

OPINNÄYTETYÖ
Lauri Kopposela 2012

MAASTOMALLI



**Rovaniemen
ammattikorkeakoulu**
University of Applied Sciences
LUC

RAMK KOULUTUSOHJELMAT



ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEEN ALA

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

MAASTOMALLI

Lauri Kopposela

2012

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty _____ 2012 _____

Tekijä	Lauri Kopposela	Vuosi	2012
Työn nimi	Maastomalli		
Sivu- ja liitemäärä	49		

Maastomalli on nykyaikaisen suunnittelun perustyökalu, jota voidaan hyödyntää monilla eri aloilla. Maastomallilla kuvataan olemassa olevaa tilannetta maastossa. Mallia varten kerätään maanpinnasta korkeustietoa ja korkeuspisteen sijaintitietoa. Kerätty maastotieto esitetään koordinaatistossa, josta saadaan muodostettua maanpintaa tai mallinnettavaa kohdetta kuvaava esitys.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mikä maastomalli on miten siihen kerätään tietoa ja miten maastomallia voidaan hyödyntää. Muodostetun mallin esitystavat ja mallin havainnollistaminen on myös otettu huomioon työssä. Laatu on käsitteenä hankalasti sovellettavissa maastomalliin, joten laadun varmistamisen menetelmiin on etsitty vastausta työtä tehtäessä.

Tutkimuksen lähtökohtana oli tutkia tiedonkeruumenetelmiä maastomallin tuottamiseksi. Lisäksi tarkasteltiin maastomalliaineiston käyttämistä erilaisissa suunnittelu-tehtävissä. Perustiedon hankintaan on käytetty internetiä ja kirjallisuutta sekä koulutus- ja luentomateriaaleja.

Maastotietoa kerätään useilla eri tavoilla. Uusimpana käyttöön on tullut liikkuva laserkeilaus tai maakeilaus. Laserkeilauksella voidaan saada tarkat kuvaukset maanpinnasta, tiestöstä ja rakennuskannasta. Kustannustehokkuudeltaan laserkeilaus on tänä päivänä useissa tapauksissa edullisempi vaihtoehto kuin perinteiset mittausmuodot. Maastotiedon keräämiseen tulee kiinnittää huomiota, jotta sitä voidaan hyödyntää jokaisessa suunnittelutehtävässä ja vältettäisiin tiedon keräämisen päällekkäisyyksiä. Kerran kerättyä maastotietoa tulisi kaikkien aineistoa tarvitsevien pystyä hyödyntämään, koska se on tehokas tapa toimia ja säästää kustannuksia.

Avainsanat: maastomittaus, maastomalli,

Author Lauri Kopposela

Subject of thesis Terrain Model
Number of pages 49

A digital Terrain Model is a basic tool for modern planning and it is used in many different ways. The terrain is described with a digital terrain model as it is in reality. Latitude, longitude and elevation Information is gathered for the model. The gathered geodetical information is presented in coordinates, which is needed for making terrain or object model.

This thesis studied what the terrain model is, witch planning objects are used and how a terrain model is formed. In addition, it was studied how the model is presented and how it is visualised. Quality is a difficult concept for model evaluation, so the quality production methods were also studied.

One of the main areas in this study was how the information is gathered from the terrain. A usage of a terrain model data in variety of engineering tasks were also examined. The internet and a literature as well as a training and lecture material was used for the basic information acquisition.

The Information for the terrain model is gathered in many ways. Latest way of information gathering is laser scanning from the vehicle. Scanning produces accurate surface, road and building data. Laser scanning is a more cost-effective method for information gathering than the traditional methods. How the terrain information is gathered is the main question for producing a terrain model. The information that is gathered once should be able to be used in all planning tasks. This is efficient and a cost saving way to work.

Key words terrain model, field survey

SISÄLTÖ

KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ	1
1 JOHDANTO	5
2 MAASTOMALLIT	6
2.1 NUMEERINEN MAASTOMALLI.....	6
2.2 NUMEERINEN KORKEUSMALLI.....	8
2.3 YMPÄRISTÖMALLI.....	12
2.4 KORKEUSMALLIT	13
2.5 MAASTOMALLIT TIESUUNNITELUSSA	17
3 MAASTOTIETOJEN KERÄÄMINEN	21
3.1 MITTAUSSUUNNITELMA	21
3.2 MITTAUKSET	22
3.2.1 <i>Satelliittimittaus.....</i>	23
3.2.2 <i>Laserkeilaus</i>	27
3.2.3 <i>Takymetrimittaukset</i>	34
3.3 MAASTOMALLIN EDITOINTI.....	34
3.4 MAASTOMALLIN TULOSTUS	35
3.5 MAASTOMALLISTA YMPÄRISTÖMALLIKSI	35
4 MAASTOMALLIN KÄYTTÖKOHTEET.....	36
4.1 MASSANLASKENTA	36
4.2 HAVAINNOLLISTAMINEN	36
4.3 MAASTOMALLIT SUUNNITELUSSA.....	40
4.4 MAASTOMALLISTA TUOTETUT AINEISTOT	40
4.5 MAASTOMALLIN KÄYTTÖKOHTEITA	42
5 MITTAUSTEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ	43
5.1 KOORDINAATISTOT	43
5.2 EUREF	43
6 LAATU	46
6.1 LAATUTAVOITTEET.....	46
6.2 LAADUNVARMISTUKSEN MENETTELYT.....	47
LÄHTEET.....	48

KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

RUNKOPISTE

Maastoon kiinteästi rakennettu piste, jolle on määritetty koordinaatit. Tasorunkopisteellä on vain tasokoordinaatit ja korkeusrunkopisteellä vain korkeus. Voidaan käyttää myös kolmiulotteisia runkopisteitä.

KOORDINAATISTO

Kaksi- tai kolmiulotteinen järjestelmä, jolla määritetään kohteen paikka. Kohteen paikka ilmoitetaan kahdella tai kolmella koordinaattiluvulla.

VALTAKUNNALLINEN KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ

Koordinaatisto tai joukko koordinaatistoja, jotka kattavat koko valtakunnan alueen. Suomessa käytetään valtakunnallisena tasokoordinaatistona KKJ:ä, joka koostuu neljästä kaistasta.

ETRS89

European Terrestrial Reference System 1989, 3D-koordinaattijärjestelmä, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan yhtenäiseen osaan ja yhtyy ITRS-järjestelmään epookkina 1989.0.

EUREF-FIN

ETRS89-järjestelmän realisaatio Suomessa

ETRS-GKn

ETRS89-järjestelmän kanssa käytettävä tasokoordinaatisto. GK tarkoittaa Gauss-Krüger-projektiota ja n keskimeridiaanin astelukua, esimerkiksi ETRS-GK24.

ETRS-TM35FIN

ETRS89-järjestelmän kanssa käytettävä tasokoordinaatisto. TM tarkoittaa Transverse Mercator -karttaprojektiota, 35 TM-kaistan numeroa ja FIN sitä, että kyseinen kaista on levennetty käsittämään koko Suomen.

LASERKEILAUS

Helikopterista tai lentokoneesta lasersäteellä suoritettava maaston mittaus. Keilaus voi tapahtua joko yhdellä liikkuvalla säteellä tai usean kiinteän säteen muodostamalla viuhkalla.

FOTOGRAMMETRINEN MITTAUS

Ilmakuvaukseen perustuva kartoitusmenetelmä, jossa kohteiden sijainti määritetään stereokuvaparin avulla. Kartoitus suoritetaan mekaanisella tai analyyttisellä stereokojeella. Käytössä on myös digitaalisia ratkaisuja, joissa kuvat ovat digitaalimuodossa.

MAASTOMITTAUS

Maastossa mittaamalla tapahtuva kohteiden sijainnin määrittäminen. Mittaus tapahtuu joko takymetrillä tai satelliittimittauksella. Korkeuksia määritetään myös vaaituksella.

PERUSPISTEISTÖ

Rakentamisessa käytettävä runkopisteistö, johon työmaan aikaiset muut mitaukset sidotaan. Peruspisteistö muodostaa hankkeelle koordinaatiston ja sen toimittaa suunnittelija.

TIHENNYSPISTEISTÖ

Rakentamisessa tihennyspisteet ovat maastoon kiinteästi rakennettuja pisteitä, jotka yhdessä peruspisteiden kanssa toimivat maastoon merkinnän ja muiden mittausten lähtöpisteinä.

KORKEUSJÄRJESTELMÄ

Järjestelmä, jonka suhteen tietyn alueen korkeudet on määritelty. Liittyy yhteen koordinaattijärjestelmän kanssa. Korkeusjärjestelmät voivat olla valtakunnallisia tai paikallisia.

KOORDINAATTIMUUNNOS

Matemaattisesti määritelty muunnos, jolla yhden koordinaattijärjestelmän koordinaatit voidaan muuttaa toiseen järjestelmään. Muunnokset voivat olla eriasteisia ja niillä saavutettava tarkkuus vaihtelee.

RUNKOPISTELUOKKA

Runkopisteistön hierarkiaa kuvaava luokka. Valtakunnalliset runkopisteet muodostavat luokat 1 – 3. Runkomittauksessa tietyn luokan mittaus sidotaan aina sitä ylempään luokan pisteisiin. Samassa mittauksessa ei voida määrittää pisteitä useampaan luokkaan.

JÄRJESTELMÄKALIBROINTI

Menetelmä, jolla voidaan tarkistaa kokonaisen mittausjärjestelmän toimivuus ja tulosten oikeellisuus. Järjestelmään kuuluvat mittauslaitteet, ohjelmistot ja järjestelmää käyttävät henkilöt.

TAKYMETRI

Maastomittauksessa käytettävä mittauslaite, jolla kulman- ja etäisyydenmittauksen avulla voidaan määrittää kohteille kolmiulotteiset koordinaatit.

SATELLIITTIMITTAUS

Maastossa tapahtuva mittaus, jolla voidaan määrittää kohteiden kolmiulotteiset koordinaatit taivaalla olevien satelliittien suhteen. Muunnoksilla voidaan satelliittikoordinaatit tämän jälkeen saada paikalliseen koordinaatistoon.

KALIBROINTI

Menetelmä, jolla jokin mittauslaite voidaan tarkistaa ja säätää antamaan virheettömiä tuloksia.

SULKUVIRHE

Mittauksissa ilmenevä ristiriita joko olemassa olevien koordinaattien suhteen tai saman mittauksen sisällä. Sulkuvirheen avulla voidaan arvioida mittauksen onnistumista tai lähtöpisteiden oikeellisuutta.

JÄÄNNÖSVIRHE

Tasoiuslaskennassa mittaushavaintojen ja koordinaateista määritettyjen vastaavien arvojen ero. Jäännösvirheen avulla voidaan avulla mittauksen tarkkuutta ja hajontaa.

TASOITUSLASKENTA

Menetelmä, jolla mittaustulos voidaan laskea useampien mittaushavaintojen avulla. Tasoiuslaskentaa käytetään, jos on suoritettu enemmän kuin minimimäärä mittaushavaintoja tulosten laskemiseksi. Tasoiuslaskennassa käytetään yleisimmin pienimmän neliösumman periaatetta.

NUMEERINEN POHJAKARTTA

Kartta, joka tallennetaan digitaalisessa muodossa tietokoneella. Karttaa voidaan tarkastella graafisena tietokoneen ruudulla ja siitä voidaan tehdä paperitulosteita tulostimella. Numeerinen kartta voi olla joko vektorimuotoinen tai rasterimuotoinen.

VEKTORIMUOTOINEN POHJAKARTTA

Numeerinen kartta, joka muodostuu viivoista, symboleista ja teksteistä. Kartan kohteita voidaan muuttaa ja poistaa. Karttaa voidaan suurentaa ilman, että sen graafinen ulkonäkö heikkenee.

RASTERIMUOTOINEN POHJAKARTTA

Numeerinen kartta, joka on muodostettu skannaamalla. Kartta koostuu riveinä ja sarakkeina määritellyistä pikseleistä. Kartan pikselikoko voi vaihdella. Rasterikartta voi olla mustavalkoinen, harmaasävyinen tai värillinen.

SKANNAUS

Graafisen dokumentin, esimerkiksi kartan digitointi riveiksi ja sarakkeiksi. Skannaus voidaan tehdä mustavalkoisena, harmaasävyisenä tai värillisenä.

KARTAN LEHTIJAKO

Kartoitettavan alueen jakaantuminen karttalehtiin. Karttalehdille määritellään koko, sijainti ja kierto koordinaatistossa. Kartan mittakaava määrää kartan peittämän alueen maastossa.

FORMAATTI

Digitaalisen kuvan, kartan tai maastomallin tallennusmuoto tietokoneella. Digitaalinen kuva tallennetaan aina rasterimuotoisessa formaatissa. Maastomallilla ja kartalla voidaan käyttää sekä vektorimuotoista että rasterimuotoista formaattia.

ELEMENTTIJAKO

Kartan kohteiden sijoittuminen eri tasoille. Graafisella kartalla elementit tulostetaan omille muoveilleen, esimerkiksi korkeuskäyrät ja pohjakuviot. Numeerisella kartalla elementtijako tarkoittaa kohteiden sijoittumista ohjelmiston käyttämille tasoille. Numeerisella kartalla voidaan elementtijako myös muuttaa.

MAASTOMALLI

Numeerinen tiedosto, jolla kuvataan maaston sijaintia ja muotoa kolmiulotteisesti. Maastomalli voi koostua hajapisteistä, siinä voi olla lisänä taiteviivat tai se voi muodostua säännöllisestä ruudustosta. Ruudustoon perustuva maastomalli voidaan esittää myös rasterimuotoisena.

DIGITAALINEN KUVAUS

Digitaalisella kameralla suoritettu ilmakuvauk. Kuvat tallennetaan jollekin tietovälineelle. Digitaalista kuvaa voidaan käsitellä kuvankäsittelyohjelmilla.

TUKIPISTEISTÖ

Maastossa sijaitsevat koordinaatein varustetut pisteet, joita käytetään mittausmenetelmien lähtöpisteinä. Tukipisteitä tarvitaan esimerkiksi fotogrammetrisessä mittauksessa ja laserkeilauksessa

KOODAUS

Mitatun kartan tai maastomallin luokittelu siten, että kullakin kohteella on laji. Koodausjärjestelmiä voi olla useita erilaisia.

SFS -STANDARDI

Laaduntarkastukseen määritelty yleinen teollisuus-standardi, jossa on määritelty näytteenottoon perustuvan tarkastelun menettelyt.

ORTOKUVA

Ilmakuva, josta on poistettu keskusprojektiosta aiheutuva maastovirhe. Ortokuva vastaa karttaa.

ORTOKUVAMOSAIKKI

Useista ortokuvista koottu, tietyn alueen peittävä kuvayhdelmä. Kuvien väliset saumat on häivytetty, jolloin mosaiikki näyttää yhtenäiseltä.

MITTAKAMERA

Ilmakuvakamera, jota käytetään fotogrammetriseen kartoitukseen tarkoitettujen ilmakuvien ottamiseen. Kameran geometrinen tarkkuus on hyvä.

EROTUSKYKY

Digitaalisen kuvan pikselin koko. Erotuskyky määrää, miten pieniä kohteita kuvalta voidaan erottaa.

ULKOINEN ORIENTOINTI

Ilmakuvan sijainti avaruudessa. Orientointi määritellään kuvanottopaikan kolmiulotteisilla koordinaateilla ja kuvan kiertokulmilla kolmen koordinaattiakselin suhteen.

1 JOHDANTO

Tässä työssä on päivitetty aiemmin valmistunutta insinööriytäni, joka on suurelta osin teknisesti vanhentunutta asiantietoa sisältävää. Tässä työssä on tutkittu maastomallin muodostamista, miten ja millaista tietoa maastomallia varten kerätään. Laatuksymyksiä on myös tutkittu työn yhteydessä. Tutkimus on teorialtutkimus. Tutkimuksen lähtökohtana oli tutkia tiedonkeruumenetelmiä maastomallin tuottamiseksi. Lisäksi tarkasteltiin maastomalliaineiston käyttämistä erilaisissa suunnittelutehtävissä. Perustiedon hankintaan on käytetty internetiä ja kirjallisuutta sekä koulutus- ja luentomateriaaleja.

2 MAASTOMALLIT

2.1 Numeerinen maastomalli

Maastomalli on nykyaikaisen suunnittelun perustyökalu, jota voidaan hyödyntää monilla eri aloilla. Maastomallilla kuvataan olemassa olevaa tilannetta maastossa. Mallia varten kerätään maanpinnasta korkeustietoa ja korkeuspisteen sijaintitietoa. Kerätty maastotieto esitetään koordinaatistossa x-,y- ja z-lukuina. Se sisältää useita päällekkäisiä ja keinotekoisia rakenteita kuten maalajit, metsäluokitukset tai maanarvot ja se rakentuu pääosin maaston hajapisteistä sekä taiteviivoista. Maastomallista saatavia tietoja ovat esim. maaston korkeuden vaihtelut.

Maastomalli muodostetaan maastosta mitatusta tiedosta ja pyrkimyksenä on maaston kuvaaminen tarkasti tai ainakin tehtävän vaatimalla tarkkuudella. On kehitetty erilaisia tiedon keräämismenetelmiä, jotka helpottavat maaston mittaamista. Mittaustietoa on nykyisin helppoa saada kustannustehokkaasti ja nopeasti joka helpottaa suunnittelua.



Kuvio 1. Ilmakuva johon on liitetty pohjakartta muodostaa yksinkertaisen maastomallin.

Maastomallista saatavan tiedon hyödyntäminen on kasvattanut merkitystään koko ajan ja sen käyttämiselle tutkitaan koko ajan uusia sovelluksia. Ohjelmistokehittäjät pyrkivät kehittämään ohjelmistojaan sekä sovelluksia, joiden avulla maastomallin hyödyntämistä kasvatetaan ja sovelletaan uusille aloille. Maastomallin kehittyminen massanlaskennan perustehtävistä visuaaliseen havainnollistamiseen on ollut luonteva jatkumo maaston kuvaamiselle.

Maastomallia hyödynnetään suunnittelussa enemmän ympäristömallina, jossa suunnitellaan suoraan maastomallin päälle. Suunnittelua tehdään enemmän 3D mallina, josta saadaan reaaliaikaista tietoa eri vaihtoehtojen vaikutuksesta. Ohjelmasta saadaan vaikkapa massanlaskentatiedot päivittymään automaattisesti taulukkoon. Kustannuslaskenta helpottuu kun massatiedot saadaan suoraan luettua ohjelmistosta kustannuslaskentaan. Kaavoitusta ja ympäristön suunnittelua varten voidaan rakennukset sijoittaa havainnointia ja suunnittelutehtävän onnistumisen arviointia varten suoraan maastomalliin. Ympäristön mallintaminen helpottaa eri osallisten vuoropuhelua sekä helpottaa vaikutusten arviointia.

Numeerinen maastomalli tarvitaan atk-avusteisen suunnittelun lähtöaineistoksi. Sitä tarvitaan vaaka- ja pystygeometrian suunnittelussa, tierakenteen mallintamisessa, kuivatuksen suunnittelussa, tilavuuslaskennoissa sekä lunnastettavan tiealueen suunnittelussa.

Nykyään maastomallista puhuttaessa tarkoitetaan digitaalista eli numeerista maastomallia DTM (Digital Terrain Model), joka on tietokoneen muistissa oleva lähtöpisteiden tasokoordinaattien avulla tietyllä tavalla järjestetty maaston ominaisuuksia kuvaava ja käsittelevä järjestelmä. DTM tuotetaan esim. fotogrammetrisesti kerätystä numeerisesta aineistosta. Digitaalinen maastomalli voi parhaimmillaan olla numeerinen karttajärjestelmä, johon on liitettyinä kolmiulotteisen maanpinnan jatkuva esitys sekä mahdollisesti muita kuvattavia ominaisuuksia kuten maalajit, maan arvo ja jne. (KIVELÄ, J., 1991.)

DTM Digital Terrain Model, (digitaalinen) maastomalli on maastoa kuvaava digitaalinen malli, joka voi korkeustiedon lisäksi sisältää muuta tietoa, kuten esimerkiksi hydrologisen verkoston ja muita maaston taitelinjoja, maa- ja kal-

lioperän ominaisuuksia sekä maan pinnalla olevia kohteita. Digitaalisen maastomallin tärkein osa on korkeusmalli. (MMM, 2006.)

Maastomallilla pyritään kuvaamaan maastoa kokonaisuudessaan sellaisena, kuin se on luonnossa, joten siinäkin voi olla mukana ympäristökohteita kuten taloja, puita ym. Malli on kuitenkin ns. rautalankaversio, joten kohteet muodostuvat pelkistä viivoista ei pinnoista.

2.2 Numeerinen korkeusmalli

Digitaalinen korkeusmalli DEM (Digital Elevation Model), on numeerisen maastomallin erikoismuoto, joka on pisteittäisellä korkeudenmittauksella aikaansaatu maaston muotojen esitys. Numeerisella korkeusmallilla pyritään mallintamaan maaston korkeuden vaihteluita ja korvaamaan korkeuskäyrien mittaus. Korkeusmallin pisteillä on kolme ulottuvuutta (x,y,z) ja pisteitä yhdistetään toisiinsa säännöllisellä ruutu- tai kolmioverkolla. DEM:stä voidaan johtaa uusia tietoja maaston muodoista kuten kaltevuuksia ja kaarevuuksia. (ACKERMANN,F.,1976.)

DEM Digital Elevation Model (digitaalinen) korkeusmalli on digitaalinen tieto topografiasta (ja syvyydestä) kaikissa esitysmuodoissaan, sekä menetelmä, jolla korkeus tallennettujen havaintojen välissä implisiittisesti tulkitaan. Esittää tavallisesti paljaan maan pinnan korkeutta ilman kasvillisuutta ja rakennuksia, mutta voi sisältää ihmisen tekemiä maarakennelmia, kuten pengerryksiä. Yleisimmät korkeusmallin esitysmuodot ovat säännöllinen hila (gridi) ja kolmioverkko. (TIN). (MMM, 2006.)

DSM Digital Surface Model, (digitaalinen) pintamalli. Pintamalli on samankaltainen kuin korkeusmalli, mutta se kuvaa maaston ja sen päällä olevien kohteiden ylintä pintaa. Pintamallissa esitetään esimerkiksi puiden latvuston ja rakennusten kattojen korkeus. (MMM, 2006.)

Gridi Korkeusmallin säännöllinen pistehila-esitystapa sopii hyvin tietokoneen ohjelmistoon eli suurtenkin aineistojen käsittely on suoraviivaista ja helppoa. Mallin muodostaminen tapahtuu interpoloimalla havaintoarvot hilan ”noodipisteisiin”, jotka muodostavat säännöllisen verkon. Säännöllinen hila voi olla

neliön muotoinen, suorakulmainen, tai monimutkaisempi heksakuvio ("mehiläiskkenno"); tai kolmiotyyppinen. (MMM, 2006.)

Korkeusmallien jaottelu

Korkeusmallituotteet voidaan jakaa sijaintitarkkuuden ja tietosisällön mukaan seuraavasti (Onkalo, 1998):

- tarkat maastomallit,
- yleispiirteiset maastomallit,
- ympäristömallit.

Tarkkojen maastomallien tärkein käyttö on tie- ja rakennesuunnittelussa.

Malli mitataan stereokartoituksen taiteviivoina ja hajapisteinä. Yli 10 metrin pisteväliä ei saa käyttää. Peitteiset alueet rajataan ja täydennetään maastomittauksin.

Tarkkojen maastomallien tarkkuusvaatimukset ovat:

keskipoikkeama korkeintaan 100 mm,

suurin poikkeama korkeintaan 250 mm.

Yleispiirteisiä korkeusmalleja käytetään alue- ja kaupunkisuunnittelun tehtävissä sekä mm. näkyvyys-, melu-, valuma- ja etenemismalleja hyödyntävissä alueellisissa inventointitehtävissä.

Mallien korkeushavainnot voidaan tuottaa kartoitusmittauksin tai korkeuskäyriä digitoiden.

Digitaalinen korkeusmalli on kolmiulotteinen pintamalli, joka sisältää maanpinnan korkeustiedot tasokoordinaattien funktioina. Korkeusmalli on tulkittua tietoa maanpinnan muodoista. Tiedonkeruu voi perustua valokuvaukseen, tutkakuvaukseen tai laserkeilaukseen. Korkeusmalleja tuotetaan sekä ilmatietä satelliittikuvauksista. Mittaus voi olla manuaalista tai automaattista. Aiemmin oli varsin yleistä, että korkeusmalli laskettiin korkeuskäyristä.

Korkeusmallit voidaan perusmuodoiltaan esittää joko kolmioverkkona vektorimuodossa tai ruutuverkkona rasterimuodossa. Kolmioverkkona esitettäessä maanpinta yleistetään koostuvaksi tasomaisista pinta-alkioista, jotka liittyvät saumattomasti toisiinsa. Stereo-operaattori tulkitsee maanpintaa stereomallilta ja valitsee ne pisteet, joista kolmiot muodostuvat. Käytännössä mitataan ensin taiteviivat, joihin kolmiot rajoittuvat, ja sen jälkeen maaston pinta. Kolmioiden nurkkapisteet muodostavat epäsäännöllisen mutta järjestäytyneen pistejoukon, jonka koordinaatit tunnetaan (kolmio- eli vektorimalli, TIN-malli). Mitä pienempinä kolmioina maanpinta havaitaan, sen tarkemmin sen muoto määrittyy. Toisaalta tasaisilla alueilla mitattavien pisteiden määrä jää vähäisemmäksi.

Ruutuverkkona esitettäessä maastonmuotojen tulkinta korvataan suurella pistemäärällä. Tätä käytetään erityisesti automaattisissa mittauksissa ja maanpinnan korkeus mitataan tasavälein (ruutu- eli rasterimalli). Ruutuverkossa maaston äärimuodot jäävät havaitsematta ja suodattuvat mallista.

Tarkimmissa korkeusmalleissa näytteenotto tehdään aina kolmioverkkona, joka muodostuu taiteviivoista ja hajapisteistä. Nämä voidaan liittää automaattisesti tulkittuun rasterimalliin, hybridimalliin.

Säännöllisen ruutumallin etuna kolmiomalliin verrattuna on interpoloitavan pisteen välitön kohdistuvuus oikeaan ruutuunsa koordinaattien mukaan. Kolmiomallissa pistettä vastaava kolmio on aina etsittävä laskemalla.

Korkeusmallien kuva-aineisto

Tarkoissa mittauksissa kuvauskorkeus on 500 m, kuvamittakaava 1: 3'000, esimerkkinä tierakennus

ympäristömalleissa kuvauskorkeus on 1500 m - 2000 m, kuvamittakaava 1: 9'000 - 1: 15'000, esimerkkinä vesirakennus

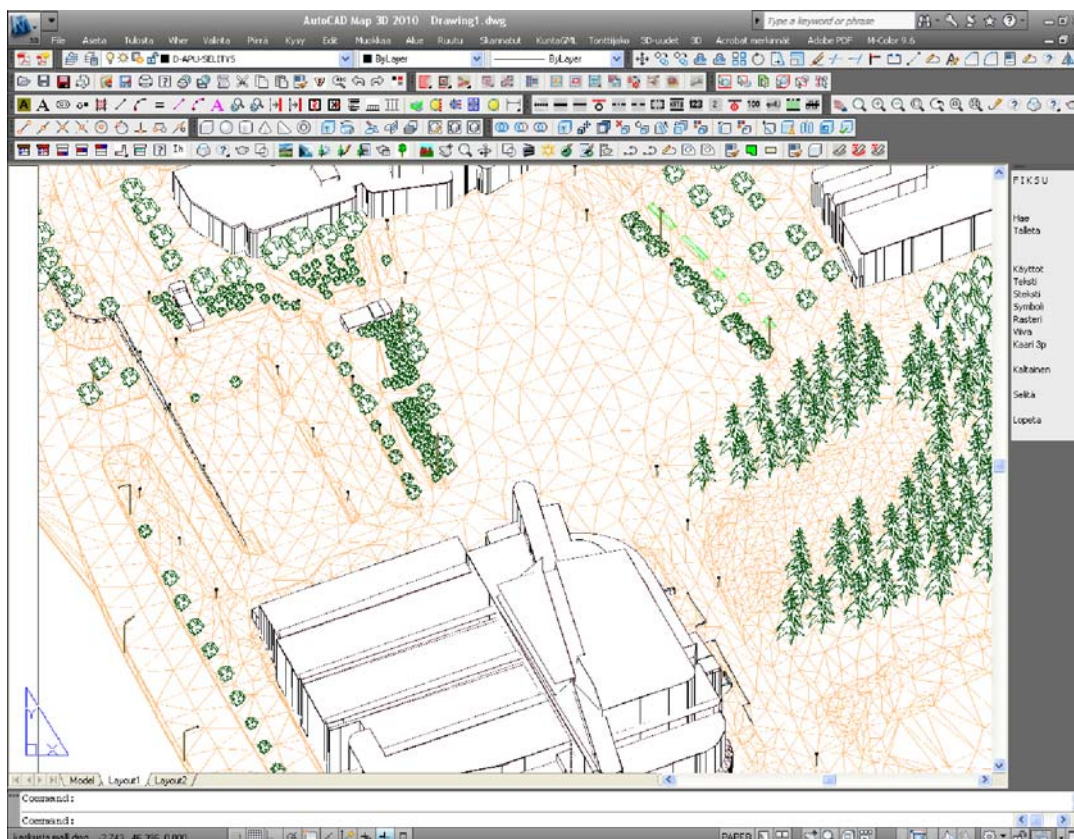
Korkeusmallin pistehavaintojen korkeustarkkuus riippuu kuvauksen kantasuhteesta ja kuvamittakaavasta. Kirjallisuudessa tarkkuus esitetään yleisesti kuvauskorkeuden mukaan ja on ollut analogiakojeilla luokkaa 1.5 - 3 %o kuvauskorkeudesta, analyyttisillä 0,15 %o lentokorkeudesta. Tarkoissa mittauksissa se on alle 10 cm. SPOT:in pankromaattisista kuvista 10 metrin ruu-

tukooilla tehdyillä korkeusmalleilla korkeusmallin mittaustarkkuus on luokkaa 10–15 m.

Korkeusmalleja käytetään mm ortokuvatuotannossa, tienrakennuksen inventointi- ja suunnittelutehtävissä, alueellisissa ympäristöselvityksissä, matkapuhelinverkkojen suunnittelutehtävissä, maisemien visualisointitehtävissä sekä erilaisissa selvityksissä.

2.3 Ympäristömalli

Ympäristömalli kuvaa maanpinnan lisäksi puita ja taloja.



Kuvio 2. Ympäristömalli cad ohjelmistossa

Tietokonetekniikan kehittyessä ja osaamisen kasvaessa ollaan siirtymässä maaston kuvaamisessa yksi askel eteenpäin. Ympäristömallissa (kuvio 2) pelkkä maanpinnan kuvaaminen ei riitä vaan siihen liitetään rakennuksia, puita ja muuta sellaista tietoa, jolloin kuvasta saadaan realistisempi. Tällä mallilla voidaan paremmin ottaa huomioon maastossa tapahtuvat rakentamisen vaikutukset. Mallin perusteella voidaan esimerkiksi arvioida ympäristölle aiheutuvia meluhaittoja jo suunnitteluvaiheessa liitämällä malliin nk. melumalli taikka ranta-alueilla kaavoituksen ja rakentamisen aiheuttamia maisemallisia haittoja. Ympäristömallit sisältävät korkeusmallin lisäksi myös rakenteet ja maaston.

Ympäristömalli voi olla myös tarkka 3-D malli esimerkkeinä kaupunki- tai tilamalli. Fotorealistinen ympäristömalli on pintamalli, jossa geometrisiin pintoihin on projisoitu valokuvan tekstuuri.



Kuvio 3. Havainnekuva tarkka 3-D malli

Sekä ympäristömallien että fotorealististen mallien tiedonkeruu perustuu pääasiassa ilma- ja maakuvauksiin.



Kuvio 4. Havainnekuva tarkka 3-D malli

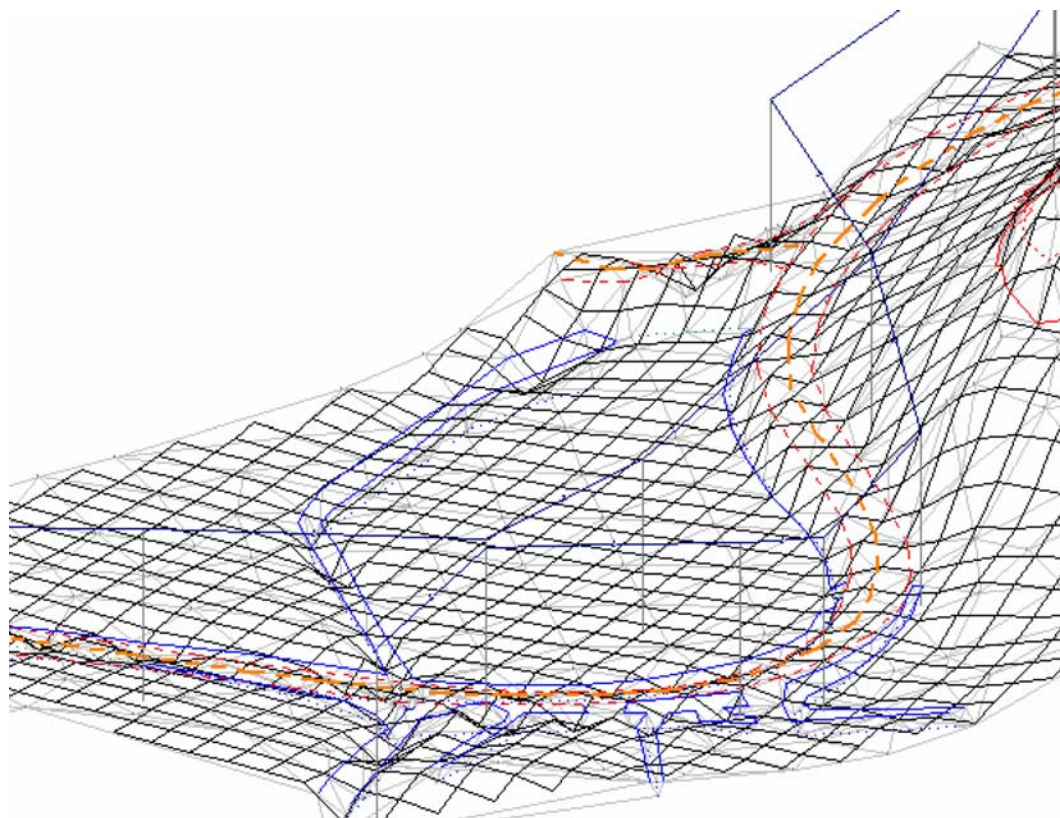
2.4 korkeusmallit

Numeerinen korkeusmalli on malli, joka sisältää alueen korkeustiedon. Korkeusmallia voidaan visualisoida erilaisin keinoin. Korkeuskäyrät ovat perinteisin ja yleisin tapa korkeuden visualisointiin. Kuitenkin kun 3D mallinnuksessa mailia voidaan pyörittää, käyrien antama korkeusvaikutelma usein katoaa. TIN- malli (triangular irregular network) eli epäsäännöllinen kolmiomalli koostuu kolmioista, joiden kärkipisteet sijaitsevat mitatulla korkeudella. Malli voidaan esittää rautalankamallina, kolmiot voidaan täyttää värillä tai kukin kolmio voidaan sävyttää sen mukaan, missä kulmassa ja missä korkeudessa ne sijaitsevat valonlähteeseen nähden. TIN-mallilla päästään maaston yksityiskohtaiseen mallintamiseen.

TIN Triangulated irregular network. Korkeusmallin kolmiointi-esitystapa. Tässä valitaan ja mitataan maastosta ”edustavia pisteitä” ja ne kytketään yhteen väliviivojen avulla muodostaen kolmioiden peite. (MMM, 2006.)

Epäsäännöllinen kolmioverkkorakenne on lähes poikkeuksetta uusimpien korkeusmallien perusrakenteena. Rakenteen avulla pystytään riittävän tarkasti kuvaamaan maastoa, ja tiedonkeräyksessä ei olla sidoksissa mihinkään kaavamaisuuksiin. Epäsäännöllinen kolmioverkkorakenne soveltuu hyvin kaitentyyppiin, myös säännöllisiin, lähtöpisteistöihin. Lähtöpisteistön keräyksessä voidaan käyttää joustavasti, niin maastomittausta, karttadigitointia kuin fotogrammetrista mittaustakin, mikä on rakenteen yksi parhaita etuja. Merkittävää on myös se, että lähtöpisteet ovat alkuperäisiä, mitattuja korkeuspisteitä, joiden tarkkuus on parempi kuin interpoloitujen lähtöpisteiden. Haittapuolen voidaan pitää kolmiointiohjelman varsin työlästä toteuttamista.

Mallirakenteen vaatimat lähtöpisteet ovat yleensä maanpintaa parhaiten kuvaavia erikoispisteitä ns. karakteristisia pisteitä. Epätasaisilla alueilla pisteitä on tiheässä ja tasaisilla alueilla harvassa. Näin vältetään turhan tiedon tallentaminen. Lähtöpisteet yhdistetään suoraan kolmioverkkorakenteeksi naapurussuhteidensa perusteella siten, että jokainen kolmio on jatkuva avaruuspinta, jonka sivujen päätepisteet on määritelty 3-ulotteisessa koordinaatistossa. Säännöllisiin verkkoihin verrattuna joudutaan tallentamaan enemmän tietoa itse verkosta: nurkkien koordinaatit ja kunkin nurkan vastapäiset kolmiot. Lähtöpisteiden määrä on kuitenkin usein niin paljon vähäisempi, että tallentettavan tiedon kokonaismäärä on pienempi kuin säännöllisissä verkoissa. Ruutumalli koostuu säännönmukaisesta matriisista, jossa neliöiden jokaisella kulmalla on oma korkeus. Kulmien korkeudet eivät ole tarkasti oikeita vaan ainoastaan mahdollisimman lähellä alkuperäisiä korkeuksia.



Kuvio 5. Säännöllinen verkko

Säännöllistä verkkoa käytettäessä merkittävämpiä ongelmia ovat: säännöllisen verkon interpolointiin kuluu runsaasti laitekapasiteettia, maaston vaihtelun huomioonottaminen on mahdollista vain tarkentuvasti kerätyllä aineistolla, mittauspisteet eivät ole mallissa yleensä sellaisenaan mukana, jyrkänteiden ja taiteviivojen tyydyttävään esitykseen vaaditaan melko monimutkainen tekniikka. (Niskanen 1993, s.21.) Käytettäessä kolmioverkkoa lähes kaikilta yllä mainituilta ongelmilta voidaan välttyä. Kolmiointitekniikasta riippumatta kolmiomalli muodostuu erilaisista usein lähes tasasivuisista kolmioista ja verkon tiheys on suoraan verrannollinen mitattujen pisteiden tiheyteen. Maastomallin lopullinen mallinnuskyky määräytyy näin jo mittausvaiheessa. Useimmissa kolmioverkkoon perustuvissa sovelluksissa maaston pinnanmuotoja approksimoidaan tasokolmioilla; joidenkin sovellusten malli parantaa kuitenkin kolmiomallin jatkuvuutta taiteissa. (Niskanen 1993, s.21.)

On huomattava ettei kolmioverkkokaan takaa mallinnuksen onnistumista, sillä mittauspisteiden valinta on ensisijaisen tärkeää mallinnuksen lopputuloksen kannalta. Epäsäännöllisen kolmioverkon käyttö vain mahdollistaa järkevästi mitatun pisteistön tehokkaan käytön mallinnuksessa. Huolimattomasti

valitut pisteet aiheuttavat kolmioverkossakin suuria virheitä. Kohtalaisen tiheä ruutumaisesti mitattu pisteistö on lahjomaton ja sillä voidaan päästä teoriassa yhtä laadukkaaseen tulokseen kuin hajapisteistöilläkin. Ruutumittauksen käytännön ongelmat peitteisillä alueilla ja taitteisessa maastossa puoltavat kuitenkin epäsäännöllisen, taiteviivoin mitatun pisteistön käyttöä. (Niskanen 1993, s.14,s.21.)

Gridi on Korkeusmallin säännöllinen pistehila-esitystapa. Sopii hyvin tietokoneen "ajattelutapaan" eli suurtenkin aineistojen käsittely on suoraviivaista ja helppoa. Mallin muodostaminen tapahtuu interpoloimalla havaintoarvot hilan "noodipisteisiin", jotka muodostavat säännöllisen verkon. Säännöllinen hila voi olla neliön muotoinen, suorakulmainen, tai monimutkaisempi heksakuvio, mehiläiskenno; tai kolmiotyyppinen. (MMM, 2006)

Eri käyttäjäryhmistä riippumatta voidaan korkeusmallille asettaa yleisiä ominaisuuksia, jotka hyvän korkeusmallirakenteen on sisällettävä:

- Lähtötiedot on voitava hankkia maastomittauksin, karttadigitoinnilla ja fotogrammetrisin menetelmin. Kaikkia em. mittaustapoja on voitava käyttää rinnakkaisesti ja toisistaan riippumatta.
- Lähtöpisteistöä on voitava täydentää myöhemminkin.
- Lähtöpisteistöön on voitava sisällyttää maaston taite ja rakennelinjat omina viivatyyppeinään.
- Mallin rakenteen on oltava joustava , ts. se ei saa olla sidottu tietutyypin pisterakenteeseen.
- Mallia on voitava korjailla.
- Mallilta laskettavien tietojen saantiajan on oltava pieni, mutta laskenta ei saa kuluttaa tietokone resursseja kohtuuttomasti.
- Mallin on jäljiteltävä maastoa mahdollisimman hyvin, mutta toisaalta rakenteen on oltava yksinkertainen.
- Mallin käsittelyssä on voitava hyödyntää graafista ATK -tekniikkaa

(Kivelä 1987, s.35.)

2.5 Maastomallit tiesuunnittelussa

Tiesuunnittelun vaatima numeerinen maastomalli voidaan laatia hyvinkin erilaisilla menetelmillä. Käytettävästä menetelmästä huolimatta on tärkeitä sopia tuloksena olevan mallin ominaisuudet yksikäsitteisesti. Kaikki sallitut poikkeamat standardinmukaisesta menettelystä on oltava tiedossa työtä suunniteltaessa.

Maastomallin laatimismenetelmästä riippumatta siinä voidaan erottaa seuraavat työvaiheet:

1. mittaussuunnitelma
2. mittaukset
3. maastomallin editointi
4. maastomallin tulostus.

Maastomallin käyttö tiesuunnittelussa merkitsee hyvin suurta muutosta maastotietojen keruuseen verrattuna perinteiseen linjasidonnaiseen suunnitteluun. Tien vaaka- ja pystygeometriasta sekä rakenteen pohjana olevista poikkileikkauksista on siirrytty kolmiulotteiseen rakennemalliin. Suunnittelun alkuvaiheessa muodostetaan suunnittelun kohteena olevasta maastokäytävästä maastomalli ja pohjatutkimusrekisteri. Maastomalliin tallennetaan maanpinnan pisteiden x-, y- ja z- koordinaatit. Taiteviivat kuten ojat nykyiset tiet yms. tallennetaan erikseen. Lisäksi voidaan tallentaa maankerrosrajojen ja kalliopinnan pisteitä.

Uusimmat maastomalliohjelmistot voivat mallintaa useita päällekkäisiä pintoja ja rakenteita. Lisäksi niihin liittyy kiinteästi jokin tiedonhallintaohjelmisto, joka mahdollistaa ominaisuustietojen kytkemisen geometrisiin kohteisiin. Uusimmat maastomalliohjelmistot sallivat myös suunniteltujen rakenteiden mallintamisen rakenpintoina.

Maastomalli muodostaa suunnittelijan käyttöön maastotietovaraston, jota hyödynnetään ohjelmiston toiminnoilla. Tyypilliset maastomallin käyttöön liittyvät toiminnot ovat: korkeuksien interpolointi pinnoilta, pituus- ja poikkileikkaus-

ten interpolointi pinnoilta, korkeus tai syvyyskäyrästä laskenta, perspektiivikuvien tuottaminen ja karttaesityksien tuottaminen. (Suominen)

Tiehanke etenee monivaiheisena, loppua kohti tarkentuvana prosessina. Tiesuunnitelma koostuu seuraavista vaiheista jotka ovat tieverkkosuunnittelu, tarveselvitys, yleissuunnitelma, tiesuunnitelma ja rakennussuunnitelma. Tätä tarkastelemalla selviää missä vaiheessa tarkka maastomalli tulee ajankohtaiseksi. Suunnitteluhankkeet jaetaan niiden tie ja yhteiskuntapoliittisten vaikutustensa perusteella kehittämis- ja ylläpito-hankkeisiin. Ylläpito-hankkeet aiheuttavat vain vähän muutoksia yhdyskuntarakenteeseen kun taas kehittämissuunnitelmat ovat alueellisesti tai jopa valtakunnallisesti huomattavia. (Niskanen 1993, s.83-84.)

Tieverkkosuunnittelun tarkoitus on ottaa huomioon maankäyttö tiesuunnittelussa. Tämä perustuu tieverkon nykytilaan, tavoitteisiin ja ennusteisiin. Tarveselvityksessä määritellään hankkeen tavoitteet, toimenpiteet ja niiden kustannukset. Ensin määritetään liikenteen nykytila, jonka jälkeen tutkitaan hankkeen vaikutuksia esim. elinkeinoelämään ja liikenteellisiä vaikutuksia ympäristöön. Hankkeen aikana joudutaan joskus ratkaisemaan linjavaihtoehtojen paremmuus. Hankepäätöksessä todetaan ja hyväksytään hankkeen tavoitteet. Päätöksen perusteella voidaan aloittaa yleissuunnittelu.

Yleissuunnitteluvaiheessa sovitetaan tiesuunnittelu yhteen muun maankäytön kanssa. Yhteen sovitettavia asioita ovat ainakin tielinjauksen alustava suunnittelu, liikennetekninen mitoitus, YVA ja ympäristönhoidon suunnittelu. Yleissuunnitelman tulee noudattaa alueella olevaa kaavaa. Tiesuunnitteluvaihe alkaa yleissuunnittelun jälkeen. Tiesuunnitelma on oikeudellinen asiakirja, jonka perusteella tehdään päätös tien rakentamisesta. Rakennussuunnitelmassa esitetään tarkasti kaikkien rakenteiden ja yksityiskohtien mitat ja paikat. Rakennussuunnitelma on tiesuunnitelman mukainen ja suunnittelijan on pysyttävä vahvistetulla tiealueella. Rakennussuunnitelma sisältää piirustustiedot rakentamista varten. Maastomalli tulee kuvaan yleissuunnitteluvaiheessa, jolloin mitataan likimääräinen malli harvalla pistevälillä, mikä mahdollistaa alustavat massavertailut Tiesuunnitteluvaiheessa tulee käyttöön tarkka numeerinen maanpinnan malli. Maastoa ei aina kuvata kahdessa vaiheessa, mutta on edullista tehdä maastomallialue kapeana käytävänä.

Maastomallin mallinnustarkkuus

Maastomallin mallinnustarkkuus riippuu sen muodostavien maastopisteiden määrästä ja jakautumasta sekä mallin interpolointitavasta. Nykyisin suunnittelussa käytettävät ohjelmistot ovat interpolointitavan suhteen hyvin vertailukelpoisia. Useimmat mallit käyttävät taiteviivoin täydennettyä epäsäännöllistä kolmioverkkoa ja suoraviivaista interpolointitapaa. Vertailtaessa eri mallien samasta maastopisteistöstä antamia interpolointituloksia, erot ovat niin pieniä, että niillä ei ole juuri käytännöllistä merkitystä. Näin ollen maastomallin mallinnustarkkuus riippuu yksinomaan sen muodostavan maastopisteistön määrästä ja jakaumasta. Mallinnustarkkuuden määrittely pisteistön mittaustarkkuuden lisäksi on ehdoton vaatimus, ennen kuin mitään mittauksia voidaan suorittaa. Sikäli onkin valitettavaa, että Tielaitoksen uudet mittausohjeet eivät ota mitään kantaa tähän. Jokainen mittaustyöntekijä tai -tilaaja joutuu määrittelemään kullekin hankkeelle vaadittavan mallinnustarkkuuden. Mallinnustarkkuuden määrittely on kaksitahoinen kysymys. Toisaalta sillä kontrolloidaan, että malli antaa riittävän tarkkuuden. Toisaalta kontrolloidaan, että malli ei anna liian hyvää tarkkuutta, jolloin mallia varten on yleensä mitattu liian paljon pisteitä. Liian suuri pistemäärä nostaa yksikköhintatyössä kustannuksia ja aiheuttaa tarpeettomia lisäkustannuksia mallin ATK - käsittelyssä. (Suominen.)

Laserpisteiden ja ortokuvien sijainnin vertailu on osa pisteiden käsittelyä ja tuotteen laadunvalvontaa. Vertailussa ei tutkita yksittäisten pisteiden sijaintia vaan maanpinnan maastomallin korkeutta maanpinnan vertailupisteisiin. Vertailupisteitä tulee olla tasaisesti koko kartoitusalueella. Pistepilviä nostetaan tai lasketaan vertailuraportin mukaan tarkan lopputuloksen aikaansaamiseksi. Maastomallin tarkkuutta arvioitaessa on otettava huomioon, että tarkkuus riippuu siitä, onko vertailupinta kova asfaltti vai epämääräisempi ruohikko tai metsä. Toisekseen mitä suurempi pistetiheys, sitä paremmin voidaan erottaa niin maanpinnan kuin muidenkin kohteiden yksityiskohtia. Vaikka maastomallin näkökulmasta pistetiheyden lisäys ei olisi välttämätöntä, niin parempi pistetiheys mahdollistaa automaattisemman tiedon prosessoinnin. Jos pistetiheys on 2–3 pistettä/m², voidaan automaatiota lisätä merkittävästi esimerkiksi seuraavissa sovelluksissa:

– kohteen ja pisteparven automaattinen luokitus (mm. rakennukset)

- yksittäisten puiden ja puuryhmien automaattinen rajausta (mm. taimikot)
- kohteen muutostulkinta.

Jatkossa saattaakin olla kokonaistaloudellisempaa keilata suuremmalla piste-
tiheydellä ja käyttää automaattisempaa prosessointia halutun lopputuloksen
saavuttamiseksi. Lentokorkeuden kasvaessa tulee huomioida, että osumien
tarkkuus ei välttämättä juuri heikkenee, mutta samoilla keilausasetuksilla pis-
tetiheys voi vähentyä merkittävästi. Lentokorkeus ei ole ongelma, jos ilmaku-
vaus keilauksen aikana edellyttää alemmaa korkeutta kuin mitä pelkkä keilaus
edellyttäisi.

3 MAASTOTIETOJEN KERÄÄMINEN

3.1 Mittaussuunnitelma

Kaikki mittaus toiminta tulee perustua mittaussuunnitelmaan, joka muodostuu suunnitteluvaiheen edetessä ja täydentyy rakentamismittausten vaatimiin yksityiskohtaisiin mittaussuunnitelmiin.

Mittaussuunnitelmaselostuksessa esitetään mittaus toimintaan vaikuttavia ja mittausympäristöä koskevia perus- ja tunnistetietoja mm rakennushankkeen nimen ja sijainnin, rakennussuunnitelman laatijan, mittaus-suunnitelman laatijan, mittaussuunnitelman tasokoordinaattijärjestelmän ja mittaussuunnitelman korkeusjärjestelmän.

Mittausperustan tiedot

- selvitys lähtö- ja runkopisteiden alkuperästä
- luettelo lähtö- ja runkopisteistä tunnuksineen ja koordinaatteineen
- luettelo pisteselityskorteista
- pisteselityskortit lähtö- ja runkopisteistä.

Selostukseen voidaan liittää tietoja mm. kuntien ja Tiehallinnon yhteishankkeista ja hankkeen eri osista.

Mittausperusta

Mittausperustalla tarkoitetaan tiehankkeessa käytettäviä taso- ja korkeuskiintopisteitä, joiden perusteella kaikki tien rakentamisessa tarvittavat yksityiskohdat voidaan mitata riittävällä tarkkuudella. Mittausperusta muodostuu suunnitteluvaiheen perus- ja käyttöpisteistä, joita täydennetään tihennyspisteillä rakentamisen mittaus tehtäviä varten. (Vrt. Maastomallit ja pohjakartat - laatimisoheje).

Mittaussuunnitelmaan sisältyy mittausperusta ja mittausaineisto, johon kuuluvat geometrialinjat, tierakenteen jatkuva kolmiulotteinen mittausaineisto sekä laitteiden ja varusteiden mittausaineisto.

Mittausperusta muodostuu suunnitteluprosessin aikaisista runkopisteistä. Suunnittelun aikana tuotetaan peruspisteet ja käyttöpisteet. Rakentamisen tarpeita varten mittausperustaa täydennetään tarvittaessa tihennyspisteillä.

Mittaussuunnitelma täydentyy eri suunnitteluvaiheiden aikana ja edelleen rakennusvaiheessa yksityiskohtien osalta. Geometrialinjat tuotetaan yleis- ja tiesuunnitteluvaiheiden aikana, ja niitä tarkennetaan rakennussuunnittelussa.

Työmaalla urakoitsija täydentää mitaussuunnitelmaan mm. mittauksen vastuuhenkilöt, laadunvarmistuksen toteuttamisen, käytettävät laskentaohjelmat, mittaustekniset ratkaisut ja käytettävät mittauskalustot.

3.2 Mittaukset

Mittaukset suoritetaan kaukokartoituksena tai maastossa mittauskohteesta keräämällä. Mittausmenetelmät kehittyvät jatkuvasti, joten maastotiedon keräämisen menetelmien tulee olla joustavia.

Mittaustekniikkaan on vahvasti tulossa erilaiset keilaimet / skannerit, jotka mahdollistavat nopean kolmiulotteisen tietomassan keräämisen. Sovellusohjelmien avulla prosessoimalla voidaan keilattua pistetietoa verrata kolmiulotteiseen suunnitelmaan ja nähdä toteutuksen poikkeamat kohteesta. Erilaisten liikkuvien alustojen käyttäminen luotauksessa nopeuttaa mittaustiedon keräämistä sekä parantaa maastotiedon laatua. Tarkempia maastomalleja varten joudutaan keräämään maastotietoa tarkasti kohteessa mittaamalla. Esimerkiksi rakennusosien liittämistä toisiinsa joudutaan tarkastelemaan suurella tarkkuudella, mikä asettaa vaatimuksia mittausten suorittamiselle ja mittauslaitteistolle.

Mittaus- ja paikannustekniikkaa on liitetty yhä enenevässä määrin suoraan työkoneisiin. Käytännön sovelluksia on mm. kaivin- ja puskukoneissa sekä tiehöylissä. Työmaan automatisointi ja työkoneiden mittausjärjestelmien käyttöönotolla tulee olemaan merkittäviä vaikutuksia työmaan mittaus- ja laadunvalvontatehtäviin.

3.2.1 Satelliittimittaus

Satelliittimittaus menetelmä on ollut jo pitkään käytössä maanmittausalan työtehtävissä. Satelliittimittaus on satelliittipaikannusjärjestelmien avulla tehtävää sijainnin määrittämistä. Satelliittimittauksesta käytetään termiä GPS-mittaus, mutta sen sijaan nykyään voidaan puhua myös maailmanlaajuisesta GNSS-mittauksesta (Global Navigation Satellite System). Tällöin sijainnin määrittämiseen käytetään GPS-järjestelmän lisäksi muitakin satelliittipaikannusjärjestelmiä. Satelliittipaikannuksessa voidaan käyttää useita mittaustapoja eli mittaustapoja. Mittaustapojen jaottelu perustuu mm. mittaustavoissa käytettäviin havaintosuureisiin, systemaattisten virheiden korjaamistekniikoihin ja havaintolaitteiden lukumääriin. Perusmittaustavat ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. Mittaus- ja kartoitustekniikan näkökulmasta tärkeimpiä mittaustapoja ovat suhteellisen paikannuksen mittaustavat, joiden avulla kohteiden sijainti voidaan määrittää muutamien senttimetrien, jopa millimetrin tarkkuudella.

Paikanmäärityksessä satelliitit lähettävät radiosignaaleja eri taajuuksilla. Signaalien kantaaltoihin on lisätty binäärikoodeja, joiden avulla paikanmääritys voidaan tehdä. Satelliittipaikanmääritys jaetaan absoluuttiseen, differentiaaliseen ja suhteelliseen paikanmääritykseen.

Absoluuttinen paikanmääritys tehdään yksittäisellä vastaanottimella, esimerkiksi käsinavigaattorilla, joka vastaanottaa satelliitin lähettämän signaalin. Tällöin käytetään pääasiassa signaalien C/A -koodihavaintoja (Coarse acquisition). Kun vastaanotettua koodia verrataan navigaattorissa generoituun koodiin, selviää signaalin kulkuaika, josta puolestaan selviää etäisyys satelliittiin. Vastaanottimen paikka voidaan määrittää, koska tieto satelliittien paikoista on välitetty signaalin mukana. Paikanmääritys vaatii vähintään neljä satelliittia.

Differentiaalinen paikanmääritys eli DGPS pienentää paikanmäärityksen virheitä differentiaalikorjauksen avulla. Korjaukset välitetään vastaanottimelle radion tai matkapuhelimen välityksellä.

Suomessa differentiaalikorjausta välittää muun muassa Merenkululaitos. DGPS-korjausta välittää myös Geotrim Oy, joka käyttää GSM/GPRS – yhteyttä VRS-verkossa.

Suhteellinen paikanmääritys perustuu satelliittien signaalien kantoaallon hyväksikäyttöön. Paikanmääritykseen tarvitaan vähintään kaksi vastaanotinta, joista toinen on koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä. Mittauksessa määritetään koordinaattieroja vastaanottimien välillä.

Vastaanottimen lukituessa satelliitin signaaliin vastaanotin mittaa sen hetkisen kantoaallon vaiheen. Tästä hetkestä eteenpäin vastaanotin alkaa laskea signaalin tulevien kokonaisten aallonpituuksien lukumäärää. Kun satelliitti liikkuu radallaan, sen etäisyyden muutos näkyy vastaanottimen laskemien saapuneiden aallonpituuksien lukumäärässä. Kun useampaa satelliittia on havaittu jonkin aikaa, aallonpituuksista voidaan laskea satelliitin etäisyys vastaanottimesta.

Suhteellisen paikanmäärityksen tärkeimmät sovellukset ovat staattinen GPS-mittaus ja RTK-mittaus.

- Staattinen GPS-mittaus tapahtuu jälkilaskentana ja soveltuu esimerkiksi tarkkojen kiintopisteverkkojen mittaamiseen ja erilaisiin deformaatiomittauksiin.

- RTK-mittauksessa, eli reaaliaikaisessa kinemaattisessa (Real Time Kinematic) mittauksessa laskennat voidaan suorittaa reaaliajassa. Tämä tarkoittaa sitä, että mitattujen pisteiden koordinaatit saadaan heti mittaushetkellä. RTK-mittauksessa tunnetulla pisteellä olevan vastaanottimen ja kartoitusvastaanottimen välille tarvitaan tiedonsiirtoyhteys.

Perinteisen RTK-mittauksen on viime vuosina korvannut kiinteisiin tukiasemiin perustuva verkko-RTK-menetelmä. Suomessa ja Maanmittauslaitoksella on käytössä virtuaalinen VRS-menetelmä (Virtual Reference Station). Menetelmässä kartoitusvastaanottimen lähelle luodaan virtuaalinen tu-

kiasema, joka määrittyy kiinteän tukiasemaverkon havaintojen ja erilaisten virhelähteiden mallinnuksen avulla.

Mittaaminen VRS-verkossa,

- Kartoitusvastaanotin (mittaaja) lähettää sijaintinsa VRS-laskentakeskukseen GSM/GPRS -yhteyttä käyttäen.
- Laskentakeskus muodostaa virtuaalisen tukiaseman mittaajan paikkaan.
- Laskentakeskus sijoittaa virtuaaliseen tukiasemaan lähimmän todellisen tukiaseman havaintodatan, sekä määrittää ja interpoloi havaintoihin virtuaalitukiaseman paikassa vaikuttavat virhelähteet.
- Tämän jälkeen laskentakeskus aloittaa RTK-korjauksen lähettämisen kartoitusvastaanottimelle ikään kuin se tulisi tukiasemalta, joka sijaitisi aivan mittauspaikan vieressä.

Tällaisella verkkomenetelmällä päästään perinteistä RTK-menetelmää parempaan tarkkuuteen, sillä etäisyydestä johtuvasta virheestä päästään eroon lähes kokonaan. Lisäksi menetelmä tuo myös kustannus- ja aikasäästöä, koska omasta tukiasemasta ja sen pystyttämisestä voidaan luopua.

Satelliittipaikannukseen vaikuttavat monet häiriötekijät, joita kutsutaan **virhelähteiksi**.

- Suurin virhelähde on tällä hetkellä ilmakehä. Ilmakehän ionosfääri ja troposfääri vaikuttavat satelliitin signaaliin etenemisnopeuteen ja sitä kautta ilmevät virheenä satelliittien etäisyydessä.
- Auringon aktiivisuus vaikuttaa Maapallon ionosfääriin ja se vaihtelee 11 vuoden jaksoissa. Tällä hetkellä auringon aktiivisuus on lisääntymässä kohti maksimia, joka on odotettavissa vuonna 2013.
- Muita virhelähteitä ovat mm. satelliittien radanmäärityksen ja kellon virheet, vastaanottimesta johtuvat virheet ja monitieheijastukset (Paikannussatelliitin signaali ei pääse suorinta tietä vastaanottimen antenniin, vaan on heijastunut jostakin esineestä tai pinnasta).

– Satelliittigeometria, eli satelliittien keskinäinen sijainti taivaalla vaikuttaa paikannuksen tarkkuuteen. Matemaattisesti satelliittigeometrian hyvyys tai huonous ilmaistaan DOP-luvuilla (Dilution Of Precision). Mitä pienempi luku, sitä pienempi on satelliittigeometrian vaikutus paikannuksen tarkkuuteen. Satelliittigeometria on riittävän hyvä, kun yleisimmin käytetty PDOP-arvo (Position DOP) on alle 6.

Absoluuttisessa paikanmäärityksessä virheiden vaikutusta voidaan pienentää esimerkiksi ionosfääri- ja troposfäärimalleilla. Differentiaalisessa paikannuksessa eri virheistä päästään lähes kokonaan eroon määritettyjen korjausten ansiosta. Suhteellisessa paikannuksessa virhelähteet osin kumoavat toisensa laskentamenetelmästä johtuen, mutta kaksitaajuusvastaanottimilla voidaan ionosfäärin aiheuttama virhe määrittää ja eliminoida.

Paikannustarkkuus

Taulukossa on annettu karkeat tarkkuusarviot eri paikannusmenetelmille. Erityisesti absoluuttisessa paikannuksessa tarkkuus voi heitellä huomattavasti mittauspaikasta, satelliittigeometriasta ja muista virhelähteistä johtuen.

Paikannuksen tarkkuus

Absoluuttinen paikanmääritys

alle 10 m

Differentiaalinen paikanmääritys

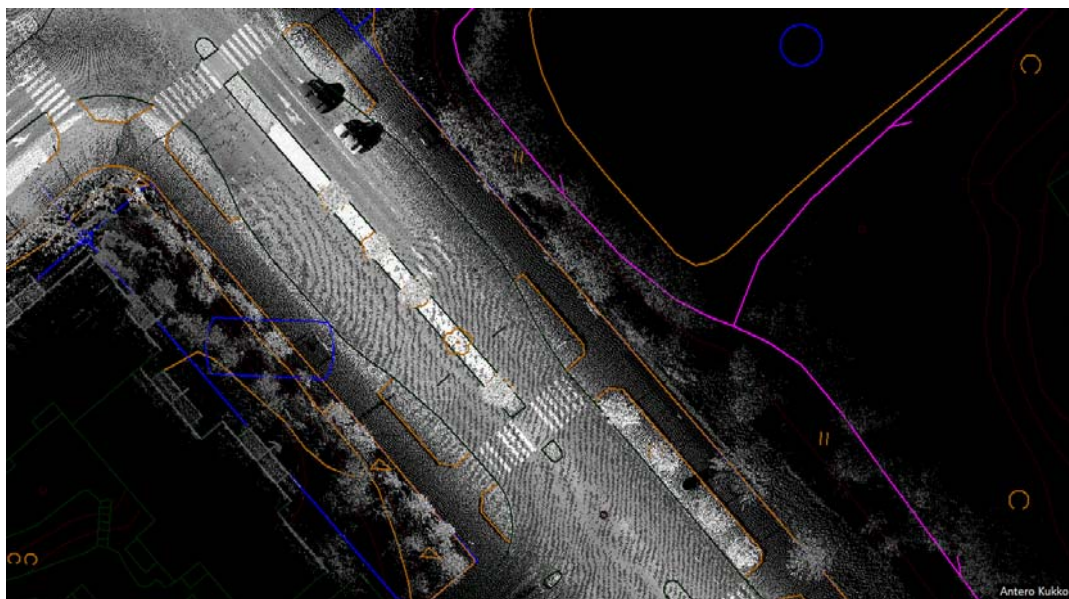
0.5 – 5 m

Suhteellinen paikanmääritys

alle 5 cm

3.2.2 Laserkeilaus

Ilmasta tehtävää laserkeilausta on käytetty maaston korkeusmallituotannossa 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Alkuvaiheessa lentokorkeudet olivat matalia, käsiteltävät pinta-alat pienehköjä ja tuotannon yksikkökustannukset suuria. Vuosituhannen loppupuolella menetelmää kuitenkin jo käytettiin ainakin Saksan osavaltioissa ja Hollannissa valtakunnallisten korkeusmallien tuotannossa. Viime vuosina menetelmä on kehittynyt entistä tuotannollisemmaksi parempien ohjelmistojen ja laserkeilaimien ansiosta.



Kuvio 6. Tiheä ja tarkka pistepilvi kartoituksessa (Kukko)

Liikkeessä olevasta laserkeilaimesta lähetetään maastoon laserpulsseja, jotka heijastuvat kohteesta takaisin laserkeilaimeen (sensoriin). Kun mitataan laserpulssin edestakaisin kulkemaan matkaan käyttämä aika ja laserkeilaimen sijainti sekä asento, saadaan selville paikka, mistä pulssi on heijastunut takaisin. Näitä paikkoja nimitetään laserpisteiksi ja niiden muodostamaa joukkoa laserpistepilveksi. Yksi laserpulssi voi saada aikaan useampia laserpisteitä (paluukaikuja).

Laserpisteen sijainnin laskukaava

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_G = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + R_{IMU} R_{IMU}^{LRF} R_M \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ l \end{pmatrix}$$

- $(X, Y, Z)_G$ = kohdepisteen maastokoordinaatit
 (X_0, Y_0, Z_0) = laserkeilaimen sijainti (mitattu GPS:llä, antennin epäkeskisyys huomioitu)
 R_{IMU} = IMU kiertomatriisi
 R_{IMU}^{LRF} = IMU:n ja keilaimen koordinaatistojen välinen kiertomatriisi
 R_M = laserkeilaimen peilin kiertomatriisi (keilauskulma)
 l = laseretäisyys (range).

Laserpisteen koordinaattien määritystarkkuus riippuu siis pääasiallisesti etäisyydestä (range, lasersäteen pituus), lasersäteen sijainnista ja lasersäteen suunnasta. Koska nämä kaikki suureet mitataan eri mittalaitteilla (laserkeilain, GPS, IMU) ne on mittaustulosten yhteensovittamiseksi pystyttävä sitomaan samaan ajanhetkeen. Jos havaintoja ei sidota tarkasti samaan ajanhetkeen, se aiheuttaa laserpisteen sijaintiin satunnaisvirheen tyyppisen sijaintivirheen.

Etäisyyden mittaus perustuu kaavaan

$$R = l = c \cdot t / 2 \quad (2)$$

missä

$R = l$ = sensorin ja kohteen välinen etäisyys

c = valon nopeus

t = lähetetyn ja vastaanotetun pulssin välinen aikaero.

Etäisyyden mittauksen tarkkuuteen on suuri merkitys sillä, että palaavasta laserpulssista kyetään erottamaan kohta, joka edustaa kohteesta palaavan signaalin voimakkuuden nousun maksimia. Tyypillisesti laserpulssin kestoai-

ka on 10 ns ja signaalin nousuaika on noin 1 ns. 1 ns, joka merkitsee 30 cm:n (edestakaista) matkaa, eli 15 cm:n etäisyyttä sensorista kohteeseen. Keilaimissa olevat aikalaskurit pystyvät noin 0,05–0,2 ns ajanmittaustarkkuuteen, joka vastaa etäisyydenmittausvirheenä noin 1,5 cm:ä. Etäisyydenmittausvirheellä on muihin virhelähteisiin verrattuna pieni vaikutus, ja se näkyy eniten laserpisteen korkeudessa.

Lasersäteen sijainnin määritystarkkuus riippuu DGPS-prosessoinnin onnistumisesta. Lisäksi siihen vaikuttavat GPS-laitteen laatu, GPS-satelliittien konstellaatio lennon aikana, GPS-tukiaseman sijainti (joka voidaan korvata esimerkiksi virtuaali-GPS-verkolla), GPS-laitteen, IMU:n ja laserkeilaimen keskinäisen epäkeskisyydenmittauksen virheet, sekä laserkeilaimesta riippuva lasersäteen suuntauksen tarkkuus. GPS-satelliittien lisäksi voidaan käyttää Glonass- ja jatkossa myös Galileo-satelliitteja, jolla parannetaan sijainnin määrityksen laatua. Tyypillisesti DGPS:n avulla voidaan tuottaa 5–15 cm:n tarkkuus. Sijainnin virhe ei kasva mainittavasti lentokorkeuden kasvaessa.

Pohjoisissa olosuhteissa GPS-satelliittien konfiguraatio on ajoittain paikannuksen kannalta epäedullinen ja Glonass-järjestelmän hyödyntäminen mahdollistaa erityisesti siellä paremman tarkkuuden. Laserkeilauksen havaintojen sijainnin laskenta perustuu siis niin sanottuun suoraan georeferointiin. Toisin kuin matriisimuotoisten ilmakuvien georeferoinnin tapauksessa, tämän luotettavuus on täysin riippuvainen satelliittipaikannus- ja inertiamittauslaitteiden toiminnasta. Vaarallista suorassa georeferoinnissa on, jos käytettävien laitteiden toimintakyky huononee pikku hiljaa ajan kuluessa, jolloin saavutettava tarkkuus menee vaadittujen rajojen huonommalle puolelle. Fotogrammetrian tapauksessa, erityisesti kun käytetään matriisimuotoisia ilmakuvia, tämä voidaan yleensä havaita ns. integroitua sensorin orientointia käytettäessä. Siinä ilmakolmiointi on yhdistetty suoraan georeferointiin. Laserkeilauksen tapauksessa tämäntyyppisten virheiden paljastuminen on vaikeaa. Tähän tarvitaan järjestelmäkaliibrointia, jossa käytetään apuna toisiaan peittäviä keilausjonoja, maastoon mitattuja tukipisteitä tai alueita sekä fotogrammetrista referenssiä.

Koska laserkeilaus perustuu lähetettävien laserpulssien takaisinheijastuksen mittaamiseen, se ei vaadi toimiakseen auringonvaloa. Laserkeilaus onnistuu myös ilta- ja yöaikaan. Olosuhteiden pitää olla kuitenkin sellaiset, että laser-

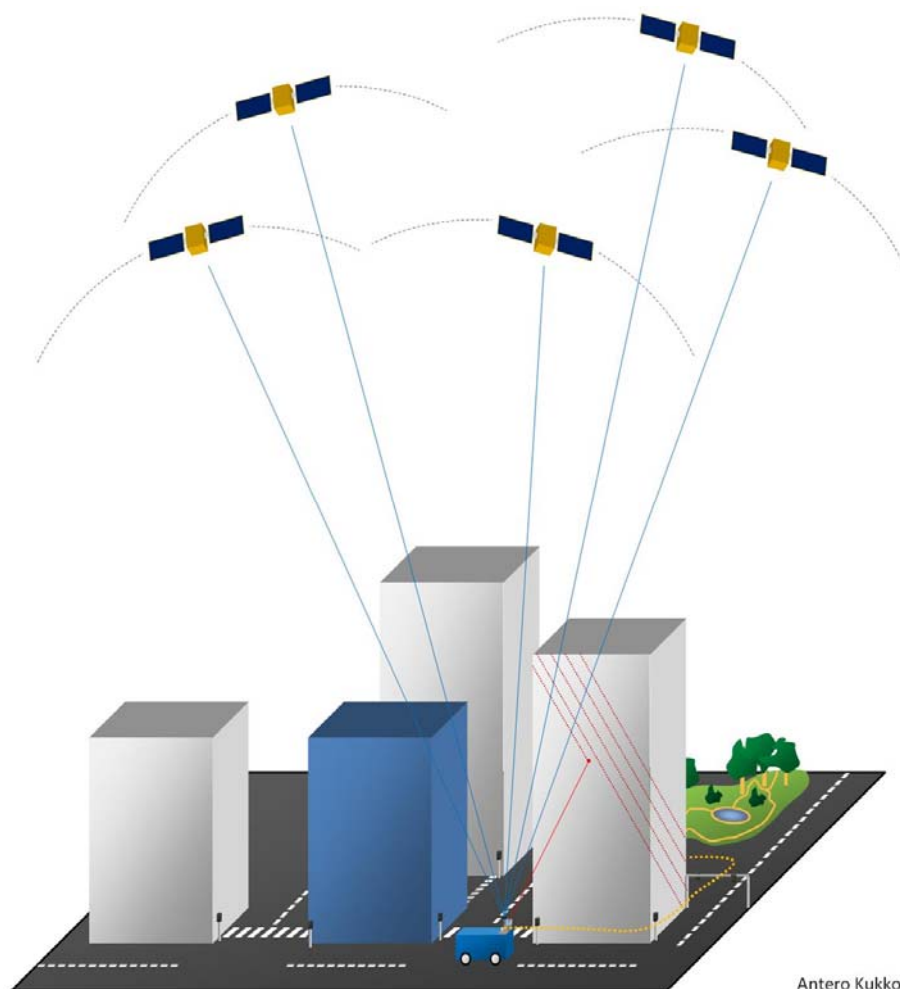
keilaimen ja maaston välissä ei ole pilviä, sadetta tai usvaa, maastossa ei ole haitallisen paksua lumikerrosta eikä se ole tulvaveden peitossa. Kun halutaan tuottaa tarkkaa maaston korkeusmallia, laserpulssin pitää päästä heijastumaan takaisin sensoriin maan pinnasta, joten maan pinnan tulee olla mahdollisimman paljas. Rungas ja tiheä aluskasvillisuus tuottaa helposti haitallisen suuria virheitä ja tiheä puiden lehtipeite voi estää laserpulssien tunkeutumisen maan pinnalle asti. Verrattuna fotogrammetriseen korkeudenmittaamiseen laserkeilaus ei kuitenkaan ole yhtä herkkä puiden aiheuttamien katveiden vaikutukselle. Mittausaukkojen välttämiseksi kohdetta voidaan mitata useasta eri suunnasta, niin että kaikki kohteen osat näkyvät jostain suunnasta. Useat mittaus-asetat on yhdistettävä keskenään eli skannauskielellä rekisteröitävä toisiinsa, jotta kaikki mittausaineisto olisi samassa koordinaatistossa. Skannausaineisto halutaan rekisteröimisen lisäksi usein georeferoida eli yhdistää tunnettuun koordinaattijärjestelmään kuten EUREF-FIN.



Kuvio 7. Katualueen pistepilveä

Liikkuvassa kartoituksessa hyödynnetään niin kutsuttua suorapaikannusmenetelmää, jossa laitteistoon asennetun GNSSIMU-järjestelmän (Global Navi-

gation Satellite System – Inertial Measurement Unit) havainnot lasketaan joko reaaliaikaisesti tai jälkilaskentaprosessissa laitteiston kulkureitiksi kolmiulotteisessa avaruudessa. Aineistojen orientointiin ei siten tarvita tukipisteitä muutoin kuin laadunvalvontaan. Tarkan reittitiedon laskentaan tarvitaan kuitenkin avuksi GNSS-tukiasema, joka voi olla joko fyysisellä tunnetulla pisteellä tai vaihtoehtoisesti VRS-palvelun (Virtual Reference Station) tuottama tukiasema kartoituskohteen läheisyydessä. Laitteiston kartoitussensorit synkronoidaan ajallisesti paikannusratkaisuun, minkä perusteella tietyllä ajanhetkellä tehty mittaus tai kuva orientoidaan maastokoordinaatiston suhteen. Esimerkiksi laserkeilaimen etäisyysmittaukset muunnetaan kolmiulotteisiksi pisteiksi eli pistepilveksi, joka kuvaa yksityiskohtaisesti kohteen geometriaa. (Kukko, Jaakkola, maankäyttö 1/2011)



Antero Kukko

Kuvio 8. Liikkuva kartoitusjärjestelmä (Kukko)



Kuvio 9. Liikuvaa kartoitusvälineistöä (Kukko, Kaartinen)

Keilauslaitteisto voidaan asentaa monenlaiselle alustalle tarpeen mukaan. Valokuvissa on esitetty keilauslaitteiston sijoittaminen erilaisille kuvausaluksille.



Kuvio 10. Riegl VMX-450 mobiiliskanneri

Intergeon 2011 merkittäviin laitejulkistuksiin kuuluu Riegl Laser Measurements Systemsin uusi liikkuva kartoitusjärjestelmä VMX-450. Nämä autoihin, veneisiin tai vaikkapa juniin asennettavat mobiiliskannausjärjestelmät ovat kehittyneet muutamassa vuodessa valtavaa vauhtia ja VMX-450 edustaa tämänhetkistä alan huippua.

Pulssilasertekniikalla mittaavat laitteet kuten Riegl mittaavat tyypillisesti metristä useisiin satoihin metreihin tai jopa 2 km asti. Laitteesta riippuen mittaus-tarkkuus voi olla millimetrejä tai senttimetrejä, mutta etäisyyden kasvaessa millimetreihin on vaikeampi päästä. Pitkissä mittauksissa myös sääolosuhteiden merkitys mittauksen aikana voi olla merkittävä.

Jokaisella skannerityypillä on omat ja toisistaan eroavat tekniset ominaisuudet, joten mittajaan on syytä valita laitteensa työn vaatimusten mukaan.

Kun käytät pistepilviä, niin ota huomioon seuraavia seikkoja:

- 3D-Laserskannerilla mitataan alueita, ei yksittäisiä pisteitä. Kohteen tunnistaminen pistepilvistä vaatii riittävää pistetiheyttä sekä mittaus-tarkkuutta.

- Vaikka pisteiden määrä voi tuntua liialliselta kyseisessä työssä, niin arkistoimalla aineisto sitä voidaan käyttää myöhemmin myös muilta osiltaan.
- 3D-Laserskannerien tuottaminen aineistojen laaduntarkistusta ei ole vielä standardoitu
- Kohde on nähtävä ja mitattava joka puolelta, jos siitä on tarkoitus tehdä täydellinen malli
- Muista myös muiden kartoitustekniikoiden olemassaolo ja varmista mikä tekniikka on soveliaim kohteessasi.

3.2.3 Takymetrimittaukset

Takymetrimittaus on kehittynyt voimakkaasti perinteisestä etäisyyden ja kulman mittaamisesta yksittäisiin pisteisiin. Optiseen havainnointiin on tullut automaattinen prisman lukitus ja seuranta (servo ja autolock), jotka ovat poistaneet optisen tähtäyksen tarpeen. Tämän jälkeen takymetrimittaukseen ovat tulleet robottityöasemat. Takymetriin ominaisuuksiin on tullut mahdollisuus mitata kohteita ilman heijastinprismaa sekä mahdollisuudet automaattiseen rajatun alueen mittaukseen. Takymetrimittaus soveltuu pienten kohteiden tiedonkeruuseen ja mittausten varmistustoimintoihin. Takymetrit ovat vielä kehittyneet kuvauksen kautta eli niistä on tullut yhdistelmä laitteita, jotka kuvaavat, mittaavat ja skannaavat eli kuvantavat. Näin saatua kuva-aineistoa voidaan käyttää esimerkiksi massanlaskennan tai maastomallin tarkistamiseen.

3.3 Maastomallin editointi

Maastomallin editointivaiheessa muodostetaan sen pintojen lopullinen geometrinen muoto ja ominaisuustietojen koodaus. Tässä vaiheessa suoritetaan myös maastomallin koemallinnus mallinnusohjelmistolla ja varmistetaan mallin geometrinen tarkkuus. Mikäli mallia joudutaan kapasiteetti-ongelmien vuoksi harventamaan, se suoritetaan tässä vaiheessa ennen tulostusta. Harvenuksen vaikutus mallin tarkkuuteen analysoidaan ja dokumentoidaan.

3.4 Maastomallin tulostus

Maastomallin tulostus tehdään mittaus suunnitelman mukaisesti. Mittaus suunnitelmassa on määritelty tulostusformaatit ja tiedostokoot, jossa malli tulostetaan. Maastomallin osalta tuloksena syntyy numeerinen tiedosto. Se tulostetaan mittaus suunnitelmassa määritellyissä formaateissa. Numeeriset tiedostot toimitetaan sovittavalla tietovälineellä.

3.5 Maastomallista ympäristömalliksi

Maastomalli sinällään on vaikeasti hahmottaa jos siitä ei ole havaittavissa mittakaavaa havainnollistavaa tietoa kuten vaikkapa puita. Ympäristömalliin voidaan myös lisätä erilaisia pintatekstuureita jolloin saadaan aikaiseksi erittäin havainnollisia luonnollisia esityksiä vaikkapa suunnitellusta rakentamisesta. Asemakaavan havainnollistamiseen tällaiset esitysmuodot soveltuvat luontevasti ja mahdollistuvat sekä helpottavat asukkaiden osallistumisen asemakaavan arviointiin. Maakeilauksilla saadaan maastomalliin helposti mukaan tarkkoja kartoitettuja maasto-objekteja kuten puita ja pylviäitä myös rakenteet ja rakennukset mallintuvat keilauksilla tarkemmin kuin perinteisin mittausmenetelmin.

4 MAASTOMALLIN KÄYTTÖKOHTEET

4.1 Massanlaskenta

Massanlaskenta on ollut yksi tärkeä maastomallin käyttökohde ja sen käyttämisestä on tullut lähes arkipäivää suunnittelutehtäviä suorittaessa.

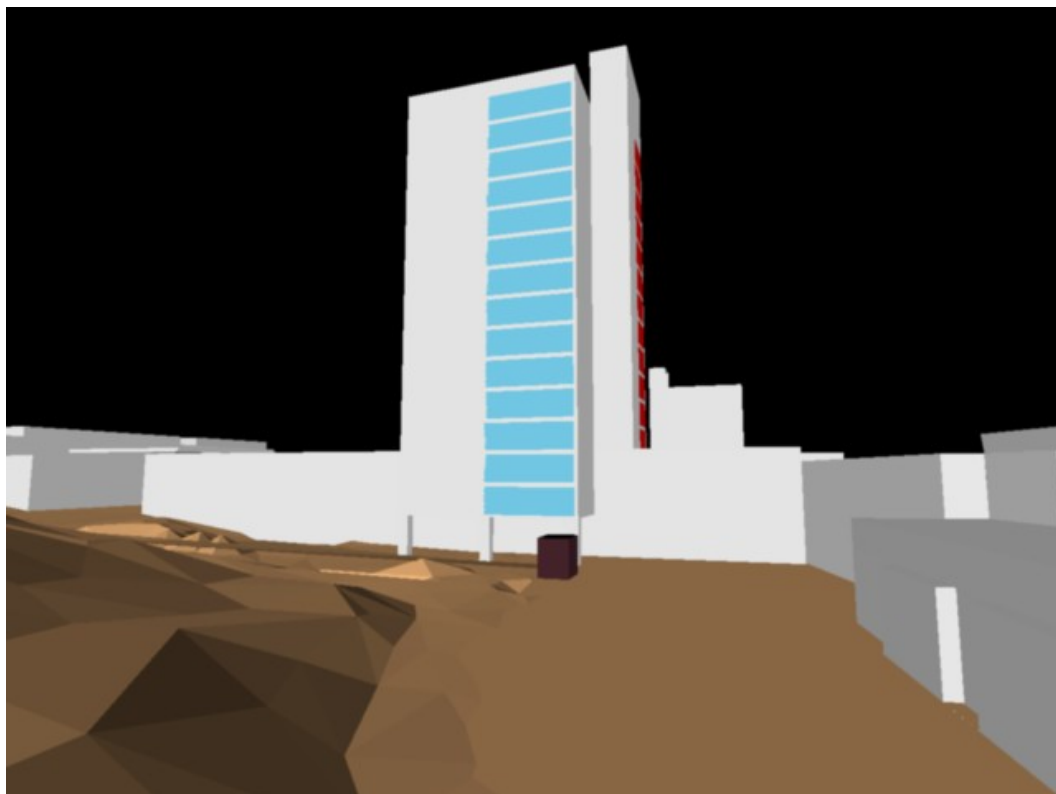
Käyttämällä laserkeilainta mallintamiseen saadaan tarkasti ja nopeasti (ilman kiipeilyä) mitattua hiekka ja hakekasat tai louhoksen otannan määrä. Tulokset tilavuuksista saadaan välittömästi mittauksen päätyttyä. Tarvittaessa voidaan myös suorittaa vertailua kahden mittauksen välillä, tai arvioida esim. kalliosta lähtevän louheen kuutiomäärää.

Massanlaskennan avulla on myös helppo laskea esim. rakennustarkastus mittauksista kuluneen betonin määrä, tien kerroksista kuluneet soramäärät, tai kerrosten todellinen paksuus. Kerrosten paksuus saadaan tietoon, mitaamalla ensin pohjan pinta ja tämän jälkeen täytön pinta. Mikäli tiedetään, paljonko kerroksen paksuun pitäisi vähintään olla, saadaan ohjelmalla tieto arvoista, jotka eivät täytä vaadittua kerrospaksuutta.

4.2 Havainnollistaminen

Maastomallilla voidaan havainnollistaa erilaisia tilanteita ja rakentamisen vaikutusta ympäristöön. Malli voi olla hyvinkin todellisen tuntuinen fotorealistinen kuva, jossa on ympäristömalliin liitetty valokuvan kaltaisia pintoja. Karkeassa

tarkastelussa voi riittää yksinkertaisempi ns. rautalanka malli kohteesta.



Kuvio 11. Ympäristömalli karkealla pintatekstuurilla

Karkeammalla pintatekstuuri aineistolla voidaan suorittaa hankevertailua. Informaatio sisältö on karkeallakin mallilla huomattavan suuri. Kuvassa 11 on tutkittu asuntokerrostalon soveltumista kauppakeskuksen yhteyteen. Kuvan perusteella on päädytty jakamaan asuinkerrostalot useampaan matalaan rakennusmassaan.



Kuvio 12. Ympäristömalli fotorealistisella pintatekstuurilla

Kuvissa 12 ja 13 on havainnollistettu yövalaistuksen vaikutusta ympäristöön sekä suunnitellun kauppakeskuksen asuinkerrostaloineen soveltumista ympäristöön.



Kuvio 13. Yövalaistus

Ympäristömalliin tuotettua aineistoa voidaan liittää esimerkiksi ilmakehuun havainnollistamaan suunnittelua. Aineiston hyödyntäminen joustavasti on havainnollistamisen kannalta tärkeää, mitattua tietoa ja suunniteltua tietoa on voitava siirtää järjestelmästä toiseen.

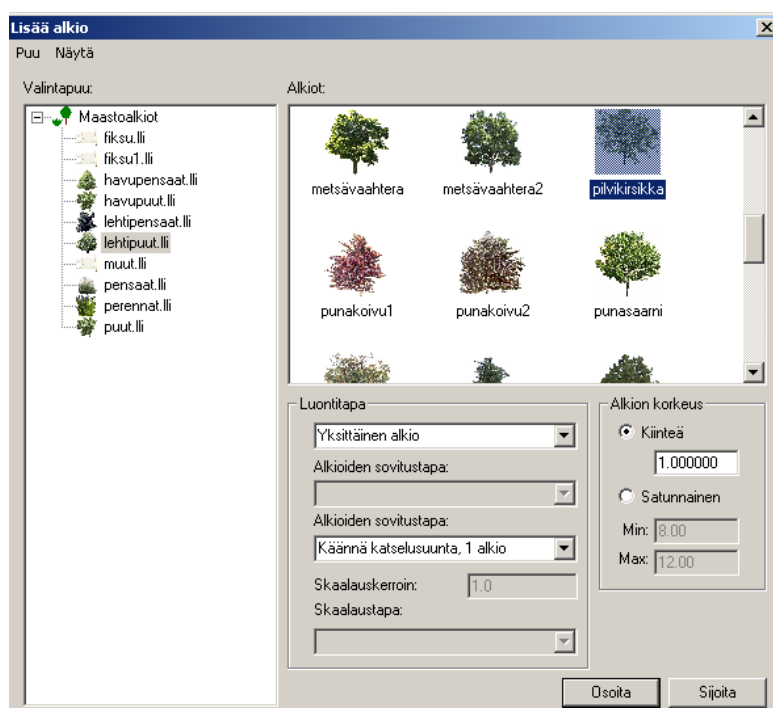


Kuvio 14. Ilmakehuun sijoitettu suunniteltu kauppakeskus

Kartoitusta on helpompaa tarkastella, koska visualisoitu malli ei ole vain viivoja, pisteitä ja symboleja. Visualisoidusta mallista löydetään helpommin kartoituksessa tehdyt virheet ja aineiston puutteet. Mallista nähdään helposti mitä tietoa on käytettävissä eli mitä kaikkea on kartoitettu, kiinteistöjen pensasaidat, tonttiliittymät, valaisinpylväät jne. Olemassa olevan ympäristön hahmottaminen helpottuu. Suunnittelun aikana ja kokouksissa voidaan tehdä virtuaalisia

maastokäyntejä nykytilan mallissa. Visuaalinen tarkastelu on suuri apu suunnittelijalle. Valmis suunnitelma voidaan upottaa tehtyyn malliin. Visualisoinnilla ei ole merkitystä mittauksiin, mutta mitä tarkempi mallista halutaan, sen yksityiskohtaisemmat koodimääritykset tulee olla. Määrityksiä voidaan tehdä ja täydentää myös jälkeenpäin. Materiaalialueiden pitää olla suljettuina alueina (voidaan muokata myös myöhemmin näytöllä). Kartoitetut rakenteet saadaan tuotua visualisoinnissa kolmioverkon pinnalle.

Maisema-alkio - toiminnolla voidaan kuvaan sijoittaa halutut valokuvamaiset symbolit. Esimerkiksi eri kasvillisuudelle on omat kirjastonsa. Sijoitus voi tapahtua yksittäisinä symboleina eri optioin, tai sitten esim. aiemmin piirretyn polylinen perusteella alueelle. Maisema-alkiot nostetaan automaattisesti oikeaan korkeuteen suunnitelmamallin perusteella.



Kuvio 15. Maisema-alkio symboli kirjasto

Maastoaineisto tulee koodittaa eli sille tulee määrittää ominaisuustieto. Tällä hetkellä kunnilla ja kaupungeilla erilaisia koodituksia käytössä. Koodimuunnoksia käytettäessä häviää tietoa koska vastaavia koodeja ei aina välttämättä ole ohjelmassa. Novapoint Virtual Map-ohjelmaan kerran tehty ominaisuuskoodien mukainen Konfiguraatio toimii kaikissa samoilla koodeilla tehdyissä mittauksissa, jolloin Visualisoitu maastomalli syntyy tällöin automaattisesti Virtual Mapohjelmalla. Konfiguraatiokirjastoa voidaan päivittää jatkuvasti

ti jolloin uusille koodeille saadaan tuotua ominaisuustiedot valmiiksi ja visualisointi tapahtuu automaattisesti.

4.3 Maastomallit suunnittelussa

Maastomallin käsittelemiseen on olemassa erittäin hienostuneita ohjelmistoja, jotka mahdollistavat suunnittelun suoraan maastomallin päälle. Suunnitelma päivittyy reaaliajassa malliin, joten muutoksien tekeminen suunnitelmaan on helppoa. Maastomallissa tehdyistä suunnitelmista saadaan valmiina linjasidonnaista tietoa mm. tiesuunnitelman pituus- ja poikkileikkaukset. Malliin tehdyt muutokset päivittyvät automaattisesti poikkileikkauksiin. Maastomalleilla saadaan myös helposti havainnollistettua tehtyjen suunnitelmien vaikutuksia.

4.4 Maastomallista tuotetut aineistot

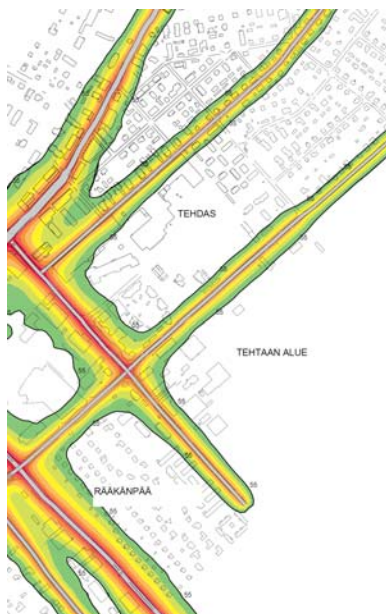
Maastomallista tuotetaan erilaisia aineistoja suunnittelutarkoituksia varten. Tällä hetkellä tulvakartoituksia ja tulvariskien arvioimista varten tehdään paljon selvitystyötä ja laserkeilauksia. Melumallinnukset ovat maastomallista liikennetietoon perustuvia laskettuja melukäyrästäjä. Maastomallista tuotetaan myös korkeuskäyrät karttoihin. Yleispiirteisiä korkeusmalleja käytetään alue- ja kaupunkisuunnittelun tehtävissä sekä mm. näkyvyys-, melu-, valuma- ja etenemismalleja hyödyntävissä alueellisissa inventointitehtävissä. Maastomallit toimivat pohjana kolmiulotteisille kartoille, jotka ovat tulevaisuudessa karttaesityksen yhtenä muotona.

Tietomallinnus (BIM - Building information model) on malli, jossa suunnittelu tapahtuu 3d mallina. Maastotietoja tarvitaan maanpinnan kuvaamiseksi myös BIM mallissa, josta rakennusten kuvaaminen ja 3d suunnittelu luonnollisesti alkaa. Tietomallinnus (BIM) on integroitu prosessi tutkittaessa projektin fyysisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia digitaalisesti ennen kuin kohdetta on rakennettu. AutoCAD Civil 3D on Autodeskin tietomallinnusohjelmisto yhdyskuntasuunnittelijoille. Ohjelmalla on mahdollista luoda koordinoituja, monipuolisia malleja, joiden analysoinnit voidaan tehdä suunnittelun alkuvaiheessa; paremmat visualisoinnit ja simuloinnit ympäristössä mahdollistavat kustannustehokkaan suunnittelun ja tarkemmat suunnitelmat. AutoCAD Civil 3D:llä luot mallin, missä älykäs dynaaminen tieto mahdollistaa nopeammat

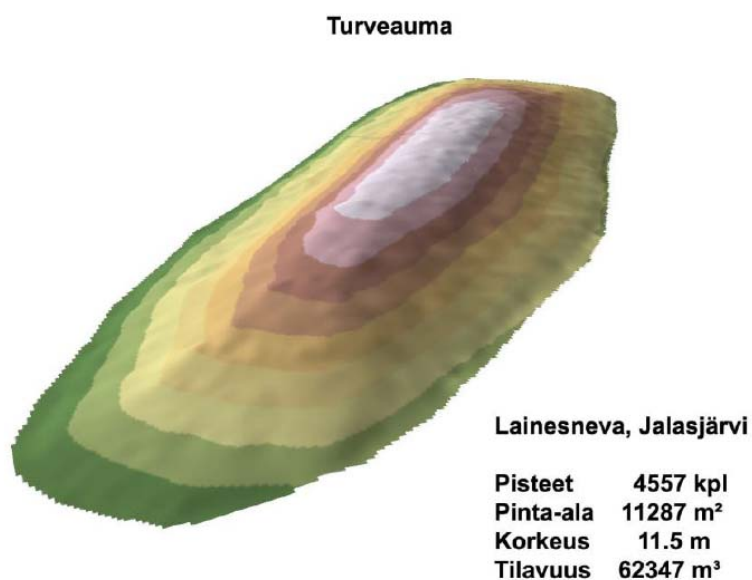
suunnittelu muutokset missä suunnittelun vaiheessa tahansa. Päätöksesi tueksi sinulla on paremmin analysoitua ja perusteltua tietoa. Nopeammin ja tehokkaammin tuotetut visualisoinnit pysyvät synkronoituina mahdollisissa suunnittelu muutoksissa. Muutokset suunnittelussa ja merkinnöissä muuttavat mallia automaattisesti.

4.5 Maastomallin käyttökohteita

Maastomallista voidaan esimerkiksi valmistaa melumalli, taikka sen pohjalta voidaan suorittaa massan laskentaa. Kuvan 16 laskennassa on käytetty liikennetietoja ja maastomallia melukäyrästön laskennassa. Kuvassa 17 on keilaamalla saadusta turveaumasta laskettu tilavuus.



Kuvio 16. Meluselvitys



Kuvio 17. Turveauman massan laskenta

5 MITTAUSTEN TOIMINTAYMPÄRISTÖ

5.1 Koordinaatistot

Koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä muodostavat mittaajan teknisen toimintaympäristön. Pienialaisissa mittauksissa toimitaan usein yksinkertaisessa suorakulmaisessa tasokoordinaatistossa. Jos mietitään miten tällainen koordinaatisto liittyy maapalloon ja miten koordinaatistoja käytetään laajalaisissa mittauksissa, esimerkiksi koko Suomen alueella, asiat eivät olekaan enää yksinkertaisia. Satelliittipaikannuksen yleistymisen on aiheuttanut sen, että käytännön mittauksissakin mittaajan pitää tietää entistä enemmän koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiin liittyvistä asioista. Mittausten koordinaatistoympäristöt ovat nykyisin hyvin monimuotoisia.

Ensimmäinen valtakunnallinen tasokoordinaatisto Suomessa oli Helsingin järjestelmä tai Vanha valtion järjestelmä (VVJ). VVJ:n luominen aloitettiin 1920-luvulla, jolloin Geodeettinen laitos (GL) aloitti ensimmäisen luokan kolmioverkon mittaukset. Nimi Helsingin järjestelmä tulee kolmiomittausten lähtöpisteen mukaan (Kallion kirkko Helsingissä). VVJ syntyi vaiheittain. Geodeettinen laitos mittasi aluksi kolmioverkkosilmukoita, jotta kolmioverkko saatiin ulotettua koko maahan mahdollisimman nopeasti. Kartastokoordinaattijärjestelmän (KKJ) luominen aloitettiin 1960-luvulla Geodeettisen laitoksen 1. luokan kolmioverkon mittausten ja tasotuslaskennan valmistuttua. Kolmioverkko tasoitettiin ED50-koordinaattijärjestelmässä (European Datum 1950). ED50 perustuu 1950-luvulla tehtyyn Euroopan laajuiseen kolmioverkkojen yhteistasoitukseen. (Maanmittauslaitos)

Korkeusjärjestelmänä on yleisimmin käytössä NN tai N2000 korkeusjärjestelmä.

5.2 Euref

Maanmittauslaitos on siirtynyt käyttämään euref koordinaatistoa, jossa koordinaatisto kiinnittyy Euraasian mannerlaattaan. Maanmittauslaitos on ottanut omassa toiminnassaan, tuotteissaan ja sovelluksissaan vuonna 2010 käyttöön ETRS89 -koordinaattijärjestelmän ja sen kanssa käytettävät tasokoordinaatistot ETRS-TM35FIN ja ETRS-GK. Samassa yhteydessä tasokoordi-

naattien tunnukset muuttuvat: pohjoiskoordinaatti N ja itäkoordinaatti E. Maanmittauslaitos toimittaa ja vastaanottaa koordinaatteja KKJ järjestelmässä enää vuoden 2012 loppuun. Muun muassa kunnissa tämä aiheuttaa siirtymisen Euref-Fin järjestelmän käyttämiseen.

Suomessa on otettu käyttöön uusi yleiseurooppalainen tasokoordinaattijärjestelmä ETRS-89. Suomen alueella järjestelmästä on käytössä EU-REF-FIN realisaatio, joka perustuu 2000-luvulla mitattuihin satelliittimittauksiin. Tällä hetkellä EUREF -kiintopisteitä on jo noin 5-10 kilometrin välein. Uusi koordinaattijärjestelmä helpottaa niin kansallista kuin kansainvälis-täkin tiedonvaihtoa. Useat valtakunnalliset toimijat ovat jo siirtyneet uuteen koordinaattijärjestelmään ja esimerkiksi Maanmittauslaitos on ilmoittanut toimittavansa aineistoja KKJ-järjestelmässä vain vuoden 2012 loppuun asti. Yhtenäiseen eurooppalaiseen paikkatietoinfrastruktuuriin tähtäävä INSPIRE-direktiivi velvoittaa myös osaltaan ETRS-89:n pohjautuvien koordinaattijärjestelmien käyttöön valtakunnallisesti. Lakisääteisten ohjeistusten ohella merkittävä syy uuden koordinaattijärjestelmän käyttöönotolle on tarkkuuden paraneminen. Vanhat järjestelmät, kuten VVJ ja siitä johdettu KKJ ovat maanpinnalla todellisuudessa noin 200 metriä väärässä paikassa. Tästä johtuen aineistojen yhteensovittaminen etenkin valtakunnan rajalla sekä esimerkiksi pitkissä väylähankkeissa on haasteellista. Uuteen koordinaattijärjestelmään siirtyminen mahdollistaa myös satelliittipaikannustekniikan paremman hyödyntämisen, sillä GPS-satelliittien käyttämä WGS84-koordinaattijärjestelmä on käytännössä sama kuin ETRS89-koordinaattijärjestelmä. (Maanmittauslaitos)

ETRS89-koordinaattijärjestelmän kanssa Suomessa käytetään ETRS-TM35FIN- ja ETRSGKn- tasokoordinaatistoja. ETRS-TM35FIN koordinaatistossa Suomi kuvataan yhdessä projektiokaistassa. ETRS-GKn vastaa ajatukseltaan KKJ:n peruskoordinaatistoa; käytössä on 13 projektiokaistaa. Maantieteellinen pituusaste eli projektion keskimeridiaani muodostaa omat ETRS-GKn -tasokoordinaatistonsa. Projektion keskimeridiaani (19° - 31°) näkyy koordinaatiston nimessä (esimerkiksi ETRS-GK25). Tasokoordinaattien pohjoiskoordinaattiarvo ilmaisee pisteen etäisyyden päiväntasaajasta ja itäkoordinaatti etäisyyden keskimeridiaanista. Negatiivisten koordinaattiarvojen

välttämiseksi keskimeridiaani saa arvon 500 000 m. ETRS-GKn - itäkoordinaattien edessä on keskimeridiaanin asteluku. ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa itäkoordinaatilla ei ole erillistä tunnusta.

6 LAATU

6.1 Laatutavoitteet

Maastotietojen osalta laadunvarmistus perustuu siihen, että työn alussa määritellään eri tuotteille oikeat laatuvaatimukset. Laatuvaatimusten perusteella maastotietojen tuottajat tekevät suunnitelmat menetelmistä, joilla vaadittava laatutaso saavutetaan. Standardimenetelmien osalta menettelyt voidaan kuvata myös tiedon tuottajien toiminta- ja laatujärjestelmissä. Suunnitelman mukaisella menetelmällä saavutetun laatutason dokumentointi on oleellinen osa laadunvarmistusta. Toimintaohjeessa on maastotietoihin sisältyvien tuotteiden osalta määritelty laadunvarmistuksessa tarvittava dokumentaatio. Laadunvarmistus on määritelty tuotekohtaisesti, jolloin se sallii tuottajan käyttää erilaisia tiedonkeruutekniikoita. On mahdollista käyttää jopa täysin uusia menetelmiä.

Suunnittelussa käytetään nykyään runsaasti numeerisia maastotietoja. Tiedon muotoon ja sisältöön liittyvät kysymykset ovat tärkeitä ja monesti hankalia, koska suunnittelussa käytetään erilaisia ohjelmistoja. Toimintaohjeessa on jokaisen tuotteen kohdalla käsitelty numeeristen aineistojen käyttöön liittyvät kysymykset. Pyrkimyksenä on varmistaa se, että suunnittelun aikana ei tule yllätyksiä aineistojen käytössä. Maastotietojen laadunvarmistuksessa on mahdollista käyttää myös yleisten laadunvarmistus-standardien mukaista näytteenottoon perustuvaa tarkastusta. Tarkastus voidaan joko sisällyttää urakkaan tai se voidaan tilata erillisenä työnä kolmannelta osapuolelta. Laaduntarkastus on erityisen tärkeä käytettäessä uusia, kokemattomia tekijöitä, tai uusia, ennen käyttämättömiä menetelmiä. Vakiintuneiden toimittajien ja standardimenetelmien osalta laaduntarkastusta voidaan soveltaa seuranta-tarkoituksessa.

Maastomallin laadunvarmistuksen kannalta on mittaussuunnitelmalla keskeinen merkitys. Tässä vaiheessa tehtyjä virheitä perusratkaisuissa on mahdollonta korjata myöhemmin prosessissa. Mikäli alueiden täydentäminen maastomittauksella aiotaan tehdä vaiheittain suunnittelun edetessä, täytyy tästä tehdä selkeä suunnitelma ja vaiheittain mitattavat alueet tulee selkeästi rajata.

Mittausolosuhteilla on suuri vaikutus maastomallin laatuun. Mikäli mittaukset joudutaan aikataulu- tai muista syistä tekemään epäedullisissa olosuhteissa, täytyy tästä aiheutuvat laadulliset ongelmat selkeästi kirjata.

6.2 Laadunvarmistuksen menettelyt

Mittaussuunnitelman noudattamista seurataan poikkeamaraporttien avulla. Erityisesti on syytä kiinnittää huomiota mahdollisen ilmakuvaus- ja laserkeilauksen suoritusajankohtiin. Suunnitelmasta poikkeamisen vaikutukset maastomallin laatuun tältä osin täytyy voida arvioida. Fotogrammetrisen mittauksen ja laserkeilauksen osalta käydään huolellisesti läpi näillä menetelmillä mittaamatta jääneet kohteet ja alueet. Mikäli näiden alueiden ja kohteiden täydentämistä maastomittauksella ei ole mittaussuunnitelmassa, ja alueiden määrä poikkeaa suunnitteluvaiheessa arvioidusta, sovitaan toimenpiteistä tilaajan kanssa.

Laadunvarmistuksen dokumentteja ovat seuraavat:

- mittaussuunnitelma
- vaiheittain täydennettävien alueiden rajaukset
- ilmakuvaus- ja laserkeilauksen suoritustiedot
- mittaamatta jääneiden alueiden dokumentointi
- tarkistusleikkausten dokumentointi
- mahdollisen laaduntarkastuksen dokumentit (SFS standardi)

Laadunvarmistuksella ei tavoitella vain parempaa mallia vaan myös parempaa lopputulosta kustannustehokkaammin.

LÄHTEET

- Ala-Uotila, P 2010. Laseraineistot suunnittelussa. Projektityö. Metropolia ammattikorkeakoulu / Turun kiinteistöliikelaitos. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma.
- Alho, P – Hyyppä, H – Hyyppä, J 2008. Laserkeilaamalla maastomallit tulvakartoitukseen. Positio 4/2008, s 11-14.
- Basepoint Oy
- Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura 2005. Ohjeita ortokuvien tuotannolle ja käytölle Suomessa. Julkaisu 1/2005.
- Futurecad Oy
- GTK. 2008 Laserkeilaus ja uusi valtakunnallinen korkeusmalli-seminaari
- Heiska, Nina 2010. Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittalaitteiksi. Maankaytto 4/2010, s 14-17.
- Kivelä, J. 1987. Paikkatietojärjestelmä ja numeerinen korkeusmalli. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Geodesian ja fotogrammetrian laitos.
- Korpela, Hannu 2008. Laserkeilaus kannattavampaa kayton yleistyessa. Maankaytto 2/2008, s 36-39.
- Koski, Jarkko 2001. Laserkeilaus – uusi ulottuvuus paikkatiedon keraamiseen. Maankaytto 4/2001, s 24-26.
- Kukko, Antero – Hyyppä, Hannu – Kaartinen, Harri – Ahlavo, Marika – Vaaja, Matti 2010. Liikenneymparisto kolmiulotteisiksi liikkuvalla kartoituksella. Positio 2/2010, s 6-8.
- Kukko, A. – Jaakkola, A. Liikkuvakartoitus tiedon tuotannon etulinjassa. Maankäyttö 1/2011. s 14 -16.
- Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet
- Lautiainen, L 2011. Satelliittimittauksen käyttö rajaamistoimituksissa.
- Maanmittauslaitos 2003. Kaavoitusmittausohjeet.
- Maanmittauslaitos. Laserkeilaamalla tuotetaan uutta korkeusmallia.
- Maanmittauslaitos. Laserkeilausaineiston tuotokuvaus.
- Maanmittauslaitos. Maantietoimituksen tuotteet

- Maa- ja metsätalousministeriö, 2006 Helsinki. Valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja – vaihtoehdot. Työryhmämuistio MMM
- Mikonen, J. 2010. Selvitys satelliittimittauksen soveltuvuudesta raidegeometrian mittauksiin.
- Mäkinen, K. Tähtäimessä koko suomi. Positio 2008 s. 24 – 27.
- Nenonen, Keijo - Vanne, Jouko - Laaksonen, Heli 2010. Laserkeilaus – uusi menetelmä geologiseen kartoitukseen ja tutkimukseen. Geologi 2/2010 s 62-69.
- Puupponen, E. 2005. Tiesuunnittelussa käytettävien kartta- ja malliaineistojen tuottaminen
- Salolahti, Mika 2010. Laserkeilaus ja sen kayttomahdollisuudet. Terrasolid, esite.
- Soininen, Arttu 2003. Laserkeilauksen sovellusalueet. Maanmittaustieteiden seuran julkaisu 40, Maanmittaustieteiden paivat 2003.
- Soininen, Arttu – Korpela Hannu. Processing of Airborne Laser Data and Images – Versatile products through skilled processing. GIS development magazine 10/2007.
- Takala, T. 2006. Maastomallit ympäristö- ja maanrakennusalan suunnittelussa. Luento TKK
- Tiehallinto 2009. Eu- Meluselvitys: Maasto- ja väestötietojen hankinta esiselvitys
- Tiehallinto. Tienpito, suunnittelu, tiehankkeiden suunnittelu.
- Tiehallinto 2002a. Tiensuunnittelun kulku, Tiehallinnon esite julkaisu 2002.
- Tiehallinto 2002b. Tiesuunnittelun laatujärjestelmä, Maastotietojen hankinta, Toimintaohjeet.
- Tielaitos. Tielaitoksen julkaisu TIEL21400008: Maastomallimittaukset 1994
- Tolonen, Jukka 2010. Maalaserkeilaus. Artikkel.
- Ventin, Jakob 2010. Ilmaisia ohjelmia laserkeilausaineistojen kasittelyyn.
- Vilhomaa, j. 2010. Uuden valtakunnallisen laserkeilaukseen perustuvan korkeusmallituotannon käynnistäminen maanmittauslaitoksessa
- Vilhomaa, j. 2010. Maanmittauslaitoksen laserkeilaustoiminta- uusi valtakunnallinen korkeusmalli laserkeilaamalla.