

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Maanmittaustieteiden laitos
Geoinformaatio- ja paikannustekniikan laboratorio

MAANPINTAA YMPÄRÖIVÄN TILAN VIISTOESITYSTAPOJEN KATEGORISOINTI

Geoinformaatiotekniikan erikoistyö

Pyry Kettunen

23.5.2008

Ohjaajat: professori Tapani Sarjakoski ja TkT Paula Ahonen

Tiivistelmä

Kolmiulotteisen tilan ymmärtäminen ja kolmiulotteisten sijaintien hahmottaminen on ihmiselle keskeinen taito. Kolmiulotteisuutta on kuitenkin suhteellisen hankalaa hahmottaa ja vielä hankalampaa kuvata erityisesti laajoilla maanpinnan alueilla, joilla korkeusulottuvuus jää metrisesti vähäiseksi. Tässä työssä selvitetään ihmiselle intuitiivisesti helppotajuisten kolmiulotteisten viistokuvien mahdollisuuksia maanpintaa ympäröivän tilan kartografiseen kuvaamiseen. Viistoesitysten tuotanto on viime aikoina lisääntynyt valtavasti, kun tietotekniikka on mahdollistanut viistokuvien nopean piirron kolmiulotteisista aineistoista, ja erilaisten kuvantuottotapojen ja -lähtökohtien määrä on kasvanut suureksi. Työn taustatietoina tutkitaan kartografisen esityksen kriteereitä pienennystä, abstraktiota ja yleistystä sekä viistokuvauksen geometriaa keskittyen kuvausprojektioiden kuvailuun. Näitä taustatietoja apuna käyttäen luodaan kategorisointi erityyppisille viistoesityksille. Esitykset jaetaan fotorealistisiin ja tulkitseviin sekä viistokuvaskitseihin. Kategorisoinnin yhteydessä pohditaan viistoesitysten sopivuutta kartografiseen käyttöön ja todetaan tulkitsevan viistoesityksen ja erityisesti valikoivan renderöinnin olevan ominaisuuksiltaan sopivin. Kartografisen viistoesityksen suurimmiksi haasteiksi määritetään käyttöliittymäkehitys ja kolmiulotteinen yleistys.

Esipuhe

Tämä erikoistyö on tehty Geodeettisessa laitoksessa Geoinformatiikan ja kartografian osastolla. Kolmiulotteinen paikkatieto on osastolla laajan mielenkiinnon kohteena, ja voinkin ilolla kiittää kaikesta avusta, vinkeistä ja kannustuksesta, joita olen työtovereiltani niin omalta kuin muiltakin osastoilta työtä tehdessäni saanut. Erikoiskiitokset kuuluvat ilman muuta professori Tapani Sarjakoskelle, joka toimi työn ohjaajana ja jonka kanssa käydyt terminologiset keskustelut olivat keskeisiä, kun pohdin monien kolmiulotteisen viistoesityksen käsitteiden vastineita suomen kielessä.

TkT Paula Ahonen toimi työn ohjaajana Teknillisen korkeakoulun Maanmittaustieteiden laitoksella. Kiitokset hänelle siitä panoksesta, jonka ansiosta tämä työ ehti hyvässä muodossa aikataulussaan valmiiksi.

Helsingissä 23. toukokuuta 2008

Pyry Kettunen

Sisältö

1 Johdanto **1**

1.1 Taustaa 1

1.2 Työn rakenne 2

2 Kartografisen esityksen kriteereistä **3**

2.1 Pienennys 3

2.2 Yleistys 4

2.3 Abstraktio 5

3 Viistoesityksen geometria **6**

3.1 Perspektiiviprojektio 7

3.2 Yhdensuuntaisprojektiot 9

3.2.1 Kohtisuora yhdensuuntaisprojektio 10

3.2.2 Vino yhdensuuntaisprojektio 11

3.3 Viistogeometriaa rikastavia ratkaisuja 13

4 Viistoesitystapojen kategorisointi **16**

4.1 Kategorisoinnin terminologinen tausta 16

4.2 Fotorealistinen viistoesitys 17

4.2.1 Fotorealistinen renderöinti 17

4.2.2 Valokuvien istutus 19

4.2.3 Vokselivärjäys 20

4.3 Tulkitseva viistoesitys 20

4.3.1 Piirrosten istutus 21

4.3.2 Valikoiva renderöinti 22

4.4 Viistokuvaskitsit 23

5 Yhteenveto ja johtopäätökset **27**

Lähteet **28**

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Elämme maailmassa, jossa havaittu ympäristömme on olennaisesti kaksiulotteinen. Painovoima pakottaa elämän Maan pinnan välittömään läheisyyteen siten, että tavanomaisen liikkumisen pystysuora osa jää olemattoman pieneksi verrattuna vaakasuunnassa liikuttuun. Jo mannermaisessa laajuudessa tarkasteltuna elämänpiirimme korkeimpine vuorenhuippuineen ja ylimpine lentoreitteineenkin aproksimoituu yhdelle ellipsoidipinnalle, jonka käsitämme maanpintana. Pysty- ja vaakaulottuvuuksiemme suhteet realisoituvat perinteisessä kartassa, joka on tämän ellipsoidipinnan esitys paperitasolla. Perinteisen karttakuvan mukaisesti hahmotamme maailmaamme kaksiulotteisena tasopintana jopa mittakaavoissa, joissa maanpinnan kaareutumisen määrä on merkittävä.

Maanpinnan pystysuora ulottuvuus on metrisestä vähäisyydestään huolimatta käytännössä olennainen. Ylöspäin liikkuminen eli painovoimapotentiaalin kasvattaminen vaatii energiaa huomattavasti enemmän kuin gravitaatiokentän tasa-arvopinnoilla kulkeminen tai kentässä laskeutuminen. Ympäristön havainnointimahdollisuudet riippuvat maaston ja havaitsijan korkeuseroista. Pystysuorat kohteet hallitsevat valtaosaa näkökentästämme. Tulevaisuudessa pystyulottuvuuden tärkeys tullee korostumaan lisää, kun ihminen laajentaa entisestään elinpiiriään maanpinnan kahden puolen: korkeiden rakennusten määrät kasvavat, maanalaiset rakenteet lisääntyvät ja ilmailu eri muodoissaan yleistyy runsaasti. Lisääntyvän avaruusliikenteen tilallinen hahmottaminen puolestaan vaatii kokonaisvaltaista avaruudellista käsityskykyä. Maailman hahmotus kolmiulotteistuu ja tarvitaan uudenlaisia abstrakteja tilaesityksiä perinteisten karttojen rinnalle.

Kolmiulotteisen tilan esittämisen kehityskulkua edistävät parhaillaan voimakkaasti uudet, tehokkaat aineistonkeruumenetelmät. Laserkeilauksen, modernin fotogrammetrian sekä tehokkaan tiedonkäsittelyn ansiosta kyetään luomaan ja käyttämään entistä huomattavasti tarkempia maaston korkeusmalleja sekä suunnitellaan kolmiulotteisten kiinteistörekistereiden perustamisia. Erityyppisten maastoesitysten muodostaminen käy aidosti kolmiulotteisten aineistojen ansiosta huomattavan yksinkertaiseksi verrattuna aiemmin harjoitettuun tasoaineistojen käsittelyyn.

Tämän erikoistyön motivaationa on käsityksissämme elävän kaksiulotteisen maanpinnan ja käytännössä kokemamme kolmiulotteisen tilan välinen esitystekninen ristiriita: kartografiassa keskitytään usein välittömästi havaittua ympäristöä laajempien alueiden ja ilmiöiden kuvaamiseen, jolloin korkeusulottuvuus jää metrisesti toissijaiseksi. Löytämällä keinoja, joiden avulla oleelliset korkeusvaihtelut saadaan kuvattua havainnollisesti ja todenmukaisesti myös kartografian laaja-alaisissa esityksissä, voidaan karttaesityksen tulkittavuutta ja esittävyyttä parantaa huomattavasti. Oikeamman maaston ja korkeussuhteiden hahmottumisen myötä voi karttaesitys ohjata käyttäjänsä merkittäviin käytännön hyötyihin, kuten energian ja ajan säästöihin.

Kun maanpinnan sijasta etsitään sopivaa esitystapaa sitä ympäröivälle, hahmotellun

kaltaiselle kolmiulotteiselle tila-avaruudelle, muodostuu luontevaksi näkökulmaksi havainnointi viistosti maanpintaa kohti. Tällaisesta viistonäkymästä nähdään sekä maastokohteiden sivuja ja korkeuksia että pinnan alaa. Kun tämä kuvitteellinen viistonäkymä projisoidaan kuvatasolle, saadaan aikaan reaalimaailman näkökokemusta vastaava viistokuva.

Viistokuvat ovat ilmakuvauksessa yleisiä ja muodostavat jo nykyisin valtavia kuvakirjastoja laajoilta alueilta, mutta viiston esityksen hyödyntäminen digitaalisessa kartografiassa on vasta kehityksensä alussa. Tässä työssä tutkitaan viistoesityksen eri muotoja niiden kartografista potentiaalia selvittäen: millaisia viistokuvia on tuotettavissa, miten ne ovat ryhmiteltävissä ominaisuuksiensa perusteella ja mikä on niiden suhde kartografiseen esitystapaan. Luodaan kategorisointi erityyppisille maanpinnan viistoesityksille.

1.2 Työn rakenne

Työ jakaantuu yleisellä tasolla kahteen osaan, taustatutkimukseen sekä taustatutkimusta hyödyntävään soveltavaan ja kehittävään osuuteen. Koska päämääränä on kahta jo sinänsä laajaa tutkimusalaa, nimittäin kartografiaa ja kolmiulotteista mallinnusta, yhdistävä kategorisointi, on taustatutkimus työssä hyvin merkittävässä osassa.

Luvut 2 ja 3 esittävät tehdyn taustatutkimuksen tulokset. Luku 2 selvittää kartografian ja kartan määritelmiä ja esittelee kartografisille esityksille tyypilliset piirteet, joiden perusteella voidaan arvioida erilaisten esitysten kartografisuutta ja karttamaisuutta. Luvussa 3 esitetään geometriset perusteet erityyppisten viistoesitysten ymmärtämiseksi ja erottamiseksi toisistaan. Samalla tarkastellaan eri viistogeometrioiden kyvykkyyttä kartografiseen ilmaisuun.

Luvussa 4 esitellään ja perustellaan työn sovellus- ja kehitysosuuden tuottama viistoesitysten kategorisointi. Kategorisoinnin luokkajakoa kuvaillaan löydettyjen esimerkkitoteutusten avulla ja erityyppisten viistoesitysten kykyä maanpintaa ympäröivän tilan kartografiseen kuvaamiseen arvioidaan ja eritellään.

Luvussa 5 tehdään yhteenveto työn sisällöstä ja kategorisoinnin tuloksista sekä pohditaan viistoesitysten asemaa ja tulevaisuutta kartografian alalla.

2 Kartografisen esityksen kriteereistä

Kartografia määritellään hyvin usein karttojen valmistusta ja käyttöä tutkivana tieteenä. Kartta onkin kartografialle perustavanlaatuinen käsite, jonka määrittely kuuluu keskeisesti kartografiseen tutkimukseen. Viime aikoina kartta-termin itseoikeutus kartografian määrittäjänä on kuitenkin käynyt kyseenalaiseksi, kun tekninen kehitys on tuonut paikkatiedon esittämiseen uusia tehokkaita keinoja perinteisen tasopiirroksen ohelle. Taulukossa 1 nähdään muutamien lähteiden määritelmäpareja kartografialle ja kartalle. Niissä tapauksissa, joissa kartta ei ole määritelty erikseen, voidaan sen sanoa olevan eräs kartografian tuote — käsitteiden suhde kääntyy näissä tapauksissa vastakkaiseksi perinteiseen verrattuna.

Taulukon 1 määritelmät ovat luonteeltaan erittäin yleisiä, koska kartografia voi realisoitua hyvin monissa muodoissa ja käyttötarkoituksissa. Niitä kaikkia yhdistää kuitenkin kaksi tekijää: todellisen maailman sijaintien kuvaaminen ja esitystekniikan keskeisyys. Koska tässä työssä ollaan kiinnostuneita ennen kaikkea maanpinnan kuvaamisesta, voidaan näiden tekijöiden nähdä ilmenevän sopivassa muodossa Niemelän (2004) kartan määritelmässä, joka muistuttaa monien lähteiden määritelmiä topografisesta kartasta (mm. Kraak ja Ormeling, 2003; SEIGN, 2008). Topografisen kartan sijaintien kuvaaminen on olennaisesti mittakaavassa pienennystä ja esitystekniikassa ovat keskeisellä osalla yleistys ja tavanmukainen abstraktio. Näitä topografisen kartografian tunnusomaisia tekijöitä selitetään lyhyesti seuraavissa kappaleissa, jotta jatkossa kyetään arvioimaan maanpintaa ympäröivän tilan viistoesitysten kartografista esitysvoimaa.

2.1 Pienennys

Maanpinnan kartografisessa kuvaamisessa pyritään yleensä aistein havaittua lähiympäristöä laajempien alueiden esittämiseen. Kun laaja-alaisuuden pyrkimys yhdistyy vaatimukseen kuvatuotteen käsiteltävissä olevasta koosta, on ainoa mahdollisuus pienentää todellisen maailman mallia voimakkaasti esitystä varten. Pienennyksellä saadaan aikaan ihmiselle intuitiivisesti helppotajuisia kuvia, koska olemme tottuneet näköaistimme tarjoamiin pienennöksiin ja niiden tarkkuustason tulkintaan. Kartografiassa pienennyksen on tapahduttava hallitusti niin, että tuotettu kuva vastaa oleellisilta osiltaan mahdollisimman tarkasti todellisuutta. Koska pienennökselle mahtuu varsin vähän todellisen maailman kohteita sellaisinaan, on hallittu pienennys teknisesti vaativa tehtävä, jossa joudutaan matemaattisen muuntamisen lisäksi suorittamaan kartografista yleistystä ja tulkintaa sekä huolehtimaan syntyvän esityksen yhtenevyydestä. Kartografisen pienennyksen tuleekin säilyttää kuvattujen kohteiden geometriat ja sijaintisuhteet erotuskyvyn rajoissa sekä huolehtia esityksen täydellisyydestä eli kaikkien kuvatuksi valittujen kohteiden kuvatuksi tulemisesta. Tällöin pienennyksellä aikaansaatu esitys muodostuu vertailukelpoiseksi todellisen maailman havainnoinnin kanssa.

Kartografisen esityksen täytyy sisältää tieto sen luomiseksi tehdystä pienennyksestä, jotta katselija osaa tulkita esitystä oikein. Usein jo esitys sinänsä koostuu kohteista, joiden

Taulukko 1: *Kartografian ja kartan määritelmäpareja*

LÄHDE	MÄÄRITELMÄ	
	Kartografia	**Kartta**
International Cartographic Association (2003)	Geospatiaalisen avaruuden visuaalisten tai virtuaalisten esitysten — karttojen — luominen ja käsittely, joka mahdollistaa kyseisen avaruuden tarkastelun, analyysin, ymmärtämisen ja siihen liittyvän tiedon välittämisen.	Maantieteellisen todellisuuden symbolinen, valittujen kohteiden ja piirteiden esitys, joka muodostuu tekijänsä luovista valinnoista ja jonka käytössä spatiaaliset suhteet ovat etusijalla.
Kraak ja Ormeling (2003)	Paikkatiedon tarjoaminen geospatiaalisissa yhteyksissä keskittyen esittämiseen ja luoden vuorovaikutusta.	*Ei määritelty erikseen.*
Nissen et al. (2003)	Todellisen maailman mallin esittäminen graafisesti.	*Ei määritelty erikseen.*
Niemelä (2004)	Esityskeinot, karttojen valmistus ja käyttö sekä opetus.	Pienennetty ja yleistetty, merkeiltään selitetty ja lisätiedoin täydennetty kuva alueesta.
SEIGN (2008)	Tieteellisten, taiteellisten ja teknisten tutkimusten ja toimien kokonaisuus, joka koskee karttojen ja muiden ilmaisumuotojen kehittämistä, laadintaa ja käyttöä lähteenään suorat havainnot tai olemassaoleva dokumentaatio.	Tavanmukainen geometrinen esitys avaruudessa paikannettavien konkreettisten tai abstraktien ilmiöiden suhteellisista sijainneista.

tosimaailman mittasuhteet tai sijainnit katsoja tuntee, jolloin hän havaitsee pienennyksen määrän implisiittisesti. Toisinaan kuvattu ympäristö on kuitenkin katselijalle tuntematon ja pienennyksen määrän väärintulkinta mahdollinen. Täten suoritettu pienennys on aina syytä ilmaista esityksen yhteydessä myös eksplisiittisesti, esimerkiksi mittajanan avulla.

2.2 Yleistys

Kartografinen yleistys on teknisesti ottaen kartografisen esityksen yksityiskohtien vähentämistä ja yksinkertaistamista (Kraak ja Ormeling, 2003). Vähentämisen syynä voi olla tarve esityksen pienennykseen tai näkymän abstrahointiin, joiden voidaan sanoa olevan kartografian tärkeimmät tehtävät. Näin ollen yleistys kuuluu erottamattomasti

kartografiseen esittämiseen.

McMaster ja Shea (1992) määrittelevät 12 yleistysoperaattoria kartografisen yleistyksen suorittamiseen: yksinkertaistaminen (eng. simplification), viivan pehmennys (smoothing), symbolien yhdistäminen (aggregation), alueiden yhdistäminen (amalgamation), viivamaisten kohteiden yhteen sulautus (merging), typistys (collapse), valinta (selection/refinement/typification), kohteen korostus (exaggeration), symbolien korostus (enhancement), siirto (displacement), luokittelu (classification) ja symbolointi (symbolization). Näiden operaattoreiden avulla voidaan vaikka suoraan tosimaailmasta lähtien toteuttaa kartografisia esityksiä, jotka ilmentävät haluttuja todellisuuden piirteitä. Yleistysoperaattoreita käytettäessä on ensiarvoisen tärkeää, että suoritettavat operaatiot tehdään koko käytetylle aineistolle samanlaisina, jotta esityksen yhtenäisyys ja luotettavuus säilyy.

2.3 Abstraktio

Kartografialle on ominaista todellisuuden esittäminen abstrahoituna. Abstraktio perustuu graafisiin merkkeihin, jotka muodostavat kullekin esitykselle tyypillisen merkkijärjestelmän. Merkkien ja yleistyksen yhdistelmän avulla esityksistä saadaan selkeitä ja havainnollisia, kun osa katselijalta vaadittavasta tulkinnasta on tehty valmiiksi. Keates (1996) jaottelee merkkejä lähteidensä mukaan seuraavasti:

- merkit: ilmaisevat kohteita yksiselitteisten, ennalta määrättyjen sääntöjen mukaan
- symbolit: kuvaavat kohteita niiden ominaispiirteiden kautta
  - ikonit: jäljittelevät kohteita itseään
  - indeksit: kuvaavat kohteita välillisesti, vaikutusten kautta

Ikonien ja indeksien lisäksi symboleihin kuuluvat sellaiset korkean abstraktiotason merkit, joita käytetään niiden tunnettuuden perusteella tai sopimuksen mukaan. Esimerkki näistä on sairaalaa osoittava punainen risti. Tällaiset symbolit ovat yleisiä kartografiassa, jossa suositaan ulkoasultaan pieniä ja yksinkertaisia merkkejä tilankäytön tehostamiseksi.

Kartografian abstraktio tarkoittaa merkkijärjestelmien käytön lisäksi myös sitä, että kartografiset esitykset voivat sisältää suoralle tosimaailman havainnoinnille näkymättömiä elementtejä. Topografisen kartografian tapauksessa esitykseen voidaan sijoittaa esimerkiksi korkeustasoja tarkasti osoittavia korkeuskäyriä tai kuvaus maanpinnan alla sijaitsevan kallioperän koostumuksesta. Jos esitykseen liitetään maastoon sinänsä kuulumattomien ilmiöiden kuvauksia kuten asukkaiden äänestyskäyttäytymistä, siirrytään temaattisen kartografian puolelle (Keates, 1996). Kartografian ilmaisukyky ulottuu täten oleellisesti kohteiden havainnointia laajemmalle.

3 Viistoesityksen geometria

Viistoesityksen geometria on olennaisesti projektiivista geometriaa, jonka tutkimuskohteena on geometristen hahmojen kuvautuminen projektioissa (Wolfram MathWorld, 2008b). Viistokuvien tapauksessa kyseessä on kolmiulotteisen todellisuuden tai sen mallin projisoiminen kaksiulotteiselle projektiotasolle.

Kolmiulotteisuuden graafisessa kuvaamisessa pyritään tavallisesti jäljittelemään ihmisen luontaista näkökokemusta niin pitkälle kuin mahdollista. Tämä on intuitiivisesti luontevaa: geometrialtaan aitoa näkymää vastaavan kuvan tulkinta on kognitiivisesti helppoa. Aidonkaltaisen näkymän tuottava perspektiiviprojektio sisältää kuitenkin heikkouden, jonka kohtaamme arkitodellisuudessakin. Mittakaava muuttuu näkymässä jatkuvasti, mikä tekee etäisyyksien arvioimisesta hankalaa. Projektiivinen geometria antaa tavanomaiselle perspektiivikuvaukselle myös vaihtoehtoja, joilla kolmiulotteisuutta saadaan kuvattua esimerkiksi mittatarkasti. Näitä vaihtoehtoja on toistaiseksi käytetty lähinnä teknisen piirtämisen ja tietokonegrafiikan sovellusalueilla, mutta nähtävissä oleva kartografian kolmiulotteistuminen antaa syyn tutkia niiden soveltamista myös karttamaiseen esitykseen.

Kun arvioidaan viistonäkymän tasoesitykseen käytettävien projektioiden esitysgeometrisia ominaisuuksia, eroavat projektiot toisistaan

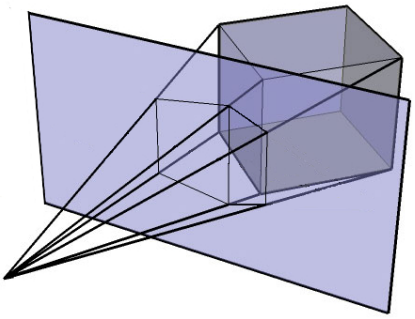
1. mittatarkkuudessa:
   - missä näkymän osissa mittakaava pysyy vakiona
   - mitkä ovat eri mittakaavatasojen väliset mittasuhteet
2. kulmatarkkuudessa:
   - kuinka näkymän suorien väliset kulmat muuttuvat projektiossa
3. näkymän laajuudessa:
   - kuinka suuri maanpinnan ala on kuvattavissa projektiotasolla
4. kohteiden peittävyydessä:
   - miten paljon näkymän kohde jättää muuta näkymää taakseen

   (Graf ja Nyström, 1958; Giesecke et al., 1958)

Seuraavassa esitellään viistoon esitystapaan soveltuvia projektioita ja niiden ominaisuuksia tarkastellen yllä listattuja piirteitä. Lisäksi jokaisen projektion yhteydessä arvioidaan sopivinta kartografisten näkymien kuvausasettelua.

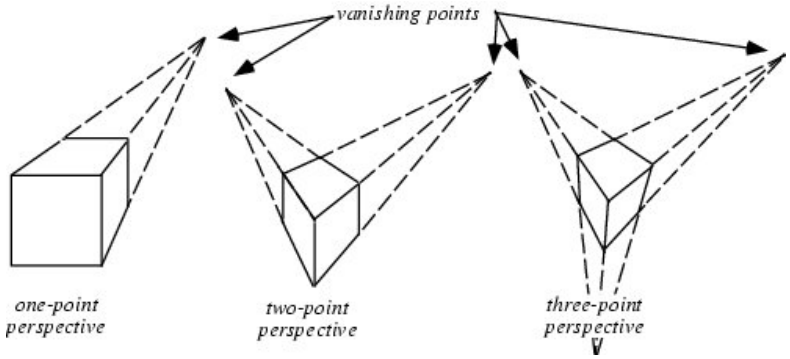
3.1 Perspektiiviprojektio

Perspektiiviprojektio on viistoesityksissä yleisimmin käytetty kuvausprojektio, joka vastaa yksinkertaisista tasoprojektioista lähimmin ihmisen aitoa näkökokemusta. Siinä kolmiulotteisen tilan pisteistä lähtevät projektiosäteet kulkevat projektiokeskuksen kautta, mistä johtuen projektiosta käytetään joskus nimitystä keskusprojektio (Graf ja Nyström, 1958; Giesecke et al., 1958). Kuva muodostuu, kun projektio- eli kuvataso asetetaan leikkaamaan projektiosäteitä. Kuva 1 havainnollistaa perspektiivin muodostumista.



Kuva 1: *Perspektiiviprojektion kuvanmuodostus (mukaellen Milan, 2005)*

Hearn ja Bakerin (1997) mukaisesti perspektiiviprojektiolle on ominaista, että kaikki ne kolmessa ulottuvuudessa yhdensuuntaiset suorat, jotka eivät ole kuvatason kanssa yhdensuuntaisia, leikkaavat kuvatasolla pisteissä, joita kutsutaan pakopisteiksi. Kuvatason suuntaisesti yhdensuuntaiset suorat taas pysyvät projektiossa yhdensuuntaisina. Perspektiiviprojektiossa voi teoriassa olla ääretön määrä pakopisteitä, mutta käytännössä kiinnostavia ovat näkymän kohdekoordinaatiston koordinaattiakseleiden suuntaisten suorien pakopisteet. Nämä ovat ensisijaisia pakopisteitä (eng. principal vanishing point), joita on yhtä monta kuin valitun kohdekoordinaatiston akseleiden leikkauksia kuvatasossa: yhdestä kolmeen. Perspektiivikuvat luokitellaan pakopisteiden lukumäärän mukaan yhden–kolmen pakopisteen perspektiiveiksi, mitä esittää kuva 2. Tässä yhteydessä on syytä huomata, että ensisijaisten pakopisteiden määrä riippuu kohteen ja kuvatason välisestä keskinäisestä orientoinnista, eikä siten ole perspektiiviprojektion, vaan kuvausasettelun ominaisuus.



Kuva 2: *Yhden, kahden ja kolmen pakopisteen perspektiiviprojektiot (Wolfram MathWorld, 2008a)*

Mittatarkkuus Perspektiiviprojektio ei ole mittatarkka. Perspektiivikuvan mittakaava on suurimillaan kuvan pääpisteessä, joka on projektiokeskuksen kohtisuora projektio kuvatasolla. Pääpisteestä etäännyttäessä mittakaava pienenee jatkuvasti. Tätä ominaisuutta kutsutaan perspektiivivääristymäksi (eng. perspective foreshortening). Tarvittaessa pääpisteen lähiympäristöä voidaan pitää aproksimatiivisesti mittatarkkana, koska mittakaavan muutokset ovat siellä niin vähäisiä.

Kulmatarkkuus Perspektiiviprojektio ei ole yleisesti kulmatarkka. Kulmatarkkuus kuitenkin toteutuu kuvatason suuntaisilla tasokuvioilla, jotka kuvautuvat perspektiivikuvalle yhdenmuotoisina (Graf ja Nyström, 1958).

Näkymän laajuus Perspektiiviprojektiolla voidaan viistoesityksessä näyttää perspektiivivääristymän ansiosta kuvakokoon nähden laajoja maanpinnan alueita. Näkyvän pinnan laajuus kasvaa kuvatason ja maanpinnan välisen kulman kasvaessa ja on suurimmillaan, kun maanpinnan horisontti yhtyy kuvan reunaan.

Kohteiden peittävyys Perspektiiviprojektiona toteutetussa maanpinnan viistokuvassa näkyvät korkeat, kookkaat kohteet jättävät taakseen suhteellisen laajoja alueita. Peittävän kohteen reunojen kautta kulkevien projektiosäteiden väliset etäisyydet kasvavat projektiokeskuksesta etäännyttäessä, joten peittyvät alueet ovat sitä suurempia, mitä syvemmällä näkymässä ne sijaitsevat.

Kuvausasettelu Maanpintaa ympäröivän tilan perspektiivisen viistoesityksen asetteluun kuuluvat kuvatason ja projektiokeskuksen sekä kuvauskulman ja kuvan rajauksen valinnat.

Kuvatason paikka ja asento suhteessa projektiokeskuksen sijaintiin kiinnittävät perspektiivikuvan pienennöksen määrän — mittakaavaa ei voida määrittää, koska se muuttuu kuvatasolla jatkuvasti. Mitä pienempi on kuvatason ja projektiokeskuksen etäisyys suhteessa maanpinnan ja kuvatason väliseen etäisyyteen, sitä pienemmäksi kuva muodostuu. Kuvatason suunnan valinta vaikuttaa perspektiivisen viistokuvan ensisijaisten pakopisteiden määrään ja antaa mahdollisuuden vaikuttaa eri suuntaisten pintojen näkyvyyteen kuvalla. Maanpintaa ympäröivän tilan kohdekoordinaatisto asettuu luonnollisesti siten, että yksi akseli on maanpintaa vasten kohtisuora ja kaksi muuta akselia maanpinnan tasossa. Tällöin pakopisteiden lukumäärä määräytyy kuvatason suunnan mukaan seuraavasti:

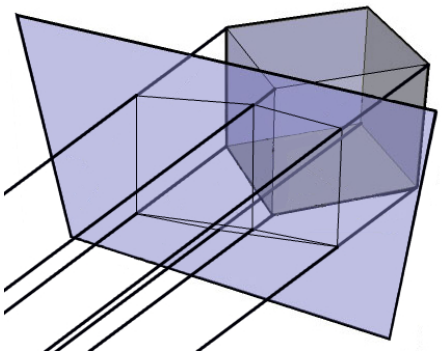
1. kun kuvataso asetetaan maanpinnan suuntaiseksi, saadaan yhden ensisijaisen pakopisteen perspektiivi. Vaakasuorat pinnat kuvautuvat yhdenmuotoisina ja ovat näkymässä keskeisellä osalla.

2. kuvatason ollessa pystysuora on perspektiivi kaksipisteinen. Pystysuorat kuvautuvat pystysuoriksi, joten pystypintojen muodot vääristyvät vain vaakatasossa ja pystyssä olevat pinnat nähdään keskeisinä.
3. kun kuvataso on vinossa kaikkiin kohdekoordinaatiston akseleihin nähden, syntyy kolmen pakopisteen perspektiivi. Kuvatason ja maanpinnan välinen kulma määrää eri asennoissa olevien kohdepintojen keskeisyyden kuvalla.
(Giesecke et al., 1958)

Kuvauskulma ja kuvan rajaus määräävät yhdessä kuvan mittakaavojen ääriarvot sekä eri suuntaisten pintojen näkyvyydet. Mittakaavan suurin mahdollinen arvo on kuvatason pääpisteessä, mutta kuva voidaan rajata myös siten, että pääpiste ei osu kuvalle. Tällöin kuvan mittakaavojen ääriarvot ovat sitä pienempiä mitä kauempana pääpisteestä rajattu kuva sijaitsee. Kuvauskulmaa valittaessa joudutaan punnitsemaan näkymän laajuuden, kohteiden pystysivujen näkyvyyden ja kohteiden peittävyyden merkitsevyyttä esityksessä, koska nämä kaikki kasvavat kuvauskulman pienentyessä eli kääntyessä pystysuorasta maanpinnan suuntaa kohti. Pienet kuvakulmat korostavat näkymän korkeuseroja, kun taas suuret muistuttavat perinteisen kartan pystykuvausta ja tarjoavat yhtenäisen yleisnäkymän koko kuvan alueella (Bleisch ja Nebiker, 2007). Usein käytetään 45 asteen kuvauskulmaa, joka tarjoaa tasapainoisesti sekä korkeusesitystä että yleisnäkymää.

3.2 Yhdensuuntaisprojektiot

Yhdensuuntaisprojektio on erityisesti teknisessä piirtämisessä käytetty kuvausprojektio, jossa kolmiulotteisen tilan pisteistä lähtevät projektiosäteet ovat yhdensuuntaisia. Kuva muodostuu leikattaessa säteitä kuvatasolla, kuten kuva 3 näyttää.



Kuva 3: *Yhdensuuntaisprojektion kuvanmuodostus (mukaellen Milan, 2005)*

Yhdensuuntaisprojektion keskeinen ominaisuus on, että se kuvaa kolmessa ulottuvuudessa yhdensuuntaiset suorat aina yhdensuuntaisiksi. Näin yhdensuuntaisesti projisoidulla kuvalla mittakaava on sama kaikilla niillä tasoilla, jotka ovat kolmessa ulottuvuudessa kuvatason suuntaisia. Mittakaava on muuttumaton myös muun suuntaisten tasojen projektioilla, mutta se riippuu mittauksen suunnasta sen mukaan, missä asennossa projektiosäteiden suunta ja projektiotaso ovat toisiinsa nähden. Projektiosäteiden ja -tason välisen kulman mukaan yhdensuuntaisprojektiot jakaantuvatkin kohtisuoriin ja vinoihin projektioihin, joita käsitellään seuraavissa kappaleissa 3.2.1 ja 3.2.2. (Graf ja Nyström, 1958)

Yhdensuuntaisprojektiot ovat varsin käyttökelpoisia maanpintaa ympäröivän tilan viis-

toesityksessä. Ne muistuttavat perinteistä ortografista karttakuvaa, mutta antavat sen lisäksi käsityksen näkymän korkeussuhteista (esim. Jenny, 2006). Yhdensuuntaisprojektioita on käytetty karttakuvien piirtämiseen kautta aikojen, mutta operatiiviseen kartantuotantoon ne eivät ole juurikaan päässeet viistoesityksen yleisten hankaluuksien kuten yksipuolisen näkökulman ja kohteiden peittävyyden vuoksi.

3.2.1 Kohtisuora yhdensuuntaisprojektio

Kohtisuoraa yhdensuuntaisprojektiota kutsutaan myös lineaarialgebran ortogonaalisuudesta johtuvalla termillä ortografinen projektio. Kumpikin nimitys juontuu kuvaussäteiden ja kuvatason välisestä kulmasta, joka on suora. Tällä projektiolla voidaan säilyttää näkymän pääsuuntien väliset mittasuhteet kuvalla vertailukelpoisina, joten sitä käytetään myös maanpintaa ympäröivän tilan viistokuvien muodostamiseen.

Kohtisuoria yhdensuuntaisprojektioita jaotellaan sen mukaan, kuinka niiden kuvatasot asettuvat suhteessa kohteeseen:

- normaaliprojektio muodostuu, kun kuvataso asetetaan kuvattavan kohteen suuntaiseksi (Graf ja Nyström, 1958). Tämä on maanpinnan kuvaamisessa eniten käytetty projektio — kaikki perinteiset kartat noudattavat tätä kuvausgeometriaa.
- aksonometrisen projektion kuvataso on viistossa kohteeseen nähden. Näin saadaan muodostettua tässä työssä kiinnostavia maanpinnan viistokuvia. Aksonometriset projektiot jakaantuvat edelleen kolmeen alalajiin seuraavasti:
  1. isometrisessä projektiossa kaikki kohdekoordinaatiston kolme koordinaattiakselia kohtaavat kuvatason samassa kulmassa
  2. dimetrinen projektio muodostuu, kun kaksi akseleista on samassa kulmassa kuvatasoon nähden
  3. trimetrisessä projektiossa kaikki akseleiden ja kuvatason leikkauskulmat ovat erisuuria.

  (Giesecke et al., 1958)

Mittatarkkuus Kohtisuora yhdensuuntaisprojektio perii yleisen yhdensuuntaisprojektion mittatarkkuuden kuvatason suuntaisilla tasoilla ja muuallakin yhdensuuntaiset suorat ovat mittatarkkoja keskenään. Viistoissa kuvausasetteluissa mittatarkkuus toteutuu lisäksi aksonometrian tyypistä riippuen seuraavien suuntien kesken:

1. isometrisessä projektiossa kohdekoordinaatiston akseleiden suunnissa
2. dimetrisessä projektiossa kahden kohdekoordinaattiakselin suunnissa
3. trimetrissä projektiossa mittatarkkuutta ei esiinny eri suuntien välillä.

Kulmatarkkuus Kulmatarkkuus toteutuu kohtisuorassa yhdensuuntaisprojektiossa vain niille kulmille, joiden vähintään toinen kylki on kuvatason suuntainen. (Graf ja Nyström, 1958)

Näkymän laajuus Tietynkokoiselle kuvalle mahtuva maanpinnan alue on ortografisessa projektiossa sitä suurempi, mitä lähempänä maanpinnan suuntaa projektiosuunta on. Alue jää kuitenkin pieneksi verrattuna perspektiiviprojektioon, koska maanpinta näkyy joka puolella kuvaa samassa mittakaavassa.

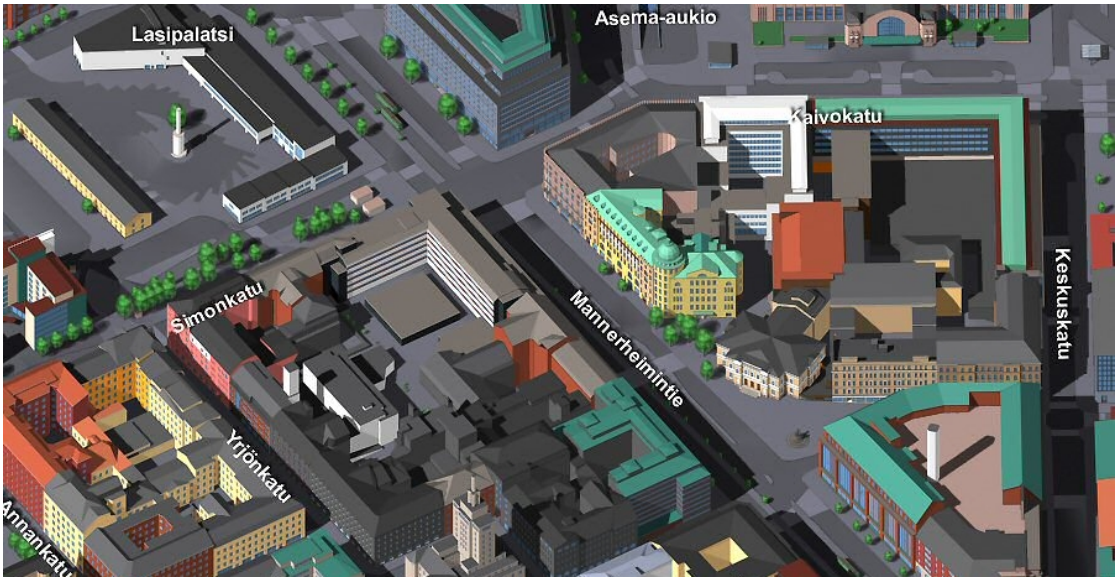
Kohteiden peittävyys Maanpinnan kohteet peittävät kohtisuorassa yhdensuuntaisprojektiossa sitä laajemmn alueen, mitä vaakasuorempi projektiosuunta on. Projektiosäteiden yhdensuuntaisuudesta johtuen samanlaiset peittävät kohteet jättävät kuvalla taakseen yhtä laajan alueen, olivatpa ne missä kohtaa kuvaa tahansa. Perspektiiviprojektioon verrattuna peittyvä alue on pienempi, millä voi olla merkitystä viistoesityksen kuvausprojektion valinnassa.

Kuvausasettelu Kohtisuoran yhdensuuntaisprojektion kuvausasettelussa merkitsevänä tekijänä on ainoastaan kuvatason valinta, koska projektiosäteiden suunta kiinnittyy kuvatason myötä. Kuvatason paikalla vaikutetaan kohteiden sijaintiin kuva-alalla ja sen suunta määrittää projektion aksonometrisen tyypin. Jälkimmäinen vaikuttaa näkymän eri suuntaisten pintojen suhteelliseen keskeisyyteen kuvalla:

1. isometrisellä projektiolla saadaan maastosta viistokuvia, joilla sekä vaaka- että pystypintojen mittakaavat ovat samat. Projektio on erittäin sopiva maanpintaa ympäröivän tilan mittasuhteiden vertailukelpoiseen esittämiseen. Kuvassa 4 on esimerkki isometrisestä maanpintaa ympäröivän tilan kuvasta.
2. dimetrisen projektion tapauksessa on luonnollista valita maanpinta mittatarkaksi, jolloin pystyulottuvuuden keskeisyys kuvalla valitaan pystyakselin ja kuvatason välisellä kulmalla
3. trimetrisellä projektiolla ei ole maanpintaa kuvattaessa mielekästä tulkintaa, koska laajalla pinnalla on runsaasti eri asennoissa olevia kohteita eikä pääsuuntien määrääminen onnistu yksiselitteisesti.

3.2.2 Vino yhdensuuntaisprojektio

Vinossa yhdensuuntaisprojektiossa kuvatason ja kuvaussäteiden välinen kulma on suoraa kulmaa pienempi. Projektiolla on mahdollista kuvata kolmiulotteisuutta siten, että valitun suuntaiset kohteen tasot nähdään yhdenmuotoisina, mutta myös näitä vastaan kohtisuorat tasot saadaan näkyviin. Vinolla yhdensuuntaisprojektiolla voidaan jäljitellä perinteisen tasokartan kohtisuoraa kuvausta ja saada samalla maanpinnan pystyulottuvuudet näkyviin viistoina.



Kuva 4: *Karttamainen viistoesitys isometrisessä projektiossa (Fontus Oy, 2007)*

Mittatarkkuus Vino yhdensuuntaisprojektio on mittatarkka kuvatason suuntaisten tasojen ja kuvatasoa vastaan kohtisuorien suuntien kesken. Lisäksi kaikki yhdensuuntaiset suorat ovat mittatarkkoja keskenään. (Hearn ja Baker, 1997) Tämä projektio soveltuu erinomaisesti erilaisiin mittaamista vaativiin tehtäviin, vaikkei olekaan luonnollisen näköinen.

Kulmatarkkuus Vinon yhdensuuntaisprojektion kulmat vastaavat kolmiulotteisen kohteen kulmia ainoastaan kuvatason suuntaisilla tasoilla.

Näkymän laajuus Kuvalle mahtuva maanpinnan alue riippuu vinon yhdensuuntaisprojektion tapauksessa sekä kuvatason asennosta maanpintaan nähden että projektiosuunnasta. Kuvalle on mahdollista saada sopimaan sitä laajempi alue, mitä pystympään kuvataso asetetaan. Samoin projektiosuunnan kääntyminen maanpinnan suuntaiseksi kasvattaa kuvautuvaa aluetta. Suurin pinta-ala saadaan, kun kuvataso on pystysuora ja projektiosuunta lähes vaakasuora.

Kohteiden peittävyys Kuten ortografisessa projektiossa.

Kuvausasettelu Vinon yhdensuuntaisprojektion kuvausasettelua ohjaavat kuvatason ja projektiosuunnan valinnat. Kuvatason paikka määrittää kohteiden sijoittelun kuva-alalla ja sen suunta vaikuttaa näkymän laajuuteen sekä määrää niiden tasojen suunnan, jotka näkyvät kuvalla mittatarkkoina. Projektiosuunnalla voidaan näkymän laajuuden



Kuva 5: *Sotilasprojektiossa piirretty viistonäkymä. Maanpinta ja vaakakatot kuvautuvat yhdenmuotoisina (www.ymparisto.fi, 2006)*

lisäksi vaikuttaa kuvatason suunnasta poikkeavien suuntien keskeisyyteen kuvalla. Vinon yhdensuuntaisprojektion kuvausasettelulle ominainen erikoispiirre on, että tarvittaessa normaalitapausta luonnollisemman näköistä kuvaa voidaan kuvatasoa vastaan kohtisuoria suuntia kuvalla lyhentää.

Koska vinoa yhdensuuntaisprojektiota käytetään yleisesti teknisessä piirtämisessä, löytyy sen kuvausasetteluun vakiintuneita käytäntöjä:

- kavaljeeriprojektiossa kuvaussäteiden ja kuvatason välinen kulma on 45° ja kuvatasoa vastaan kohtisuorat suunnat kuvataan lyhentämättöminä. Jos kuvataso valitaan maanpinnan suuntaiseksi, kutsutaan kuvausta sotilasprojektioksi. (Graf ja Nyström, 1958) Sotilasprojektio soveltuu erityisen hyvin maanpintaa ympäröivän tilan mittatarkkaan kuvaamiseen, kuten esimerkiksi kuvasta 5 voi havaita.
- kabinettiprojektiossa kuvauskulma on 63,4° ja kuvatasoa vastaan kohtisuorat suunnat kuvataan puoleen pituuteensa (Hearn ja Baker, 1997). Kabinettiprojektiota voidaan soveltaa maanpinnan kuvaukseen asettamalla kuvataso maanpinnan suuntaiseksi ja muuttamalla kuvauskulmaa sen mukaan, miten esille pystyulottuvuus halutaan.

3.3 Viistogeometriaa rikastavia ratkaisuja

Edeltävissä aliluvuissa esitellyt viistoesityksessä tavallisimmat kuvausgeometriat sisältävät useita niiden karttamaiseen käyttöön liittyviä puutteita. Näitä puutteita on kuitenkin mahdollista korjata ja täydentää lukuisilla kuvausteknisillä keinoilla, joista tärkeimpiä esitellään seuraavissa kappaleissa.

Kaareutuvat projektiot Edellä esitellyt tasoprojektiot luovat todentuntuisia viistokuvia, mutta projektiopinnan kaareutuminen voi myös tulla kysymykseen. Kaarevan projektiopinnan tapaus on geometrisesti tasoa huomattavasti monimutkaisempi, mutta sillä voidaan saavuttaa kuvauksellisia hyötyjä ainakin alueen laajuuden ja syvyysvaikutelman suhteen. Esimerkiksi pallopinnalle perspektiiviprojektiona projisoitaessa muodostuu kuva, jossa keskusta on mittakaavassa korostunut ja pienelle kuvakoolle mahtuu suuri alue. Mikäli horisontti näkyy kuvalla, on se laidoilta alaspäin kaareutunut, mikä luo kuvaan mittavaa visuaalista syvyyttä (Jenny, 2006). Kaareutuvat projektiot vääristävät kuvan mittasuhteita merkittävästi ja ovat siksi usein epätodellisen näköisiä.

Projektioyhdistelmät Kaikki edellä esitellyt viistoesityksessä käyttökelpoiset projektiot asettavat rajoituksia näkymän esittävyydelle. Koska projektiot kuitenkin poikkeavat ominaisuuksiltaan merkittävästi toisistaan, voidaan niiden rinnakkaisella tai yhtäaikaisella käytöllä samassa kuvassa saavuttaa kartografisesti rikkaita näkymiä. Esimerkiksi kuvaamalla maanpäällisnäkymän etuala sotilasprojektiolla ja kaukaisemmat osat perspektiivissä saadaan yhdistettyä mittatarkkuutta syvyyden tuntuun ja mahdutetaan samalla kuvalle melko laaja alue. Kuvassa 6 nähdään toteutus erikoisesta projektioyhdistelmästä, jossa vino yhdensuuntaisprojektio etualalla ja perspektiivinen palloprojektio taaempana muodostavat karttamaisen viistokuvan, jonka horisontti kaareutuu tilantuntua luoden (Jenny, 2006).

Näkymän liikkuvuus Viistokuvien merkittävin rajoite on kartografisessa mielessä epätäydellisyys, kun maanpinnan kohteita jää aina toisten taakse. Tämä rajoite voidaan poistaa luomalla liikuteltava näkymä, joka mahdollistaa maaston katselun eri suunnista. Liikkuva näkymä tuo karttamaisen viistoesityksen suunnittelussa huomioon otettaviksi monia uusia käytettävyyden näkökohtia.



Kuva 6: *Vinon yhdensuuntaisprojektion ja perspektiivisen palloprojektion yhdistelmä maanpintaa ympäröivän tilan viistoesityksessa (Jenny, 2006)*

4 Viistoesitystapojen kategorisointi

Kolmiulotteisuuden viistoesitys on yksi havainnollisimmista tavoista kuvata ympäröivää maailmaa ja sen kohteita. Sitä käytetään käytännöllisesti katsoen kaikilla tieteen, taiteen ja teollisuuden aloilla, joilla kolmiulotteisen tilan hahmottaminen on tärkeää. Viimeisen vuosikymmenen aikana ovat suunnittelu, tietokonegrafiikka ja virtuaalitodellisuudet olleet kolmiulotteisen esityksen keskiössä. Alunperin viistoesityksen voidaan kuitenkin nähdä alkaneen taiteesta, kun Leonardo da Vinci kehitti perspektiivipiirustuksen 1400-luvulla maisemamaalauksiensa ja arkkitehtonisten luonnostensa myötä.

Tämän luvun kategorisoinnissa ryhmitellään viistoesitystapoja niiden ilmaisullisten pyrkimysten kautta. Ryhmittely perustuu kirjallisuus- ja tietoverkkotutkimuksen kautta saatuun käsitykseen kolmiulotteisen viistoesityksen kentästä ja siinä keskitytään tämän työn kannalta kiinnostaviin maanpintaa ympäröivän tilan esitystapoihin. Kun tarkastellaan esitystapojen tarkkuustavoitteita, abstraktiotasoa ja esteettisyyshakuisuutta, päädytään jakamaan viistoesitykset fotorealistiseen, tulkitsevaan ja luonnostelevaan tyyppiin. Löydettyjä esitysesimerkkejä esitellään seuraavassa näihin viistoesitystyyppeihin jaettuina samalla, kun arvioidaan esitystyyppien soveltuvuutta kartografiseen esitykseen. Taulukko 2 kuvaa kategorisointityön tuloksen.

4.1 Kategorisoinnin terminologinen tausta

Kolmiulotteisen viistoesittämisen käsitteistö on tällä hetkellä epäyhtenäistä ja vakiintumatonta. Viistokuvapiirrosta on tullut laaja tietotekninen prosessi, jonka läpivieminen vaatii tietämystä muun muassa geometriasta, optiikasta, kolmiulotteisen mallinnuksen menetelmistä sekä tietoteknisistä laite- ja ohjelmistoalustoista. Tapoja viistoesitysten toteuttamiseen on monia ja viistoesityksistä käytetyt termit vaihtelevat sovellettujen tekniikoiden ja esitysten tarkoitusperien mukaan.

Tämän kategorisoinnin otsikot perustuvat englanninkielisen tutkimuskirjallisuuden käyttämiin termeihin, jotka on käännetty suomen kieleen ja tämän työn kontekstiin pyr-

Taulukko 2: *Viistoesitystapojen kategorisointi*

kolmiulotteisuuden viistoesitys					
fotorealistinen viistoesitys			**tulkitseva viistoesitys**		**viistokuva-skitsit**
fotorealistinen renderöinti	valokuvien istutus	vokseli-värjäys	piirrosten istutus	valikoiva renderöinti	

kien käsitteiden yhtenevyyteen ja keskinäiseen yhteensopivuuteen. Suomenkieliset termit ovat ennen kaikkea tehdyn kategorisointityön tuloksia, eikä niillä välttämättä ole suoraa englanninkielistä vastinetta. Sopivien kategoriatermien löytäminen oli hankala tehtävä, ja tässä käytettyihin ilmaisuihin päädyttiin viistoesitysten käsitteellisen analyysin kautta. Alkuperäiskielen oleellisia termejä esitetään kategorioiden kuvailujen yhteydessä.

4.2 Fotorealistinen viistoesitys

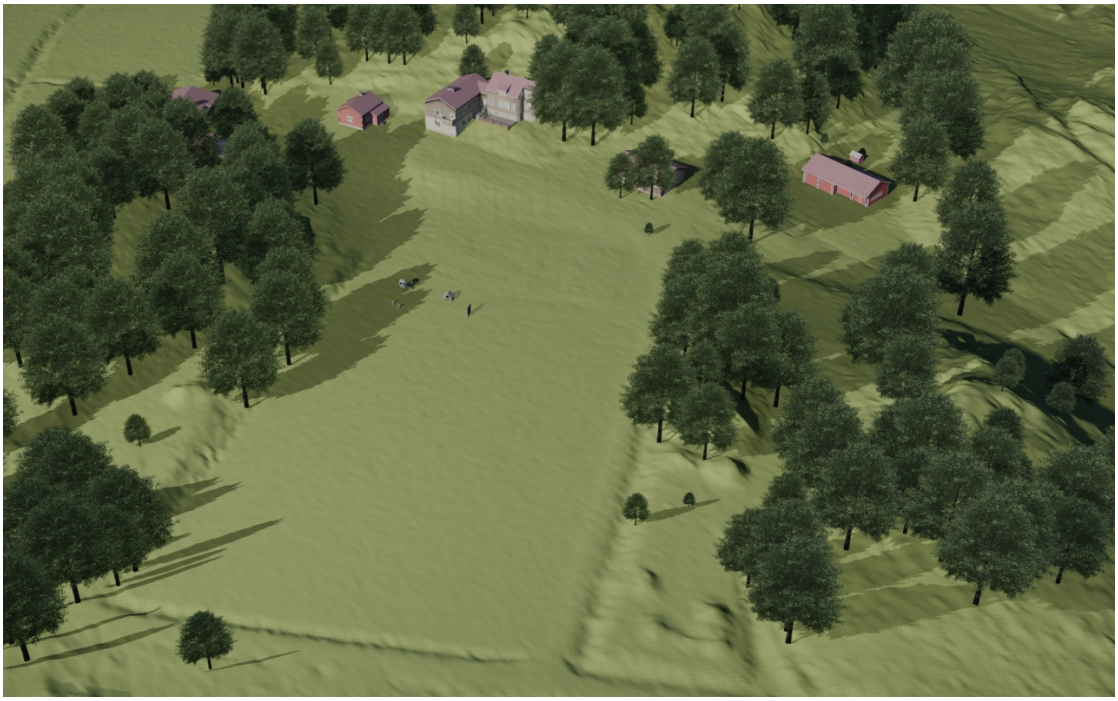
Fotorealismissa (eng. photorealism) pyritään valokuvamaiseen esitystarkkuuteen kolmiulotteisen aineiston pohjalta siten, että tuotettu kuva vastaa mahdollisimman yksityiskohtaisesti aitoa näkökokemusta. Tämä tarkoittaa paitsi kohteiden tarkkaa mallintamista, myös valaistusolosuhteiden sisällyttämistä kuvausmalliin. Kuvausgeometrian osalta mahdollisimman aidonkaltainen viistonäkymä saavutetaan suoralla perspektiiviprojektiolla, jota käytetäänkin säännönmukaisesti fotorealististen esitysten kuvausprojektiona. (Hearn ja Baker, 1997)

Fotorealismi on ollut viime aikoina kolmiulotteisten viistokuvien alaa hallitseva suuntaus, kun vauhdilla kehittyvä tietotekniikka on tarjonnut jatkuvasti uusia keinoja entistä tarkempaan mallintamiseen ja mahdollistanut myös liikkuvien fotorealististen näkymien luonnin. Fotorealistiset maanpinnan mallit ovat vakiintuneet tietokonepeleihin, virtuaalitodellisuuksiin ja vähitellen myös kartankaltaisiin tuotteisiin. Maastomallinnusta toteutettiin aluksi lähinnä piirrosmaisena renderöintinä ja vasta kasvaneiden laskentatehojen myötä päästiin valokuvien istutukseen perustuviin tekniikoihin. Renderöinnin ja valokuvien istutuksen lisäksi fotorealistisiin viistoesitystapoihin lasketaan tässä vokselivärjäys.

Fotorealismi on jo lähtökohdiltaan ristiriidassa kartografisen esityksen kriteerien kanssa. Pienennys luonnollisesti toteutuu kuvausgeometrian valinnalla, mutta kartografiassa keskeiset yleistys ja abstraktio puuttuvat tämän viistoesitystyypin määritelmästä kokonaan, kun pyritään suurimpaan mahdolliseen tarkkuuteen ja realistisuuteen. Kartografisiksi puutteiksi voidaan laskea myös käytetyn perspektiiviprojektion yleiset puutteet eli mittatarkkuuden puuttuminen ja peittyvien alueiden suhteellinen suuruus. Fotorealismi onkin sellaisenaan ensisijaisesti näkyvän maailman jäljittelevää mallintamista, jonka tulkinta jää katsojan vastuulle.

4.2.1 Fotorealistinen renderöinti

Renderöinti on erityisesti tietokonegrafiikan käyttämä termi näkymän piirtämiselle perustekijöistään: kohteiden, pintojen ja valaistuksen malleista. Kohteiden mallit muodostetaan esimerkiksi tasomonikulmiopinnoista, kaareutuvista pinnoista, poikkileikkauksin luoduista pyyhkäisyesityksistä tai perusmuotojen leikkauksista. Pintojen malleihin sisällytetään värejä, toistuvia tekstuurikuvioita, kumputekstuureita ja heijastavuusominai-



Kuva 7: *Maanpintaa ympäröivän tilan fotorealistinen renderöinti. Pirttimäki, Espoo. (Petteri Torvinen, 2007)*

suuksia. Varsinainen näkymän renderöinti tapahtuu käytetyn valaistusmallin mukaisesti ja siihen käytetään pääsääntöisesti joko pintasävytystä (eng. surface shading) tai säteenjäljitystä (eng. ray tracing). Pintasävytys on suhteellisen nopea ja tosiaikaisiinkin sovelluksiin yleisesti käytetty piirtotekniikka, kun taas säteenjäljitys vaatii huomattavan paljon laskentatehoa, mutta tuottaa realistisuusasteeltaan ensiluokkaisia kuvia muun muassa globaalin heijastusmallinnuksen ansiosta. (Hearn ja Baker, 1997)

Kuvassa 7 on esimerkki fotorealistisen renderöinnin (eng. photorealistic rendering) keinoin tuotetusta maanpinnan viistonäkymästä. Kuvan pyrkimys fotorealistisuuteen on toteutunut vain osittain, kun maanpinta on tyydytty värjäämään yhdellä värisävyllä. Esimerkkikuvan tapaan on tavallista, että fotorealismi ei ulotu tuotettujen kuvien kaikkiin elementteihin. Tällaiset kuvat on kuitenkin luokiteltava fotorealistisen renderöinnin piiriin, koska niiden pääasiallisella sisällöllä pyritään fotorealismiin.

Fotorealistisen renderöinnin toteuttaminen vaatii laskentatavasta riippumatta suorituskykyisen prosessorin eritoten silloin, kun siinä pyritään fotorealismin periaatetta noudattaen mahdollisimman yksityiskohtaiseen tulokseen. Jokainen kohdemallin solmupiste lisää mallinnuksessa tarvittavan laskennan määrää ja laajoilla maanpinnan alueilla kohteita on todella paljon, joten yksityiskohtaisuutta tavoitteleva menetelmä sopii maanpintaa ympäröivän tilan esityksessä lähinnä staattisten esitysten tuottamiseen. Kartografisesta näkökulmasta tämä johtaa siihen, että fotorealismin yleispuutteiden lisäksi näkymä jää kohteiltaan epätäydelliseksi, kun kohteet peittyvät toistensa taakse.



Kuva 8: *Viistonäkymä satelliittivalokuvien istutuksena korkeusmallille. Vasemman alalaidan rakennus on erillisestä mallista. Lausanne, Sveitsi. (Google Earth, 2008)*

4.2.2 Valokuvien istutus

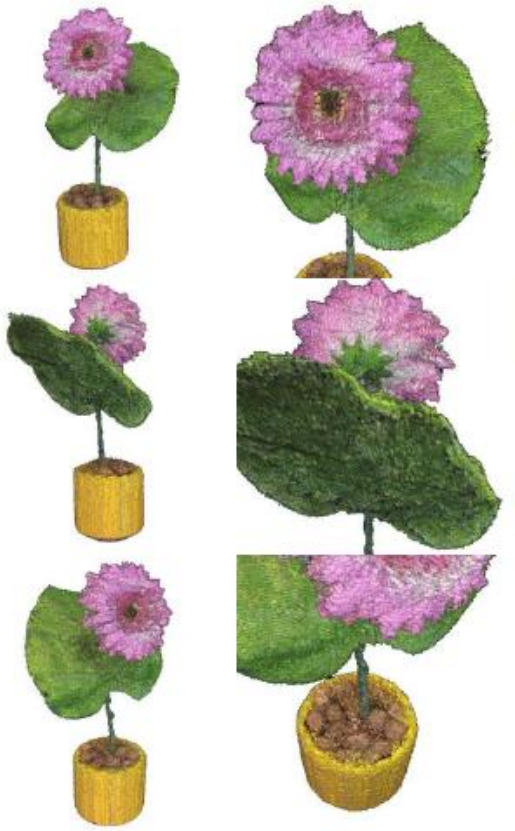
Valokuvien istutuksella (eng. photo draping) tarkoitetaan tässä renderöintiä, jossa valokuvia käytetään maanpinnan ja mahdollisesti myös rakennusten pintamalliin sovitettuna tekstuurina. Menetelmä on suorituskykyinen tapa luoda fotorealistisia viistonäkymiä, koska aidon näköiseen piirtoon riittää usein huomattavasti fotorealistista renderöintiä yksinkertaisempi kohdemalli, jolloin kuvantuotto vaatii vähemmän laskentaa. Lisäksi valokuva-aineistojen kerääminen suurilta alueilta on yksinkertaista verrattuna moniin muihin aineistonkeruumenetelmiin kuten maaston mittaamiseen. Valokuvien istutus näyttää kuitenkin aina kuvamateriaalin hieman vääristyneenä ja valokuvauksen aikana pinnoilla olleet kohteet, kuten autot, jäävät kuvilla näkyviin.

Valokuvien istutusta kolmiulotteiseen malliin käytetään jo laajojen paikkatietoaineistojen yhteydessä liikkuvissa viistoesityksissä kuvan 8 tapaan. Kartografisesti tällaiset esitykset kuuluvat fotorealismin vajavaiseen ryhmään, mutta niihin sisältyy kuitenkin alkeellista yleistystä: teksturoinnissa käytettyjen valokuvien tarkkuus valitaan laskennan säästämiseksi katseluetäisyyden mukaan sitä heikommaksi, mitä kauemmas katsojasta piirretään. Samasta syystä korkeusmalli on usein tarkoituksella melko yksinkertainen.

Fotorealistisiin valokuvaistutuksiin liitetään usein kuvaa täydentävää absraktia tietoaineistoa, joka teoriassa vie esitystapaa kartografisempaan suuntaan. Tosiasiassa nämä niin sanotut hybridiesitykset monesti vain heikentävät viistoesityksen kartografista laatua tehden siitä tasapainottoman (Bleisch ja Nebiker, 2007).

4.2.3 Vokselivärjäys

Vokselivärjäys (eng. voxel colouring) on fotorealistinen mallinnusmenetelmä, jossa kohde mallinnetaan fotogrammetrisesti kolmiulotteiseen hilaan. Mallin vokselit saavat väriarvot, ja malli voidaan piirtää renderöintitehtävän tapaan. Pintavokselimalleja voidaan tuottaa esimerkiksi ottamalla kohteesta valokuvia useista suunnista. Pintavokselit määritetään fotogrammetrisesti eteenpäinleikkauksen keinoin. Mallin tuottaminen on raskas tehtävä ja sen tuloksena saadaan muistintarpeeltaan massiivinen tiedosto, mutta kuvantuottovaihe jää laskennallisesti kevyeksi ja mallin yksityiskohtaisuus voidaan määrätä mallinnusvalokuvien erotuskyvyllä. Vokselivärjäystä on toistaiseksi sovellettu hyvin vähän maastomallien piirtoon, ja esimerkkikuva 9 esittääkin vokseleiksi mallinnetun pienkohteen. (Kuzu ja Sinram, 2002)



Kuva 9: *Valokuvista tuotetun pintavokselimallin piirtoja (Kuzu ja Sinram, 2002)*

Vokselivärjäyksen selkeä etu maanpintaa ympäröivän tilan esitysten luomisessa on se, että kohdealueelta ei tarvita erikseen korkeusmallia. Kartografian kannalta tässä esitelty fotorealismiin pyrkivä pintavokselivärjäys ei kuitenkaan ole sisällöllisesti kiinnostava viistoesitystapa. Vokselimallien tulkinta ja värjäys sekä pinnanalaiset sovellukset sen sijaan avaavat kartografiallekin paljon mielenkiintoisia esitysmahdollisuuksia.

4.3 Tulkitseva viistoesitys

Tulkitsevalla viistoesityksellä tarkoitetaan tässä kolmiulotteisuuden viistoesittämisen suuntausta, jonka päämäärä on kuvata maailmaa käsitteellisesti ja eritellen, tulkinnan ja abstrahoinnin kautta. Tulkitseva viistoesitys esittää maailmasta sijaintitiedoiltaan to-

tuudenmukaisia ja sisällöltään prosessoituja näkymiä, jollaisia ei voida paljain silmin havaita. Esittämisen keinoja ei tässä tapauksessa ole juurikaan rajattu, vaan esimerkiksi viistokuvausprojektioista voidaan käyttää sopivimmaksi harkittua.

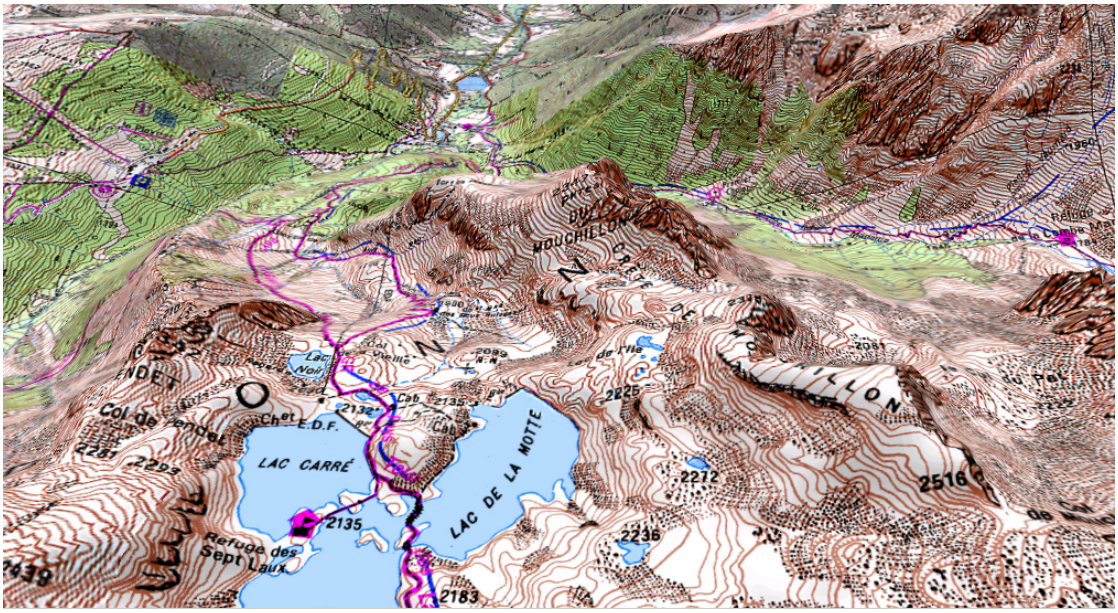
Fotorealismin todenjäljittelypyrkimykset ovat viime aikoina vahvistaneet mallinnusmaailman käsitystä siitä, että yksityiskohtaisuuden tavoittelu ei ole aina mielekästä edes kolmiulotteisten viistonäkymien tuottamisessa (esim. artis, 2005). Nopealaskentaisten ja -lukuisten tulkitsevien viistokuvien tarpeen ja käytännön hyötyjen on todettu olevan monissa yhteyksissä selkeät — tulkitsevaan viistokuvaan voidaan sisällyttää suuri määrä kolmiulotteista tietoa niin, että kuvan katselija näkee ja ymmärtää kohteesta paljon enemmän kuin kohdetta itseään katselemalla tapahtuisi. Tulkitsevan viistoesityksen tekniikoista kuvien istutus on jo paljon käytetty, ja valikoiva renderöinti on aktiivisen tutkimuksen vaiheessa.

Kartografisesta näkökulmasta tulkitseva viistoesitys sopii hyvin maanpintaa ympäröivän tilan esittämiseen. Tulkitsevien viistokuvien tuottaminen on keskeisesti yleistystä, ja myös abstraktio kuuluu olennaisesti tämän viistoesitystyypin ominaisuuksiin. Kun tulkitseva viistokuva yhdistetään voimakkaaseen pienennykseen ja sopivaan kuvausasetteluun, päädytään esitykseen, jota voidaan perustellusti kutsua kartaksi (ks. kartan määritelmät luvun 2 alussa). Lisäksi vapaus projektion valinnassa on tulkitsevan viistoesityksen merkittävä kartografinen mahdollisuus: esimerkiksi sotilasprojektio voi olla mittatarkkuudessaan erityisen käyttökelpoinen.

4.3.1 Piirrosten istutus

Piirrosten istutus rinnastuu teknisesti kappaleessa 4.2.2 esiteltyyn valokuvien istutukseen, joskaan kuvausprojektio ei ole piirrosten tapauksessa rajoittunut fotorealismin aina käyttämään perspektiiviprojektioon. Tässä viistoesitystyypissä kohteen pintamallin tekstuuriksi sovitetaan (eng. drape) kaksiulotteisia piirroksia. Maanpintaa ympäröivän tilan kuvaamisen tapauksessa piirrokset ovat yleensä perinteisen kartantuotantoprosessin kautta tehtyjä karttoja, joita voidaan käyttää sellaisenaan. Istutus pintamallille onkin tehokas tapa uusiokäyttää työläitä piirroksia, jotka on alun alkaen tehty tasoprojektioon. Kaksiulotteinen lähtökohta saa kuitenkin viistokuvalla aikaan epätodellisen vaikutelman erityisesti silloin, kun alkuperäiseen tasopiirrokseen sisältyy merkittävää kolmiulotteisuuden kuvausta. Karttojen tapauksessa tilanne on juuri tällainen. Kartan rakennukset ja mastot jäävät viistokuvallakin projektioiksi maanpinnalle ja piirrosistutusnäkymän ulkoasu vastaa aitoa kolmiulotteisuuden kokemusta huonosti.

Karttojen istutus korkeusmalleille on ollut ensimmäinen vaihe kartografisen esityksen askeleissa kohti viistokuvia. Kuva 10 tarjoaa tästä esimerkin, ja siitä voidaan todeta esitystavan näyttävyyden lisäksi myös sen sisäinen viimeistelemättömyys: tasokartan kohteiden ja ennen kaikkea nimistön sijoittelussa ei ole huomioitu kolmiulotteisuutta, minkä vuoksi kohteet asettuvat korkeusmallille usein luonnottomasti. Lisäksi karttataso "venyy" korkeusmallilla rinteen jyrkkyydestä riippuen, jolloin tasolle piirrettyjen kohteiden



Kuva 10: *Tasokartan istutus korkeusmallille (Bayo CartoExploreur 3D)*

huoliteltu ulkoasu särkyy ja rikkoo esityksen yhtenevyyden sekä tekee siitä graafisesti epätasapainoisen.

Piirrosten istutus täyttää kategorisesti kartografisen esityksen kriteerit. Kolmiulotteisuuden osalta sen ongelmana on jo mainittu kaksiulotteisen ja kolmiulotteisen aineiston yhdistäminen, minkä vuoksi viistonäkymä ei kuvaa todellisen maailman geometrisia suhteita oikein ja jää joskus jopa harhaanjohtavaksi. Istutustekniikkaa ei näin ollen voida pitää viistonäkymissä kartografisesti optimaalisena, joskin se tarjoaa havainnollisen esityksen maanpintaa ympäröivän tilasta.

4.3.2 Valikoiva renderöinti

Valikoiva renderöinti on kappaleen 4.2.1 fotorealistisen renderöinnin tapaan viistokuvan koneellista piirtämistä kolmiulotteisen mallin ja sen ominaisuuksien perusteella. Valikoivuudella tarkoitetaan tässä sitä, että todellisesta maailmasta esitetään vain tarkoituksenmukaisiksi valittuja kohteita ja ominaisuuksia. Ne pyritään kuitenkin esittämään mahdollisimman todenmukaisessa kontekstissa ja koetetaan luoda intuitiivisesti luonnollinen esitys, joka on helposti yhdistettävissä havaittuun tosimaailmaan. Valikoivassa renderöinnissä käytetään tietokonegrafiikan teknisiä kykyjä laajasti hyväksi muun muassa vaihtelevien kuvausprojektioiden, valaistusmallien ja syvyysvihjeiden kautta.

Valikoiva renderöinti on fotorealismille vastavoimaksi kehittynyt uudehko renderöintisuuntaus, josta käytetään englannin kielessä muun muassa nimityksiä "non-photorealistic renderig" ja "expressive rendering" (Döllner ja Buchholz, 2005; Lesage ja Visvalingam,

2002; artis, 2005). Renderöintitapaa on käytetty aluksi lähinnä taiteellisissa yhteyksissä kuten animaatioelokuvissa, mutta vähitellen sen ilmaisukyvyt on tiedostettu myös todellisen maailman esitystarpeissa kuten kartografiassa. Tuotannossa valikoivan renderöinnin mukaan tehtyjä karttatuotteita ei vielä juurikaan ole, mutta tutkimus ja kehitys alalla on aktiivista. Alla esitellään kaksi kartografiaan sopivaa karrikatyyristä alatyyppiä valikoivasta renderöinnistä, rautalankamalli ja pintasävytysmalli.

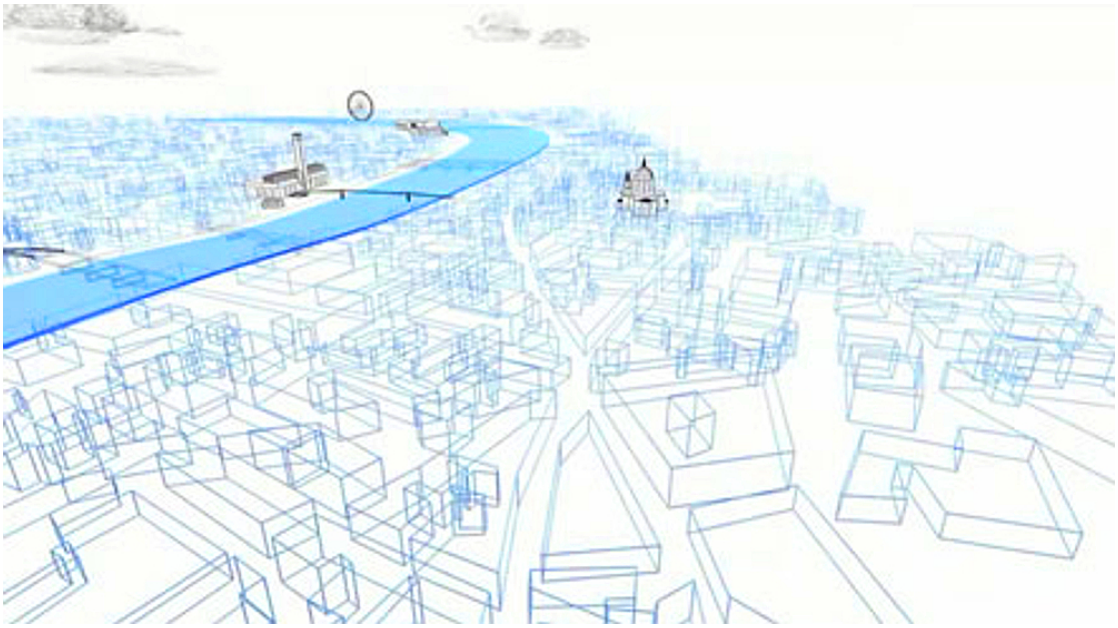
Määritelmänsä puolesta valikoiva renderöinti sopii erityisen hyvin kartografisten esitysten tuottamiseen. Kun pienennys suoritetaan geometriset ja sijaintisuhteet säilyttäen sekä täydellisyyden vaatimusta noudattaen, läpäisee jokainen valikoivasti renderöity viistokuva kartografiset kriteerit. Yleistys ja abstraktio ovat sekä valikoivan renderöinnin että kartografian peruselementtejä. Maanpinnan esityksessa kartografinen yleistys voi sisältyä käytettyyn malliin, mutta aktiivisesti on koetettu kehittää myös automaattisia kolmiulotteisen yleistyksen menetelmiä, jotka mahdollistaisivat karttamaisten viistokuvien tuottamisen suoraan lähtöaineistoista.

Rautalankapiirros Rautalankapiirroksella (eng. wire-frame drawing) tarkoitetaan yleisesti kolmiulotteisen kohteen muodon ja rajojen hahmottelemista piirtämällä sen rakenteen kannalta merkittävän linjat näkyviin viistokuvalle. Piirrostyypin etuna on läpinäkyvyys ja kuvalle jäävän tyhjän tilan määrä, jotka kartografiaa ajatellen ovat erityisen hyödyllisiä ominaisuuksia: samalla kun kohteiden muodot ja sijainnit voidaan hahmottaa tarkasti, saadaan esitettyä myös abstraktia sijaintitietoa esimerkiksi nimistön tai teemaesityksen keinoin. Kuva 11 esittää luovasti toteutetun karttamaisen rautalankapiirroksen, jolla on kyetty nostamaan maamerkkejä tehokkaasti esiin kaupungin rakennuskannan keskeltä.

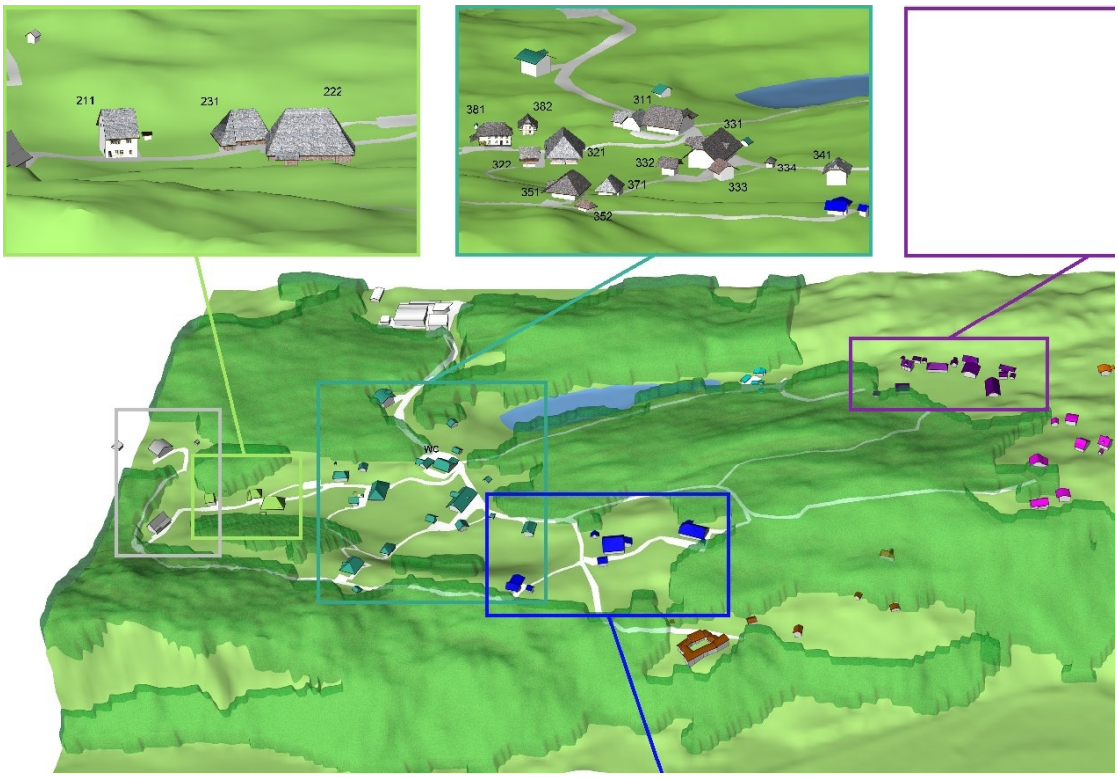
Pintasävytyspiirros Pintasävytyspiirroksessa viistokuva piirretään pintamallista, jonka pinnat sävytetään (eng. shade) niille valittujen värien ja mahdollisesti valaistuksen mukaan. Kyse on siis tyypillisestä renderöintitehtävästä, jossa kohteista piirretään katsojaa lähinnä oleva pinta. Kartografian kannalta normaalin pintasävytyspiirroksen ongelmana on läpinäkymättömyys, joka tekee liikkumattomista viistokuvista sisällöltään epätäydellisiä. Kuvassa 12 onkin nähtävissä esimerkki tehokkaasta läpinäkyvyyden hyväksikäytöstä, kun puusto on kuvattu läpinäkyvänä. Kuvassa on ratkaistu myös liikkumattoman viistokuvan tarkkuusongelma: tarkempaa kuvausta vaativat kohteet on suurennettu omiin kohdenäkymiinsä.

4.4 Viistokuvaskitsit

Viistokuvia voidaan renderöidä paitsi jäljittelemään tarkasti todellisen maailman geometriaa ja sijainteja, myös taiteellisin päämäärin. Tällaiset näkymät eli skitsit (eng. sketch) luokitellaan tässä viistokuvaskitsien esitystyyppiin. Ne kuvaavat aitoa ympäristöä ja ne voidaan piirtää samoista malleista kuin aitoa kolmiulotteisuutta jäljittelevät



Kuva 11: *Kartografinen rautalankapiirros (ksmgrd, 2006)*



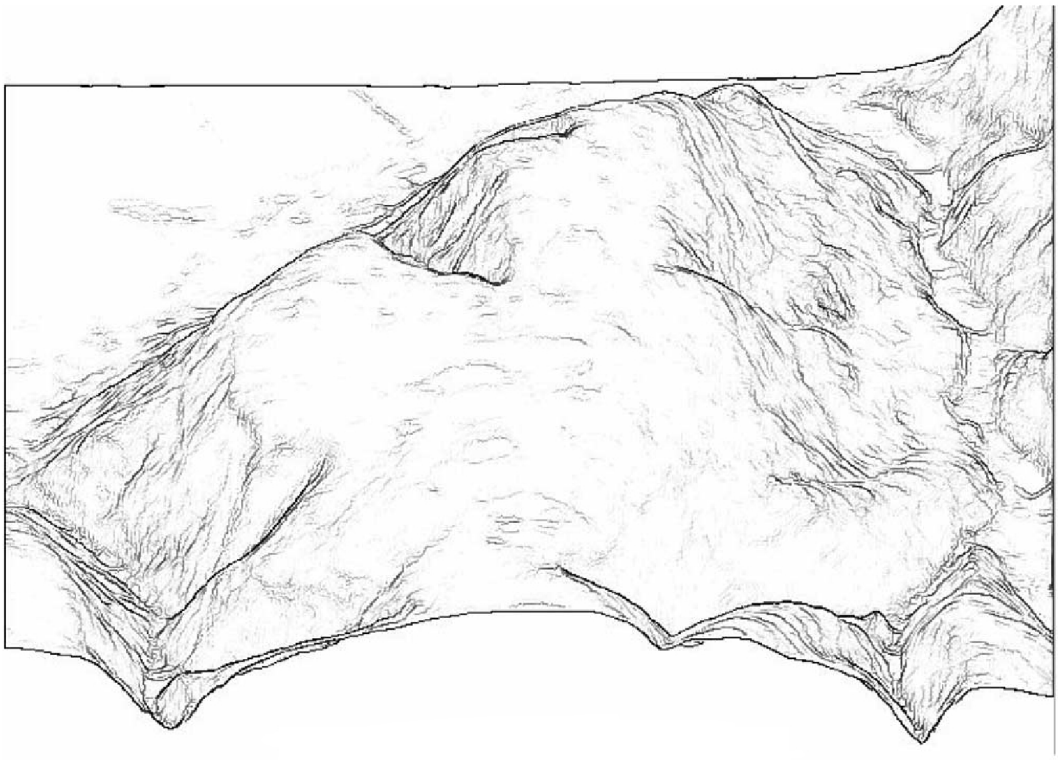
Kuva 12: *Museoalueen karttamainen pintasävytyspiirros (Bleisch ja Nebiker, 2007)*

viistokuvatyypit, mutta niissä kohteita ei pyritä kuvaamaan ensisijaisesti oikein, vaan tyylitellysti. Viistokuvaskitsit pyrkivät esittämään aidon maailman piirteitä keskittyen tavoittamaan abstrakteja hahmoja, joita katsoja ei omin silmin sellaisenaan tai suoraan havaitse. Tulkitsevasta viistoesityksestä poiketen keskittymiskohteena ovat esityksen vaikutelma, tunnelma ja estetiikka.

Viistokuvaskitsin lähtökohdat tekevät siitä teoriassa täysin ei-kartografisen viistoesitystavan. Seuraavassa viistokuvaskitsien kahta alatyyppiä tarkasteltaessa huomataan kuitenkin, että luonnostelluillakin kuvilla voi olla arvoa maanpintaa ympäröivän tilan karttamaisessa esittämisessä.

Ääriviivaskitsi Ääriviivaskitsiksi käsitetään tässä koneellinen viivapiirros, joka kuvaa kohteensa muotoa hahmottelemalla sen reunoja ja johtopiirteitä. Ääriviivaskitsejä muodostetaan renderöimällä ensin viistokuva kolmiulotteisen kohdemallin ja sopivan valaistusmallin perusteella ja laskemalla tämän jälkeen luonnoskuva piirreirrotusoperaattoreihin pohjautuen. Lopuksi luonnokseen voidaan lisätä syvyyttä korostamalla peittäviä reunoja ja käyttämällä eri harmaasävyjä reunojen tärkeysasteiden mukaan. Kartografisessa yhteydessä käytettynä ääriviivaskitsi on toimiva skitsityyppi, koska se kuvaa varsin tarkasti maanpinnan suhteellisen geometrian samalla yleistäen ja abstrahoiden ja jättää vieläpä tilaa mahdollisille muille kartografisille elementeille. Esimerkki maanpinnan korkeusmallista lasketusta ääriviivaskitsistä on kuvassa 13. (Lesage ja Visvalingam, 2002)

Palaskitsi Palaskitsit tarjoavat muista tässä luvussa esitetyistä viistoesitystavoista poikkeavan mahdollisuuden viistonäkymien luontiin. Palaskitseillä tarkoitetaan valokuvista lähtien luotuja tekstuurimaisia viistonäkymiä, jotka koostuvat pienistä pikselinkaltaisista, mutta kooltaan ja sijainniltaan epäsäännöllisistä suorakulmiopaloista. Kangin vuonna 2005 julkaisemassa menetelmässä valokuvalta erotellaan etuala, tausta ja maanpinta ja luodaan kuvasta kolmiulotteinen malli. Kuvalle sijoitellaan erityisen algoritmin avulla paloja, jotka luonnostelevat sen sisältöä mahdollisimman hyvin eri tarkkuuksilla ja palat sijoitetaan kolmiulotteisen mallin sopiville tasoille. Näitä paloja älykkäästi yhdistellen voidaan luodusta mallista piirtää viistokuvaskitsejä eri tarkkuustasoilla ja eri näkökulmista. Kuva 14 esittää kyseisellä menetelmällä luodun viistokuvan. Tämänkaltaiset viistokuvaskitsit palvelevat ensisijassa yleisluontoista ja esteettistä kokemusta, eivätkä täytä kartografisen esityksen kriteerejä. (Kang, 2005)



Kuva 13: *Ääriviivaskitsi maanpinnan korkeusmallista (Lesage ja Visvalingam, 2002)*



Kuva 14: *Valokuvasta muodostettu palaskitsi (Kang, 2005)*

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Viistoesitys on luonnollinen ja ihmiselle intuitiivinen tapa maanpintaa ympäröivän kolmiulotteisen tilan kuvaamiseen. Viistokuvia voidaan käyttää kartan kaltaisina sijaintitiedon lähteinä, ja näin on tehty viistokuvien piirtotaidon olemassaolon ajan. Esitystapaan liittyy kuitenkin muutamia perustavanlaatuisia ongelmia, joiden vuoksi viistot esitystavat eivät ole toistaiseksi päätyneet laajamittaiseen sarjatuotantoon. Merkittävin näistä on yhden kuvan näkökulman subjektiivisuus. Viimeaikainen ja tämänhetkinen kuvaus- ja tietotekninen kehitys on lopulta tuomassa viistoesitysta kartografian arkipäivään.

Tässä työssä tarkasteltiin viistoesityksen sopivuutta kartografiseen käyttöön ja luotiin lähdetutkimuksessa löydettyjen viistoesitystapojen perusteella kategorisointi erityyppisille viistoesityksille. Kartografisen esityksen kriteereiksi määriteltiin lähteiden mukaan pienennys, yleistys ja abstraktio, joiden kautta viistoesitystapoja arvioitiin. Viistoesityksen geometriaa tutkittiin käymällä läpi ja esittelemällä kaikki maanpintaa ympäröivän tilan esitykseen soveltuvat kuvausprojektiot. Koetettiin löytää esimerkkejä eri projektioiden sovelluksista kartografiassa, mutta huomattiin perspektiiviprojektion olevan lähes ainoa käytetty. Todettiin, että muidenkin projektioiden tutkiminen ja koekäyttö kartografisessa viistoesityksessä olisi tärkeää. Esimerkiksi sotilasprojektio voisi sopia paljon perspektiiviprojektiota paremmin karttamaisen viistoesityksen perustaksi. Kuvausprojektioiden osalta todettiin lisäksi tarve niiden tarjoaman näkymän rikastamiseen täydentävillä menetelmillä, esimerkiksi näkymän liikuttamisella.

Työn päätarkoituksessa eli viistoesitystapojen kategorisoinnissa päädyttiin kolmijakoon fotorealistinen viistoesitys, tulkitseva viistoesitys ja viistokuvaskitsit. Kaikilla kolmella kategorialla todettiin voivan olla arvoa kartografisesti, joskin ainoastaan tulkitseva viistoesitys täyttää hyväksyttävästi kartografisen esityksen kriteerit. Tulkitsevan viistoesityksen alakategorioista nousi kartografisesti käyttökelpoisimmaksi valikoiva renderöinti, jonka yleistävä ja abstrahoiva kuvantuottotapa todettiin hyvin ilmaisuvoimaiseksi ja erottelukykyiseksi. Valikoivaa renderöintiä voisi jopa kutsua kaksiulotteisen kartanpiirron vastineeksi kolmessa ulottuvuudessa.

Viistoesityksen hyödyntäminen kartografiassa lisääntyy jatkuvasti ja lähiaikoina nähtäneen ensimmäisiä kartografisesti kokonaisia viistonäkymiin perustuvia karttatuotteita. Merkittävimmät tulevaisuuden haasteet liittyvät viistokuvakartan käyttöliittymään, koska liikkumattoman viistokuvan anti jää helposti laihaksi, ja kolmiulotteiseen yleistykseen, joka sekin on ottanut vasta ensiaskeleitaan. Ihmisten tarve kolmiulotteisen sijaintitiedon todenmukaiseen hahmottamiseen on joka tapauksessa niin vahva, että entistä viestintäkykyisempiä 3D-esityksiä tarvitaan, ja viistoesityksen eri muodot sopivat tämän tarpeen täyttämiseen erinomaisesti.

Lähteet

artis, 2005. **Expressive rendering**. Internet: `http://artis.inrialpes.fr/Research/NPR/`.

Bleisch, S., Nebiker, S., 2007. **More than rendering — printed tourist maps and an interactive 3D information system from highly detailed 3D landscape models**. Teoksessa *Proceedings of XXIII International Cartographic Conference*, Cartography for everyone and for you. August 4–10, Moscow, Russia. Theme 17, CDROM.

Döllner, J., Buchholz, H., 2005. **Expressive virtual 3D city models**. Teoksessa *Proceedings of XXII International Cartographic Conference*, Mapping Approaches into a Changing World. July 9–16, A Coruna, Spain. Theme 15, CDROM.

Fontus Oy, 2007. **VIRTUAL HELSINKI**. Internet: `http://www.virtualhelsinki.fi` (19/02/2008).

Giesecke, F. E., Mitchell, A., Spencer, H. C., 1958. ***Technical drawing***. The Macmillan Company, New York, fourth painos.

Graf, U., Nyström, E. J., 1958. ***Deskriptiivinen geometria***. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki, Finland, kolmas painos.

Hearn, D., Baker, M. P., 1997. ***Computer graphics***. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, second painos.

International Cartographic Association, 2003. **A Strategic Plan for the International Cartographic Association 2003-2011**. Internet: `http://cartography.tuwien.ac.at/ica/en/ICA_Strategic_Plan_2003-08-16.pdf` (19/03/08).

Jenny, B., 2006. **Design of a Panorama Map with Plan Oblique and Spherical Projection**. Teoksessa *Proceedings of 5th ICA Mountain Cartography Workshop*. March 30 – April 1.

Kang, H. W., 2005. **Nonphotorealistic virtual environment navigation from images**. *International Journal of Image and Graphics*, 5(2): 433–445.

Keates, J. S., 1996. ***Understanding Maps***. Addison Wesley Longman Limited, Essex, England.

Kraak, M.-J., Ormeling, F., 2003. ***Cartography. Visualization of Geospatial Data***. Pearson Education Limited, Essex, England, second painos.

ksmgrd, 2006. **Ipostcards from the edge of the 1000-mile city**. Internet: `http://kosmograd.typepad.com/kosmograd/cities/index.html` (04/10/07).

Kuzu, Y., Sinram, O., 2002. **Photorealistic object reconstruction using voxel coloring and adjusted image orientations**. Teoksessa *Proceedings of ASPRS American Congress on Surveying and Mapping / International Federation of Surveyors Conference*. Washington, DC.

Lesage, P.-L., Visvalingam, M., 2002. **Towards sketch-based exploration of terrain**. *Computers & Graphics*, 26(2002): 309–328.

McMaster, R. B., Shea, K. S., 1992. ***Generalization in Digital Cartography***. Association of American Geographers, Washington, DC.

Milan, J.-J., 2005. **Image:Perspectiva-2.jpg**. Internet: `http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Perspectiva-2.jpg` (04/02/08).

Niemelä, O., 2004. ***Maasto ja kartta. Kartanvalmistajan ja -käyttäjän käsikirja***. Maanmittauslaitos.

Nissen, F., Hvas, A., Münster-Swendsen, J., Brodersen, L., 2003. **Small-Display Cartography**. GiMoDig-project deliverable D3.1.1, Public EC report. Internet: `http://gimodig.fgi.fi/deliverables.php` (13/09/07).

SEIGN, 2008. **Le serveur éducatif de l'IGN et de l'Education Nationale sur l'information géographique**. Internet: `http://seig.ensg.ign.fr/sommlexi.php3?` (07/03/08).

Wolfram MathWorld, 2008a. **Perspective**. Internet: `http://mathworld.wolfram.com/Perspective.html` (04/02/2008).

Wolfram MathWorld, 2008b. **Projective Geometry**. Internet: `http://mathworld.wolfram.com/ProjectiveGeometry.html` (01/02/2008).

www.ymparisto.fi, 2006. **Havainnollistavat perspektiivikuvat, aksonometriat, leikkaukset ja animaatiot**. Internet: `http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=32207` (19/03/08).