-
matta, jollei muutos olennaisesti vaikuta alueen tai sen lähiympäristön kaavoitukseen ja tontti-
jakoihin.

Vanhan kartan käyttöä eivät kuitenkaan estä kartoitusalueella tapahtuneet vähäiset muutok-
set, kuten

- vähäisestä vedenkorkeuden muutoksesta johtuva rannan siirtyminen,
- luonnon muutokset maastokuvioissa,
- vähäpätöisten purettujen rakennusten tai rakennelmien esiintyminen kartalla,
- rakennusten käyttötarkoituksen muutokset.

Kartan vanhentuneisuuden arviointiin vaikuttaa paitsi kartan sisältö myös aiotun kaavan tarkoi-
tus. Tiivistä rakentamista tarkoittava kaava edellyttää aina mahdollisimman tuoretta karttaa.
Tarvittaessa voidaan pyytää arvio asiasta kaavoitusmittauksen valvojalta.

Jos kaavan tarkoituksena on vakiinnuttaa olemassa oleva tilanne tai kaava on luonteeltaan
yleispiirteinen, voidaan käyttää vanhempaakin karttaa.

Kaikkissa tapauksissa on kartassa esitettävän kiinteistöjaotuksen oltava ajan tasalla.

Kaavan pohjakartta laaditaan usein käyttäen hyväksi ja pitäen yllä kunnan paikkatietokantaa ja
perusrekistereitä, mikäli niiden tietosisältö vastaa kaavan pohjakartalle asetettavia vaatimuk-
sia.

2. RUNKOVERKOT JA NIIDEN MITTAUS

2.1. KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJESTELMÄT

Kaavoitusmittauksessa on käytettävä valtakunnallista tai kunnan käytössä olevaa
paikallista koordinaatti- ja korkeusjärjestelmää.

Kaavoitusmittaus liitetään koordinaattijärjestelmään tasokiintopisteiden avulla. Liit-
tosmittauksen verkkoa kutsutaan **perusrunkoverkoksi** ja pisteitä **peruskiintopis-
teiksi**. Peruskiintopisteistöä tihennetään mittaamalla **käyttökiintopisteitä**.

Kaavoitusmittaus liitetään korkeusjärjestelmään korkeuskiintopisteiden avulla.

2.1.1. KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT JA KARTTAPROJEKTIOT

Valtakunnallisia koordinaattijärjestelmiä ovat **kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj) ja ETRS89**. Kunnissa, joissa on käytössä ns. vanha valtion koordinaattijärjestelmä (vvj; ks. liite 1) tai muu kolmiomittaukseen perustuva koordinaattijärjestelmä (paikallinen järjestelmä), voidaan käyttää edelleen tätä järjestelmää.

Erillinen, pienialainen kartoitus, jossa liitos valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään aiheuttaisi kohtuuttomia kustannuksia, voidaan hyväksyä tehtäväksi erillisessä koordinaattijärjestelmässä.

Satelliittimittauksen laskennassa käytetään joko WGS84- tai ETRS89-järjestelmää. Näissä järjestelmissä määritetyt pisteiden koordinaatit muunnetaan kartoitustasolle hyväksytyjä karttaprojektioita, muunnosmenetelmiä ja –parametreja käyttäen.

Tasokoordinaatisto voi perustua 3-ulotteiseen EUREF-FIN-koordinaatistoon, jossa määritetyt koordinaatit muunnetaan kartoitustasolle joko Gauss-Krüger tai UTM-projektion avulla. Mikäli alueen kaavoitusmittaus on aiemmin tehty kkj-, vvj- tai paikallisessa järjestelmässä, on EUREF-FIN-koordinaatiston ja vanhan koordinaatiston välinen muunnos määritettävä mittamalla riittävä määrä kummassakin koordinaatistossa tunnettuja pisteitä (ks. liite 3).

Kaavan pohjakartassa on käytettävä kulmatarkkaa (konformista) karttaprojektiota, joissa pienet kuviot säilyttävät oikean muotonsa. Suositeltava karttaprojektio on joko UTM tai Gauss-Krüger.

Suosittelavia projektioita on kuvattu¹ tarkemmin liitteessä 2.

Jos kartoitettava alue osuu kahden projektio-alueen alueelle, niistä valitaan käytettäväksi vain toinen.

Projektiokorjausten minimoimiseksi Gauss-Krüger-projektion keskimeridiaaniksi voidaan EUREF-FIN-koordinaatistoa käytettäessä valita lähin tasa-aste.

2.1.2. KORKEUSJÄRJESTELMÄT

Valtakunnallinen korkeusjärjestelmä on **N60-korkeusjärjestelmä**.

Kaavoitusmittauksessa voidaan käyttää myös muuta kunnassa vakiintunutta korkeusjärjestelmää. Näitä ovat valtion aikaisemmat korkeusjärjestelmät NN, N43 tai kunnan oma paikallinen korkeusjärjestelmä sekä Lapin läänin alueella LN-korkeusjärjestelmä (ks. liite 1).

Käytettäessä paikallista korkeusjärjestelmää on selvitettävä sen ero N60-järjestelmään nähden.

¹ Karttaprojektioista on myöhemmin tulossa myös julkisen hallinnon suositus (JHS).

2.2. KIINTOPISTEET

Kiintopisteitä ovat tasokiintopisteet, korkeuskiintopisteet ja yhdistetyt taso- ja korkeuskiintopisteet.

Tasokiintopisteille määritetään vähintään kaavoitusmittauksen koordinaatiston mukaiset koordinaatit. Niille voidaan myös määrittää 3-ulotteiset EUREF-FIN-koordinaatiston mukaiset suorakulmaiset tai geodeettiset koordinaatit, jolloin mittauksen on perustuttava EUREF-FIN-verkon tihennyspisteisiin.

Tasokiintopisteille voidaan määrittää myös korkeudet. Tasokiintopisteiden luokittaminen korkeuskiintopisteeksi (eli yhdistetyksi taso- ja korkeuskiintopisteeksi) edellyttää korkeuskiintopisteelle asetettujen (rakenteellisen, mittaustavan ja tarkkuusvaatimuksen) vaatimusten täyttymistä.

Korkeuskiintopisteille määritetään kaavoitusmittauksessa käytettävän korkeusjärjestelmän mukaiset korkeudet. Korkeuskiintopisteiden luokittaminen tasokiintopisteiksi edellyttää tasokiintopisteelle asetetun mittaustavan ja tarkkuusvaatimuksen täyttymistä.

Käytössä olevat vanhat tasokiintopisteverkot voidaan liittää EUREF-FIN-verkkoon liitteessä 3 esitetyllä tavalla.

2.2.1. TASOKIINTOPISTEET

Perusrunkoverkko suunnitellaan paikallisten käyttökiintopisteiden liitosverkoksi. Käyttökiintopisteet toimivat kartoitus- ja merkintämittausten lähtöpisteinä. Uutta ilmakuvasta varten mitattavien perus- ja käyttökiintopisteiden on sijaittava niin, että ne muodostavat fotogrammetristen töiden kannalta sopivan lähtöpisteistön (luku 3).

PERUSRUNKOVERKKO

Peruskiintopisteiden määrän ja sijainnin määräävät sekä käytettävä mittausmenetelmä että suunniteltavan käyttökiintopisteverkon rakenne. Kiintopisteiden välimatkat ovat 1 – 2 kilometriä. Mittaus suositellaan tehtäväksi satelliittimittauksena. Mittauksessa voidaan käyttää myös jonomittausta.

Perusrunkoverkon lähtöpisteinä käytetään valtakunnallisia I - III luokan tasokiintopisteitä tai EUREF-FIN-verkon tihennyspisteitä. Perusrunkoverkon liittäminen valtakunnalliseen järjestelmään voidaan tehdä myös käyttämällä kiinteitä FinnRef-havaintoverkon pisteitä.

Satelliittimittauksella määritettävän perusrunkoverkon pisteet suositellaan rakennettavaksi kiintopistepareiksi, joiden välillä on näkyvyys. Kiintopisteiden etäisyyden toisistaan pitää olla vähintään 500 m.

Jonomittauksella määritettävässä perusrunkoverkossa sivujen pituudet ovat noin 1 km.

Kiintopisteiden luokituksessa voidaan käyttää aikaisempaa luokitusta. Mikäli peruskiintopisteverkko vastaa mittaustavaltaan ja pistetiheydeltään kolmiomittausta, ovat peruskiintopisteet 3. luokan tasokiintopisteitä. Jonomaisissa verkoissa pisteet luokitellaan 4. luokan tasokiintopisteiksi.

KÄYTTÖKIINTOPISTEET

Käyttökiintopisteiden tiheyden ja sijainnin määräävät sekä kartoituksen, kaavan maastoon merkitsemisen että rakentamisen tarpeet. Mittaus suositellaan tehtäväksi jonomittauksena. Mittauksessa voidaan käyttää myös satelliittimittausta.

Satelliittimittauksella määritettävien käyttökiintopisteiden tulee muodostaa pisteverkkoja, joihin maastomittausten liittäminen on vaivatonta. Kiintopisteiden välimatkat ovat tyypillisesti noin 500 m.

Jos mittausluokissa 1 ja 2 alueelle tarvitaan tiheämpi käyttökiintopisteverkko, mittaus on tehtävä jonomittauksena.

Mittausluokissa 1 ja 2 mitattavat käyttökiintopisteet vastaavat aikaisemman luokituksen 5. luokan kiintopisteitä. Mittausluokassa 3 vaatimukset vastaavat vanhoja 6. luokan tasokiintopisteiden vaatimuksia.

Taulukko. Tasokiintopisteiden jaottelu

Valtakunnalliset kiintopisteet	
EUREF-FIN - tihennyspisteet	I, II ja III luokan Kolmiopisteet (kkj)
Kunnan kiintopisteet	
Peruskiintopisteet	III luokan kolmiopisteet, IV luokan suurmonikulmiopisteet
Käyttökiintopisteet	V ja VI luokan jonopisteet

2.2.2. KORKEUSKIINTOPISTEET

Mittausluokissa 1 ja 2 kaavoitusmittauksen korkeudenmittaus perustuu vaaittuihin korkeuskiintopisteisiin.

Mikäli mittausalueella tai sen välittömässä läheisyydessä ei ole lähtöpisteiksi sopivia, riittävän tarkkoja korkeuskiintopisteitä, on sidonta korkeusjärjestelmään suoritettava paikallisena tarkkavaaituksena. Pisteistöä voi tihentää mittausalueella myös jonovaaituksena.

Mittausluokissa 1 ja 2 korkeuskiintopisteiden välinen etäisyys ei saa ylittää kilometriä. Korkeuskiintopisteenä voidaan käyttää myös tasokiintopistettä, joka on mitattu vastaavalla tarkkuudella ja täyttää korkeuskiintopisteelle asetettavat rakenteelliset vaatimukset.

Mittausluokassa 3 korkeudenmittaus voi perustua tasokiintopisteille joko jonovaaituksella tai satelliittimittauksella määritettäviin korkeuksiin.

2.3. KIINTOPISTEIDEN RAKENNE JA DOKUMENTOINTI

Kiintopisteiden tulee olla rakenteeltaan yksikäsitteisiä, liikkumattomia ja kestäviä.

Tasokiintopisteen merkinä voi olla metalliputki, -tanko tai pultti.

Piste perustetaan liikkumattomalle alustalle kallioon, maaperäkiveen, betonipilariin tai kiinteään rakenteeseen. Käyttökiintopisteenä ja vain erityisistä syistä peruskiintopisteenä voidaan käyttää maahan upotettua teräsputkea tai -tankoa.

Korkeuskiintopisteen merkinä on pyöristetty pultti. Yhdistetyn taso- ja korkeuskiintopisteen merkinä on pyöristetty pultti, jossa on keskistysmerkki.

Pisteet on rakennettava liikkumattomiksi kallioon, maaperäkiveen, betonipilariin tai kiinteään rakenteeseen.

Kiintopisteestä on tehtävä pisteselitys.

Pisteselityksestä tulee käydä ilmi:

- pisteen numero, jonon tai vast. laskentanumero
- pisteen luokka
- pisteen mittaaja (organisaatio)
- kunta, kylä, kaupunginosa jne.
- koordinaattijärjestelmät (taso/korkeus)
- koordinaatit (taso/korkeus)
- koordinaattien ja korkeuden mittausmenetelmä
- EUREF-FIN–koordinaatit, jos ne on määritetty
- pisteen rakenne ja alusta
- lyhyt kuvaus sijainnista, hakumerkkien kuvaus
- sijaintipirroksidemoitointeen
- mittausajankohta.

2.4. KIINTOPISTEIDEN TARKKUUSVAATIMUKSET

Mittausten tarkkuutta arvioidaan suhteellisena tarkkuutena, joka tarkoittaa pistevirheen (pistekeskivirheen) suhdetta pisteiden väliseen etäisyyteen.

Peruskiintopisteiden suhteellinen tasotarkkuus on oltava ≤ 20 ppm.

Korkeuskiintopisteiden välisen korkeuseron suhteellinen tarkkuus on oltava ≤ 5 ppm.

Käyttökiintopisteiden suhteellisen tasotarkkuuden on oltava:

- mittausluokissa 1 ja 2 ≤ 50 ppm (15 mm, kun sivunpituus $l \leq 300$ m)
- mittausluokassa 3 ≤ 80 ppm (25 mm, kun $l \leq 300$ m)

Käyttökiintopisteiden suhteellisen korkeustarkkuuden on oltava:

- mittausluokissa 1 ja 2 ≤ 50 ppm (5 mm, kun $l \leq 100$ m)
- mittausluokassa 3 ≤ 80 ppm (8 mm, kun $l \leq 100$ m)

Mikäli asetettu tarkkuusvaatimus ei täyty, poikkeaman syyt on selvitettävä ja tarvittaessa havainnot on tehtävä uudelleen.

2.5. KIINTOPISTEIDEN MITTAUS JA LASKENTA

Kiintopisteet on mitattava ja laskettava menetelmällä, joka on riittävän tarkka ja sisältää karkeiden virheiden ehkäisemiseksi tarvittavat varmistukset.

Tarkkuuden ja tuloksen oikeellisuuden on oltava todennettavissa mittauksen havainto- ja laskenta-aineistosta, joka on dokumentoitava ja arkistoitava.

Tasokiintopisteet mitataan satelliitti- tai jonomittausmenetelmällä, jonka tuloksena saadaan kiintopisteille vähintään tasokoordinaatit. Pisteille voidaan myös määrittää korkeudet, mutta tarkimmat korkeuserojen mittaukset tehdään vaaitsemalla.

Satelliittimittauksen tuloksena voidaan pisteille määrittää myös EUREF-FIN–koordinaatit, jos lähtöpisteinä käytetään valtakunnallisia EUREF-FIN-tihennyspisteitä.

2.5.1. SATELLIITTIMITTAUS

Satelliittimittauksella voidaan määrittää tasokiintopisteitä sekä peruskiintopisteiksi etä käyttökiintopisteiksi.

Satelliittimittauksessa käytetään kantoaallon vaiheen havaitsemiseen perustuvaa relatiivista menetelmää, jolla määritetään pistevälien kolmiulotteisia koordinaattieroja eli avaruusvektoreita. Vastaanottimen ja vaihehavaintojen käsittelyohjelman on oltava geodeettisiin mittauksiin soveltuva.

Satelliittimittausten havainto- ja laskentakoordinaatisto on usein kolmiulotteinen avaruuskoordinaatisto WGS84. Suomen alueella käytettävä EUREF-FIN on laskennan kannalta riittävällä tarkkuudella yhtenevä WGS84-järjestelmän kanssa. Vektoreiden ratkaisu tapahtuu kolmiulotteisessa avaruuskoordinaatistossa. Lopullinen verkon tasointilaskenta voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla.

Kiinteän verkon tasointi EUREF-FIN–koordinaatistossa soveltuu käytettäväksi, kun tunnetaan lähtöpisteet samassa järjestelmässä ja tarkat muunnosparametrit EUREF-FIN-koordinaatistosta paikalliseen koordinaatistoon.

Vapaan verkon tasointi paikalliseen koordinaattijärjestelmään soveltuu käytettäväksi, kun tunnetaan valtakunnalliset muunnosparametrit (esim. kartastokoordinaattijärjestelmään tai paikalliseen järjestelmään) vain likimäärin.

HAVAITOTYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Satelliittimittauksessa käytetään vähintään neljää lähtöpistettä, jotka sulkevat verkon alueen sisäänsä. Verkko muodostuu sulkeutuvista kuvioista, silmukoista. Vektoreiden tulee olla mahdollisimman tasapituisia. Yhden silmukan vektorit havaitaan vähintään kahdessa havaintojaksossa. Verkossa pitää olla kahteen kertaan mitattuja, riippumattomia vektoreita vähintään 15%. Vierekkäisillä silmukoilla on oltava vähintään kaksi yhteistä pistettä. Silmukat eivät saa liittyä toisiinsa vain yhden pisteen tai yhden vektorin välityksellä. Verkossa ei saa olla piikkipisteitä. Mittauksessa käytetään staattista mittausta tai staattista pikamittausta oheisen taulukon mukaisesti.

	Mittausmenetelmä	Silmukassa vektoreita	Jakson pituus
Peruskiintopisteet	Staattinen	enintään 4	45 - 90 min
Käyttöpisteet (1 ja 2 mittausluokka)	Staattinen	enintään 5	30 - 60 min
Käyttöpisteet (3 mittausluokka)	Staattinen pikamittaus	enintään 5	5 - 30 min

Pisteiden suunnittelussa on otettava huomioon esteetön näkyvyys satelliitteihin, monitieheijastusten (metalli, teräsbetoni, lasi, vesipinnat) vaikutus, auringon aktiivisuus ja tarpeen mukaan pisteiden keskinäinen näkyvyys. Verkon havaintojaksoille laaditaan aikataulu. Kiintopisteen tarkkuusvaatimus määrää jakson vähimmäispituuden vastaanottimen ja ohjelmistovalmistajan ohjeet huomioon ottaen. Havaintojaksojen ajoituksessa on otettava huomioon käytettävien vastaanottimien lukumäärä ja satelliittien sijainti taivaalla. Satelliittigeometriaa kuvaavan GDOP-luvun arvo on oltava < 8. Havaintoaikoja kannattaa pidentää ohjearvoista, jos GDOP tai auringon aktiivisuus ovat suhteellisen korkeita.

Vastaanottimen antenni pystytetään kolmijalan ja luodin avulla suoraan mitattavan pisteen yläpuolelle. Antennin referenssipisteen ja kiintopisteen välinen korkeusero on mitattava 1 mm tarkkuudella sekä jakson alussa että jakson päättyttyä. Jos tehdään havaintoja epäkeskisesti, antennin referenssipisteen ja kiintopisteen välinen kolmiulotteiset koordinaattierot on kyettävä määrittämään luotettavasti. Erilaisia antennejä voi käyttää vain, jos laskentaohjelmassa voi-

daan ottaa huomioon antennien vaihekeskipisteiden ja fyysisten keskipisteiden poikkeamat toisistaan (antennikalibrointi-arvot).

Havaintojakson tiedot on kirjattava myös havaintolomakkeelle, johon merkitään

- pisteen numero
- vastaanottimen tyyppi, sarjanumero tai muu yksilöivä tunnus
- päivämäärä
- jakson aloitusaika ja antennin korkeus
- jakson päättämisaika ja antennin korkeus
- havaitsija.

Havaintolomake liitetään mittausten dokumenttiaineistoon.

Havaintojaksot on syytä purkaa päivittäin laskentaa varten pois vastaanottimesta, tarkastaa ja ottaa varmistuskopiot. Lasketut vektorit liitetään dokumenttiaineistoon.

VEKTORILASKENTA JA VERKON TASOITUS

Vektoreiden ratkaisu vaihehavaintoaineistosta tehdään ohjelmistovalmistajan ohjeiden mukaisesti. Laskenta perustuu yleensä ns. kaksoiserotushavaintojen perusteella tehtävään ratkaisuun, jonka tulee olla mahdollisimman luotettava. Ratkaisun luotettavuutta voi ohjelmiston antaman informaation lisäksi arvioida tarkastelemalla silmukoiden sulkuvirheitä ja kahteen tai useampaan kertaan havaittujen vektoreiden pituuksia.

Lasketut vektorit tasoitetaan virheyhtälötasoitukseksi joko vapaana verkkona tai kiinteiden pisteiden avulla. Tasoitettavat koordinaatit muunnetaan kaavoitusmittauksessa käytettävään tasokoordinaatistoon paikallisilla muunnoskaavoilla. Mikäli käytetään EUREF-FIN-koordinaatistoa, tasoitettavat koordinaatit muunnetaan haluttuun projektiokaistaan projektiokaavoilla.

Vapaan verkon tasointa voidaan tehdä joko aitona vapaan verkon tasointuna tai kiinnittämällä yksi lähtöpisteistä mahdollisimman läheltä verkon painopistettä. Vapaan tasoinnin tulosta arvioidaan ensin jäännösvirheiden, niiden tilastollisen analyysin ja/tai silmukoiden sulkuvirheiden perusteella. Tällöin saadaan kuva vektorihavaintojen yhteensopivuudesta.

Kiinteän verkon tasointuksessa vektoriverkko kiinnitetään tunnettuihin pisteisiin. Jos verkon joidenkin pisteiden koordinaatit tunnetaan tarkasti kolmiulotteisessa maakeskisessä EUREF-FIN-koordinaatistossa, näitä käytetään tasoinnin kiinteinä pisteinä. Tasoinnin lopputuloksena saadaan tällöin verkon muiden pisteiden koordinaatit EUREF-FIN-koordinaatistossa. Tasoinnin onnistumista kuvaavat vektorien jäännösvirheet ja jäännösvirheiden tilastollinen analyysi, joka varoittaa mahdollisista karkeista virheistä. Jäännösvirheiden perusteella voidaan arvioida tarkkuutta vain verkon ollessa mahdollisimman tasasuvinen ja homogeeninen.

Lopullisessa tasointimuunnoksessa verkko sovitetaan lähtöpisteisiin, joiden tasokoordinaatit ovat kaavoituksessa käytetyssä järjestelmässä. Tasointimuunnoksena voidaan käyttää 3-parametrin muunnosta (koordinaatiston kiertäminen ja origon siirto tuntemattomina), jolloin verkon hyvä geometria säilyy tai 4-parametrin Helmert-muunnosta (koordinaatiston kiertäminen, origon siirto ja mittakaava tuntemattomina), jolla saadaan paras yhteensopivuus lähtöpisteiden kanssa. Jälkimmäisessä tapauksessa suositellaan käytettäväksi vähintään viittä lähtöpistettä. Muunnoksen jäännösvirheet kuvaavat vektoriverkon ja lähtöpisteiden yhteensopivuutta. Lopulliset suhteelliset tarkkuudet lasketaan muunnetuille vektoreille ja niiden on täytettävä ko. luokalle asetetut vaatimukset.

Lopuksi koko verkko muunnetaan haluttuun tasokoordinaatistoon tasointimuunnoksen antamia parametreja käyttäen. Ratkaistujen vektoreiden suhteellisten tarkkuuksien on täytettävä ko. luokalle asetetut vaatimukset.

KORKEUKSIEN MUUNTAMINEN

Satelliittimittauksessa korkeudet ovat ellipsoidisia korkeuksia, jolloin vertauspintana on GRS80-ellipsoidi. Ellipsoidista lasketut korkeudet (h) saadaan muutetuiksi ortometrisiksi korkeuksiksi (H), kun geoidin korkeus (N) ellipsoidista tunnetaan, seuraavan kaavan mukaan:

$$H = h - N$$

Kun GPS-mittausten avulla saadaan mitatuiksi pisteiden välisiä ellipsoidisia korkeuseroja (Δh), voidaan nämä muuntaa ortometrisiksi korkeuseroiksi (ΔH) tunnettujen geoidin korkeuserojen avulla seuraavasti:

$$\Delta H = \Delta h - \Delta N$$

Geoidin korkeudet voidaan interpoloida digitaalisesta geoidimallista. Sopivia malleja ovat pohjoismaiden alueelle sovitettu NKG96 tai Suomen alueelle sovitettu FIN2000. Suomen alueelle sovitettu geoidimalli (FIN2000) antaa tulokseksi N60-järjestelmän mukaisia, ortometrisiä korkeuksia, mikäli satelliittimittauksen tuloksena olevat korkeudet on laskettu GRS80-ellipsoidista.

Mikäli mittaalue on suppea (halkaisijaltaan pienempi kuin 20-30 km) ja alueella on riittävästi (vähintään 5-6) vaaittuja korkeuskiintopisteitä, alueelle voidaan määrittää paikallinen geoidimalli satelliittimittausten ja kiintopisteiden ortometristen korkeuksien avulla. Kullakin korkeuskiintopisteellä saadaan geoidin korkeus lasketuksi seuraavasti:

$$N = h - H$$

Laskettujen geoidinkorkeuksien ja kiintopisteiden tasokoordinaattien avulla ratkaistaan paikallinen geoidimalli joko 1. asteen tai 2. asteen polynomina:

$$\begin{aligned} N &= N_0 + a_{10}x + a_{01}y \\ N &= N_0 + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 \end{aligned}$$

missä x ja y ovat vaaituspisteiden tasokoordinaatit. Jos alueella on käytettävissä tarkkoja vaaituspisteitä saadaan paikallisen geoidimallin avulla yleensä tarkempi korkeusmuunnos ellipsoidisten korkeuksien ja ortometristen korkeuksien välille kuin valtakunnallisen geoidimallin avulla.

2.5.2. JONOMITTAUS

Myös jonomittauksella voidaan määrittää tasokiintopisteitä sekä peruskiintopisteiksi että käyttökiintopisteiksi.

Jonomittauksella tarkoitetaan tunnetusta pisteestä toiseen kulkevan murtoviivan mittausta tai tepisteissä tehtävin kulma- ja etäisyyshavainnoin. Jonomittausta käytetään pääasiassa tasokoordinaattien määrittämiseen. Jonomittausten havainto- ja laskentakoordinaatisto on alueella käytössä oleva tasokoordinaatisto. Menetelmällä voidaan määrittää pisteille myös korkeuskoordinaatti.

Jonomittauksessa käytetään takymetriä tai teodoliittia ja erillistä etäisyysmittaria. Jonomittauksessa käytettävien kojeiden keskivirheiden tulee täyttää taulukossa esitetyt vaatimukset.

	Yhden suuntahavainnon keskivirhe	Yhden korkeuskulmahav. keskivirhe	Yhden etäisyshavainnon keskivirhe
Peruskiintopisteet	0,6 mgon	1,5 mgon	3 mm + 2 ppm
Käyttökiintopisteet (1 ja 2 mittausluokka)	1,0 mgon	1,5 mgon	5 mm + 5 ppm
Käyttökiintopisteet (3 mittausluokka)	3,0 mgon	3,0 mgon	5 mm + 5 ppm

HAVAITOTYÖN SUUNNITTELU JA SUORITUS

Jonomittauksessa käytetään vähintään kahta lähtöpistettä, joiden välillä uusien pisteiden muodostama jono kulkee mahdollisimman suoraviivaisesti. Jonojen sivunpituuksien tulee olla mahdollisimman samansuuruisia. Jonot on suljettava pääsääntöisesti myös kulmasulkua käyttäen. Jonoissa ei saa olla piikkipisteitä.

Peruskiintopisteitä mitattaessa yksittäisessä jonossa saa olla enintään viisi uutta pistettä. Mitattavat jonot saavat muodostaa verkkoja (ns. solmupistejonot). Liittyminen ylemmän luokan pisteisiin suositellaan tehtäväksi täydellisenä liitoksena. Erityisistä syistä liitos voidaan tehdä myös ns. koordinaattiliitoksena ilman sulkupisteellä tehtäviä kulmahavaintoja.

Käyttökiintopisteitä mitattaessa jonojen pituudet saavat olla mittausluokissa 1 ja 2 enintään kaksi kilometriä. Jonossa saa olla korkeintaan kahdeksan uutta pistettä ja sivujen pituudet ovat tyypillisesti 100 – 300 m. Mittausluokassa 3 jonon pituus saa olla enintään viisi kilometriä. Jonossa saa olla korkeintaan 20 uutta pistettä ja sivujen pituudet ovat tyypillisesti 100 – 500 m. Mitattavat jonot saavat muodostaa verkkoja. Liittyminen ylemmän luokan pisteisiin suositellaan tehtäväksi täydellisenä liitoksena.

Pisteiden suunnittelussa on otettava huomioon pisteiden välinen esteetön näkyvyys. Läheltä maanpintaa kulkevia tähtäyksiä on pyrittävä välttämään.

Kiintopisteen tarkkuusvaatimus määrää tehtävien havaintosarjojen lukumäärät.

	Kulma- havainnot	Max - min enintään	Etäisyys- havainnot	Max - min enintään
Peruskiintopisteet	4 sarjaa	2,0 mgon	4 + 4	10 mm
Käyttökiintopisteet (1 ja 2 mittausluokka)	2 sarjaa	3,0 mgon	2 + 2	15 mm
Käyttökiintopisteet (3 mittausluokka)	1 sarja		2 + 2	20 mm

Koje pystytetään kolmijalan ja luodin avulla suoraan mitattavan pisteen yläpuolelle. Mikäli pisteille määritetään myös trigonometriset korkeudet, kojeen korkeus pisteestä on määritettävä luotettavasti 1 mm tarkkuudella. Sekä kojeen että tähysten korkeudet mitataan ennen havaintojen aloittamista ja havaintojakson jälkeen.

Kiintopisteiden mittauksessa on tehtävä lämpötilahavainnot ja tarvittaessa myös ilmanpainehavainnot sääkorjausten laskentaa varten. Havainnot tallennetaan alkuperäisinä (niihin ei lasketa maastossa esim. sääkorjauksia).

Mittauksen tiedot on talletettava tiedostoon tai havaintolomakkeelle.

LASKENTA

Monikulmiojonojen muodostamat verkot lasketaan yleensä virheyhtälötasoitukseksi. Yksittäisiä jonoja voidaan tasoittaa myös ns. jonotasoitukseksi. Peruskiintopisteitä ja käyttökiintopisteitä ei saa laskea samassa tasoituksessa.

Mitatulle jonolle lasketaan tasoittamattomilla havainnoilla aina pistesulkuvirhe. Lopullisessa jonoverkon virheyhtälötasoituksessa on huolehdittava siitä, että karkeat virheet on eliminoitu ja yksittäisten pistevälien suhteelliset tarkkuudet täyttävät kullekin pisteluokalle asetetut vaatimukset.

Tasoittamattomilla havainnoilla lasketaan jonolle koordinaattisulkuvirheet w_x ja w_y , joista saadaan pistesulkuvirhe:

$$w_p = \sqrt{w_x^2 + w_y^2} \quad [m]$$

Jonolle lasketun pistesulkuvirheen on alitettava raja-arvo (95% merkitsevyystaso)

$$w_p < 1.73 \cdot 10^{-6} \cdot \mu \cdot L$$

Kaavassa μ on kohdassa 2.4. annettu tasotarkkuusvaatimus (ppm) ja L [m] on jonon pituus. Kaavan tarkempi selitys on esitetty liitteessä 4.

Jonon suhteelliset virheet eivät saa ylittää kohdassa 2.4 asetettuja tasotarkkuusvaatimuksia.

2.5.3. VAAITUS

Tarkka- ja jonovaaituksella voidaan määrittää korkeuskiintopisteitä sekä yhdistettyjen taso- ja korkeuskiintopisteiden korkeuksia.

Tarkkavaaitus tehdään manuaalisella tai elektronisella tarkkavaaituskojeella ja invarlatoilla. Jonovaaituksen voi tehdä tasainvaaituskojeella tai itse tasaavalla vaaituskojeella (tasaimen herkkyyks vähintään 4") ja mm tai cm –jakoisilla puulatoilla.

HAVAITOTYÖN SUUNNITTELU JA SUORITUS

Vaaituslinjat on suunniteltava tunnettujen pisteiden väliin tai niiden pitää muodostaa suljettuja renkaita.

Lähtöpisteinä on käytettävä aina vähintään kahta tunnettua pistettä, joiden liikkumattomuus ja tunnistus on varmennettu.

Mikäli vaaitusta ei voi suorittaa suljettuina lenkkeinä, on se tehtävä edestakaisin.

Tarkkavaaituksessa kojeaseman tähtäysetäisyyksien eteen ja taakse pitää olla metrin tarkkuudella yhtä pitkiä. Pisin sallittu tähtäysetäisyys on 60 m.

Jonovaaituksessa kojeaseman tähtäysetäisyyksien ero ei saa ylittää 20 m. Pisin sallittu tähtäysetäisyys on 100 m.

LASKENTA

Vaaitusverkko tasoitetaan solmupistetasoituksena tai virheyhtälötasoituksena. Yksittäisen vaaituslinjan voi tasoittaa jonotasoituksena.

Vaaituslinjan korkeussulkuvirheen w_H (itseisarvo) on alitettava raja-arvo (95% merkitsevyystaso)

$$|w_H| < 1.96 \cdot 10^{-6} \cdot \mu \cdot L$$

Kaavassa μ on kohdassa 2.4 annettu tasotarkkuusvaatimus (ppm) ja L on linjan pituus. Kaavan tarkempi selitys on esitetty liitteessä 4.

Suhteellinen virhe ei saa ylittää kohdassa 2.4 korkeudelle asetettuja tarkkuusvaatimuksia.

3. KARTOITUSMITTAUKSET

Kartoitus, maastokohteiden ja kuvioiden mittaus ja luokittelu, suoritetaan yleensä stereodigitointina ilmakuvilta. Maastokartoituksella pääasiassa täydennetään ilmakuvakartoitusta.

Suurta sijaintitarkkuutta edellyttävät kohteet, kuten rajamerkit ja rakennukset suositellaan kartoitettavaksi runkopisteisiin tukeutuen takymetrillä tai satelliittimittauksella (RTK-mittaus).

Kartoituksessa on mittausluokan edellyttämällä tavalla mitattava kaavoituksen kannalta tarpeelliset yksityiskohdat, kuten

- kiinteistörajat rajamerkkeineen
- rakennukset ja pysyvät rakennelmat
- liikenneväylät ja -alueet
- maa- ja vesialueet.

3.1. KARTOITETTAVIEN KOHTEIDEN TARKKUUSVAATIMUKSET

Kartoitetun rajamerkin pistekeskivirhe laskettuna määrittelyn perustana olevien kiintopisteiden suhteen on oltava mittausluokittain²:

- mittausluokassa 1 ≤ 120 mm
- mittausluokassa 2 ≤ 180 mm
- mittausluokassa 3 ≤ 250 mm.

Muiden kohteiden tarkkuusvaatimukset on esitetty julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallissa ja liitteessä 5.

3.2. ILMAKUVAUS

3.2.1. KUVAUSSUUNNITELMA

Ilmakuvaus suoritetaan aina erillisen kuvaussuunnitelman mukaisesti.

Kuvauksesta laaditaan kuvaussuunnitelmakartta käyttäen pohjana tarkoitukseen sopivaa karttapohjaa, yleensä maastokarttaa 1:20 000.

Kuvaussuunnitelmaa laadittaessa otetaan huomioon kartoitettavan alueen muoto. Kuvausjonojen suunta valitaan siten, että kuvausjonojen määrä ja kuvien määrä pyritään minimoimaan. Mikäli esim. alueen muoto tai ortokuvaus eivät muuta edellytä, käytetään itä-länsisuuntaista kuvausjonoja.

Kuvaussuunnitelmassa / kuvauskartassa tulee ilmoittaa ainakin seuraavat tiedot:

² Mittausluokassa 1e voidaan soveltaa mainittua tiukempia tarkkuusvaatimuksia.

- alueen sijainti (kunta ja/tai yleislehtiäön karttalehden numero),
- kuvauksen käyttötarkoitus,
- kuvauksen mittakaava, kuvauskorkeus ja alueen keskikorkeus,
- käytettävät pituus- ja sivupeitot,
- kuvauksessa käytettävä kamera,
- kuvauksessa käytettävän ilmakuvauksfilmin tyyppi,
- signaloinnin suorittaja ja sen laajuus
- kuvauksen aikataulu.

Jos kuvaus toteutetaan ns. täsmäkuvauksena, voidaan ilmoittaa suoraan myös kuvanottopaidan koordinaatit (kkj tai EUREF-FIN-koordinaatistossa).

Kuvaussuunnitelma edellyttää aina kuvauskarttaa, jolla varmistetaan tehtävän fotogrammetristen edellytysten täytyminen.

3.2.2. KUVAUKSESSA KÄYTETTÄVÄ KAMERAKALUSTO JA ILMAKUVAUSFILMI

Ilmakuvauksia suoritetaan kalibroidulla mittakameralla, jonka kuvakoko on 230 mm * 230 mm.

Kartoituskuvauksissa mittausluokissa 1 ja 2 käytetään kameraa, jonka objektiivin polttoväli on noin 150 mm (laajakulmaobjektiivi) tai 210 mm (normaalikulmaobjektiivi) ortokuvien valmistusta varten.

Kameran edellinen tehdaskalibrointi ei saa olla yli 3 vuotta vanha, mikä on osoitettava voimassa olevalla kalibrointitodistuksella. Lisäksi koko kuvausjärjestelmä (kamera-objektiivi-suodin-filmi-kehitys) on säännöllisesti järjestelmäkaliibroitava ilmakuvakoekentän avulla.

Kamerassa pitää olla kahdeksan reunamerkkiä, jotka kuvautuvat selvästi kaikille kuville. Lennonsuuntaisen kuvaliikkeen kompensattori (FMC) ja/tai stabiloitu kameraripustus (IMC) parantavat kuvan laatua.

Kuvauskoneen navigoinnissa on suositeltavaa käyttää GPS-avusteista järjestelmää.

Digitaaliset ilmakuvakamerat tekevät vasta tuloaan. Niiden tekniset määrittelyt on jätetty myöhemmään vaiheeseen. Muiden kameroiden (pieniformaattiset digitaalikamerat yms.) käyttö tämän ohjeen mukaiseen kartoituskäyttöön ei mittausluokissa 1 ja 2 ole perusteltua.

Kaavoitusmittaustarkoituksiin käytetään pääsääntöisesti värifilmiä tai vaihtoehtoisesti mustavalkoista pankromaattista filmiä.

Värikuvauksen tulkittavuus on suurikaavaisessa mittauksessa parempi kuin mustavalkoisen. Myös väri-infrafilmin käyttö voi tulla kysymykseen erikoistehtävissä.

3.2.3. KUVAUSSMITTAKAAVA

Oheisessa taulukossa on esitetty ensisijaisesti käytettävät kuvausmittakaavat mittausluokittain.

Kuvausmittakaavat voivat vaihdella kuvausalueen koon perusteella. Suluissa olevat mittakaavat tarkoittavat pienintä mahdollista kuvausmittakaavaa.

Kartan mittakaava	Mittausluokka		
	1	2	3
1:500	1:4000 (5000)	-	-
1:1000	1:4000 (5000)	1:6000 (7000)	-
1:2000	-	1:8000 (10000)	1:10000 (16000)
1:5000	-	-	1:16000 (31000)

3.2.4. SIGNALOINTI

Fotogrammetrista kartoitusta varten näkyvöitetään tarpeellinen määrä kiinto- ja tukipisteitä.

Tilauksen yhteydessä on sovittava, kuka suorittaa signaloinnin. Signaloinnin valmistumisesta (ilmoitusmenettely) ja/tai kuvauksen ajankohdasta on myös sovittava.

Signaloidun runkopisteistön on oltava niin kattava, että se täysin sulkee sisäänsä mitattavan alueen. Runkopisteitä signaloidaan etenkin alueen nurkkiin ja reunoille sekä mahdollisuuksien mukaan kuvausjonojen saumoihin. Kartoitustehtävän tarkkuus vaikuttaa runkopisteiden tiheyteen. Signaloituja XYZ-pisteitä pitää tyypillisesti olla vähintään kahden - kolmen kuvauskannan välein.

Signaalien koko määräytyy kameran ja kuvausmittakaavan mukaan. Kontrastin parantamiseksi asetetaan signaalin ympärille tarvittaessa tummuuseroa lisäävää materiaalia.

Suosittelavat signaalikoot eri kuvausmittakaavoissa ovat:

Kuvausmittakaava	Neliösignaalin sivu (m)	Ristisignaalin mitat (m)
1:3000 – 1:4000	0.2 – 0.25	0.05.- 0.08 * 0.6
1:4000 – 1:6000	0.3 – 0.4	0.10.- 0.12 * 0.8
1:6000 – 1:10000	0.45 – 0.6	0.12.- 0.15 * 1.0
1:10000 – 1:13000	-	0.15.- 0.30 * 1.2 – 1.5
1:13000 – 1:16000	-	0.30.- 0.50 * 1.5 – 3.0

3.2.5. ILMAKUVAUKSEN SUORITTAMINEN

Ilmakuvaus tehdään aina kuvaussuunnitelman mukaisesti. Blokkimaiset alueet kuvataan ensisijaisesti itä-länsisuuntaisin jonoin, ellei mittausalueen muoto tai tyyppi (esimerkiksi katuverkon tai tien suunta) edellytä muunlaista kuvaussuuntaa. Ilmakuvauksissa, joissa tehdään digitaalisia ortokuvia, tuotantoprosessia helpottaa pääilmansuuntien mukainen ilmakuvaus.

Kuvaus suoritetaan yleensä 60 % pituus- ja 30 % sivupeittoa käyttäen, jotka ovat minimivaatimuksia kartoituskuvauksille. Suoritettaessa kuvausta mittausluokassa 1 voidaan käyttää suurempia sivupeittoa, esimerkiksi 60 %.

Toisinaan on edullista ottaa kuvat 80 % pituuspeitolla ja/tai 60 % sivupeitolla. Näin menetellään usein kuvauksissa, joista tehdään ortoilmakuvia. Tällöin voidaan ilmakuvaamosaiikkia laadittaessa käyttää ainoastaan kuvien keskiosia ja minimoida näin keskusprojektion aiheuttamia vääristymiä.

Kartoituskuvaukset suoritetaan tyypillisesti ajankohtana, jolloin maankamara on lumeton eikä puiden lehvästö estä kohteiden mittaamista kuvilta. Ortoilmakuvaukset tehdään usein kasvukauden aikana kesällä, koska kuvilta halutaan erottaa lehtipuut sekä erilaiset viljelykset.

Auringon korkeuskulman tulee olla kuvaushetkellä vähintään 30 °. Mikäli lehden puuhun tulo tai jokin muu erityinen syy vaatii, tilaaja ja kuvaaja voivat sopia muusta raja-arvosta. Tällöin on suositeltavaa käyttää riittävän loivaa filmiä.

Näkyvyyden tulee olla hyvä. Kuvausalueella ei saa olla kuvaushetkellä pilviä, pilven varjoja, savua yms. Mikäli kuvaustehtävä sallii poikkeuksia, niistä on sovittava etukäteen tilaajan ja kuvaajan kesken.

Kuvauksen laitimaisten lentojonojen on ylitettävä alueen reuna vähintään 10 % lentokorkeudesta maastomittakaavassa laskettuna, mihin lisätään 1 cm kuvamittakaavassa mitattuna.

Kuvausjonojen päissä kuvauksen on ylitettävä vähintään yhden kuvakannan verran mittausalueen ulkopuolelle, kuvausalueeseen lasketaan tässä kuuluvaksi myös varsinaisen kartoitusalueen ulkopuolella sijaitsevat, fotogrammetrisen mittauksen lähtöpisteinä käytettävät kiintopisteet.

Kuvaajan on tarkistettava kuvaus mahdollisimman nopeasti kuvaamisen jälkeen, jotta sen uusiminen olisi mahdollista vielä saman kuvauskauden aikana.

3.2.6. ILMAKUVAFILMIN PROSESSOINTI JA KUVIEN LAATUVAATIMUKSET

Filmin kehitykseen ja kuivatukseen on käytettävä kehityskonetta, joka ei deformeoi filmiä haitallisessa määrin. Kehitysprosessin tulee olla suunniteltu ilmakuvauksia varten. Prosessia tulee hoitaa niin, että kehitystulos säilyy vakaana. Filmikohtaisesti tulee tietää kehitysajan ja lämpötilan vaikutus herkkyteen ja jyrkkyyteen.

Kuvauksesta valmistetaan geometrialtaan mittaustarkoitukseen sopivat diapositiivit ellei käytetä suorapositiivifilmiä. Diapositiivin tulee täyttää originaalifilmille asetettavat geometriset ja kuvalaadulliset vaatimukset.

Kuvien sisäisessä orientoinnissa affiinisien reunamerkkimuunnoksen maksimijäännösvirhe ei saa ylittää arvoa 20 mikrometriä. Kuvien keskinäisen orientoinnin kuvakoordinaattien maksimijäännösvirhe ei saa ylittää arvoa 10 mikrometriä.

Diapositiivin mitatun erotuskyvyn on oltava parempi kuin 20 viivaparia/mm kontrastilla 1:8. Erotuskyky voidaan parhaiten varmistaa sijoittamalla kuvausalueelle testitaulu.

Pinnakkaiskopioiden tekemiseen suositellaan käytettäväksi kartoitussovelluksiin suositeltuja kopiokoneita. Tarvittaessa voidaan sävyaluetta säätää valotuksen yhteydessä. Yleensä kartoituskuvauksissa tehdään yksi sarja pintakopiota. Digitaalitekniikan yleistyessä pintakopioiden tarve vähenee.

Kuvauksesta laaditaan laaturaportti, mikäli tilaaja niin edellyttää. Laaturaportissa esitetään edellisissä kohdissa mainitut laatumittaukset ja niiden tulokset. Näin tilaaja varmistaa, että kuvaus on suoritettu teknisesti oikein ja täyttää sille asetetut vaatimukset.

Kuvauksesta on tehtävä erilliselle lomakkeelle kuvausselostus eli suoritusilmoitus.

Originaalikuviin on tehtävä ainakin seuraavat merkinnät:

- kuvaajan nimi,
- kameran tyyppi,
- objektiivin numero ja polttoväli
- kuvauksen numero,
- kuvan numero.

Kuvauksesta valmistetaan kuvarekisteri (ilmakuvaindeksi), jolla osoitetaan yksittäisten kuvien paikat koordinaatistossa. Otsikko-osiossa on syytä ilmoittaa myös muut kuvaukseen liittyvät tiedot, mm. asiakastiedot, käyttö- ja tekijänoikeuden omistaja.

Tarkan kartoitusilmakuvauksen suorittamisesta on olemassa Fotogrammetrian ja Kaukokartoituksen Seuran suositus, jossa ilmakuvauksen yksityiskohtia on käsitelty seikkaperäisemmin. Suosituksessa on myös ohjeita ilmakuvauksikameran ja kuvausjärjestelmän kalibroinnista.

3.2.7. ILMAKUVIEN SKANNAUS

Skannauksessa alkuperäisen kuvan sisältämä informaatio pitää siirtää mahdollisimman täydellisesti digitaaliseen muotoon niin, ettei kuvan geometrista eikä radiometrista laatua heikennetä.

Skannattava kuva on useimmiten ilmakuvauksen originaalifilmi. Käytettävän skannerin on tarpeen mukaan pystyttävä skannaamaan värillisiä tai mustavalkoisia kuvia negatiiveina tai positiiveina.

SKANNERILLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET

Fotogrammetrisiin sovelluksiin riittävä geometrinen tarkkuus ja stabiilisuus saavutetaan yleensä vain tasoskannerilla. Skannausalan on oltava vähintään 24 cm x 24 cm. Mikäli filmi liikkuu skannerissa, on filmin käsittelyn oltava sellainen, että filmi ei naarmutu, eikä joudu mekaaniselle rasitukselle alttiiksi. Skannerin valolähteen pitää sijaita siten, että filmi ei merkittävästi lämpene.

Geometrinen tarkkuus

Skannauksella ja orto-oikaisulla on saavutettava kartan kohteilta edellytetty tarkkuus. Skannerin geometrinen tarkkuus tulee olla parempi kuin 5 μm ja se on syytä varmistaa gitterin tai vastaavan, koko kuva-alan peittävän testikuvion skannauksella ja mittauksella.

Kuvan erotuskyky

Tavoite on, että skannattavan kuvan erotuskykyä ei tarpeettomasti hukata. Ortokuvakarttaan, jossa digitaalista kuvaa käytetään lähinnä taustakuvana, riittää digitoinnissa eri mittausluokissa seuraava maastopikselikoko

– mittausluokka 1	0.125 m
– mittausluokka 2	0.25 m
– mittausluokka 3	0.5 m

Kohina ja sävyalue

Skannerin sensorin kohina ei saisi ylittää arvoa ± 0.03 D.

Skannerin sävyalueen tulee vastata ilmakuvan sävyaluetta, joka on mustavalkeilla kuvilla noin 0.1–2.0 D ja värikuvilla noin 0.2–3.5 D.

SKANNATTAVA MATERIAALI

Useimmiten on tarkoituksenmukaista skannata originaalifilmi.

Koska negatiivifilmin sävyjakauma on erilainen kuin positiivin, eivät negatiivilta skannatun kuvan sävyt näytä ihmissilmin tarkasteltuna yhtä hyviltä kuin positiivifilmiltä tai -kopiolta skannatun kuvan.

Skannattavaa materiaalia on käsiteltävä siten, ettei se naarmuunnu, eikä siihen joudu roskia eikä pölyä, koska nämä aiheuttavat selvästi erottuvia virheitä digitaalisilla kuvilla ja voivat vaikeuttaa niiden käyttöä.

Skannaus tulisi tehdä heti filmin laatutarkistusten jälkeen ennen mitään muita filmin avulla tehtäviä toimenpiteitä, kuten esimerkiksi ennen pintakopioiden valmistusta. Tällä varmistetaan digitaalisen kuvan mahdollisimman korkea laatu.

SKANNAUS

Skannerilla on aina sen käynnistyksen yhteydessä tehtävä radiometrinen kalibrointi, jolloin eliminoidaan skannerin valonlähteen ja ympäristöolosuhteiden muutosten vaikutus kuvan sävyihin. On tärkeätä, että ennen radiometristä kalibroitua skanneri on lämmennyt laitteelle suositeltujen ympäristöolosuhteiden mukaiseen normaalilämpöön.

Skannauksen yhteydessä on seurattava, että syntyvien digitaalisten kuvien harmaasävyjakauma on mahdollisimman hyvin arvojen 0 - 255 välillä, eikä ääriarvoja 0 tai 255 ole merkittävästi mukana.

Skannattujen kuvien sävyjä voidaan jonkin verran parantaa säätämällä kuvan kirkkautta, kontrastia ja gamma-arvoa. On muistettava, että mitkään analogiselle tai digitaaliselle kuvalle tehdyt säätötoimenpiteet eivät lisää kuvassa olevaa informaatiota, vaan päinvastoin ne voivat vähentää sitä.

Pääasiallinen ehostamistarve kohdistuu mosaikointisaumoihin, jotka eivät saisi näkyä häiritsevästi.

KUVAN TALLENNUS

Kuvaformaatit

Yleisin ja suositeltavin kuvaformaatti tällä hetkellä on TIFF (Tagged Image File Format) tai pakatuissa kuvissa JPEG. TIFF- muodosta on erilaisia variaatioita, esim. ns. GEOTIFF. Se on geokoodattua dataa, jossa jokaisella pikselillä on tunnettu koordinaattiarvo.

Kompressio- eli pakkaustekniikat

Kompressoinnilla (pakkaamisella/tiivistämisellä) kuva pakataan pienempään tilaan ja käyttöön otettaessa tai tiedonsiirrossa se vastaavasti puretaan alkuperäiseen tai melkein alkuperäiseen asuun purkuohjelmalla. Kuvaa voidaan kompressoida huomattavasti alkuperäisestä koostaan ilman visuaalisesti havaittavaa vaikutusta kuvan laatuun.

Pääsääntöisesti originaalikuvia ei kuitenkaan tulisi pakata. Lopputuotteiden jakelussa on usein edullista ja järkevää käyttää pakattua tietomuotoa.

Suosittelu häviöllinen pakkausmenetelmä (JPEG) ei aiheuta merkittäviä muutoksia kuvan geometriaan suhteilla 1:1....1:10. Voimakkaissa tiivistyksissä optimaalinen kuvanlaatu saavutetaan kasvattamalla pikselikokoa ja käyttämällä kevyttä pakkausta. Pakkaussuhde 1:20 on käyttökelpoinen useimpiin fotogrammetrisiin sovelluksiin.

3.3. KUVAMITTAUS

3.3.1. FOTOGRAMMETRINEN KOLMIOINTI

Kolmiointia käytetään blokin uudelleen konstruoinnissa³ ja fotogrammetrisessä pistetihennyksessä. Mittausluokissa 1 ja 2 tehdään aina erillinen kolmiointi. Mittausluokassa 3 voidaan sallia vanhojen fotogrammetristen tai maastossa mitattujen tukipisteiden käyttö.

Vanhoja mittauksia voidaan käyttää sillä edellytyksellä, että pistetihennyksen tulokset ovat olleet hyväksyttäviä ja tukipisteet on selvennetty kuville.

³ Blokin uudelleen konstruoinnilla tarkoitetaan tässä kuvien ulkoisen orientoinnin parametrien ratkaisua joko suoraan stereokojeessa käytettäväksi tai ortokuvien laskentaa varten.

Fotogrammetrisessa pistetihennyksessä tavoitteena on määrittää

- uusia fotogrammetrisia tukipisteitä stereomallien orientointia varten
- pistemäisten kohteiden kuten rajamerkkien ja kunnallisteknisten kohteiden koordinaatteja sekä
- kuvien orientointisuureita kartoituksen ja ortokuvatuotannon tarpeisiin

Kolmioinnin lähtöpisteinä käytetään:

- kiintopisteitä ja
- geodeettisesti määritettyjä tilapäisiä tukipisteitä.

Lähtöpisteiden tulee sulkea kartoitettava alue kokonaan sisäänsä. Tasopisteitä sijoitetaan kuvausblokin reunoille 2-3 kuvakannan välein. Korkeuspisteitä sijoitetaan kuvausjonojen päihin sivupeittoalueille sekä noin 3-4 kuvakannan välein jonoina kohtisuoraan lentosuuntaa vastaan. Jos kuvanottoaikojen koordinaatit havaitaan satelliittipaikannuksella em. etäisyydet voivat olla enintään kaksinkertaiset. Käytännössä kaikki tukipisteet voidaan määrittää yhdistettyinä taso/korkeuspisteinä noudattaen sijoittelussa em. periaatteita. Blokin nurkkiin sijoitetaan vähintään yksi ylimääräinen tukipiste.

Geodeettiset tukipisteet merkitään maastoon puupaaluilla, jotka näkyvöitetään kuvausta varten. Tukipisteet mitataan vastaavilla menetelmillä kuin kiintopisteet. Satelliittimenetelmissä voidaan käyttää staattista pikamittausta tai luotettavaa RTK-mittausta. Harkinnanvaraisesti voidaan kuvausblokin sisälle määrittää kuvausten jälkeen vaaittuja tukipisteitä ja selvittää ne kuvasuurennoksille.

3.3.2. ANALYYTTINEN KUVAMITTAUS

Analyttisessä kuvamittauksessa havaitaan kolmioinnin lähtöpisteiden, fotogrammetristen liitospisteiden ja kartoitettavien kohteiden koordinaatit. Liitospisteet toimivat sekä kuvien liitospisteinä (yhteisinä pisteinä peräkkäisillä/vierekkäisillä kuville) että myöhemmässä vaiheessa stereomallien orientoinnin tukipisteinä.

Fotogrammetrisia tukipisteitä mitataan kuvaa kohden vähintään 15 kpl siten, että kahden peräkkäisen kuvaparin yhteisellä peittoalueella on vähintään neljä pistettä. Vierekkäisten jonojen yhteisillä peittoalueilla on kuvapareittain vähintään kolme pistettä. Tukipisteitä mitataan koko kartoitettavan alueen yli siten, että uloimmat pisteet ovat kartoitettavan alueen ulkopuolella ja pisteiden jakautuminen alueelle on mahdollisimman tasaista.

Tukipisteiksi valitaan kuvilta yksiselitteisiä, mieluummin rakennetun ympäristön yksityiskohtia. Tukipisteet selvennetään ja selitetään kuvasuurennoksilla.

Kuvamittauksessa käytettävän stereokojeen on oltava kalibroitu ja sen perusteella arvioidun mittaustarkkuuden (koordinaattihavainnon keskivirhe) on oltava alle 5 µm. Mittauksessa suositellaan käytettäväksi komparaattori-moodia, jossa erikseen kohdistetaan mittamerkki vasemalla ja oikealla kuvalla vastinpisteeseen.

Mittauksessa voidaan käyttää ns. online-menetelmää, jossa mittaukset lasketaan välitasoituksella ja tulokset palautetaan mittausprosessiin ohjaavaksi tiedoksi.

Lopullisen tasoituksen (ks. blokkitasoitus) tuloksena saadaan maastokoordinaatit tukipisteille stereomallien orientointia varten ja laskennassa irrotetuille geodeettisille tukipisteille, jotka siirretään yhdessä alkuperäisten geodeettisten tukipisteiden koordinaattien kanssa stereomallin orientoinnin lähtötiedoiksi. Kartoitettavien kohteiden koordinaatit lajitellaan kohdeluokkien mukaisesti ja talletetaan.

3.3.3. DIGITAALINEN KUVAMITTAUS

Digitaalisessa kuvamittauksessa mitataan koordinaattihavainnot kolmioinnin lähtöpisteille, liitospisteille ja kartoitettaville kohteille. Liitospisteet toimivat vain kuvien yhteisinä pisteinä. Pääsääntöisesti niitä ei jatkossa käytetä stereomallien orientoinnissa.

Mittauksessa noudatetaan samoja periaatteita kuin analyyttisessäkin mittauksessa, mutta mitattavia pisteitä on tyypillisesti huomattavasti enemmän ja mittaus voi olla automaattista.

Kuvamittauksessa käytettävän työaseman arvioidun mittaustarkkuuden (keskivirhe) on oltava alle 5 µm. Kuva-aineisto skannataan vähintään 20 µm geometrisella resoluutiolla siten, ettei filmin korkeaa mittaustarkkuutta oleellisesti menetetä. Käytettävän skannerin pitää olla fotogrammetriseen käyttöön suunniteltu filmiskanneri, jonka geometrinen tarkkuus on parempi kuin 5 µm. Kuvan digitaaliseen tallennukseen käytetään vähintään 8 bittiä, jolloin saadaan 256 harmaasävyä skaala.

Mittauksessa suositellaan käytettäväksi online-menetelmää, jossa mittaukset lasketaan välitasoituksilla joko välittömästi mittauksen yhteydessä tai mittauksen kannalta tarkoituksenmukaisina kokonaisuuksina, siten että tulokset ovat mittausprosessissa käytettävissä.

Lopullisen tasoituksen (ks. blokkitasoitus) tuloksena saadaan ulkoisen orientoinnin parametrit mittauskuville ja edelleen valmiit stereomallit mittausta varten. Tarvittaessa voidaan tulostaa maastokoordinaatit liitospisteille tukipisteiksi stereomallien orientointiin analyyttistä stereomittauskojetta varten. Kartoitettavien kohteiden koordinaatit lajitellaan kohdeluokkien mukaisesti ja talletetaan.

3.3.4. BLOKKITASOITUS

Blokkitasoitus tehdään sädekimppumenetelmällä, jolloin tasoituksen tuloksena saadaan kuvien ulkoisen orientoinnin parametrit sekä liitospisteiden ja tihennyksessä mitattujen kartoituspisteiden koordinaatit.

Lopullinen blokkitasoitus on tehtävä aina koko kuvausblokkille, vaikka kartoitusmittaukset kohdistuisivatkin jatkossa vain jollekin blokin osa-alueelle.

Tasoitusta voidaan ohjata kuvakoordinaattihavaintojen ja geodeettisten tukipisteiden painotuksella. Yleisperiaatteena on, että kaikki kuvakoordinaattihavainnot käsitellään samanhedelmällisinä, jolloin blokki on mahdollisimman homogeeninen. Erityistapauksissa voidaan painottaa erilaisia pisteryhmiä eri tavoin, jos lähtöpisteissä on esimerkiksi huomattavasti huonomman tarkkuuden pisteitä, jotka kuitenkin on tarkoituksenmukaista pitää mukana tasoituksessa.

Blokkitasoituksen kuvakoordinaattien estimoitu keskivirhe (yleensä ns. painoyksikön keskivirhe σ_0) ei saa ylittää arvoa 10 µm (mittausluokissa 1-3) tai 6 µm mittausluokassa 1e. Yksittäisen kuvakoordinaattihavainnon jäännösvirhe (havaittu – tasoitettu) ei saa ylittää arvoa 25 µm (mittausluokissa 1-3) tai 15 µm mittausluokassa 1e.

Lähtöpisteillä laskettujen koordinaattierotusten (tasoitettu – geodeettinen) neliöllinen keskiarvo ei saa erota painoyksikön keskivirheestä lasketusta vertausarvosta 50% enempää, kun kaikki havainnot ovat samanhedelmällisiä.

Vertausarvo (σ_T) lasketaan kaavalla

$$\sigma_T = \sigma_0 \times m_b; \text{ missä } \\ m_b = \text{mittakaavaluku}$$

ESIMERKKI

Kuvauksen mittakaava oli 1:4000. Tasoituksen painoyksikön keskivirhe $\sigma_0=7 \mu\text{m}$. Keskivirhettä vastaava vertausarvo on

$$\sigma_T = 0,000007 \text{ m} \times 4000 = 0,028 \text{ m}$$

Koordinaattierotusten neliöllisten keskiarvojen $\text{RMS}(xyH)$ on oltava $< 0,042$.

3.3.5. YKSITYISKOHTIEN MITTAUS (STEREOKARTTOITUS)

Stereodigitoinnissa koodataan, digitoidaan ja talletetaan maastotieto stereokartoitukseen ilmakuvalta kuvausohjeen (julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallin) luokitusta noudattaen.

Tilaajalla on mahdollisuus määritellä stereodigitointia varten omien tarpeidensa mukaisia erityisohjeita. Näistä on sovittava erikseen ennen stereodigitoinnin aloittamista.

Erityisohjeet voivat koskea mm.:

- koodausta ja luokittelua,
- maastotiedon tietosisältöä ja kohteiden esitystapaa,
- kohdemallia (mitä ja miten mitataan),
- kohteiden muodostamista ja esitystapaa koskevia täsmennyksiä (räystäät, kattorakenteet, rakennusten vakiokavennus jne.),
- korkeuksien mittaamisen yksityiskohtia,
- maastomallitekniikan käyttöä (hajapisteet ja taiteviivat, keskimääräinen pisteväli, tarkistusprofiili jne.),
- käytettäviä stereokojeita (analoginen/analyttinen/digitaalinen),
- haluttujen erityispiirteiden korostamista (topologia, aluemuodostus, epävarmat kohteet jne.).

3.4. ORTOKUVATUOTANTO

Toistaiseksi ei ole ollut käytettävissä digitaalisia ilmakuvakameroita, joten digitaaliset ortokuvat tehdään skannaamalla (digitoimalla) ilmakuvafilmi ja oikaisemalla kuvat laskennallisesti ortogonaaliprojektioon.

Ortokuva on valokuvamuotoinen kuvaesitys, jonka projektio on muunnettu vakiomittakaavaiseksi ortogonaaliprojektioksi. Ortokuvista voidaan kerätä kuvamosaiikki, josta tasataan osakuvien sävyeroja. Ortokuvan tekeminen edellyttää kuvan ulkoisen orientoinnin määrittämistä ja korkeusmallia. Orto-oikaisu tulee tehdä mahdollisimman tarkasti. Suositeltavia sävyarvojen laskentamenetelmiä ovat ns. kuutiokonvoluutio ja bilineaarinen interpolointi.

Jotta ortokuvakartta vastaisi viivakartan tarkkuutta, tarvitaan oikaisuun korkeusmalli, jonka tarkkuuden on oltava vähintään oheisen taulukon mukainen. Lisäksi edellytetään, että vain kuvien keskiosat käytetään ortokuvan valmistukseen. Maastomallin mallinnustarkkuus määritetään vertaamalla mallilta interpoloituja korkeuksia maastossa tai stereomallilta mitattuihin arvoihin. Maastomallilta interpoloitujen korkeusarvojen virheiden neliökeskiarvo ei saa ylittää taulukon arvoja. Rajamerkkien koordinaatit tulee määrittää erikseen niiden tarkkuusvaatimusta vastaavasti.

Maastomallilta interpoloitavien pisteiden korkeusvirheiden neliökeskiarvo ei saa ylittää seuraavan taulukon arvoja:

Mittausluokka	Laajakulmainen kamera c=150 mm Sivupeitto		Normaalikulmainen kamera c=210 mm Sivupeitto	
	q = 30 %	q = 60 %	q = 30 %	q = 60 %
1	0.5 m	0.8 m	0.7 m	1.1 m
2	1.0 m	1.6 m	1.4 m	2.3 m
3	2.1 m	3.3 m	2.9 m	4.6 m

DIGITAALISTEN KUVIEN TULOSTAMINEN

Kuvien tulostuksessa käytettyjä tulostusteknisiä perusratkaisuja ovat mustesuihku-, laser-, elektrostaattinen-, sublimaatio- ja valokuvatulostus.

Värillisten ilmakuvien tulostaminen edellyttää täysväritulostusta. Tulostimien erotuskyvyn tulee olla vähintään 300 dpi. Tulostimien tyypillinen tarkkuus vaihtelee välillä 0.05-0.38 mm.

Ortokuvakartta tulee tulostaa siten, että viivapiirroksena esitetyt kohteet erottuvat selkeästi ortokuvasta.

3.5. MAASTOKARTOITUS

Kartoitus voidaan suorittaa myös maastomittauksena, jolloin stereodigitointia vastaava kohteen koodaus ja tallennus suoritetaan maastossa koordinaattien määrittämisen yhteydessä. Maastokartoitus voi olla ilmakuvasta suoritettavaa kartoitusta korvaava tai täydentävä.

Maastokartoituksen yhteydessä oikoluetaan konseptikartta ja korjataan virheelliset tulkinat. Samalla täydennetään konseptikartalle suojele- ja erityisalueiden reunat ja muut sellaiset kohteet, joiden sijainti on parhaiten todettavissa maastossa.

3.5.1. TAKYMETRIKARTOITUS

Takymetrillä voidaan kartoittaa suurta sijaintitarkkuutta edellyttävät kohteet kuten rajamerkit ja rakennukset sekä tarvittaessa myös muita kaavan pohjakartan kohteita.

Kartoitus voidaan tehdä tunnetulta kiintopisteeltä (peruskiintopiste tai käyttökiintopiste), jolloin suuntaviuhkaan on otettava vähintään kaksi liitossuuntaa. Yhtä liitospistettä voidaan käyttää, jos orientointiin käytetään suunnan lisäksi etäisyyshavaintoa.

Käytettäessä vapaata asemapistettä, on suunnat ja etäisyydet mitattava vähintään kahteen tunnettuun kiintopisteeseen. Suositeltava tapa on käyttää kolmea tunnettua liitospistettä siten, että vapaa asemapiste sijoittuu näiden kolme pisteen muodostaman kolmion sisälle.

Rajamerkkejä kartoitettaessa kartoitussäde saa olla enintään kaksi kertaa liitossuuntana käytetyn sivun pituus.

Mikäli kartoituksen lähtöpisteiksi sopivia kiintopisteitä ei ole riittävästi, on kiintopisteistöä tihennettävä. Tihennysverkkoa mitattaessa on noudatettava kiintopisteiden mittauksesta annettuja ohjeita.

3.5.2. KARTOITUS SATELLIITTIMITTAUKSENA (RTK-MITTAUS)

Maastokartoitus voidaan suorittaa myös satelliittimittauksena (RTK-mittaus) maaston ja olosuhteiden niin salliessa. Käytettävien laitteiden on oltava mittausmenetelmään soveltuvia.

RTK-mittauksessa käytetään vähintään kahta satelliittivastaanotinta. Toinen vastaanotin on tunnetulla kiintopisteellä (tukiasema) ja toista käytetään kartoitukseen. Vastaanottimien välille tarvitaan radio-, GSM- tai vastaava tiedonsiirtoyhteys. Tukiasemapisteenä on käytettävä kartoitusalueen peruskiintopisteitä, joilla on hyvä satelliittinäkyvyys (ei esteitä yli 15° korkeuskulmalta). Kartoituksessa on mahdollista käyttää myös kiinteää tukiasemaa tai tukiasemaverkkoja, jolloin oman tukiaseman perustamisesta voidaan luopua.

Kartoitetuista rajamerkeistä on vähintään 5 % mitattava kahteen kertaan joko eri tukiasemapistettä käyttäen tai samalta tukiasemalta, kun satelliittigeometria on muuttunut riittävästi. Jälkimmäisessä tapauksessa myös mittauksen alustus (alkutuntemattomien määritys) on tehtävä uudelleen. Uudelleen mitattavien rajamerkkien on sijaittava tasaisesti ympäri kartoitusaluetta.

RTK-mittauksessa on huomioitava lisäksi seuraavat asiat:

- kaksitaajuusvastaanottimien käyttö on suositeltavaa,
- mittauksessa alkutuntemattomien on ratkettava (fixed-ratkaisu),
- satelliittigeometrian on oltava riittävän hyvä ja mittauksessa on oltava riittävästi satelliitteja luotettavan ratkaisun saamiseksi, vähintään 6 – 7 satelliittia,
- monitieheijastumisen⁴ (multipath) välttämiseen on kiinnittävä erityistä huomiota rakennusten, (märkien) puiden, veden jne. läheisyydessä,
- korkeuskulmarajaksi suositellaan 15°,
- kartoitettavien kohteiden lähellä sijaitsevat käyttökiintopisteet on mitattava riittävän lähitarkkuuden varmistamiseksi.

3.6. KIINTEISTÖRAJOJEN JA RAKENNUSTEN MAASTOON MERKITSEMINEN

3.6.1. KIINTEISTÖRAJOJEN MERKINTÄMITTAUS ASEMAKAAVA-ALUEILLA

Kiinteistörajojen merkinnän tulee perustua kaavatulkinnan ja tonttijaon mukaisten rajapisteiden koordinaatteihin ja alueen kiintopisteistöön. Koordinaatit määräytyvät joko kaavan yhteydessä vahvistetun tonttijaon mukaisesti tai ne lasketaan erillisen tonttijaon yhteydessä.

Rajamerkkien sijainnin merkintä tehdään yleensä takymetrimittauksena tai RTK-mittauksena. Muukin mittausmenetelmä on mahdollinen, jos sillä saavutetaan edellä mainittu tarkkuus.

Maastoon rakennettujen rajamerkkien sijainti tai rajamitat tarkastetaan riippumattomalla mittauksella. Jos kyseessä on vanhan rajamerkin tarkistusmittaus, sallittuna pistekeskivirheenä käytetään kohdassa 3.1 ilmoitettua kartoitetun rajamerkin suurinta sallittua pistekeskivirhettä. Jos vanhan rajamerkin koordinaateissa on sallittua suurempi pistekeskivirhe, on korjaustoimenpiteet päätettävä tapauskohtaisesti sen mukaan, onko kyseessä liikkumaton tai todennäköisesti liikkunut rajamerkki. Uuden rajamerkin asettamisen yhteydessä tehtävän tarkistusmittauksen perusteella rajamerkin koordinaatteja ei saa muuttaa, vaan rajamerkin asema on korjattava.

⁴ Monitieheijastuminen eli satelliitin signaali ei tule antenniin suoraan vaan on heijastunut jostakin kohteesta.

3.6.2. RAJAMERKKIEN MERKINTÄMITTAUKSEN TARKKUUSVAATIMUKSET

Merkityn rajapisteen pistekeskivirhe laskettuna määrittelyn perustana olevien kiintopisteiden suhteen on oltava mittausluokittain:

- mittausluokassa 1 ≤ 40 mm
- mittausluokassa 2 ≤ 80 mm
- mittausluokassa 3 ≤ 160 mm.

Rajamerkin asettamisen suurin sallittu poikkeama pyykeillä on enintään 50 mm.

Riippumattomassa tarkastusmittauksessa todettu rajamitan ero koordinaateista laskettuun on oltava mittausluokittain :

- mittausluokassa 1 ≤ 100 mm
- mittausluokassa 2 ≤ 200 mm
- mittausluokassa 3 ≤ 400 mm.

3.6.3. RAKENNUSTEN MERKINTÄMITTAUS

Rakennusten sijainti määräytyy rakennuslupa-asiakirjoissa olevien pääpiirustusten perusteella.

Pääpiirustuksiin kuuluvat asemapiirros, julkisivupiirustukset, pohjapiirustus ja leikkauspiirustus. Rakennuksen sijainti on useimmiten sidottu kiinteistörajaan esimerkiksi suorakulmaisilla mitoilla. Tällöin sijainnin osoittamisen perusteena ovat näihin mittoihin perustuen lasketut rakennuksen pääpisteiden (useimmiten nurkkapisteiden) koordinaatit ja alueen kiintopisteistö. Rakennuksen sijainti voidaan osoittaa myös rajamerkkien perusteella, jos rakentaminen ei ulotu viittä metriä lähemmäksi kiinteistörajaa ja rajamerkit ovat riidattomat.

Rakennusvalvonnan kannalta on merkityksellistä osoittaa rakennuskohteen sijainti ja suunta rakennusvalvonnan edellyttämällä tarkkuudella.

Käytännössä kunnan mittaushenkilöstö usein merkitsee sijainnin lisäksi rakennuskohteen sisäisen päämuodon rakentamistoiminnan edellyttämällä tarkkuudella. Tällöin on etukäteen sovitava, mitkä pisteet mitataan ja mikä on rakentamisen edellyttämä tarkkuusvaatimus.

Työmaalle tuodaan korkeus lähtien tunnetusta korkeuskiintopisteestä ja sulkemalla mittaus toiseen tunnettuun pisteeseen. Sallittu sulkuvirhe on korkeintaan

$10 \text{ mm} \times \sqrt{L}$, missä L on jonon pituus kilometreinä.

Työmaalle rakennetaan kaksi korkeusmerkkiä, joille annetaan korkeusluvut. Erityistapauksessa voidaan merkitä esimerkiksi perustuksen yläpinnan korkeus.

3.7. GRAAFISTEN KARTTOJEN NUMEERISTAMINEN

Numeeristamisprosessilla tuotetaan kunnan paikkatietokantaan rasteri- tai vektori-muodossa oleva kopio graafisen kartan laadinnan hetkeä kuvaavasta tilanteesta.

Ennen kaavan pohjakartan numeeristamista on arvioitava kartan ajantasaisuus sekä tietosisäl-lön oikeellisuus ja tarkkuus. Jos kartta todetaan em. kriteerien osalta kelpolliseksi, voidaan numeeristamisprosessi aloittaa.

Numeeristaminen tehdään skannaamalla graafiset kartat rasterimuotoon sopivaa pikselikokoa käyttäen tarkoitukseen sopivalla skannerilla. Skannauksessa suositeltava resoluutio on vähin-tään 300 dpi. Skannauksen lopputuotteena syntyy rasterimuotoinen tiedosto, joka muunnetaan karttakoordinaatistoon. Rasterimuodossa oleva tieto voidaan edelleen muuntaa vektorimuotoon joko automaattivektoroitua käyttäen tai kuvaruutudigitoinnilla. Automaattivektoroinnilla syntyy luokittelematonta 2D-vektoriaineistoa.

Kuvaruutudigitoinnissa kohteet digitoidaan ja luokitellaan yksitellen, jolloin lopputuotteeksi saadaan 2D –vektoriaineistoa. Korkeuselementin vaatimiin kohteisiin liitetään digitoinnin yh-teydessä graafisen kartan korkeustieto, jolloin lopputuote on ko. kohteiden osalta 3D-vektoriaineistoa.

Edellä kuvattua numeeristamisprosessia voidaan käyttää ainoastaan kaavan pohja-kartan pohja- ja käyräelementin kohteiden numeeristamiseen. Numeerisen rajaele-mentin laadinnassa on käytettävä aikaisemmassa kartoituksessa mitattuja rajamerk-kien **tarkkoja** koordinaatteja.

4. KAAVAN POHJAKARTAN LAADINTA

4.1. KAAVAN POHJAKARTAN TIETOSISÄLTÖ

Kaavan pohjakartassa esitettävät kohteet ja niiden esitystapa on määritetty julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallissa. Myös muuta valvojan hyväksymää kohdemallia (esim. Suomen Kuntaliiton paikkatietojen luokittelu) voidaan haluttaessa käyttää.

Kaavan pohjakartan kohteet ovat osa kunnan paikkatietoaineistoa. Paikkatietokannassa ai-neistoon ja sen yksittäiseen kohteeseen liittyy metadata, josta selviää esimerkiksi aineiston tai yksittäisen kohteen mittausera, mittauspäivämäärä, tiedon laatija/muokkaaaja, käytetty koordi-naattijärjestelmä, tiedonkeruutapa ja sijaintitarkkuus.

Kaavan pohjakartan kohteisiin voidaan paikkatietojärjestelmässä liittää kaavoituksessa tarvit-tavat korkeustiedot. Kohteiden korkeuksia (lukuun ottamatta korkeuskäyriä ja –lukuja) ei poh-jakartalla kuitenkaan tavallisesti kuvata, mutta niiden kerääminen on syytä ohjeistaa työsuunni-telmassa.

Kohteiden sijainti ja korkeus tulkitaan maanpintaa kuvaavista kohteista riittävällä pistetiheydel-lä maanpinnan muotojen mukaan suhteutettuna kartan tarkkuuteen. Korkeuskäyrät ovat maanpinnan korkeutta alueella kuvaavia samanarvokäyriä. Rakennusten korkeusasema voi-daan mitata joko räystäiden tai sokkelin mukaan.

Kaavan pohjakartan tietosisällön tarkkuus perustuu aineiston tuottamisessa käytetyn menetelmän tarkkuuteen. Kaavan pohjakartan aineistoa ei saa tulkita tai esittää tarkemmassa mittakaavassa kuin kartan tuottamistapa edellyttää.

KIINTEISTÖJAOTUS

Kaavan pohjakartassa esitetään kiinteistöt ja muut rekisteriyksiköt sekä kiinteistörajat ja rajamerkit.

Maanmittauslaitoksen tai kunnan kiinteistörekisterikarttaa voidaan käyttää rajaelementin laadinnassa indeksikarttana. Vain niiltä osin kuin rekisterikartta täyttää esitetyt tarkkuusvaatimukset, sitä voidaan käyttää rajaelementtinä sellaisenaan.

JOHTOYHTEYDET

Tarvittaessa kaavan pohjakartan tietosisältöä voidaan täydentää erillisellä johtoelementin aineistolla. Kaavan pohjakartassa esitetään maanalaisten johtokohteiden maanpäällisistä rakenteista kuvattavat kaivot. Erillisessä johtoelementissä kuvataan lisäksi muut maanpäälliset rakenteet ja johtoyhteydet.

Johtokartan aineisto kuvaa kunnan ja johtolaitosten ylläpitämiä maanalaisten johtojen sijaintitietoja johtoelementin aineistoa täydellisemmin. Johtokartan tietosisältö ja kuvaustapa on selvitetty SFS 3161-standardissa.

LEHTIJAKO JA REUNAMERKINNÄT

Kaavan pohjakartasta tulostetaan arkistokelpoinen mustavalkoinen viivakartta tai ilmakuvakartta (ks. 4.2.2)

- karttalehdittäin, yleislehtijakoa tai muuta kunnassa käytössä olevaa lehtijakoa noudattaen
- lehtikoossa 594 mm * 1050 mm tai 594 mm * 630 mm, jolloin kartta-alat ovat kokoa 500 mm * 1000 mm tai 500 mm * 500 mm
- koordinaattiristein 100 mm:n jaotuksella.

Karttalehden reunamerkinnoistä on malli julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallissa (s.157).

4.2. KAAVAN POHJAKARTAN ESITYSMUODOT

Kaavan pohjakartta voi olla:

- luokitellun, vektorimuotoisen aineiston käsittävä numeerinen karttatietokanta, josta voidaan tulostaa viivapiirros,
- ilmakuvakartta täydennettynä tarpeellisilla viivamerkinnoillä,
- kuvausohjeen mukainen rasterikartta, jossa voi olla myös vektorimuotoisia osia tai
- kuvausohjeen mukainen graafinen viivapiirros.

4.2.1. NUMEERINEN, VEKTORIMUOTOINEN KAAVAN POHJAKARTTA

Numeerisesta vektorimuotoisesta karttatietokannasta on voitava tulostaa viivapiirros kaavan pohjakartaksi. Tulosteen on tietosisällön ja esitystavan osalta täytettävä julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallin vaatimukset tai vastaavat valvojan hyväksymät vaatimukset.

4.2.2. ILMAKUVAKARTTA KAAVAN POHJAKARTTANA

Ilmakuvakartan tietosisältö koostuu viivamerkinnoilla täydennetyistä ortogonaaliprojektioon oikaistuihin ilmakuvista.

Viivamerkinnoin on esitettävä korkeuskäyrät, kiinteistöjaotus, rakennukset ja tiet, tarpeellinen nimistö ja merkittävät johdot. Näiltä osin tietosisällön on täytettävä edellisessä luvussa esitetyt vaatimukset.

4.2.3. NUMEERINEN, RASTERIMUOTOINEN KAAVAN POHJAKARTTA

Rasterikartta on tuloste esimerkiksi luvussa 3.7 kerrotulla tavalla valmistetusta luokittelemattomasta karttatietokannasta. Tulosteen on tietosisällön ja esitystavan osalta täytettävä julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallin vaatimukset tai vastaavat valvojan hyväksymät vaatimukset.

4.2.4. GRAAFINEN KAAVAN POHJAKARTTA

Graafinen kaavan pohjakartta on numeerisesta aineistosta tulostettu viivapiirros tai perinteisillä menetelmillä valmistettu kartta. Sen on tietosisällön ja esitystavan suhteen täytettävä julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallin tai vastaavat valvojan hyväksymät vaatimukset.

4.3. KAAVAN POHJAKARTTA-AINEISTON TUOTANTOYMPÄRISTÖ JA YLLÄPITO

Numeerisen pohjakartan tietosisältöä ylläpidetään kunnan paikkatietokannassa. Aineistoa käsitellään graafisella työasemalla kaavan pohjakartan laadintaan soveltuvalta ohjelmalla. Vektorimuodossa olevan aineiston kuvaustapa määräytyy kohteen kuvaustavan määrittelyn mukaan. Aineiston käsittelyssä on huomioitava se, että käsiteltävän aineiston tietosisältö säilyy loogisesti eheänä.

Kun kaavan pohjakartta on osa kunnan paikkatietoaineistoa, on kohteiden oltava selkeästi dokumentoituja tai aineiston käyttö muuten ohjeistettu, jottei syntyisi virhetulkintoja käytettäessä karttakohteita muussa käyttötarkoituksessa (esim. korkeusmallin laadinnassa) kuin kaavan pohjakartan esittämisessä.

Numeeristen kartta-aineistojen pitää olla tulostettavissa tuotantoympäristöstä kaavan pohjakartan esitystavalla. Aineistojen jatkuvalla ylläpidolla taataan se, että kaavan laadinnan hetkellä paikkatietokannasta tulostettava kaavan pohjakartta kuvaa ajantasaisesti olemassa olevaa ympäristöä.

5. MITTAUKSEN DOKUMENTOINTI JA TARKASTAMINEN

Tilaustyönä tehtävästä kaavoitusmittauksesta laaditaan työkertomus , jossa kerrotaan työvaiheet, käytetyt menetelmät ja muut työhön liittyvät oleelliset seikat.

5.1. TYÖKANSIO

Työkansioon liitetään seuraavat arkistoitavat asiakirjat:

- työkertomus liitteineen
 - yleissilmäyskartta, josta selviää mittausalueen raja- ja lehtijako
 - kuvauskartta
 - runkomittauksen verkkopiirrokset
 - kiintopisteluettelo
 - mittauksen tarkkuusanalyysi (runkomittaus, fotogrammetrinen pistetihennys, kartoitus ym.)
- kiintopisteiden pisteselitykset
- laskentalistaukset
 - geodeettiset mittaukset
 - fotogrammetrinen pistetihennys
- pistetihennysindeksi.

5.2. NUMEERINEN MAASTOTIETO

Numeerinen kaavan pohjakartta sisältää:

- sovitun koodauksen, luokittelun, tietosisällön, esitys- ja siirtotavan mukaiset karttatiedostot
- listaus tiedostonimistä, niiden sisällöstä ja tietosisällön ajantasaisuuden ajankohdista
- sanallinen kuvaus numeerisen karttatiedon sisällöstä.

5.3. NUMEERINEN PISTEREKISTERIAINEISTO

Aineisto käsittää numeerisena sovitussa muodossa tietovälineelle talletettuna:

- kiintopisteet
- rajamerkit ja muut rajan pisteet (numero, koordinaatit, tarkkuusluokka, mittauserätunnus)
- muut sovitut tiedot, esim. maanalaisten johtojen kaivot.

Jos rajamerkeistä ei ole laadittu pistetiedostoa, on vastaavat tiedot esitettävä luettelona karttalehdittäin, kasvavan y-koordinaatin mukaan lajiteltuna.

5.4. GRAAFISET TULOSTEET

Kaavan pohjakartasta tulostetaan arkistokelpoinen viivakartta tai ilmakuvakartta.

Graafisesti suoritettavaa kaavoitusta varten on suositeltavaa käyttää mitanpitävää tulostetta.

Jos kartasta ei ole käytettävissä kohdassa 5.2 mainittuja karttatiedostoja, on piirustus pohjana käytettävä mitanpitävää kartografista materiaalia.

Kohdissa 5.1 ja 5.4 mainitut tuotteet ovat asiakirjoja ja karttoja, jotka kunnan on kaavoitusmittauksesta säilytettävä (kaavoitusmittausasetus 10 §).

5.5. MUU AINEISTO

Kaiken kartoituksessa syntyvän aineiston pitää olla mittauksen valvojan käytettävissä. Aineistoa arkistoidaan harkinnan ja kunnassa vallitsevan käytännön mukaan. Tätä aineistoa ovat muun muassa:

- ilmakuvien pinnakkaiskopioid, limikuva ja muut ilmakuvaustuotteet
- runkomittauksen havaintotiedostot /-lomakkeet
- signalointikartat
- konseptikartat
- stereokojeen kalibrointilistaukset
- pistetihennyksen ja stereomittauksen orientointilistaukset
- kalibrointitodistukset.

5.6. TARKASTUSTOIMENPITEET

5.6.1. YLEISTÄ

Jos kunnalla on käytettävissään kaavoitusmittausasetuksen 7 §:ssä mainittu kaavoitusmittauksen valvoja, tämä tarkastaa ja hyväksyy kunnassa suoritettavan kaavoitusmittauksen.

Muissa kunnissa tehtävät kaavoitusmittaukset on toimitettava Maanmittauslaitoksen tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi.

5.6.2. TYÖSUUNNITELMA

Mittausta aloitettaessa laaditaan työsuunnitelma, jossa esitetään yksityiskohtaisesti työn tekninen toteuttaminen.

Suunnitelma on toimitettava valvojalle tarkastettavaksi. Valvoja käsittelee suunnitelman ennen työn aloittamista sekä esittää tarpeelliseksi katsomansa muutokset tai lisäykset.

Työsuunnitelmassa käsiteltävät seikat on lueteltu liitteessä 7.

5.6.3. KIINTOPISTEMITTAUKSEN TARKASTAMINEN

Työsuunnitelmasta tarkastetaan, että suunniteltu mittaus on mittaustavaltaan hyväksyttävä.

Huomiota kiinnitetään mittauksen rakenteeseen, kontrollien ja lähtöpisteiden riittävyyteen, mittauskorkeuksiin ja niiden kalibrointiin sekä havaintomenetelmiin.

Mittauksen valmistuttua tarkastetaan, ettei suunnitelmasta ole oleellisesti poikettu ja että saavutettu tulos on odotusten mukainen.

Laskenta-aineistosta tarkistetaan, että

- lähtökoordinaatit ja -korkeudet ovat oikeat,
- kaikki tarvittavat ja verkkopiirroksissa esitetyt havainnot ovat laskuissa mukana,
- jäännös- ja sulkuvirheet tai keskivirheet ovat pysyneet sallituissa rajoissa eikä karkeita virheitä esiinny.

Kiintopistemittauksen laskenta-aineiston pitää olla niin hyvin dokumentoitu, että mittausta voidaan avulla arvioida. Tähän riittävät yleensä verkkopiirroksien ja -tasoitukset virheyhdistelmien. Lisäksi työn valvojalla on oltava käytettävissään aineisto, josta on nähtävissä, kuinka laskennassa käytetyt tiedot on johdettu maastohavainnoista lähtien.

Kiintopisteiden säilyvyys ja pisteselostukset on tarkistettava ainakin osittain maastossa.

5.6.4. FOTOGRAMMETRISEN KOLMIOINNIN TARKASTAMINEN

Tasoiuslaskennasta tarkistetaan, että

- lähtötiedot ovat oikeat,
- lähtö- ja liitospisteitä on kattavasti,
- asetetut tarkkuusvaatimukset saavutetaan ja karkeat virheet on eliminoitu.

Tasoiuslaskuissa pitää olla nähtävissä malli- tai kuvakohtaiset tulokset, joista selviää, että jokaisella mallilla tai kuvalla on riittävästi lähtö- ja liitospisteitä tasoiusohjelman mahdollisesti tekemistä hylkäyksistä huolimatta.

5.6.5. KARTAN TARKASTAMINEN

KARTAN TIETOSISÄLLÖN TARKASTAMINEN

Kartan tietosisällöstä tarkastetaan kohteiden kattavuutta ja kohteiden ominaisuustiedon laatua. Kartassa kuvattavat kohteet on esitetty esim. julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallissa.

Kohteiden kattavuudella tarkoitetaan sitä, miten kattavasti maaston kohteet on havaittu ja tallennettu tiedostoihin karttakohdemallin mukaisesti. Kattavuutta osoittaa toisaalta se, kuinka suuri osa maastossa olevista kohteista puuttuu (puuttuvat kohteet) ja toisaalta, kuinka suuri osa tiedostossa olevista kohteista on sellaisia, joita ei ole maastossa (ylimääräiset kohteet).

Kohteiden ominaisuustiedon laadulla tarkoitetaan sitä, ovatko tiedostoihin tallennetut kohteet oikein tyypitetty (yksilöivän tiedon laatu) tai ovatko kohteita kuvailevat ominaisuustiedot oikeita (kuvailevan tiedon laatu).

Kartan tietosisällön osalta tarkastetaan erityisellä huolella kiinteistöjaotus. Kiinteistöjaotuksen pitää olla sekä alueellisesti että kohteiden osalta täysin kattava.

Kiinteistöjaotusta voidaan tarkastaa kuvaruutukartalta sekä valmiista kartasta tehdyiltä paperitulosteilta. Lisäksi valvojalta pitää olla käytettävissään signaalointi- ja konseptikartat sekä muu kiinteistöjaotuksen kartoituksessa käytetty aineisto.

Rajamerkkien osalta tehdään tarkastuksia maastossa. Maastossa olemassa olevien rajamerkkien pitää olla vaatimusten mukaan kartoitettuja. Satunnaisotoksessa kartoittamattomia rajamerkkejä saa esiintyä korkeintaan 2 %.

Kohteiden tyypityksen ja kuvailevien ominaisuustietojen oikeellisuutta voi arvioida kuvaruutu- tai työasematyönä konseptikarttoja, vanhoja karttoja ynnä muita käytössä olevia aineistoja hyödyntäen. Epäilyttävät ja epävarmat yksityiskohdat on kuitenkin viime kädessä tarkistettava maastossa.

Kohteiden kattavuuden tarkastus suoritetaan maastossa ja/tai ilmakuvilta. Kartoituksen laajuudesta riippuen tarkastetaan koko kartoitusalue tai riittävän edustava otos kartoituksesta.

Jos tarkastus perustuu otoksiin, on niiden perusteella tehtävä johtopäätökset kartan laadusta. Todetut virheet analysoidaan tarkoitukseen sopivilla testeillä.

Tämä edellyttää, että karttakohteista ja niiden ominaisuustiedoista on määritetty kohteittain tai kohderyhmittäin, tapaukseen sopivat hyvän laatutason kriteerit.

Kaavan pohjakartassa kuvattavat kohteet, niiden valintaperusteet, sekä kohteiden ominaisuustiedot (pakolliset ja suositeltavat) on määritetty esim. julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallissa.

SIJAINTI - JA KORKEUSTARKKUUDEN TARKASTAMINEN

Sijaintitarkkuuden selvittämiseksi tehdään tarkistusmittauksia. Mittausten kohteeksi otetaan sellaisia kohteita, joille asetetut tarkkuusvaatimukset, käytetyt mittaustmenetelmät huomioon ottaen, ovat kriittisiä. Näitä ovat rajamerkit ja rakennukset.

Tarkistusmenetelmänä tulee kysymykseen yleensä RTK-mittaus tai säteittäinen kartoitus kiintopisteeltä tai muulta kojeasemalta, jonka sijainti on määritetty kiintopistettä vastaavalla tarkkuudella. Mittaustulokset analysoidaan tarkoitukseen sopivilla testeillä.

Edellä mainittu koskee paitsi tasosijainnin tarkastamista myös soveltaen korkeuskäyrien ja maanpinnan korkeusmallin tarkastamista.

Sijaintitarkkuusvaatimuksen suhteen vähemmän kriittisten kohteiden osalta tarkistusmittauksia tehdään tarvittaessa, mikäli esimerkiksi epäilyt karkeasta virheestä antavat sellaiseen aiheutta.

VIITE- JA LÄHDELUETTELO

Lainsäädäntö:

- Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999); asetus 895/1999
- Kiinteistönmuodostamislaki (554/1995)
- Kaavoitusmittausasetus (1284/1999) ja sen muutos (395/2002)

Ohjeet:

- Kaavan pohjakartta 1997, Karttakohdemalli, Käsikirja karttakohteiden mallinnuksesta ja esitystavasta suurimittakaavaisissa kartoissa, Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 85.

Opastavat tiedot:

- Suositukset Suomessa tehtäville mittaus- ja kartoitusilmakuvauksille, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seuran julkaisu 1/1995.
- Digitaalisten ilmakuvien käyttö, Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seuran julkaisu 1/1998.
- ISO 19100–paikkatietostandardit.
- SFS-ISO 4463-1 standardi: Rakennusmittaus. pisteiden määrittäminen ja paikalleenmittaaminen. Osa 1: Suunnittelu ja toteutus. Mittausmenetelmät. Hyväksymiskriteeri.
- Geodeettisen laitoksen julkaisu no. 129: The Densification of the Euref Network in Finland.
- Geodeettisen laitoksen tiedote no. 24: EUREF-FIN–koordinaatisto ja EUREF–pistetihennykset Suomessa.
- JHS 153: ETRS89–järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa.
- Kaavoitusmittauksen hankintamenettelyohjeet, Suomen Kuntaliitto.
- Kunnan paikkatietojen luokittelu, Suomen Kuntaliitto.

LIITTEET

LIITE 1. KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJESTELMÄT

1. Koordinaattijärjestelmät

1.1 ED50-järjestelmä (European Datum 1950)

Ensimmäisen Euroopan kolmioverkkojen yhteistasoituksen tuloksena saatiin luoduksi koko Länsi-Euroopan kattava yhtenäinen koordinaattijärjestelmä, European Datum 1950 (ED50). ED50 laskettiin Kansainvälisellä (1924) ellipsoidilla (Hayfordin ellipsoidi), jonka määrittävät parametrit ovat:

$a = 6378388 \text{ m}$ $f = 1:297$
--

Suomessa ED50 järjestelmä perustuu valtakunnalliseen I-luokan kolmiomittaukseen ja sen vuonna 1966 suoritettuun tasoitukseen. Tasoituksessa mukana olleiden kolmiopisteiden lukumäärä oli 291. Koordinaatilaskun lähtöpisteenä oli Simsiön kolmiopiste (G90), jonka koordinaatit saatiin amerikkalaisen *Army Map Servicen* tekemästä tasoituksesta.

1.2 Kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj)

Helsingin järjestelmä oli ensimmäinen itsenäisen Suomen kartoituksen pohjaksi määritetty koordinaattijärjestelmä. Sitä kutsutaan myös *vanhaksi valtion järjestelmäksi* (vvj). Helsingin järjestelmän lähtöpisteen koordinaateiksi otettiin Helsingin tähtitornin tähtitieteelliset koordinaatit. Kun vuoden 1966 I-luokan kolmioverkon tasoitus oli valmistunut, päätettiin uuden kartastokoordinaatiston (kkj) käyttöönotosta. Gauss-Krüger-projektiotasolle laskettua I-luokan kolmioverkkoa (ED50) siirrettiin ja kierrettiin niin, että se yhtyi mahdollisimman hyvin Helsingin järjestelmän mukaisiin koordinaatteihin. Näin luotu kartastokoordinaattijärjestelmä otettiin käyttöön vuonna 1970. Kkj-koordinaatit esitetään joko kolmen asteen kaistoissa, joiden keskimeridiaanit ovat 18°, 21°, 24°, 27°, 30° tai 33° tai yhdessä kaistassa (*yhtenäiskoordinaatisto, ykj*), jonka keskimeridiaani on 27°. Ykj:n origo sijaitsee ekvaattorin ja meridiaanin 27° leikkauspisteeseessä ja y-koordinaatilla keskimeridiaanilla on arvo 3500000 m.

Kkj:n ja ED50:n välinen muunnos voidaan laskea kaistassa, jonka keskimeridiaani on 27°, seuraavien kaavojen avulla:

$$\begin{aligned}x_{\text{KKJ}} &= -61.571 + 1.00000075 \cdot x_{\text{ED50}} - 0.00000439 \cdot y_{\text{ED50}} \\y_{\text{KKJ}} &= 95.693 + 0.00000439 \cdot x_{\text{ED50}} + 1.00000075 \cdot y_{\text{ED50}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_{\text{ED50}} &= 61.5705 + 0.999999249981 \cdot x_{\text{KKJ}} + 0.000004389993 \cdot y_{\text{KKJ}} \\y_{\text{ED50}} &= -95.6932 - 0.000004389993 \cdot x_{\text{KKJ}} + 0.999999249981 \cdot y_{\text{KKJ}}\end{aligned}$$

1.3 WGS84-järjestelmä

Järjestelmä on geosentrinen ja sen koordinaatisto on sijoitettu Maahan nähden samalla tavalla kuin BIH:n (Bureau International de l'Heure) määrittelemän Konventionaalisen Terrestrisen Järjestelmän koordinaatisto. Origo on Maan massakeskipisteessä, Z-akseli on yhdensuuntainen Maan pyörähdysakselin kanssa (vuosien 1900-1905 keskimääräinen pyörähdysakseli) ja sen suunta on määritelty navan liikettä tutkivien havaintoasemien leveysasteiden avulla. X-akseli on ekvaattori- ja 0-meridiaanitasoissa ja sen suunta on määritelty niiden havaintoasemien koordinaattien avulla, jotka osallistuvat UT1-maailmanajan määrittämiseen. Järjestelmän mitakaava on määritetty maailmanlaajuisten VLBI-havaintojen (Very Long Baseline Interferometry) avulla. Ellipsoidin määrittävät parametrit ovat seuraavat:

$$\begin{aligned}a &= 6378137 \text{ m} \\f &= 1:298.257223563\end{aligned}$$

1.4 EUREF89-järjestelmä

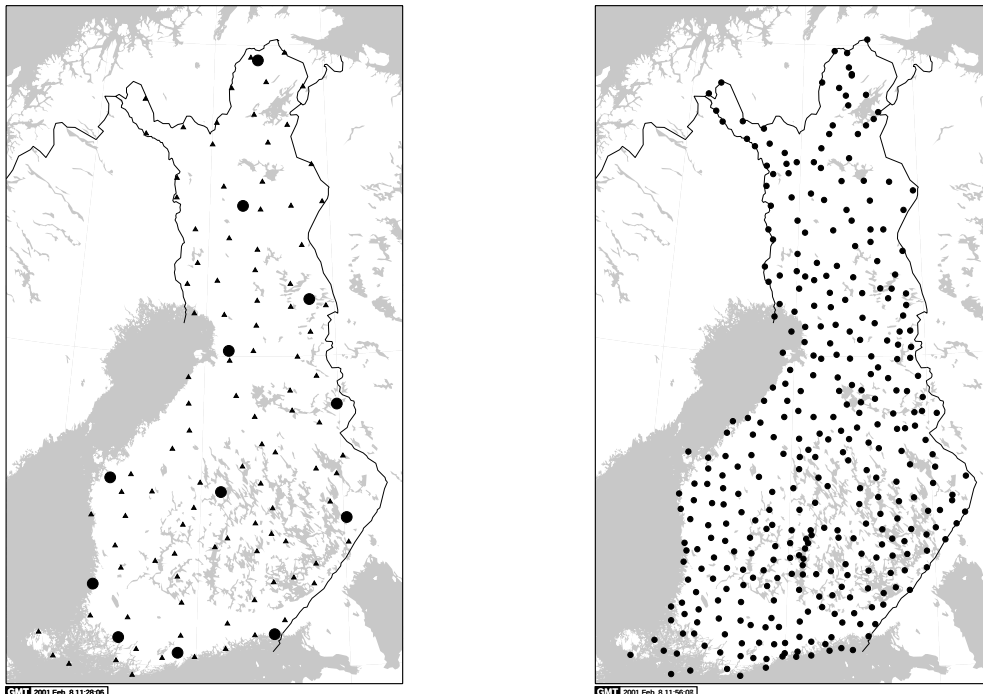
Kansainvälisen geodeettisen komission (IAG) perusti vuonna 1987 Vancouverissa alakomission, jonka tehtävänä oli uuden, Euroopan yli ulottuvan koordinaattijärjestelmän perustaminen (European Reference Frame, EUREF). Alakomission kokouksissa vuosina 1990 (Firenze) ja 1992 (Bern) päätettiin, että suunniteltu järjestelmä yhtyy ITRF-järjestelmään epookkina 1989.0 ja että se kiinnitetään Euraasian mannerlaatan yhtenäiseen osaan. Koordinaattijärjestelmälle annettiin nimeksi European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89). ETRS89 on geosentrinen järjestelmä, joka yhtyy WGS84-järjestelmään paremmin kuin metrin tarkkuudella. Vuonna 1989 mitattiin Länsi-Euroopan yli ulottuva 93 aseman GPS-verkko, jonka tulokset julkaistiin kesäkuussa 1992. Asemien koordinaattien ratkaisussa pidettiin kiinteinä 32 aseman koordinaatit, jotka otettiin IERS:n toimittamasta ETRF89 koordinaattiluettelosta (European Terrestrial Reference Frame 1989) ja perustuvat satelliittilaser- tai VLBI-määrittämiin. Yksi kampanjan kiinteistä pisteistä oli Sjökölla, jonka koordinaatit perustuvat v. 1989 suoritettuun VLBI-mittaukseen. Sjököllän lisäksi Suomeen mitattiin 3 asemaa, joiden avulla Suomessa käytetyt geodeettiset järjestelmät voidaan liittää ETRS89- ja WGS84-järjestelmiin. EUREF-GPS-kampanja oli ensimmäinen ETRS89-järjestelmän realisaatio, jonka tuloksena syntyneitä koordinaatteja kutsutaan EUREF89-systeemiksi. ETRS89-järjestelmään liitetyn ellipsoidin dimensiot ovat samat kuin GRS80-järjestelmässäkin.

$$\begin{aligned}a &= 6378137 \text{ m} \\f &= 1:298.257222101\end{aligned}$$

1.5 EUREF-FIN-koordinaatisto

Geodeettinen laitos mittasi vuosina 1996-1997 kansallisen sadan pisteen EUREF-tihennyksen. Lähes kaikki pisteet olivat I-luokan kolmiopisteitä, koska kampanjan eräänä tarkoituksena oli parantaa yhteyttä EUREF:n ja vanhojen geodeettisten (ED50, ED87) koordinaatistojen välillä.

Mittauksen lähtöpisteinä käytettiin neljää Geodeettisen laitoksen pysyvään GPS-verkkoon kuuluvaa asemaa (Sodankylä, Metsähovi, Vaasa ja Joensuu), joiden koordinaatit kiinnitettiin virallisiin ITRF96-koordinaatteihin epookkina 1997.0. Lopuksi kaikkien asemien koordinaatit muunnettiin ITRF96(1997.0):sta ETRS89-järjestelmän mukaisiksi koordinaateiksi EUREF-alikomission suositusten mukaisia kaavoja käyttäen.



Kuva 1. Vasemmassa kuvassa on esitetty kolmioilla vuosina 1996-1997 mitatut sata EUREF-FIN-pistettä. FinnRef-asemat, joihin mittaukset sidottiin, on esitetty palloilla. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esitetty vuosina 1998-1999 mitatut 350 tihennyspistettä.

1.6 EUREF-FIN-pisteistön tihentäminen

Vuosina 1998-1999 Geodeettinen laitos mittasi 350 pistettä käsittävän GPS-käyttöpisteiden verkon. Pisteet valittiin kyselyiden perusteella. Pisteitä on eri luokista pääosan ollessa kuitenkin Maanmittauslaitoksen toista tai kolmatta luokkaa. Mittauksissa käytettiin seitsemää Ashtech Z-12 GPS-vastaanotinta ja Choke Ring-antenneja. Havaintojakson pituus oli 6 tuntia ja havaintoväli 30 s.

Geodeettinen laitos on julkaissut mittaamiensa EUREF-pisteiden koordinaatit Geodeettisen laitoksen julkaisussa no. 129 ja Geodeettisen laitoksen tiedotteessa no. 24. Pisteselostuksia saa tilaamalla Geodeettisesta laitoksesta.

1.7 EUREF-FIN:in ja kkj:n väliset siirtoparametrit

EUREF-FIN- ja kkj-järjestelmien välinen 7-parametrin yhdenmuotoismuunnos voidaan esittää seuraavan kaavan avulla

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{KKJ} = \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + (1+m) \cdot \begin{pmatrix} 1 & e_z & -e_y \\ -e_z & 1 & e_x \\ e_y & -e_x & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{EUREF}$$

kkj on kaksiulotteinen järjestelmä, jonka koordinaatit tunnetaan joko suorakulmaisina koordinaatteina kartoitustasolla (x,y) tai maantieteellisinä koordinaatteina vertausellipsoidin pinnalla (φ, λ). EUREF-FIN-koordinaatiston ja kkj:n välisen kolmiulotteisen muunnoksen johtamiseksi käytettiin vastinpisteiden EUREF-FIN ja kkj-koordinaatteja sekä pisteiden ortometrisiä korkeuksia (H). Koska vastinpisteet olivat 1. luokan kolmiopisteitä voitiin niiden ortometriset korkeudet muuntaa Kansainvälisestä ellipsoidista (1924) lasketuiksi korkeuksiksi (h) käyttämällä *Bomford -70* astrogeodeettisia geoidin korkeuksia (N) seuraavan kaavan mukaan:

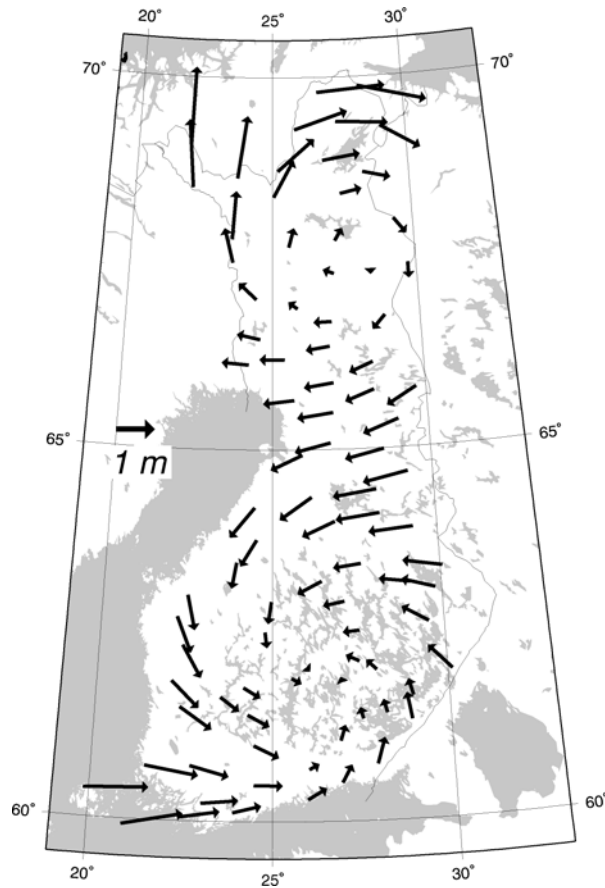
$$h = H + N.$$

Siirtoparametrien ratkaisemiseksi kkj-koordinaatit muunnettiin tämän jälkeen 3D-suorakulmaisiksi koordinaateiksi.

Kaavan muunnoskertoimille (EUREF-FIN→kkj) saatiin 90:n yhteisen pisteen avulla seuraavat arvot:

	Parametri	Keskivirhe	Yksikkö
ΔX	96.061	1.614	[m]
ΔY	82.430	3.111	[m]
ΔZ	121.749	1.141	[m]
e_x	4.801	0.093	["]
e_y	0.345	0.049	["]
e_z	-1.376	0.056	["]
m	-1.496	0.176	[ppm]

Koko maan yli ulottuvasta pisteistöstä johdetun yhdenmuotoismuunnoksen jäännösvirheet näyttävät selvästi kkj:n vääristymät (kuva 2). Suurimmassa osassa maata jäännösvirheiden itseisarvo on pienempi kuin 0.5 m, mutta Pohjois-Suomessa ja Ahvenanmaan saaristossa esiintyy jopa 2 m:n suuruisia jäännösvirheitä. Koordinaattimuunnos, joka suoritetaan yllä olevan kaavan avulla muuttaa koordinaatit koordinaatistosta toiseen, mutta ei oikaise kkj:n vääristymiä. Koordinaattimuunnoksen avulla saadaan koordinaateille likiarvoja, joiden tarkkuus on 1 m:n kertaluokkaa.



Kuva 2. EUREF-FIN – kkj 7-parametrin muunnoksen jäännösvirheet.

2 Korkeusjärjestelmät

Suomen virallinen korkeusjärjestelmä on luotu tarkkavaaituksen avulla mittaamalla yli maan ulottuva tarkkavaaituskiintopisteiden verkko, joka on sidottu 13 mareografin nollapisteeseen sekä Ruotsin ja Norjan vaaitusverkkoihin. Tarkkavaaitusverkko on vaaittu kaksi kertaa. Kolmas vaaitus on parhaillaan käynnissä.

2.1 NN-järjestelmä

Järjestelmä syntyi Suomen ensimmäisen tarkkavaaituksen yhteydessä, jonka suoritti Tie- ja Vesirakennusten Ylihallitus vuosina 1892-1910. Vaaitusverkon tasoituksen yhteydessä mittaustuloksiin liitettiin normaalipainovoiman mukainen ortometrin korjaus, mutta maannousun vaikutusta ei voitu mittaasajankohtana tuntea eikä ottaa huomioon.

Lähtökorkeudeksi valittiin Helsingissä, Katajanokan sillassa sijainneen vesiaseteikon nollapiste, siis kiinteä merkki kohoavassa maankuoressa. Sen todettiin sijaitsevan 30.4652 m Tähtitorninmäelle rakennetun peruskiintopisteen alapuolella. Il-

meisesti tarkoitus oli saada vertaustaso vastaamaan merenpinnan keskikorkeutta Helsingissä, mutta myöhemmin todettiin, että valittu vertaustaso oli jäänyt 10.9 cm aikavälistä 1904-09 lasketun merenpinnan keskikorkeuden alapuolelle.

2.2 N43-järjestelmä

Vuonna 1935 aloitettiin Geodeettisen laitoksen toimesta Suomen toinen tarkkavaaitus. Vaaitustyön kuluessa syntyi toinen, väliaikainen järjestelmä, jolle vakiintui nimi N43. Toista tarkkavaaitusta aloitettaessa annettiin Pasilasta valitulle lähtöpisteelle sama korkeus, mikä sillä oli ensimmäisen tarkkavaaituksen mukaan, siis NN-korkeus. Ensimmäisen silmukan tultua mitatuksi tasoitettiin sen sulkuvirhe silmukassa sen lähtökorkeutta muuttamatta. Kun toinen silmukka saatiin valmiiksi, se pakotettiin ensimmäisen silmukan viereen muuttamatta yhteisten pisteiden korkeuksia, siis tasoittamalla uuden silmukan sulkuvirhe uuden silmukan pulttiväleille. Näin jatkettiin pakottamalla aina uusi silmukka aikaisemmin mitattuihin. Vaaittuihin korkeuseroihin liitettiin ortometrinen korjaus, mutta Maan kohoamisen vaikutusta ei vielä otettu huomioon.

N43-järjestelmän lähtötaso on sama kuin NN-järjestelmässäkin, 30.4652 m peruskiintopisteen alapuolella oleva kohta kohoavassa maankuoressa. Helsingin mareografihavainnoista laskettiin keskiveden asema Helsingissä Toisen tarkkavaaituksen kestoaikaa vastaavana aikavälinä 1935-1954 ja todettiin sen olleen 6 mm lähtötason NN alapuolella. Vaikka lähtötaso on sama NN- ja N43-järjestelmissä, korkeusluvut eroavat kaikkialla, missä maannousun nopeus poikkeaa Helsingin maannousun nopeudesta.

2.3 N60-järjestelmä

Täsmällinen korkeusjärjestelmä voitiin luoda vasta toisen tarkkavaaituksen verkon tultua pääosiltaan mitatuksi. Maankohoamisen määrittämiseksi laskettiin kummankin vaaituksen ilman ajallista keskeytystä vaaittujen linjan osien päiden väliset vuotuiset maannousuerot. Ne tasoitettiin siten, että niiden summa kussakin vaaituksessa oli nolla. Näin saaduilla maannousuluvuilla redukoitiin kummankin vaaituksen mittaukset geopotentialilukuina omaan epookkiinsa eli vuosiin 1900 ja 1944, joissa kummatkin tasoitettiin erikseen. Tasoitettujen korkeuserojen vertaus antoi uudet parannetut maannousuluvut, joilla redukointi keskiepookkeihin suoritettiin uudelleen ja sen jälkeen uusittiin kummankin verkon tasoitus. Näin jatkettiin kunnes saavutettiin haluttu tarkkuus eli maannousuluku vuodessa millimetrin kahdella desimaalilla, siihen päästiin kolmannella lähenemisellä. Saadut maannousuluvut kiinnitettiin Suomen kahdentoista silloin käytössä olleen mareografin absoluuttisiin maannousuarvoihin. Näin saatiin lopulliset maannousuluvut noin tuhannelle molemmissa vaaituksessa vaaitulle kiintopisteelle. Lähtötasoksi valittiin keskiveden pinta Helsingissä ja epookiksi 1960.0. Helsinki valittiin lähtöpisteeksi siitä syystä, että veden pinta on koko rannikkomme pituudelta alimpana ja siksi, että Helsingin mareografi

on toiminut kauan. Peruskiintopiste sijaitsi 1960.0 30.5138 m perustason yläpuolella.

2.4 Paikalliset korkeusjärjestelmät

Useat kunnat ja kaupungit ovat perustaneet oman korkeusjärjestelmänsä, joka on liitetty vaaituksilla johonkin em. valtakunnalliseen korkeusjärjestelmään.

2.5 Korkeusjärjestelmien väliset erot

Valtakunnallisten korkeusjärjestelmien (NN, N43 ja N60) siirtokorjaukset järjestelmästä toiseen on julkaistu Geodeettisen laitoksen julkaisussa no. 57. Useimmat kunnat, joilla on omat järjestelmänsä, ovat liittäneet sen johonkin valtakunnalliseen korkeusjärjestelmään. Paikallisen järjestelmän suppeuden vuoksi siirtyminen valtakunnalliseen järjestelmään voidaan hoitaa lisäämällä vakiokorjaus paikallisen järjestelmän korkeuksiin.

3 Geoidimallit

Suomessa käytettävien geoidimallit perustuvat tavalla tai toisella globaaleihin geoidimalleihin. Alueellisen tai paikallisen geoidimallin pohjana on oltava tiedot koko maapallon painovoimakentästä, jotta paikallinen geoidimalli voitaisiin sijoittaa oikein. Viimeisin globaali geoidimalli, jota käytetään Suomen alueen geoidimallien ratkaisemisessa, perustuu EGM96 painovoimamalliin (Earth Gravitational Model 1996). EGM96 syntyi NASA Goddard Space Flight Centerin, National Imaginery and Mapping Agency (NIMA) ja Ohion valtion yliopiston (OSU) yhteistyön tuloksena. EGM96-painovoimamallin avulla johdettujen geoidinkorkeuksien tarkkuus on Suomen alueella parempi kuin 1 m.

3.1 NKG96-geoidimalli

Pohjoismainen geoidimalli, joka perustuu EGM96-painovoimamalliin, jonka avulla johdetun alueellisen geoidimallin ratkaisemiseen on käytetty Pohjoismaiden, Baltian maiden ja Venäjän alueella tehtyjä painovoimahavaintoja. Yli 300 GPS-vaaituspisteen avulla on todettu, että geoidimallin tarkkuus on 10 cm luokkaa.

3.2 FIN95-geoidimalli

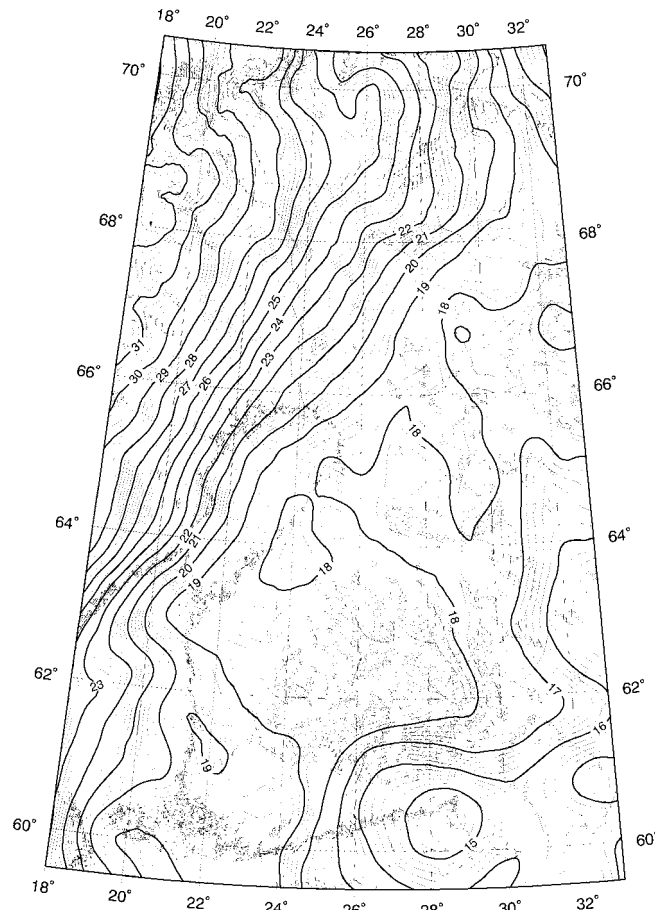
Suomen alueelle johdetun geoidimallin pohjana käytettiin OSU91A-painovoimamallia. Geoidimalli sovitettiin 43 GPS-vaaituspisteen avulla siten, että mallin avulla GPS-korkeudet voidaan muuntaa suoraan valtakunnalliseen N60-korkeusjärjestelmään. Sovituksessa käytettyjen GPS-havaintojen epookki oli noin 1993. Kun pisteiden korkeudet vertausellipsoidista muuttuvat maankohoamisen ansiosta, on aikaero GPS-havaintojen epookista huomioitava FIN95-geoidin korkeuksia käytettäessä. FIN95-mallin keskimääräiseksi tarkkuudeksi arvioitiin 6 cm, mutta

maamme raja-alueilla, Pohjois- ja Itä-Suomessa, virheet saattavat nousta lähelle 20 cm, mikä johtuu GPS/vaaitus-pisteiden harvalukuisuudesta näillä alueilla geoidimallin laskemisen aikoihin.

3.3 FIN2000-geoidimalli

FIN2000 on uusin Suomen alueelle laskettu geoidimalli. Sen pohjana on NKG96-geoidimalli, jota korjattiin 4. asteen polynomipinnan avulla. Korjauspinta johdettiin 188 GPS/vaaitus-pisteen havainnoista. Pintasovituksen painoyksikön keskivirhe oli 30 mm, joka kuvaa geoidimallin sisäistä tarkkuutta. FIN2000-mallin avulla voidaan muuntaa EUREF-FIN koordinaatistossa mitatut, ellipsoidiset korkeudet valtakunnalliseen N60- korkeusjärjestelmään.

Suomessa käytettävien NKG96- ja FIN2000-geoidimallien korkeuksia saa tilauksesta Geodeettisesta laitoksesta.



Kuva 3. FIN2000-geoidimalli. Geoidin korkeudet metreinä GRS80-ellipsoidista. Käyräväli 0.2 m.

LIITE 2. KAAVOITUSMITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT KARTTAPROJEKTIOT

1. YLEISTÄ

Karttaprojektioita käytetään kolmiulotteisen ellipsoidipinnan kuvaamiseen tasolle. Karttaprojektiot voidaan ryhmitellä esimerkiksi kuvaustavan, kuvausominaisuuksien, projisointipinnan ja käyttötarkoituksen mukaan.

Ellipsoidipinnan kuvaaminen tasolle tapahtuu laskennallisesti projektiokaavoilla, joilla maantieteellisistä koordinaateista (φ, λ) siirrytään tasokoordinaatteihin (x, y) . Kuvausominaisuuksiensa mukaan projektiot jaetaan pinta-, kulma- tai viivatarkkoihin projektioihin riippuen siitä, mikä ominaisuus säilyy tasolle siirryttäessä. Projisointipinnan mukaan projektiot on jaettavissa vielä tasoprojektioihin (kuvaus tapahtuu suoraan tasolle), karttioprojektioihin (kuvaus ensin kartiopinnalle, joka leikataan auki tasoksi) tai lieriöprojektiioihin (kuvaus ensin lieriöpinnalle, joka leikataan auki tasoksi). Projisointipinta voi lisäksi sivuta tai leikata maapalloa ja se voi olla normaaliasentoinen tai poikittain suhteessa maapallon pyörimisakseliin.

Kaavoitusmittauksessa on käytettävä kulmatarkkaa (konformista) karttaprojektiota, jossa pienet kuvat säilyttävät oikean muotonsa. Kaavoitusmittauksessa suositellaan käytettäväksi joko UTM- tai Gauss-Krüger-projektiota.

2. GAUSS-KRÜGER-PROJEKTIO

Gauss-Krüger-projektio on kulmatarkka poikittainen lieriöprojektiio (Transverse Mercator). Projektiossa lieriö sivuaa maapalloa (ellipsoidipintaa) keskimeridiaania pitkin, joka samalla muodostaa tasokoordinaatiston x-akselin. Koordinaatiston y-akselina on keskimeridiaania vastaan kohtisuorassa oleva päiväntasaaja. Koordinaatiston origo on näiden leikkauspisteessä. Negatiivisten koordinaattiarvojen välttämiseksi origoa on kuitenkin siirretty länteen antamalla y-koordinaatille keskimeridiaanilla arvo 500 000 m.

2.1 Gauss-Krüger-projektio ja kartastokoordinaattijärjestelmä

Kartastokoordinaattijärjestelmässä käytetty Gauss-Krüger-projektio perustuu 3° projektiokaistoihin. Projektiokaista ulottuu siten $1\frac{1}{2}^\circ$ keskimeridiaanin molemmille puolille. Peruskoordinaatistossa Suomi jaetaan kuuteen kaistaan, joiden keskimeridiaanit ovat 18° - 33° itäistä pituutta. Yhtenäiskoordinaatistossa Suomi esitetään yhdessä projektiokaistassa keskimeridiaanina 27° . Kaistan tunnistamiseksi y-koordinaatin eteen lisätään vielä kaistan numero.

2.2 Gauss- Krüger-projektio ja EUREF-FIN-koordinaatisto

Käytettäessä Gauss-Krüger-projektiota ja EUREF-FIN-koordinaatistoa projektiokaistan leveys voi olla vähemmän kuin 3° (esim. 1°). Keskimeridiaaneina voivat tällöin olla kaikki tasa-asteet välillä 19° – 32° itäistä pituutta. Projektiokaistojen rajalla koko kuntaa on tarkoituksenmukaista käsitellä samassa projektiokaistassa.

EUREF-FIN–koordinaatiston kanssa käytettävään Gauss-Krüger–projektioon ja tiettyyn projektiokaistaan voidaan viitata lyhenteellä ETRS-GKn. Tällöin ETRS ilmaisee käytettävän koordinaattijärjestelmän (johon EUREF-FIN- realisaatio perustuu), GK käytettävän karttaprojektion ja n keskimeridiaanin asteluvun. Esimerkiksi *ETRS-GK27*.

3. UTM-PROJEKTIO

UTM (Universal Transverse Mercator) on myös kulmatarkka poikittaisasentoinen lie-riöprojektiio. UTM-projektiossa lie-riö kuitenkin leikkaa maapalloa. Keskimeridiaani muodostaa tasokoordinaatiston x-akselin, mutta mittakaava keskimeridiaanilla on 0.9996. Keskimeridiaanin molemmin puolin on oikean pituinen leikkausviiva, jolla mit-takaavakerroin on 1. Mittakaavakerroin on siis näiden viivojen välissä alle 1 ja ulko-puolella suurempi kuin 1. Koordinaatiston y-akselin muodostaa keskimeridiaania vas-taan kohtisuorassa oleva päiväntasaaja. Koordinaatiston origoa on siirretty näiden akselien leikkauspisteestä länteen antamalla keskimeridiaanin y-koordinaatille arvo 500 000 m.

UTM–projektiio on kehitetty maailmanlaajuisiin sovelluksiin alun perin USA:n puolus-tushallinnon karttalaitoksen toimesta. Se on standardisoitu seuraavin ominaisuuksin:

- sovellusalue on välillä 80° eteläistä leveyttä ja 84° pohjoista leveyttä
- projektiokaistan leveys on 6°
- kaistoja on 60 kappaletta (numerointi 1 – 60, 1. kaista = 180°-174° läntistä pituutta numeroinnin kasvaessa itään päin).

Suomessa käytettävä UTM–projektiio poikkeaa standardista projektiokaistan levey-den osalta siten, että koko Suomi kuvataan yhdessä kaistassa. Tämän projektion (*ETRS-TM35FIN*) soveltamisesta annetaan myöhemmin tarkemmat ohjeet julkisen hallinnon suosituksella (JHS).

UTM-projektiota käytetään lähinnä valtakunnallisissa kartastotoissa EUREF-FIN–koordinaatiston yhteydessä, mutta sitä voidaan käyttää myös kaavoitusmittauksessa.

Taulukko. Vertailu projektoiden ominaisuuksista

Ominaisuus	Projektiio		
	Gauss-Krüger (kkj)	Gauss-Krüger (<i>ETRS-GKn</i>)	UTM (<i>ETRS-TM35FIN</i>)
Koordinaatisto Ellipsoidi	kkj, vvj, paikallinen	EUREF-FIN	EUREF-FIN
	kansainvälinen Hayford 1924	GRS80	GRS80
Kaistan leveys	3°	1°	noin 15° (Suomi 19°-31,5°)
Kaistojen määrä	6	14	1
Keskimeridiaanit	18° - 33°	19° - 32°	27°
Mittakaavakerroin keskimeridiaanilla	1.0	1.0	0.9996
Mittakaavakorjaus (leveysasteella 60°)	0-86 mm/km (peruskoord.) 0-2150 mm/km (yht.koord.)	0-10 mm/km	-400...+1800 mm/km

LIITE 3. PAIKALLISEN KIINTOPISTEVERKON LIITTÄMINEN EUREF-FIN-KOORDINAATISTOON

Jos kaavan pohjakartan alueelle tehdään runkoverkon GPS-mittaus, voidaan paikallinen koordinaatisto muuntaa EUREF-FIN-koordinaatistoon. Tällöin olisi vähintään yhden GPS- pisteen koordinaatit tunnettava EUREF-FIN-koordinaatistossa. Mittauksen jälkeen muodostetaan runkoverkon vektorit ja tasoitetaan verkko pitäen EUREF-FIN-koordinaateissa tunnettua pistettä kiinteänä. Ennen tasoitusta analysoidaan mitatut vektorit ja tarkistetaan sulkeutuvien kuvioiden sulkuvirheet.

Paikallisesta koordinaatistosta pitää tuntea vähintään neljän pisteen tasokoordinaatit ja näiden tarkka ortometrinen korkeus (H). Tasokoordinaatit ja ortometrinen korkeus muunnetaan ensiksi geodeettisiksi koordinaateiksi (φ, λ, h) ja sitten edelleen suorakulmaiseksi avaruuskoordinaateiksi (X, Y, Z) . Käytettäessä neljää yhteistä pistettä muunnoksen ylimääritys eli redundanssi on viiden havainnon suuruinen. Tällöin on otettava huomioon se, että paikallisen järjestelmän tasokoordinaatit on projisoitu Kansainväliseltä (Hayfordin) ellipsoidilta, jonka origo ei sijaitse Maan massakeskipisteessä. Lisäksi tällöin geoidin korkeus (N) on suhteessa Hayfordin-ellipsoidiin. Kolmiulotteinen yhdenmuotoisuusmuunnos voidaan tehdä joko Bursa-Wolf tai Molodensky-Badekas-mallilla. Mikäli tarvitaan vielä suurempaa tarkkuutta, voidaan muunnoksen laskennassa käyttää täydellistä kiertomatriisiä R.

Kolmiulotteinen yhdenmuotoisuusmuunnos $(A \rightarrow B)$ voidaan kuvata yhtälöllä

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = c + mR \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix}$$

missä c on origon siirtovektori,
m on mittakaavakerroin ja
R on kiertomatriisi.

Kiertomatriisi koostuu kolmesta peräkkäisestä kierrosta:
ensin x-akselin $R(e_x)$, sitten y-akselin $R(e_y)$ ja lopuksi z-akselin $R(e_z)$ ympäri.

Täydellinen kiertomatriisi on seuraavanlainen:

$$R = \begin{bmatrix} \cos e_y \cos e_z & \cos e_x \sin e_z + \sin e_x \sin e_y \cos e_z & \sin e_x \sin e_z - \cos e_x \sin e_y \cos e_z \\ -\cos e_y \sin e_z & \cos e_x \cos e_z - \sin e_x \sin e_y \sin e_z & \sin e_x \cos e_z + \cos e_x \sin e_y \sin e_z \\ \sin e_y & -\sin e_x \cos e_y & \cos e_x \cos e_y \end{bmatrix}$$

Bursa-Wolf-mallissa kiertomatriisi R on muotoa

$$R = \begin{bmatrix} 1 & -e_z & e_y \\ e_z & 1 & -e_x \\ -e_y & e_x & 1 \end{bmatrix}$$

Kuitenkin kiertosuunnat valitaan joskus toisinpäin (syytä aina tarkistaa), jolloin R voi olla myös

$$R = \begin{bmatrix} 1 & e_z & -e_y \\ -e_z & 1 & e_x \\ e_y & -e_x & 1 \end{bmatrix}$$

Jos muunnosparametrit ovat olemassa, niin niiden yksiköt tulee selvittää. Yleensä muunnosparametreista kiertokulmat annetaan kaarisekunteinä ja mittakaava miljoonasosina (ppm). Siksi laskentaa varten kiertokulmat pitää muuttaa radiaaneiksi ja mittakaavakertoimeen pitää lisätä 1.

Molodensky-Badekas-mallissa lasketaan ensin muunnospisteiden painopistekoordinaatit:

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix}$$

Malli on seuraavanlainen:

$$\begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = c + \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} + mR \begin{bmatrix} X_A - X_p \\ Y_A - Y_p \\ Z_A - Z_p \end{bmatrix}$$

Bursa-Wolf- ja Molodensky-Badekas-mallit ovat identtiset, jos

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} = 0$$

tai $m=1$ ja $R=I$.

Muunnosparametrien residuaalit pitää tarkistaa. Jos jollakin muunnoksen tukipisteellä on poikkeavan suuret residuaalit, pitää sellainen poistaa tukipisteistöstä (jos muunnospisteitä enemmän kuin 4). Kun muunnospisteiden avulla on saatu laske-
tuksi kolmiulotteisen yhdenmuotoisuusmuunnoksen parametrit, muunnetaan saaduilla parametreilla loput runkoverkon pisteistä tähän kolmiulotteiseen järjestelmään. Kolmiulotteiset avaruuskoordinaatit (X,Y,Z) muunnetaan geodeettisiksi koordinaateiksi (φ, λ, h) ja edelleen tasokoordinaateiksi. Ellipsoidista laskettu korkeus h muunnetaan tarvittaessa ortometriseksi korkeudeksi. Muunnoksessa on käytettävä sen geoidimallin korkeuksia, joita käytettiin muunnosparametrien johtamisessakin. Hyvän kuvan muunnoksesta antaa se, miten paljon muunnoksen tukipisteiden koordinaatit muuttuvat tässä edestakaisin tehdyssä laskennassa.

LIITE 4. JONOMITTAUKSEN JA VAAITUKSEN SULKUVIRHEIDEN HYVÄKSYMISKRITEERIT

1. JONOMITTAUS

Olkoon kohdassa 2.4 asetettu tasotarkkuusvaatimus μ (ppm). Silloin ilman tasoitusta läpi lasketun jonon loppupisteen pistekeskivirheen kriteeriarvo on

$$m_p^c = \mu \cdot 10^{-6} \cdot L,$$

missä L on jonon pituus.

Formuloidaan nollahypoteesi H_0 :

- 1. Mittausvälineet ja –menetelmät on valittu siten, että yllä oleva pistevirhekriteeri täyttyy ja
- 2. Mittaukset eivät sisällä karkeita virheitä

Olkoon pistesulkuvirhe $w_p = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$, missä w_x ja w_y ovat koordinaattisulkuvirheet.

H_0 :n ensimmäisen osan perusteella voidaan korvata todellinen pistekeskivirhe kriteeriarvolla

$$m_p^c = m_x^c \sqrt{2} = m_y^c \sqrt{2} = \mu \cdot 10^{-6} \cdot L$$

ja testaussuure

$$\omega^2 = \frac{w_x^2}{(m_x^c)^2} + \frac{w_y^2}{(m_y^c)^2} = 2 \frac{w_p^2}{(m_p^c)^2}$$

voidaan olettaa χ^2 -jakauman mukaan jakautuneeksi. Silloin H_0 :n tapauksessa 95%:n todennäköisyydellä pätee

$$\begin{aligned} \omega^2 < 5.99 & \Rightarrow w_p^2 < 3.00(m_p^c)^2 \\ & \Rightarrow w_p < 1.73 \cdot m_p^c \end{aligned}$$

ja näin saadaan ehdoksi, jonka pistesulkuvirheen on täytettävä H_0 :n hyväksymiseksi:

$$w_p < 1.73 \cdot 10^{-6} \cdot \mu \cdot L$$

2. VAAITUS

Olkoon kohdassa 2.4 asetettu korkeustarkkuusvaatimus μ (ppm). Silloin korkeuskeskivirheen kriteeriarvo on

$$m_H^c = \mu \cdot 10^{-6} \cdot L,$$

missä L on vaaituslinjan pituus.

Formuloidaan nollahypoteesi H_0 :

- 1. Mittausvälineet ja –menetelmät on valittu siten, että yllä oleva pistevirhe kriteeri täyttyy ja
- 2. Mittaukset eivät sisällä karkeita virheitä

Lasketaan vaaituslinjan korkeussulkuvirhe w_H , joka oletetaan normaalijakautuneeksi keskivirheenään korkeuskeskivirhe m_H . Nollahypoteesin ensimmäisen oletuksen mukaan todellinen korkeuskeskivirhe voidaan korvata sen kriteeriarvolla m_H^c . Merkitsevyystasolla 95% sen kaksipuoleinen testi on siten

$$|w_H| < 1.96 \cdot m_H^c \Rightarrow |w_H| < 1.96 \cdot 10^{-6} \cdot \mu \cdot L$$

ja on samalla ehto, jonka korkeussulkuvirheen on täytettävä H_0 :n hyväksymiseksi.

3. TESTAUSRAJAT

Testausrajat eri merkitsevyystasoisille on esitetty alla olevassa taulukossa.

n	95%	97.5%	99%	
1	1.96	2.24	2.57	vaaitus
2	1.73	1.92	2.15	jonomittaus
3	1.61	1.77	1.94	kolmiulotteinen tapaus

LIITE 5. KARTOITETTAVIEN KOHTEIDEN PISTEKESKIVIRHEET

Kartoitettavien kohteiden pistekeskivirheet laskettuna määrittelyn perustana olevien kiintopisteiden suhteen on esitetty seuraavissa taulukoissa.

Mittausluokassa 1 on kaksi vaatimustasoa. Mittausluokan yleiset tarkkuusvaatimukset on tarkoitettu lähinnä 1:1000- mittakaavaisten karttojen tulostamiseen tarkoitetuille karttatietokannoille.

Tarkempaa vaatimustasoa, mittausluokkaa 1e, suositellaan käytettäväksi, jos karttatietokantaa on tarkoitus käyttää osana kunnan maastotietojärjestelmää ja hyödyntää suurta tarkkuutta edellyttävässä teknisessä suunnittelussa.

Taulukoissa on käytetty julkaisun Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallin mukaisia kohteita. Mittausluokassa 1e on yleensä tarpeellista käyttää myös karttakohdemallia tarkempaa kohdeluokitusta ja kauttaaltaan kolmiulotteista mallinnusta.

Mittausluokassa 2 karttatietokannalta edellytetään taulukossa esitettyjä tarkkuuksia kartan mittakaavasta riippumatta.

Mittausluokassa 3 on esitetty myös väljemmät tarkkuusvaatimukset 1 : 5000 -mittakaavaisia karttoja varten.

Mittausluokassa 2 karttatietokannalta edellytetään taulukossa esitettyjä tarkkuuksia kartan mittakaavasta riippumatta.

Mittausluokassa 3 on esitetty myös väljemmät tarkkuusvaatimukset 1 : 5000 -mittakaavaisia karttoja varten.

Määrityksen pistekeskivirhe [m]

Rakennukset ja rakennelmat					
Mittausluokka	1e	1	2	3	
Kohde				1:2000	1:5000
Rakennuksen					
-seinälinja	0.15	0.3	0.5	1.5	3.0
-yksityiskohta	0.15	0.5	1.0	1.5	3.0
Rakennelman seinälinja	0.20	0.5	1.0	1.5	3.0
Rakennelmaviiva	0.20	0.5	1.0	1.5	5.0
Tukivaijeri	0.20	0.5	1.0	1.5	5.0
Kannatinpylväs	0.20	0.5	1.0	1.5	5.0
Ilmarata	0.20	0.5	1.0	1.5	5.0
Aita	0.20	0.5	1.0	1.5	5.0
Tukimuuri	0.20	0.5	1.0	1.5	5.0
Portaat	0.20	0.5	1.0	1.5	5.0
Masto	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Pohjavesikaivo	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Suihkukaivo	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Muistomerkki	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Savupiippu	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Johdot					
Johto tai kaapeli	0.20	0.5	1.0	2.0	10.0
Pylväs	0.20	0.5	1.0	2.0	5.0
Johdon tai kaapelin rakennelma	0.20	0.5	1.0	2.0	5.0

Määrityksen pistekeskivirhe [m]

Liikenne					
Mittausluokka	1e	1	2	3	
Kohde				1:2000	1:5000
Liikenneväylän reuna					
-kestopäällystetty	0.20	0.5	1.0	2.0	3.0
-päällystämätön	0.50	1.0	1.5	2.5	5.0
-rakenteilla	0.50	1.0	1.5	2.5	5.0
Kevytväylän reuna					
-päällystetty	0.20	0.5	1.0	2.0	3.0
-päällystämätön	0.50	1.0	1.5	3.0	5.0
-polku	1.0	2.0	3.0	5.0	20.0
Liikennealueen reuna					
-päällystetty	0.20	0.5	1.0	2.0	5.0
-päällystämätön	0.50	1.0	2.0	3.0	10.0
Raide	0.20	0.5	1.5	2.5	3.0
Sillan reuna	0.20	0.5	1.5	2.5	5.0
Siltapilari	0.20	0.5	1.5	2.5	5.0
Henkilö- ja lastauslaituri	0.20	0.5	1.5	2.5	5.0
Tunnelin suu	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Rummun suu	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Suojakaide	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Lähestymisvalo	0.50	1.0	2.0	3.0	7.5
Merenkulun turvalaite	0.50	1.0	2.0	3.0	10.0

Määrityksen pistekeskivirhe [m]

Maasto					
Mittausluokka	1e	1	2	3	
Kohde				1:2000	1:5000
Maastokuvion reuna					
-yksikäsitteinen	1.0	2.0	2.0	3.0	10.0
-epämääräinen	-	-	-	-	-
Rakennetun maan reuna					
-yksikäsitteinen	1.0	2.0	2.0	3.0	10.0
-epämääräinen	-	-	-	-	-
Rakennettu jyrkäne	0.5	1.0	2.0	3.0	10.0
Luonnon jyrkäne	1.0	2.0	2.0	3.0	15.0
Luiskan reuna	0.5	1.0	1.5	3.0	10.0
Kivi	1.0	2.0	2.0	3.0	15.0
Kasvillisuus					
Puu	0.7	1.5	2.0	3.0	10.0
Puurivi	0.7	1.5	2.0	3.0	10.0
Vesistöt					
Rantaviiva					
-yksikäsitteinen	1.0	1.5	2.0	3.0	7.5
-epämääräinen	-	-	-	-	-
Säännöstellyn vedenpinnan yläreuna	1.5	2.0	3.0	5.0	15.0
Ojan (leveän) reuna	1.5	1.5	2.0	3.0	5.0
Oja, puro					
-yksikäsitteinen	2.0	2.0	3.0	3.0	5.0
-epämääräinen	-	-	-	-	-
Lähde	2.0	2.0	3.0	3.0	20.0
Vesikivi	2.0	2.0	3.0	3.0	20.0

Korkeustarkkuus

Korkeuskäyrällä olevan pisteen tai numeerisesta korkeusmallista interpoloidun pisteen korkeuskeskivirhe (dh) saa olla enintään

$dh = 0.3 \text{ m} + 1.0 \text{ m} * \tan v$	mittausluokka 1
$dh = 0.5 \text{ m} + 2.0 \text{ m} * \tan v$	mittausluokka 2
$dh = 1.0 \text{ m} + 5.0 \text{ m} * \tan v$	mittausluokka 3
$v = \text{maaston kaltevuus}$	

Erittäin vaikeassa rikkonaisessa maastossa keskivirhe saa olla kaksinkertainen.

Kartassa esitetyn maanpinnan korkeusluvun keskivirhe (dh) saa olla enintään

$dh = 0.3 \text{ m}$	mittausluokka 1
$dh = 0.5 \text{ m}$	mittausluokka 2
$dh = 1.0 \text{ m}$	mittausluokka 3

LIITE 6. Yhteenveto kaavoitusmittausohjeessa määritellyistä kohteista, niiden mittausmenetelmistä ja tarkkuusvaatimuksista.

Kohde	Suosittelava mittausmenetelmä	Muut hyväksyttävät mittausmenetelmät	Tarkkuusvaatimukset
Tasokiintopisteet - Peruskiintopiste	Satelliittimittaus (staattinen)	Jonomittaus	Suhteellinen tasotarkkuus: ≤ 20 ppm.
- Käyttökiintopiste	Jonomittaus	Satelliittimittaus (staattinen)	Suhteellinen tasotarkkuus: - mittausluokat 1 ja 2: ≤ 50 ppm (15 mm, kun sivunpituus $l \leq 300$ m) ≤ 80 ppm (25 mm, kun $l \leq 300$ m). Suhteellinen korkeustarkkuus: - mittausluokat 1 ja 2: ≤ 50 ppm (5 mm, kun $l \leq 100$ m) ≤ 80 ppm (8 mm, kun $l \leq 100$ m). - mittausluokka 3:
Korkeuskiintopisteet	Tarkkavaaitus	Jonovaaitus, satelliittimittaus (staattinen)	Korkeuseron suhteellinen tarkkuus ≤ 5 ppm.
Rajamerkit - Kartoitussmittaus	Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus	Analyttinen ja digitaalinen kuvamittaus	Pistekeskivirhe laskettuna määräyksen perustana olevien kiintopisteiden suhteen: - mittausluokka 1: ≤ 120 mm - mittausluokka 2: ≤ 180 mm - mittausluokka 3: ≤ 250 mm.
- Merkintä	Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus	Muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan ohjeen edellyttämä tarkkuus.	Pistekeskivirhe laskettuna määräyksen perustana olevien kiintopisteiden suhteen: - mittausluokka 1: ≤ 40 mm - mittausluokka 2: ≤ 80 mm - mittausluokka 3: ≤ 160 mm.
Rakennukset - Kartoitussmittaus	Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus	Ilmakuvaarkoitus (stereodigitointi)	Ks. liite 5 tai Karttakohdemalli 1997.
- Merkintä	Satelliittimittaus (RTK), takymetrimittaus	Muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan ohjeen edellyttämä tarkkuus.	Tasotarkkuusvaatimus määritellään ennakkoon tapauskohtaisesti. Korkeuden määräyksen sulkuvirhe: $\leq 10 \text{ mm} \times \sqrt{L}$, missä L on jonon pituus kilometreinä.
Muut kohteet	Ilmakuvaarkoitus (stereodigitointi)	Takymetrimittaus, satelliittimittaus (RTK), muut valvojan hyväksymät menetelmät, joilla saavutetaan Karttakohdemallin 1997 edellyttämä tarkkuus.	Ks. liite 5 tai Karttakohdemalli 1997.

LIITE 7. TYÖSUUNNITELMAN SISÄLTÖ

1 Yleistä

- mittauksen tarkoitus, mittausluokka ja kartan mittakaava
- kartoitettavan alueen pinta-ala
- alueen sijainti (rajaus) ja lehtijako yleissilmäyskartalla (1:20 000)
- aikataulu

2 Aikaisemmat mittaukset

- alueella ja sen läheisyydessä tehdyt aikaisemmat mittaukset ja niiden hyödyntäminen
- aluerajaukset ja verkkopiirrokset, sikäli kuin niillä on merkitystä nyt tehtävän mittauksen kannalta

3 Geodeettinen runkomittaus

- koordinaattijärjestelmä
- mittausmenetelmät, kojeet
- lähtöpisteet, verkkopiirrokset
- laskentamenetelmät ja ohjelmat
- korkeusjärjestelmä
- mittausmenetelmät, kojeet
- lähtöpisteet, verkkopiirrokset
- laskentamenetelmät ja ohjelmat

4 Valmistavat työt

- kiinteistöselvitys (rekisterikartta)
- näkyvöittäminen

5 Ilmakuvaus

- kuvauskorkeus, kuvausmittakaava ja alueen keskikorkeus
- käytettävät sivu- ja pituuspeitot
- kalusto ja materiaalit
- kuvauskartta liitteenä

6 Fotogrammetrinen kolmiointi

- lähtö- ja liitospisteet
- kojeet ja laskentaohjelmat

7 Kartan laadinta

- kartan tietosisältö, käytettävä kohdeluokitus ja esitystapa
- stereodigitointi, kojeet
- täydennysmittaukset, menetelmät ja laitteet

8 Valmistettavat tuotteet

- numeeriset tuotteet
- graafiset tuotteet

9 Mittauksen tarkastus ja arkistointi