

## Digitaaliset ilmakuvat kaupunkien käytössä

**Kimmo Nurminen**

Topografikunta, Paikkatieto-osasto, Aineistonhallintasektori  
Kutojankulma 2, 02630 Espoo  
kimmo.nurminen@mil.fi

**Tiivistelmä.** Digitaalisten ilmakuvien käyttö on yleistynyt ja arkipäiväistynyt nopeasti viime vuosien aikana kuntien eri toiminnoissa. Digitaalisen fotogrammetrian kehitys on mahdollistanut aiempiin ratkaisuihin verrattuna edullisempien stereotyöasemien tuomisen esimerkiksi kaupungin mittauslaitteeseen. Tietoverkon välityksellä ilmakuvia voidaan jakaa aiempaa suuremmalle käyttäjäkunnalle. Toisaalta käyttäjäkunnan rakennekin on muuttunut – voidaan puhua tiedon ylläpitäjistä, tiedon hyväksikäyttäjistä ja analyysoijista sekä katselijoista. Kuntien tarvitsemien ilmakuvien mittakaava on yleensä suuri- tai keskimittakaavaista välillä 1:3K – 1:20K. Kuvatyyppit voidaan jakaa pystyilmakuviin, viistoilmakuviin sekä ortomosaiikkeihin. Kuntien eri toimintojen kuvankäyttötarpeilla on erilaiset painotukset: Mittauslaitteissa korostuu keskusprojektiomittakuvien tarve kartaston alueittaisessa täydennysmittauksessa. Maankäytön suunnittelussa etusijalla on ortomosaiikkien ja viistokuvien avulla toteutettu esitettävyyttä. Liikenne- ja kadunsuunnittelussa on sekä mittaus- että havainnekuvat tarpeita. Viheraluesuunnittelussa saattaa olla kunnan tyyppin mukaan tarvetta esittävän ortomosaiikin lisäksi vääräväriortokuville. Maa-ainesten otossa ja maanlajityksessä korostuu usein mittauslaitteiden toistuvuus ja seuranta; laserkeilaus ja ortokuvat yhdessä ovat tällöin houkutteleva yhdistelmä. Pelastuslaitteissa ortokuvat tuovat uuden ulottuvuuden kartan tietosisältöön ja vaikkapa mobiilikäyttöisesti. Ilmakuvien käytettävyydelle kaupungin intranetissä on useita perusvaatimuksia: kussakin toiminnossa riittävä kuvanlaatu, sopivien formaattien valinta, käytön nopeus ja helppous sekä ilmakuvien kanssa käytettävien muiden aineistojen räätälöinti esimerkiksi tulostuksia varten. Kaavan pohjakartta voidaan valmistaa ortokuvapohjalle, mutta uusien työtapojen omaksuminen vie aina aikansa. Erikoiskäyttötarpeisiin on myös muita harvinaisempia ilmakuvien käyttötapoja, kuten stereoviistokuvat sekä ortokuvaparit ja stereo-ortokuvat. Laajoja, monia kuntia kattavia ilmakuvauksia tehdään yhä useammin. Uusimpana ja odotettuna palveluna on koko Suomen kattavien ilmakuva-aineistojen tuonti internetiin.

**Avainsanat:** digitaalinen ilmakuva, ortokuva, viistokuva, korkeusmalli, mittauslaitteet, maankäytön suunnittelu, kaavoitus, maanlajitys, viheraluesuunnittelu, pelastuslaitteet, kadunsuunnittelu, elinkeinopalvelut, yrityspalvelut, vesihuolto-suunnittelu, ilmakuvaskanneri, kaavan pohjakartta, kantakartta.

## **1 Kaupungin paikkatietojärjestelmä**

Paikkatieto on kohdetta kuvaavan sijaintitiedon ja ominaisuustiedon yhdistelmä. Paikkatietojärjestelmä on paikkatietoja joko manuaalisesti tai tietokoneavusteisesti käsittelevä tietojärjestelmä, jonka avulla voidaan lisätä, säilyttää, korjata, analysoida ja poimia tietoa. Kunnan paikkatietojen käyttäjät voidaan jakaa katselukäyttäjiin, ylläpitäjiin sekä tiedon hyväksikäyttäjiin ja analysoijiin. (Rainio 1988, Aronoff 1991, Nurminen 2002)

Katselukäyttäjä tarvitsee paikkatietoa työssään referenssiaineistona, paikantamisessa ja tietolähteenä, joten yleensä aineistot avataan vain lukuoikeuksin. Ylläpitäjä synnyttää tiedon ja vastaa sen oikeellisuudesta. Tyypillisessä kaupungissa ylläpitäjät sijoittuvat mittaustoimeen, asemakaavoitukseen ja rakennusvalvontaan. Tiedon hyväksikäyttäjä tai analysoija tarvitsee paikkatietoa uuden aineiston muodostamiseen tai eri lähtöaineistojen tietoja yhdistämällä haluamansa haun tekemiseen. Tietojen hyväksikäyttäjiä ovat maankäytön ja kunnallistekniikan suunnittelijat, katujen ja verkostojen rakentajat ja kunnossapitäjät sekä maapoliitikot. (Nurminen 2002)

Kuntien ja kaupunkien paikkatietojärjestelmät ovat kerroksittaisia, jolloin samaan kohteeseen liittyy useita erilaisia paikkatietoaineistoja: kantakartta, maanalaiset rakenteet, kaavoitustiedot, erilaiset suunnitelmat, rekisterien ominaisuustiedot, maaperätiedot. (Rainio 1988, Aronoff 1991) Kaupunkien paikkatietojärjestelmät eivät vielä kaikilta osiltaan täytä paikkatietojärjestelmän yleistä määritelmää. Sijaintitiedot ja ominaisuustiedot ovat kyllä olemassa, mutta niiden linkittäminen toisiinsa ei ole vielä kokonaan toteutunut. Toisaalta myös ohjelmistotuotteita on perinteisesti käytetty vain esimerkiksi pelkän rekisteritiedon tai karttatiedon ylläpitoon. Kokemusten mukaan kaupungille ei ole löydettävissä tai rakennettavissa sellaista yhtä ja ainoaa paikkatietojärjestelmäsovellusta, joka täyttäisi optimaalisesti kaikkien käyttäjien tarpeet. Tärkeintä ovat tiedot ja niiden laatu ylläpitotietokannoissa ja muissa tietolähteissä sekä mahdollisuus muuntaa tietoja eri formaatteihin. Siten eri käyttäjäryhmille voidaan valita niiden tarpeet parhaiten täyttävä valmissovellus. Tarvittava tieto voidaan kopioida siihen ylläpitojärjestelmästä säännöllisin väliajoin. (Nurminen 2002)

Digitaalinen ilma kuva toimii paikkatietojärjestelmässä osana tiedon ylläpitämisessä sekä esittämisessä. Kunnan luottamushenkilöille ja kuntalaisille ortokuva ja viistokuva ovat usein helpompaa luettavaa kuin jollakin standardilla luokiteltu perinteinen karttatieto. Merkittävimmät hyödyt ilma kuva- ja karttatietojen sekä kunnan perusrekisterin yhteiskäytössä saavutetaan katselukäytön levittämällä. (Nurminen 2002)

### **1.1 Digitaalinen ilma kuva paikkatietojärjestelmässä**

Digitaalinen ilma kuva on perinteisellä ilmavalokuvauskalustolla otettu ja fotogrammetrisella skannerilla skannattu tai suoraan digitaalisella ilmaisimella tallennettu kuva. Koska mittailmakuvan halutaan säilyttävän mittatarkkuutensa, skannerin erotuskyvyn on oltava riittävän suuri eli pikselikoon on oltava riittävän pieni. Riittävän raja-arvon sanelee lähinnä käytetyn kuvauskaluston objektiivin ja filmin suoritusarvot. Aiheesta on suoritettu lukuisia tutkimuksia, mutta karkeana suosituksena tavallisille värifilmeille voisi antaa 10 – 15 µm ja mustavalkokuville noin 10 µm, kun kuvia käytetään tarkkoihin fotogrammetrisiin mittauksiin. Esimerkiksi 12 µm:n erotuskyvyllä ja 24 bitin väriavaruudella skannatun ilmakuvatiedoston koko on noin 1050 Mt.

Yli gigatavun kokoisia kuvia käytetään yleensä vain kolmioinnin aikana ja muiden ilmakuvatuotteiden raaka-aineena. Ensimmäiseksi raakakuva tiilitetään, jotta kuvan käsittely esimerkiksi kolmioinnin aikana olisi juohevaa. Kolmiointi tehdään yleensä tiilitetyltä kuvalta, mutta stereomallit saatetaan jo pakata. Pikselikoolla 12.5 µm manuaalimittauksessa JPEG-kuvanpakkaus pakkaussuhteella 1:10 heikentää jonkin verran kuvanlaatua, mutta mittaustuloksia se ei vielä merkittävästi heikennä. Esimerkiksi automaattisen korkeusmallin

muodostamisessa pienen pikselikoon ja sopivan pakkaussuhteen yhdistelmä havaittiin paremmaksi kuin seuraavien pyramiditasojen käyttäminen. (ks. Nurminen 2002, Lammi/Sarjakoski 1995, Robinson/Montgomery/Fraser 1995)

Ilmakuvia tietoverkon välityksellä katseltaessa tärkeintä on, että käyttäjä saa haluamansa kuvan näyttöruudulle mahdollisimman nopeasti. Pakkaamalla tiedostokokoa saadaan pienennettyä ja kulku-aikaa verkon yli nopeutettua. Pakkaustavat voidaan jakaa tietoa hukkaaviin ja tiedon säilyttäviin. Tiedon säilyttävien pakkausten käytön soisi lisääntyvän: JPEG:n laajennuksiin kuuluu kaksiulotteista differentiaalista pulssikoodimodulointia hyödyntävä algoritmi, jolla voidaan saavuttaa noin 1:2-pakkaus. LZW-pakkauksella (Lempel-Ziv-Welch) taulukon 1 alkuperäinen ortokuva pakkautuu noin 30%. Kuvapyramidi on alkuperäiskuvasta heikennettyjen harvempiresoluutioisten kuvien sarja. Pyramidi voi olla sidottuna talletusformaattiin, kuten Kodakin PhotoCD:ssä. Kun kuvaa vieritetään, kuvankäsittelyohjelma osaa avata näyttömuistiin vain ne tiilet, joiden alueelta kuvainformaatiota halutaan. Tiedostokokoa voidaan pienentää myös värimäärää vähentämällä (ks. Jaakkola/Orava 1993). Mikäli pikselikoko pysyy samana, sovellusohjelma joutuu silti käsittelemään saman pikselimäärän kuin alkuperäisaineistossa. Tiedostoko ei ole nykyään niin kriittinen asia kuin vielä muutama vuosi sitten. Lähiverkkoja suunniteltaessa ja uusittaessa tavoitteeksi kannattaa jo ottaa CAT6-kaapelointi, joka mahdollistaa nimellisen 1 Gbit/s-tiedonsiirtonopeuden.

Ilmakuvapalvelin on verkkopohjainen ratkaisu ilmakuvien katseluun. Kuvanpakkausta, pyramidia ja tiilitystä käytetään ja lisäksi kuvat on georeferoitu eli kuvan sijainti on talletettu joko erilliseen tiedostoon tai kuvatiedoston otsaketietoihin. Jos kuva on orto-oikaistu, ilmakuva palvelimeen on voitu yhdistää välimatkan mittausta, ominaisuustietojen hakua ja muiden paikkatietoaineistojen hakujen päälleäyttö. Erityisesti verkkokäyttöön on sovelias JPEG 2000 -standardi, jossa pakkausalgoritmiksi on otettu diskreetti wavelet-muunnos. Kuva voidaan ladata näytölle siten, että ensin tulee nopeasti epäterävä alkukuva ja sitten erotuskyky tasaisesti paranee. Lisäksi useiden kuvien, esimerkiksi kuvapyramidin, lataus onnistuu yhdestä kuvatiedostosta. Verkon ylläpitäjän työ helpottuu. Hieno uusi piirre on käyttäjän alueille sanelema prioriteetti ja kuvanlaatu. Esimerkiksi tiheille metsäalueille voidaan laittaa voimakas pakkaus, ydinkeskusta-alueille pieni pakkaus.

Käyttösovellukset sanelevat, mihin kuvaformaattiin kuvat talletetaan. Turvallista on käyttää yleisiä perusformaatteja, kuten TIFF (Tag Image File Format), joka tukee myös JPEG-kuvanpakkausmenetelmää (Joint Photographic Expert Groups) (ks. Murray/vanRyper 1996). Esimerkiksi koko Vantaan kattavan ortomosaiikkiaineistosarjan tiedostoversiot on taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Vantaan ortokuvien yleisimmät versiot.

Aineisto	Pikseleitä	Maasto-pikseli cm	Tiedostokoko Mt	Formaatti	Tiilitys	Pakkaus	Käyttö
ortokuva kilometri-ruutu	4000x4000	25	46	24 bit TIFF	on	ei	alkup. CD
	4000x4000	25	14	8 bit HMR	on	Deflate	MicroStation
	4000x4000	25	16	8 bit TIFF	ei	ei	MapInfo
	4000x4000	25	4	24 bit TIFF	on	JPEG 1:10	Geomedia WebMap
	500x500	200	0.04	24 bit JFIF	ei	on (Q=5)	Internet

## 2 Pystykuvat

Pystykuvalla tarkoitetaan maastosta kohtisuoraan otettua kuvaa. Kuvissa on silti aina jonkin verran kuvauskoneen kallistuksista aiheutuvaa projektiivista vääristymää. Suomessa tehtävien mittaus- ja kartoitusilmakuvausten pitkittäis- ja poikittaiskallistukset eivät saa ylittää arvoa 4 gon.

Koska kaupunkien kaavan pohjakartan täydennyskuvaukset tehdään matalalta, noin 500 metristä, ja turbulentsisuus lisääntyy matalalla lennettäessä, hyrrästabilointilaitteen käyttö on suositeltavaa. Paitsi projektiivisen vääristymän pienentämiseen hyrrästabilointi käy erityisesti kiertojen aiheuttaman valotuksen aikaisen kuvaliikkeen pienentämiseen. Kiertojen nopeus voi olla matalakuvauksissa jopa 10 °/s, mutta yleensä kuitenkin alle 2 °/s. Hyrrästabiloinnilla voidaan päästä alle 0.3 °/s. Kuvan terävyys paranee erityisesti kuvan kulmissa. Oikeiden peittojen saavuttaminen helpottuu. Hyrrästabilointilaitteen edut pienenevät kuvauskorkeuden kasvaessa.

Perinteisten ilmakuvauslaitteiden uusien objektiivisukupolvi kykenee 100 lp/mm AWAR-erotuskykyyn suuriresoluutioisella filmillä ja suurella kontrastilla. Syinä ovat tietokoneavusteinen suunnittelu, linssisysteemien matemaattinen mallintaminen ja testaus, hionnan toteutus kullekin järjestelmälle yksilöllisesti, pinnoitus-, liimaus- ja pintakäsittelytekniikoiden kehittyminen sekä monet muut edistykset. Kehitystyön lähtökohtana on ollut myös heikon kontrastin kohteiden parempi kuvautuminen siten, että objektiivin täysi potentiaali saavutetaan suurimmalla geometrisella aukolla.

Filmikameroiden kuvat skannataan mittauskäyttöä varten fotogrammetrisella skannerilla. Skannausala on tasomainen ja vähintään 24 x 24 cm. Filmin valaisu on toteutettu mieluummin hajavalaisujärjestelmänä joko samealla lasilevyllä, fluoresoivalla valolla, kuituoptiikalla tai valaisin voi olla pallopinnan sisällä; kohina pienenee ja filmipohjan naarmut ja pölyhiukkaset eivät näy digitaalisella kuvalla. Fotogrammetrisen skannerin geometrisen tarkkuuden pitää olla välillä  $\pm 2 \mu\text{m}$ . Densiteettialueen on oltava värikuville 0.2 – 3.5 D ja mustavalkokuville 0.1 – 2.0 D. Kvantisointitasojen määrä on oltava 10 – 12 bit ja vähennettävissä 8 bittiin. Optiikka saisi olla värikorjattu. Skannausresoluutio on 10 – 15  $\mu\text{m}$  suoraan skannerin ulosantamana.

Kaupunkien pystykuvat ovat blokittaisia ja blokkeja saatetaan kuvata muutamia vuosittain. Yhdessä blokissa on yleensä 1 – 4 jonoa ja 6 – 50 kuvaa. Tyypillinen kuvauskorkeus on 500 m ja laajakulmaobjektiivilla mittakaavaksi tulee 1:3 300. Kuvaus suoritetaan, kun alueella tehdään kartaston täydennyksiä tai kaavoitustilanne sen vaatii. Kuvista voidaan tehdä myös suuriresoluutioiset ortokuvat. Tie- ja ratalinjauksia varten saatetaan myös tehdä erillisiä kuvauksia.

## 3 Viistokuvat

Viistokuvat otetaan tarkoituksellisesti vinosti ja kuvausakseli muodostaa yli 10 goonin kulman luotisuoran kanssa. Viistokuvat voidaan jakaa normaaleihin viistokuviin ja horisonttiviistokuviin. Viistokuvatkin voivat muodostaa kuvapareja: konvergenteissa pareissa kuvausakselit lähenevät toisiaan kohteen suunnassa, divergenteissä kuvausakselit loittonevat toisistaan. Viistokuvat otetaan usein ei-mittakameroilla ja siksi niiden käyttö mittauksiin on hankalampaa. Kuvia käytetään mahdollisimman totuudenmukaisten ja pintamateriaalein renderoitujen havainnekuvien valmistamiseen sekä rasteri- ja vektorikarttojen taustakarttana. Kaavoituksen, rakentamisen ja kunnallistekniikan suunnitteluprosessit edellyttävät usein juuri viistokuvien käyttöä. Mittauskäyttökin on mahdollista, etenkin, jos tasokoordinaatit riittävät. Viistokuvilta näkyy paremmin rakennusten julkisivut sekä maaston ja puuston korkeussuhteet.

Kuvauksia tehdään yksimoottorisilla pienkoneilla ja helikoptereilla. Filmimateriaali voi olla 135- tai 120/220-formaattia, 9x12 cm -laakafilmiä tai jopa 23x23 cm -perusfilmiä. Kinodioista ei saa korkealaatuisia värisuurenoksia ja väripainotyöt eivät onnistu niin hyvin kuin isommilla filmeillä. Silti erotuskyky riittää hyvin esimerkiksi kuviorajojen piirtoon. 120/220-formaatti käy jo väripaino-originaaliksi ja osasuurenoksiin. Isommat filmikoot kasvattavat myös kameran kokoa ja käsivaralta kuvaaminen vaikeutuu. Helsingin kaupunkimittausosasto on käyttänyt helikopteriviistokuvauksissa 90 mm:n ja 75 mm:n objektiiveja ja 100 ASAN negatiivifilmiä. Negatiivifilmin kaksivaiheinen kehitys mahdollistaa sävynsäädön ennen lopullista kuvaa. Positiivifilmistä tehdyt paperikuvat ovat usein liian jyrkkiä, mutta julkaisuihin positiivifilmi käy hyvin. Joitakin kasvillisuustutkimuksia on tehty väri-infrafilmiä. Digitaalikamerat tullevat ensimmäiseksi viistokuvakäyttöön.

Esimerkiksi Helsinki kuvaa 1 000 – 1 500 viistokuvaa vuodessa. Kuvat on arkistoitu kuvausajan ja alueen mukaan. Vantaa on kuvauttanut koko kaupungin alueen kattavat viistokuvaukset Lentokuva Vallas Oy:n toimesta vuosina 1996 ja 2001. Kummankin kuva-aineiston koko on noin 800 kuvaa.

Viistofilmikuvien skannaustavan ratkaisee kuvien käyttötarkoitus. Katselukäyttöä varten riittää hyvän pöytäskannerin laatu. Vantaan kuvien erotuskyky on 2048x3072 pikseliä 24-bittisessä PhotoCD-formaatissa. Lisäksi palvelimelle laitettiin alempiresoluutioiset kuvat, joiden haku onnistuu indeksikartan avulla. Mittauskäytössä kameran on oltava vähintään puolimittakamera ja skannaus on syytä tehdä fotogrammetrisella skannerilla. Tällöin skannausresoluutio voi pienikokoisilla filmeillä olla hyvinkin suuri, jopa 7 – 10 µm. Kameralle voidaan tehdä suuntaa-antava kalibrointi sisätestikentällä. Mittaustapoja on useita: Karttapohja voidaan likimääräisesti ”käänteisoikaista” kuvalle. Viistokuva voidaan oikaista tai orto-oikaista ja sijoittaa tulos karttapohjalle. Viistokuvaparista voidaan myös tehdä stereomalli ja suorittaa epipolaarioikaisu. Vaatimuksena on yleensä muiden rinnakkaisten ja tarkkojen referenssiaineistojen käyttö.

#### **4 Ortokuvat ja korkeusmalli**

Mikäli ilmakehä olisi ideaalinen nadiirikuva ja maasto olisi täysin tasainen, ilmakehä olisi samalla ortokuva. Kuvakallistumat aiheuttavat kuitenkin projektiivista vääristymää ja maaston korkeuserot perspektiivistä vääristymää eli maastovirhettä. Ilmakehän ulkoisen orientoinnin ja maaston korkeusmallin avulla mainitut vääristymät voidaan poistaa esimerkiksi kollineaarisuusyhtälöitä hyödyntäen. Kollineaarisuusyhtälöiden avulla toteutetun spatiaalisen muunnoksen jälkeen interpoloidaan sävyarvo ortokuvan pikselille.

Ortokuvan maastopikselin koko valitaan yleensä suuremmaksi kuin alkuperäiskuvan laskennallinen maastopikseli. Pikselin on mentävä tasan myös aiottuun lehtijakoon, esimerkiksi 16 cm menee tasan kilometriruutuun. Kaupunkialueilla ortokuvaus suoritetaan yleensä 60/60%-peitoilla maastovirheen aisoissa pitämiseksi; lopulliseen mosaiikkiin käytetään vain kuvien keskiosia. Työläitä vaiheita ortomosaiikkia tehdessä ovat riittävän laadukkaan korkeusmallin muodostaminen, mosaikointirajojen teko käsin ja sävyntasaus. Varsinainen orto-oikaisu on eräajotyypinen automaattinen tehtävä. Jos kuvaus uusitaan muutaman vuoden aikajänteellä ja kuvanottoaikat ja kuvauksen tekniset yksityiskohdat säilyvät samoina, kerran tehtyjä mosaikointirajoja voidaan käyttää melko pitkälti uudessakin mosaikoinnissa. Mikäli korkeusmalliakin on ylläpidetty sääntillisesti, ortokuvausten uusiminen ei ole ylitsepääsemätön urakka.

Korkeusmallin virheet ovat etenkin suuri- ja keskimittakaavaisissa kuvauksissa suurin virhelähde ortokuvan geometriselle tarkkuudelle. Monilla kunnilla ei ole omaa korkeusmalliaineistoa, vaan korkeustieto saattaa olla rasterikorkeuskäyrinä. Lisäksi

pengerretyt rakenteet, kuten tiestö, ovat usein nollakorossa. Tiestöönhän rajautuu välillisesti omistus- ja hallinnolliset rajat. Rasterikorkeuskäyrästä voidaan digitoida vektorimuotoon ja maastomittauksiin voidaan ottaa korkeus mukaan. Mikäli sillat halutaan ortokuville visuaalisesti oikein, joudutaan vektoriaineistoa editoimaan jonkin verran (ks. Nurminen 2002). Nopea keino laadukkaan korkeusmallin tekoon, ainakin paikallisesti, on laserkeilaus. Ruutukorkeusmallin ruudun koko voisi olla 5 – 10 metriä.

Maankäyttö- ja rakennuslain ja sitä täydentävän kaavoitusmittausasetuksen säädösten perusteella ortokuvan asemaa on virallistettu asemakaavan ja tonttijaon pohja-aineistona. Ortokuvan käyttö on yksi tapa toteuttaa avoimuuden ja vuorovaikutuksen toteutumista suunnitteluprosessin aikana. Ortopohjaa yhdistettynä viiva-aineistoihin on jo käytetty esimerkiksi asukastilaisuuksissa, mutta virallisina versioina harvemmin.

Todellisessa ortokuvassa, true orthossa, on menty askelta pidemmälle kuin perusortokuvassa. Talojen kattorakenteiden ja räystäsviivojen mukaan siirretään maastovirheen vääristämät katot oikealle paikalleen kivijalan päälle. Menetelmä on korkeusmallin luonnin ja loppueditoinnin osalta työlämpi ja vaatii kohteesta useita kuvia eri puolilta.

Hieno ja ehkä osin unohdettukin tuote on ortokuvapari, joka koostuu stereopeittoa omaavista ortokuvista. Korkeusmallilla olevat kohteet näkyvät tasaisena, mutta korkeusmallin päällä tai alla olevat kohteet näkyvät kolmiulotteisina. Teoreettisessa mielessä menetelmä voisi toimia kiertotienä maastovirheen ratkaisemiseen korkeusmallista irrallaan oleville kohteille. Mikäli koko näkymä maanpinta mukaan lukien halutaan kolmiulotteiseksi, lisätään ortokuvaparin toiseen kuvaan keinotekoinen parallaksi. Stereo-ortokuvapari koostuu siis ortogonaaliprojektio kuvasta ja sen parista, stereomatesta, joka on yhdensuuntaisvinoprojektiossa. Korkeustiedoiltaan heterogeenisen vektoriaineiston päällenäyttö on vaivatonta, koska korkeudet näkee mallilta ja silti on tavallisenkin ortokuvan edut koko ajan käytössä. (Kraus 1997, Blachut 1971)

## **5 Käyttökokemuksia**

Kaupungin paikkatietoa tarvitseville toiminnoille on tyypillistä suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon vuorottelu. Sama toiminto voi samalla alueella olla käynnissä kaikissa kolmessa vaiheessa. Siten aiheutuu perusvaatimus paikkatiedon ajantasaisuudelle ja laadulle. Digitaalinen ilmakuva voi olla ratkaisu. Koska mukaan tulee paljon ilmakuviin aiemmin tottumattomia tahoja, uusien työtapojen omaksuminen ei aina ole nopeaa. Seuraavassa on esitelty toimintoja Vantaan kaupungin osalta, mutta esitetyt seikat ovat ainakin osittain sovellettavissa myös muihin kaupunkeihin ja kuntiin. Osa toiminnoista, esimerkiksi pelastustoimi, on kirjoittajan hahmotelmia käyttömahdollisuuksista tulevaisuudessa.

### **5.1 Mittaustoimi**

Geodeettiset runkomittaukset, kartastojen ylläpito, kiinteistönmuodostus, kiinteistörekisterin pitäminen, rakennusvalvontamittaukset, johtokartoitukset ja maaperätutkimukset kuuluvat kaikki kaupungin peruspaikkatietovarannon ylläpitämiseen. Digitaalisten ilmakuvien merkitys on suurin kartastotehtävissä. Kuvien käyttö voi vähentää – mutta ei korvata – maastomittauksia kartantäydennyksissä. Tärkein karttatuote on kantakartta, joka on pohjana myös virastokartalle ja erityiskäyttökartoille.

Ensisijaisena karttatuotteena on 1:500-kaavan pohjakartta ja haja-asutusalueilta 1:2 000-pohjakartta. Kartasto on hybridimuotoista ja aineistoja on muutettu tärkeysjärjestyksessä teemoittain vektorimuotoon. Kartoituksen luonne on täydennystä muuttuneilla alueilla. Vuodesta 1997 kuvablokkeja on ollut 18 kappaletta ja esimerkiksi vuonna 2003 kuvautettiin 82 kuvaa mittakaavaan 1:3 300. Stereokartoituksista ei ole aina piirretty esimerkiksi piha-

alueita. 1 : 500-kantakartalle asuinkerrostalo-, rivitalo-, päiväkotij- ja vanhustentalotonteilta ei kartoiteta pensasaitoja, kulkuväyliä, istutuksia, nurmikoita, leikkiteliniä ja muita vastaavia karttakohteita. Omakotitonteista kartoitetaan sisäänajot kadulta tontille, rakenteet sekä tonttia rajoittavat aidat. Kaavan pohjakartalle korkeuskäyriä piirretään stereona vain luonnontilassa olevilla alueilla sekä laajoilla puisto- yms. alueilla. Korkeuslukuja sijoitetaan riittävästi paikoitusalueille, omakotitonteille ja katualueille siten, että huomattavammat korkeusvaihtelut ilmenevät. Alueen mukaan myös korkeuskäyrästä saatetaan piirtää. Samoin menetellään, jos korkeudet ovat selvästi muuttuneet rakentamisen seurauksena. Haja-asutusalueiden 1:2 000-karttaa päivitetään tarvittaessa 1:500-tasoiseksi ja 2D-vektorointien ja vanhojen maastomittausten 2D-vektoria nostetaan korkoon. Tienreunoja on digitoitu myös koko Vantaan ortomosaiikilta. (Nurminen 2002)

Piirto-ohjelmisto koostuu kahdesta pääohjelmistosta, MicroStation/J GeoGraphics ja Stella. Stereotyöasemia on kolme ja stereotyöskentelyyn koulutettuja henkilöitä 11. Keväällä 2001 viisi kartanpiirtäjää ja kaksi mittausmiestä suoritti oppisopimuskoulutuksena kartoittajan oppimäärän. Koulutus sisälsi myös fotogrammetriaa. Koska stereotyöasema voidaan nykyään rakentaa modulaarisesti ja ohjelmistoja voidaan vuokrata, työasemien lukumäärää on voitu lisätä. Yksi stereotyöasemista on sijoitettu maastopiiriin, jotta siellä voidaan suorittaa aiempaa vaativampia kartaston ylläpitotehtäviä. Kartoittaja tekee stereomittauksen (talvella–kevällä), maastotäydennyksen (kesällä) ja kartan viimeistelyn (syksyllä). Sateen sattuessa, pakkasella tai hämärässä voidaan aina tehdä stereomittauksia maastotukikohdassa. Etuna on myös se, että maastokartoituksia voidaan viedä maastotukikohdasta suoraan kartalle ilman välikäsiä.

Osalle blokeista tehdään kolmioinnin jälkeen suoraan myös ortomosaiikki, jonka maastopikselin koko voi olla 10 cm. Näin menetellen saadaan laajalta alueelta niin ajantasaista materiaalia kuin mahdollista. Tietosisältö on myös suuri ja katselija pääsee käyttämään omaa tulkintaansa. Tonttijaon laatija ja lohkomisissa toimitusinsinööri voivat hyödyntää ortokuvia.

Mittaustoimi on huolehtinut orto- ja viistokuvien ajantasaistuksen GeoMedia Web Map -ohjelmistolla toteutettuun Intranet-paikkatietopalveluun.

## 5.2 Maankäytön suunnittelu

Kaavoitus on maankäytön suunnittelua nykytilanne ja arvioitavissa oleva tulevaisuus huomioiden. Stereomittauksesta hyödytään välillisesti mittaustoimen järjestämisen ajantasaisen kartaston kautta. Sen sijaan ortokuvat ja viistokuvat ovat kohteita ja asioita selittävinä ilmaisumuotoina kaavoitukselle oleellinen uusi työkalu. Kuvilta näkyy paljon asioita, joita viivakartalta ei välttämättä hahmota. Kasvillisuus ja korkeussuhteet, erilaisten toimintojen keskinäinen asema luonnossa, julkisivumateriaalit ja kaupunkikuva ovat esimerkkejä. Ilmakuvien avulla nykytilanteen selvittäminen nopeutuu ja luonnosten teko helpottuu. Kaavoituksen kannalta olisi tärkeää saada monipuolista ja esittävää kuva-aineistoa, niin kevät- kuin syyskuvauksiakin. (Nurminen 2002)

Maankäytön suunnittelu on suurin viistokuvien käyttäjä. Monesti viistokuvilta hahmotetaan vain alueen nykytila, mutta myös kuville sommitellut virtuaalimallit uusista liikenneväylistä, kortteleista ja rakenteista ovat käytössä. Vanhatkaan viistokuvat eivät jää tarpeettomiksi, koska maankäytön suunnittelu tarvitsee tietoa myös alueen kehityksestä. (Nurminen 2002)

Kuvien tietosisällölle on moninaisemmat vaatimukset kuin esimerkiksi keväällä tehtävälle kartoituskuvaukselle. Talvella otettu viistokuva voi olla täysin käyttökelpoinen kaavoitukselle. Ortokuvien 25 cm:n maastopikselikoko koettiin riittäväksi kulttuurimaiseman esittämiseen, luonnonsuojelualueen suunnittelemiseen ja hoitosuunnitelman tekemiseen, mutta jos ortokuvia halutaan käyttää yleiskaavoituksen kaikkiin vaiheisiin, pikselikoko saisi olla pienempikin. Tietyiltä alueilta tehdyt 10 cm:n maastopikselin ortokuvat käyvät jo

toteuttamistasoiseen pihasuunnitteluun. Kasvillisuuden vivahteiden hahmottaminen on merkittävä ortokuvan mukanaan tuoma mahdollisuus. Maisemansuunnittelussa ortomosaiikin ja korkeuskäyrästä yhteiskäytöllä voidaan valita paikat, joissa käydään paikan päällä; aikaa ja resursseja säästyy. Syyskesän ortokuva kertoo selvästi, mitkä pellot ovat viljelyksessä ja on siten maisema-arkkitehdin kannalta parempi kuin kevään tai alkukesän kuvaus. Aluekokonaisuuksina näkee, onko joku laajempi alue rappeutumassa tai jäämässä pois käytöstä. Puun varjot auttavat metsittyneen alueen erottamisessa aukeasta. Kaavan melko pienessä havainnollistamismittakaavassa puiden ja talojen kallistumat eivät häiritse, mutta lähitarkastelussa voi häiritä. Tulevaisuudessa olisikin hyvä kokeilla vaikkapa jollain voimakkaasti rakennetulla alueella true ortho -oikaisua tai käyttää rivi-ilmaisintekniikkaa tihein kuvausjonoin. (Nurminen 2002)

Asemakaavoituksessa koettiin tärkeäksi, ettei viistokuvaukseen jää aukkoja tai isoja katvealueita. Vaatimus puiden lehdettömyydestä on riippuvainen suunnittelukohteesta. Ortomosaiikissa kevätkuvaus koettiin hieman paremmaksi, mutta arvio oli jossain määrin subjektiivinen. Ilmakuvat koettiin tärkeiksi kaavoituksellisen toteutuman seurannassa sekä kaavakarttojen täydentäjänä. (Nurminen 2002)

Usean kunnan alueelta suoritettavat ilmakuvaukset voivat parantaa kuntien välistä kaavoituksellista yhteistyötä. Valtakunnalliset ilmakuvapalvelimet ja erityisesti väärävärικuvat ovat tärkeä lisä kuntien omille aineistoille.

### **5.3 Vesihuoltosuunnittelu**

Vesihuoltosuunnittelu on vesistöjärjestelyjä ja vesiensuojelua koskevien asioiden valmistelua, alaan liittyvien sopimuksien ja lausuntojen valmistelua ja kuntien välisten vesihuoltoalan yhteistyöasioiden hoitoa. Tekniseen palveluun kuuluvat esimerkiksi yleisöpalvelu ja lupahakemukset sekä alan kartastojen ylläpito. Yleissuunnitteluun sisältyvät vesijohto- ja viemäriverkoston yleissuunnitelmien ja lausuntojen laatiminen kaavoitustyötä tukien. Laite- ja linjasuunnittelun tasolla tehdään yksityiskohtaiset tekniset suunnitelmat.

Vantaan alueella tehtiin vuoden 1966 keväällä tulvakuvauksia sulamisvesien ollessa korkeimmillaan. Kuvien avulla on voitu selvittää tulville alttiit jokisuistot. Maankäytön suunnittelussa kyseiset tiedot ovat yhä käytössä. Runkolinjojen yleissuunnittelussa ortokuvilta tai viistokuvilta näkee puuston olinpaikan tarkasti yleistämättömänä. Kovin paljon puustoa ei ole suotavaa kaataa runkolinjan vuoksi. Myös tiestö näkyy kuvilla piennaralueineen. Ylipäänsä ilmakuvien avulla voi valita maisemallisesti optimaalisen linjan. Runkolinjan ympärille tarvitaan 50 metrin kaistale korkeusmallia, joka suuremmissa projekteissa voitaisiin tehdä stereomittauksella. Ainakin alustava pituusleikkaus voitaisiin tehdä ilmakuvamittaukseen tukeutuen. Yleisellä tasolla ilmakuva toimii maastokäynnin alustajana ja joissain tapauksissa myös korvaajana. Vesijohdoille ovat tärkeitä X- ja Y-koordinaatit ja viemäriputkille myös Z-koordinaatti. Sijainti pyritään valikoimaan niin, että siitä on mahdollisimman vähän haittaa muulle maankäytölle. Suurimpien ojareittien kartoittamisessa ilmakuva on hyvä tietolähde yhdistettynä kiinteistörajoihin. Kuvilta nähdään ne kiinteistöt, joiden kautta oja kulkee ja saadaan ajantasainen tieto ojan aiheuttamasta eroosiosta. Ortokuvaus pitäisi tehdä joka toinen vuosi koko kaupungin kattavana kevätkuvausena, jolloin saataisiin esiin myös lehtiverhon alla olevat ojat.

### **5.4 Liikennesuunnittelu**

Asemakaavan liikennesuunnitelma perustuu osayleiskaavan tai kaavarungon toiminnalliseen ratkaisuun. Kaavarunko antaa tärkeimmät liikenteelliset lähtökohdat, kuten liikenneverkon jäsentelyn, mitoittavan liikenteen ja väylien liittymätyypit, pää- ja kokoojakatujen sekä kevyen liikenteen pääraittien sijainnin sekä runsaasti kevyttä liikennettä synnyttävät toiminnot, joukkoliikennesuunnitelman, pysäköintinormin ja pysäköinnin sijoitteluperiaatteet

sekä liikennemelun torjunnan periaatteet väylittäin. Lisäksi on huomioitava esimerkiksi olemassa oleva rakennuskanta ja tiestö. Liikennesuunnittelu tekee liikenteelliset mitoitukset ja tilavaraukset kaavoitusta varten. (Nurminen 2002)

Ortokuvilta selviää todellisen pihatien nyky sijainti ja tierumpujen sijainti sekä mitoitus. Vanhojen asemakaava-alueiden pihajärjestelyjen muutokset paljastuvat ortokuvilta. Lisäksi korttelin sisäisten rakenteiden ja puuston tulkinta käy vaivattomasti ortopohjalta. Kuvamateriaali tarjoaa oivan keinon tutkia, mitä aiottujen suunnitelmien ”alle” uhkaa jäädä. Kuvilta voidaan tehdä pysäköintitarpeen selvitystä etenkin, jos voidaan suorittaa lyhyellä intervallilla periodisia kuvauksia. Liikennemeluselvitys on aiempaa helpompaa, kun käytetään ortokuvapohjaa ja korkeusmallia. Havupuiden ja lehtipuiden osuus ja vaikutus liikennemeluun selviää suoraan kuvilta. (Nurminen 2002)

### **5.5 Kadunsuunnittelu ja -rakentaminen**

Kadunsuunnittelu eli kunnallistekniikan ja yleisten alueiden suunnittelu sijoittuu liikennesuunnittelun ja toteutuksen väliin. Tarkkuudet eri työvaiheissa ovat suuremmat ja lopulliset yksityiskohdat huomioidaan. Kadunsuunnittelu tarkoittaa yksityiskohtaista liikennealueiden toteutussuunnittelua, jossa suunnittelu, rakentaminen ja toteutuman seuranta lomittuvat päällekkäin. (Nurminen 2002)

Alustavien maastotöiden aikana mitataan pinnan korkeusmalli hajapisteinä ja taiteviivoina. Mikäli alue on peitteetön ja riittävän suuri kuvauksen järjestämiseksi, stereomittauksen käyttö on mahdollista. Toteutus- ja seurantavaiheen mittaukset suoritetaan maastossa takymetrillä, vaaituskojeella ja oikolaudoilla. Kuvien avulla voidaan vähentää maastokäyntien määrää jonkin verran. Suunnitelman esittelyvaiheessa ilmakuvilla on oma erityisarvonsa, kun tekninen suunnitelma saadaan sidottua kuvalta hahmotettavaan maastoon.

### **5.6 Viheraluesuunnittelu ja -rakentaminen**

Viheraluesuunnittelun vuosittaiseen suunnitteluohjelmaan sisältyvät viheralueiden yleissuunnitelmat, puistosuunnitelmat, maanlajitysalueiden maisemanhoitosuunnitelmat, ulkoilualueet, liikunta-alueet, pihojen rakentaminen ja perusparantaminen sekä katuviherkaistojen rakentaminen ja perusparantaminen.

Viistokuva sopii esimerkiksi korkeussuhteiden tarkistamiseen ja ratkaisujen esittämiseen asukkaille. Kuvilta voidaan tarkistaa paikan kasvilajistoa yleispiirteisesti, mutta luotettava määrittäminen vaatii harjaantumista kuvilta tapahtuvaan tulkintaan ja riittävän erotuskykyiset kuvat. Uusi Ilmari-kuvapalvelin tarjoaa väärävärivälineen mahdollisuuden ainakin metsien kuviorajojen tekemiseen, kasvupaikkakartoitukseen sekä metsän kunnan seurantaan. Kuten monessa muussakin toiminnossa, ortokuvat toimivat maastokäynnin rinnalla nykytilanteen selvittämisessä. Ainakin laajoissa kohteissa voidaan kuvien avulla esittää ja osoittaa kaadettavat ja säästettävät puut.

### **5.7 Maa-ainesten otto ja maanlajitys**

Hyvä maapohja käytetään rakentamiseen ennen huonoa. Etenkin pääkaupunkiseudulla myös kaavoitukselliset syyt johtavat rakentamiseen alueille, joilla on tehtävä pohjanvahvistustöitä. Niistä ovat massanvaihdot yleisimpiä. Julkisen rakentamisen kohteissa tonttikustannusten säästämiseksi saatetaan tehdä useita maanalaisia paikoitus- ja varastokerroksia, mikä lisää ylijäämämaan syntyä. Ylijäämämaata on kaikki se maa, joka joudutaan kuljettamaan pois rakennuspaikan välittömästä läheisyydestä.

Täyttömaita voidaan sijoittaa esimerkiksi liikenneväylien massoitukseen ja meluvalleihin, mutta suurempia määriä mahtuu täyttömäkiin. Suuren täyttömäen suunnittelun tärkeimpiä lähtökohtia on täyttöajan selvittäminen. Koossa pysyäkseen täyttömäki tarvitsee tukirakenteisiinsa louhetta. Koska sen osuus mäkeen tuotavista materiaaleista on rajallinen,

olla yleensä pakotettuja rakentamaan enintään kaltevuuteen 1:4. Mäki koostuu noin 3.5 m korkeista lamelleista. Pehmeät maamassat sijoitetaan mäen lamelleissa sijaitseviin altaisiin. Täytösasteen seurantaan tarvitaan vuositason työkalu. Vantaalla on kokeiltu 1:2 600- ja 1:3 300-mittakaavaisia stereokuvia ja niiltä tehtyjä korkeusmalleja. Tarkkuudeksi riittää 10 cm tasossa ja korossa. Tarkistusprofiileja takymetrimittauksiin verrattaessa havaittiin maamassojen painumista. Nykyään nopeampi keino korkeusmallin muodostamiseen saattaa olla laserkeilaimen käyttö maasta tai ilmasta. Kuviakin kuitenkin tarvitaan esimerkiksi renderoitujen havainnemallien valmistamiseen.

### **5.8 Elinkeino- ja yrityspalvelut**

Toimintoon kuuluu elinkeino- ja maapolitiikan toteuttaminen. Maapolitiikka tarkoittaa tässä maan hankkimista ja myyntiä asuntotonttien, työpaikkatonttien ja virkistysalueiden riittävyuden turvaamiseksi. Merkittävän osan toiminnasta muodostaa kaupungin markkinoiminen yrityksille sijoittumiskohtena.

Internetin välityksellä voidaan levittää tietoa luovutettavien tonttien sijainnista ja ominaisuuksista sekä kuvailla tonttia viistokuvan avulla. Kuvilta pitää näkyä mahdolliset pihajärjestelyt, joten erotuskyvyn on oltava hyvä. Ortokuvien kanssa käytetään maanomistusoloja kuvaavaa karttaa.

### **5.9 Pelastustoimi**

Ortokuvien käyttö olisi mahdollista ja sitä on toivottu pelastuslaitoksen piirissä. Mahdollinen sovellus voisi toimia esimerkiksi siten, että osoitteen mukainen paikka osoitettaisiin kuvapohjalle ja lisänä olisi tieto vesiposteista, kohteen läheisyydessä olevista liikennettä rajoittavista rakenteista ja linkki rekisteritietoihin. Kuva toisi lisäinformaatiota kohteen todellisesta ulkoasusta ja ympäristöstä. Onko esimerkiksi rakennuksen pitkällä sivulla korkeita puita tai paloautoja haittaavia rakenteita. Haja-asutusalueella pihapiirin ajoreitti, kattorakenteet etenkin isoissa teollisuuskohteissa, kartalta mahdollisesti puuttuvat ajourat, laskeutumispaikat pelastushelikopterille, pahojen liikenneonnettomuuksien liikenteenohjaus, nopein reitti tiettömän taipaleen takana olevalle onnettomuuspaikalle, sammutusveden hankinta maastosta, maastopaloissa kasvillisuus palon etenemissuunnassa, valtavyölien varressa sijaitsevat vesistöt kemikaalikuljetusonnettomuuksissa sekä tausta-aineisto nopean päätöksenteon tukena ovat joitakin esimerkkejä. Kuvia käytettäessä autoissa on oltava riittävän iso näyttö. Koko Vantaan ortokuvat mahtuvat helposti nykyisille kovalevyille. Nykyiset wireless-järjestelmät eivät enää kahlitse käyttäjää kiinteän koneen ääreen. Myös viistokuvat voisivat käydä tarkoitukseen, mikäli kohteen merkitseminen kuvalle onnistuisi ohjelmallisesti; sen sijaan muun kartta-aineiston päällennyttö olisi hankalampaa, vaikkakaan ei mahdotonta. Pelastuslaitos tarvitsisi rakennusmassasta ja maastosta korkeusmallin, jonka avulla voisi laskea kuuluvuusanalyysijä evakuoiteja varten. Ortokuvapohjaa voisi käyttää myös valistusmateriaalin pohjana. (Nurminen 2002)

### **Lähdeluettelo**

- Aronoff S., 1991, *Geographic Information Systems: A Management Perspective*, Second Printing, WDL Publications, Ottawa, 294 s.
- Blachut T. J., 1971, *Mapping and Photointerpretation System Based on Stereo-Orthophotos*, Dissertation no. 4792 submitted to the Swiss Federal Institute of Technology Zurich for the Degree of Doctor of Technical Sciences, Juris Druck+Verlag Zurich, 147 s.
- Jaakkola J., Orava E., 1993, Pikselin suuruuden, sävyjen määrän ja tiivistämisen vaikutuksesta digitaalisen ilmakuvan geometriaan, *Geodeettinen laitos, tiedote* 9, 49 s.
- Kraus K., 1997, *Photogrammetry, Volume 2, Advanced Methods and Applications*, Fourth Edition, Dümmler, Bonn, 466 s.
- Lammi J., Sarjakoski T., 1995, Image Compression by the JPEG Algorihm, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Volume LXI, Number 10, October 1995, s. 1261–1266.
- Murray J. D., vanRyper W., 1996, *Encyclopedia of Craphics File Formats*, Second Edition, O'Reilly&Associates, Inc., 1116 s.
- Nurminen K. T., 2002, Digitaalisten ilmakuvien käyttö kaupungin paikkatietojärjestelmässä, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Maanmittausosasto, 135 s.
- Rainio A. (toimittaja), 1988, Paikkatietojen yhteiskäyttö Suomessa, LIS-projekti, Maanmittaushallituksen julkaisu nro 60, Maanmittaushallitus ja Valtion painatuskeskus, 64 s.
- Robinson C., Montgomery B., Fraser C., 1995, The Effects of Image Compression on Automated DTM Generation, s. 255–262, *Photogrammetric Week '95*, Fritsch D., Hobbie D., (Editors), Wichmann, Heidelberg, 353 s.