

Jaakko Kaila

Rakennusmittausalan toimistotyöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

21.4.2016

Tekijä Otsikko	Jaakko Kaila Rakennusmittausalan toimistotyöt
Sivumäärä Aika	39 sivua 21.4.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	mittausinsinööri Elton Mäki yliopettaja Vesa Rope
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää, minkälaisia toimistotyötehtäviä rakennusmittausalan yritykselle voi nykyisin kuulua. Tarkoituksena oli, että työtä olisi mahdollista hyödyntää osaamisen kehittämisen materiaalina alan nuorille sekä tuleville ammattilaisille, joilla ei ole vielä paljon kokemusta rakennusmittausalalla hyödynnettävistä ohjelmistoista sekä niiden erilaisista käyttömahdollisuuksista.</p> <p>Työn lähtökohtana oli käsitellä asiaa työelämälähtöisesti huomioiden myös aihetta käsittelevä kirjallisuus sekä sähköiset lähdeaineistot. Erityisesti alalla työskentelevien ammattilaisten näkökulmat pyrittiin ottamaan huomioon mahdollisimman kattavasti. Tällä tavoin työstä luotiin mahdollisimman käyttökelpoinen sitä mahdollisesti hyödyntäville kohderyhmille.</p> <p>Työn edetessä kävi ilmi, että rakennusmittausalaan sisältyvät toimistotyöt ovat muuttuneet merkittävästi 2000-luvun aikana. Erityisesti uusien teknisten sovellusten käyttöönotolla on ollut suuri vaikutus alalla työskentelevien työnkuvaan. Tulevaisuudessa erityisesti tietomallipohjaisen suunnittelun yleistymisen uskotaan vaikuttavan merkittävästi mittausorganisaation sekä myös muiden rakennushankkeen osapuolten toimintatapoihin ja -menetelmiin.</p>	
Avainsanat	rakennusmittaus, toimistotyö, ohjelmisto

Author Title	Jaakko Kaila Office tasks in construction surveying
Number of Pages Date	39 pages 21 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Elton Mäki, Surveying Engineer Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study what kind of office work is included in construction surveying. The aim was to offer an educational material for skills development to trainees and young professionals in the field who only have minor understanding or experience of construction surveying software and its use.</p> <p>In order to make the thesis as easy to assimilate as possible, the assignment was conducted from the working life perspective. The opinions and thoughts of experienced professionals were collected and used as primary source of information, supplemented with literature and manuals.</p> <p>The final year project confirmed the major change that has occurred in office work in the field of construction surveying during the 21st century due to the technical applications like building information modelling, which is likely to revolutionize not only the job description of a single land surveying company but the whole construction industry.</p>	
Keywords	construction surveying, office work, software

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet	2
1.3	Työn tilaaja	2
1.4	Työn rajaukset	2
1.5	Työn rakentuminen	3
2	Mittausalan yritys rakennushankkeen osapuolena	4
2.1	Rakennushankkeen osapuolet	4
2.2	Mittausalan yrityksen toimenkuva	5
2.3	Mittausalan yrityksen tiedonhallinta ja viestintä	6
3	Rakennushankkeen toteuttamiseen liittyvät toimistotyöt	9
3.1	Kiintopistetietojen selvittäminen	9
3.2	Suunnitelma-aineiston koordinaattitulkinta	11
3.2.1	Rakennushankkeen suunnitelma-aineistot ja koordinaatistot	11
3.2.2	Koordinaattitulkinta ja koordinaattimuunnokset	12
3.3	Merkintä- ja mittausaineiston laadinta	15
3.4	3D-koneohjausmallinnus	17
3.4.1	Koneohjaus rakennustyömailla	17
3.4.2	Koneohjauksen 3D-mallinnus	18
4	Rakennushankkeen todentamiseen liittyvät toimistotyöt	22
4.1	Tarkeaineistojen käsittely	22
4.1.1	Tarkemittaukset rakennushankkeen laadunvalvonnassa	22
4.1.2	Tarkelaskenta ja tarkepiirustusten laadinta	23
4.1.3	Tarkeaineistojen tietojärjestelmään dokumentoiminen	24
4.1.4	Toteutumamallien muodostaminen	25
4.2	Tilavuuslaskenta	26
4.2.1	Tilavuuslaskennan hyödyntäminen	26
4.2.2	Tilavuuslaskentaan liittyviä periaatteita	27
4.2.3	Erilaiset laskentamenetelmät tilavuuslaskennassa	28
4.2.4	Laskentatulosten visualisointi	29
4.3	Laserkeilausaineistojen käsittely	30

4.3.1	Laserkeilauksen käyttökohteet	30
4.3.2	Pistepilvien jatkokäsittely	31
5	Lopuksi	34
	Lähteet	36

Lyhenteet

BIM	Building Information Model. Rakennuksen tietomalli.
CAD	Computer Aided Design. Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DTM	Digital Terrain Model. Numeerinen maastomalli, joka sisältää tietoa pinnan korkeustasosta sekä mahdollisista muista ominaisuuksista.
DWG	Drawing. Suunnitteluohjelmistojen yleisesti hyödyntämä tiedostomuoto.
DXF	Drawing Exchange Format. Tiedostomuoto, joka mahdollistaa tiedonsiirron eri CAD-ohjelmistojen välillä.
IFC	Industry Foundation Classes. Tietomallipohjaisessa rakennesuunnittelussa käytetty tiedonsiirtostandardi.
LandXML	Exchange Markup Language. Kansainvälisesti hyödynnetty standardi avoimeen XML-pohjaiseen tiedonsiirtoon.
TIN	Triangulated Irregular Network. Kolmioverkko, joka yhdistää maastosta mitatut geometriatiedot yhtenäiseksi maastomalliksi.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Rakentamiseen liittyvä mittaustyö on kokenut lukuisia muutoksia viimeisten vuosikymmenten aikana. Alalla tapahtunut tekninen kehitys on kohdistunut sekä käytettävään mittauskalustoon että mittaustietoa käsitteleviin ohjelmistoihin. Mittauskaluston ja ohjelmistojen kehittyminen on muuttanut mittaustyön luonnetta sekä nopeuttanut mittauspalveluiden tuottamista. Uudet mittaustekniset sovellukset, kuten laserkeilaus sekä työko-neautilomat, ovat vähentäneet tavanomaisten mittaustöiden määrää ja lisänneet puolestaan tietoteknisen osaamisen sekä rakennushankkeen eri osapuolten välisen yhteistyön merkitystä.

Nopea kehitystahti tuo haasteensa jokaisen työntekijän päivittäiselle työsuoritukselle. Pelkkä oman alan perusosaaminen ei ole enää riittävä lähtökohta onnistuneelle rakennushankkeelle, vaan työssä vaaditaan yhä enemmän ymmärrystä hankkeen eri sidosryhmien työprosesseista sekä tarpeista. Organisaatioiden välisten rajapintojen ymmärtäminen on muodostunut avainasiaksi projektin menestyksekkään läpiviennin kannalta [Hietanen 2005: 41–54]. Myös yrityksen sisäisen kommunikaation merkitys on korostunut, sillä monipuolistuneet työtehtävät johtavat usein tilanteisiin, joissa useamman näkökulman huomioiminen helpottaa mahdollisten riskitekijöiden havaitsemista. Edellä mainitut asiat korostavat hyvin sitä, miten aikoinaan suorittavan työn tyyppiesimerkiksi mielletty rakennusala on muuttumassa aina vain enemmän tietoteknisiin sovelluksiin tukeutuvaksi tietotyöksi. [Paananen 2003: 3–4.]

Yrityksmaailmassa eletään monin paikoin tilanteessa, jossa uuden, osaavan työvoiman rekrytoiminen on muodostunut haastavaksi. Lukuisat oppilaitokset elävät jatkuvien säästöpainneiden alla, mikä on vaikeuttanut merkittävästi tulevien ammattilaisten valmentamista monivivahteisen yritystoiminnan tarpeisiin. Nuorelle työntekijällä voi toki muodostua opiskeluvuosien sekä työuran alkutaipaleen aikana suhteellisen laaja yleiskuva omasta alastaan, mutta työelämän tuottavaksi ammattilaiseksi kasvaminen saattaa vaatia huomattavasti enemmän aikaa, kuin yritystoiminnalla olisi varaa antaa. Yritystoiminnan tuottavuuden takaamiseksi olisikin hyödyllistä, että myös työnantaja pystyisi vastaamaan luontevasti sekä kustannustehokkaasti puuttuvan osaamistarpeen täyttämisestä. [mm. Toivonen 2016.]

1.2 Työn tavoitteet

Tämä insinööri työ pyrkii omalta osaltaan edesauttamaan yrityksen osaamisen kehittämistä selvittämällä minkälaisia toimistotyötehtäviä rakennusmittausalan yritykselle voi nykyisin kuulua. Tämänkaltaiselle selvitykselle on olemassa kysyntää, sillä rakennusmittauksia käsittelevät oppikirjat sekä muut vastaavat tietolähteet keskittyvät pääasiassa maastotyötehtävien esittelemiseen. Tälle työlle on asetettu konkreettinen tavoite, jonka mukaan laadittavaa selvitysraporttia olisi mahdollista hyödyntää harjoittelijoiden sekä jo työuransa aloittaneiden ammattilaisten osaamisen kehittämisen materiaalina. Tapauskohtaisesti työstä voisivat hyötyä myös kokeneemmat työntekijät.

Selvitysraportin tarkoituksena ei ole toimia yksityiskohtaisena ohjekirjana työtehtävien suorittamisesta, vaan enemmänkin työtehtäviä havainnollistavana esittelyinä. Tällä tavoin pyritään helpottamaan mittautiedon erilaisten hyödyntämismahdollisuuksien sekä rakennushankkeen mittautyön merkityksen hahmottamista alalla työskentelevien työntekijöiden keskuudessa.

1.3 Työn tilaaja

Työ on toteutettu yhteistyössä Vitomittaus Oy:n kanssa. Vitomittaus Oy on vuonna 2001 perustettu mittausalan yritys. Sen päätoimialaan kuuluvat maa- ja rakennusmittauspalvelut. Yritys toteuttaa lähes kaikkia mittaamiseen liittyviä palveluita tavanomaisista merkintätöistä aina pistepilviaineistojen mallinnustehtäviin. Yrityksen tavanomaisimpia mittausprojekteja ovat olleet erilaiset väylä- ja talonrakennushankkeet. Vitomittaus Oy:n toimialue kattaa Satakunnan, Varsinais-Suomen sekä Uudenmaan maakunnat, mutta yrityksellä on vuosien saatossa ollut yksittäisiä työkohteita tämän aluerajauksen ulkopuolellakin. Vuoden 2016 alussa yritys työllisti 15 työntekijää, joista kaksi toimi mittausinsinöörinä ja loput joko mittautyönjohtajina tai kartoittajina. [Toivonen 2016.]

1.4 Työn rajaukset

Tässä insinööri työssä toimistotöillä tarkoitetaan lähtökohtaisesti sellaisia työtehtäviä, joita voidaan suorittaa mittausalan yrityksen käytössä olevilla ohjelmistoilla. Tämänkal-

taisia ohjelmistoja ovat erilaiset maastomittaus- ja suunnitteluohjelmistot, joista tavanomaisimpina esimerkkeinä mainittakoon suomalaisen 3D-System Oy:n 3D-Win sekä yhdysvaltalaisen Autodeskin AutoCAD-ohjelmistot. Näiden ohjelmistojen lisäksi mittausalan yritys hyödyntää usein jotakin muuta ohjelmistoa pistepilviaineistojen käsittelyssä. Ohjelmistolla suoritettavien työtehtävien lisäksi työssä perehdytään myös muihin toimistossa toteutettaviin työsuoritteisiin, kuten kiintopistetietojen selvittämiseen sekä mittausalan yrityksen viestintätehtäviin.

Työssä käsitellään rakennustoimintaan liittyviä mittaustyötehtäviä yksinomaan rakentamisen toteuttamisvaiheen osalta. Tällöin tarkastelun ulkopuolelle jäävät sekä rakentamisen inventoivan vaiheen että suunnittelu- ja päätöksentekovaiheen mittaustyöt, kuten suunnittelutyötä tukeva maastomallintaminen. [Salmenperä 2004: 6.] Rajauksen tarkoituksena on helpottaa lukijaa työn sisällön tulkitsemisessä.

1.5 Työn rakentuminen

Tässä työssä asiat pyritään käsittelemään ennen kaikkea työelämälähtöisesti. Ensisijaisina tietolähteinä ovat insinööriyön tekijän omat työkokemukset sekä alalla työskentelevien ammattilaisten esittämät näkökulmat ja mielipiteet. Työssä hyödynnetään myös aihetta käsittelevää kirjallisuutta sekä sähköisiä lähdeaineistoja.

Työtehtävät pyritään esittelemään rakennushankkeen etenemisen määrittämässä kromologisessa järjestyksessä. Työssä esitelty jaottelu ei kuitenkaan aina kuvaa työtehtävien todellista järjestystä, sillä hyvin usein tehtävät asettuvat limittäin toisiinsa nähden ja joskus jokin yksittäinen työtehtävä saattaa olla käynnissä koko projektin ajan.

2 Mittausalan yritys rakennushankkeen osapuolena

2.1 Rakennushankkeen osapuolet

Rakennushankkeelle ominaisia piirteitä ovat erityisesti pitkäkestoisuus, monialaisuus sekä useiden osapuolten mukanaolo [Liuksiala 1996: 13]. Erityisesti infrarakentamiseen liittyvät projektit ovat usein monialahankkeita, joiden parissa työskentelee suuri määrä eri alojen ammattilaisia. Onnistuneen hankkeen perimmäisenä lähtökohtana on, että jokainen palveluntuottaja vastaa parhaansa mukaan oman työsuoritteensa laadusta, valvonnasta sekä raportoinnista. [Junnonen 2009: 11.] Rakennushankkeen osapuolten yhteyshenkilöt ovat avainasemassa, kun eri työsuoritteet pyritään hankkeen edetessä yhdistämään toimivaksi kokonaisuudeksi.

Rakennushankkeen toteuttaminen lähtee liikkeelle rakennuttajan intresseistä. Rakennuttajana voi toimia esimerkiksi kunta tai valtion virasto [Liuksiala 1996: 40–41]. Erityisesti kunnat saattavat suorittaa rakennushankkeita myös omana työnään, jolloin niiden toimenkuvaan voivat kuulua sekä suunnittelu- että urakointityö. Suuret rakennushankkeet toteutetaan kuitenkin lähes poikkeuksetta tarjouskilpailun avulla. [Junnonen 2009: 11.] Kilpailutetussa rakennushankkeessa rakennuttajan apuna toimii normaalisti rakennuttajakonsultti, jonka toimenkuvaan kuuluu muun muassa työmaan toiminnan valvominen [Rakennuttajakonsultti 2016].

Rakennushankkeen toteuttaminen perustuu suunnitelmiin. Suunnitelmien laatimisesta vastaa usein yksityisen sektorin toimija, kuten arkkitehti- tai insinööritoimisto [Liuksiala 1996: 26]. Hankkeen monialaisuudesta riippuen rakennussuunnitelmien lisäksi voidaan tehdä myös erityissuunnitelmia, kuten valaistus- ja maisemasuunnitelmia. Rakennussuunnitelman ja erityissuunnitelmien yhteensovittamisesta vastaa hankkeen pääsuunnittelija. [Junnonen 2009: 11.] Tavanomaisimmissa urakkamuodoissa suunnittelijataho on sopimussuhteessa ainoastaan rakennuttajan kanssa [Liuksiala 1996: 19, 41–45]. Suunnitelmien laatimisen lisäksi suunnittelijan toimenkuvaan voi kuulua hankkeen seurantavastuun jakaminen työmaan valvojan kanssa [Liuksiala 1996: 16].

Urakoitsija vastaa rakennushankkeen käytännön toteutuksesta rakennuttajan kanssa solmitun sopimuksen mukaisesti [Liuksiala 1996: 84]. Urakoitsijana voivat toimia erilaiset rakennusalan yritykset. Yritykset voivat suorittaa kaikki rakentamiseen liittyvät tehtävät

omana työnään, mutta usein osa erikoistöistä, kuten sähkö- ja räjäytystyöt, ulkoistetaan jollekin alan konsulttiyritykselle. Urakointi jaotellaan tällöin pää- ja aliurakointiin. Jaotellun ominaislaatuun kuuluu, etteivät aliurakoitsijat ole suorassa sopimussuhteessa varsinaisen rakennuttajan kanssa. Tällöin pääurakoitsija vastaa rakennuttajalle aliurakoitsijoiden työsuoritteista kuin omistaan. [Liuksiala 1996: 41.] Pääurakoitsijan yhteyshenkilönä rakennushankkeessa toimii tavanomaisesti vastaava työnjohtaja.

Viranomaistaholla on päävastuu rakennushankkeen valvonnasta. Valvonta kohdistuu sekä suunnitteluun että rakentamiseen. Viranomaiselle kuuluvia tehtäviä ovat erityisesti rakennuslupakäsittely sekä työmaalla suoritettavat katselmukset ja tarkastukset. Valvonnan lisäksi viranomaistaho pystyy ohjaamaan rakentamista esimerkiksi kaavoituksen sekä säädöksiensä avulla. [RT 10-10387 1989: 4, 9.]

2.2 Mittausalan yrityksen toimenkuva

Rakentamiseen liittyvä mittaustyö voidaan organisoida kahdella eri tavalla. Urakoitsijana toimivat suuret rakennusalan yritykset tuottavat usein itse kaikki tai osan tarvitsemistaan mittauspalveluista. Urakoitsija voi myös vaihtoehtoisesti sopia aliurakointisopimuksen jonkin yksityisen mittausalan yrityksen kanssa. Tämän työn tilaaja, Vitomittaus Oy, työskentelee lähes jokaisessa projektissa aliurakoitsijan asemassa. Tähän muodostavat poikkeuksen lähinnä suunnittelua varten suoritettavat maastomallimittaustyöt sekä muut vastaavanlaiset pienet projektit. Mahdollisia ovat myös rakennushankkeesta erotetut tarkemittauspalvelut, joissa mittausalan yritys suorittaa esimerkiksi vesihuollon tarkemittauksien dokumentoinnin tietojärjestelmään kunnan tai vesihuoltolaitoksen toimeksiantosta [Mäki 2016].

Tehty urakkasopimus määrittää, minkälaisia työsuoritteita mittausalan yritykseltä vaaditaan. Rakennushankkeen alkuvaiheessa ajankohtaisia maastotyötehtäviä voivat olla esimerkiksi työmaan kiintopisteverkon rakentaminen sekä erilaiset merkintä- ja asennusmittaukset. Näihin nivoutuu toimistotyötehtäviä, kuten paikallisten kiintopistetietojen selvittäminen, suunnitteluaineistojen käsittely ja koordinaattitulkinta sekä merkintä- ja mittausaineistojen tekeminen. Rakennushankkeen edetessä työmaalla yleistyvät myös tarke- ja kartoitusmittaukset. Lisäksi erilaiset valvontamittaukset saattavat kuulua mittausorganisaation toimenkuvaan. [Salmenperä 2004: 6.] Työmaalta kerättyä mittaustietoa jalostetaan ja dokumentoidaan edelleen ohjelmistojen avulla urakoitsijan pyytämään

muotoon [Anderson & Mikhail 1998: 76–77]. Tilaajan vaatimat tiedot voidaan tuottaa esimerkiksi tilavuus- ja tarkelaskennan avulla. Rakennushankkeen loppupuolella mittaus- tekniikan hyödyntäminen on olennaisessa osassa erityisesti työmaan laadunvalvonnallisis- sissa asioissa.

Edellä mainittujen työtehtävien lisäksi mittausorganisaation toimenkuvaan kuuluvat mit- tausten ja laskentatyön suunnittelu sekä mittauskaluston huoltotyöt [Anderson & Mikhail 1998: 76–77]. Nämä työt eivät välttämättä ole yritykselle suoraan tuottavia, mutta niiden laiminlyönti saattaa muodostaa esteen tuottavan työn suorittamiselle. Tässä insinööri- työssä rakennusmittausalan yrityksen toimistotyöt on jaoteltu päälukujen 3 ja 4 mukai- sesti rakennushankkeen toteuttamiseen sekä todentamiseen liittyviin työtehtäviin [Jun- nonen 2009: 89].

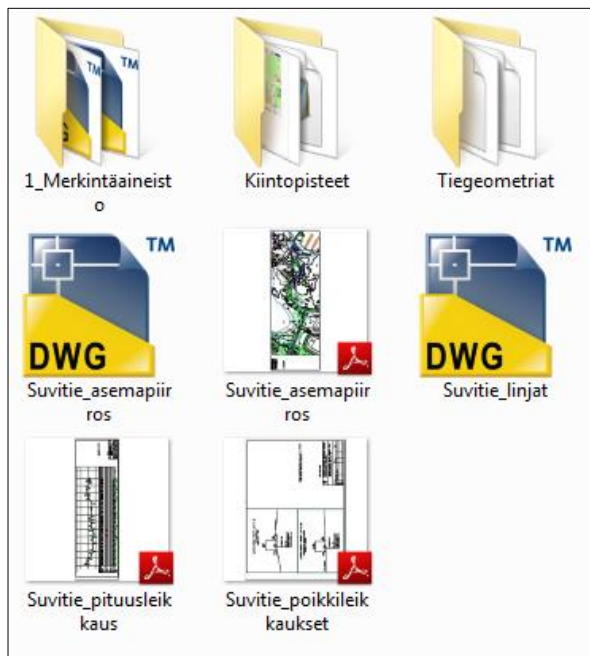
2.3 Mittausalan yrityksen tiedonhallinta ja viestintä

Yhä suurempi osa rakennusalan töistä suoritetaan aliurakointina. Tämä on lisännyt työn koordinoinnin sekä organisaatioiden välisen tiedonvälityksen merkitystä. [Pelín 2011: 15, 239–240.] Tietotekniikan hyödyntämisestä on tullut keskeistä lähes missä tahansa ra- kennushankkeen työsuoritteessa, mutta projektin tiedonhallinnassa sekä viestinnässä tietotekniikkaa voidaan pitää lähes korvaamattomana [Paananen 2003: 4].

Mittausalan yrityksen kannalta pienet mittausprojektit, kuten yksittäiset maastomallimit- taustyöt, on mahdollista suorittaa ilman järjestelmällistä tiedonhallintaa. Projektin kasva- essa ja verkostoituessa lisääntyy kuitenkin myös tiedonhallinnan tarve. Tiedonhallinnan yhtenäistämisen avulla ei ainoastaan helpoteta projektin läpivientiä, vaan siitä on hyötyä myös mahdollisten kiistatilanteiden ratkaisemisessa rakennuskohteen luovuttamisen jälkeisen vakuusajan aikana. [Anderson & Mikhail 1998: 80; Pelín 2011: 329.]

Pienten yritysten tiedonhallinnan kehittämisen esteenä ovat usein rajalliset resurssit. Tie- donhallintaan sidottavan rahallisen omaisuuden lisäksi rajoittavaksi tekijäksi saattaa muodostua myös yrityksen alhainen IT-osaamisen taso. Tämä vaikeuttaa sopivien tieto- teknisten ratkaisujen kartoittamista. Voidaan kuitenkin todeta, että pienille yrityksille on ollut tavanomaista nojautua tiedonhallinnassa kattavien tietojärjestelmien sijaan erilaisiin pilvipalveluihin [Karlsson 2016].

Käytössä olevista tiedonhallinnan välineistä riippumatta tiedonhallintaa on mahdollista kehittää aivan yksinkertaisillakin menettelytavoilla. On hyödyllistä opetella nimeämään ja järjestämään tiedostot sekä kansiot loogisesti (kuva 1). Tämän lisäksi on myös tärkeää oppia ymmärtämään erilaisten tiedostoformaattien, kuten DWG-, VGP- ja GT-tiedostojen, käyttömahdollisuuksia. Erityisesti erilaiset suunnitteluohjelmistot vaihtelevine ohjelmaversioineen hankaloittavat usein dokumenttien hallintaa. Pilvipalveluiden tarjoamat jaetut tallennustilat mahdollistavat mittausorganisaatiolle uudenlaiset työskentelytavat, mutta ilman asianmukaista tallennustilan ylläpitoa vaarana on esimerkiksi päivittämättömän suunnitteluaineiston jakelu merkintätyön lähtöaineistoksi. Myös varmuuskopioinnin osalta on olennaista kehitellä tarkoituksenmukainen toteutustapa, jota pystytään käyttämään säännöllisesti. [Paananen 2003: 167, 429; Pelin 2011: 329.]



Kuva 1. Esimerkki pienen merkintätyökohteen kansiorakenteesta.

Viestintä mahdollistaa tuotetun tiedon jakamisen hankkeen eri osapuolten kesken. Viestintä tapahtuu osapuolten välisten viestintärajapintojen kautta. Viestintärajapinnat voidaan toteuttaa rakennushankkeessa monella eri tavalla, joista tavanomaisimpia ovat puhenviestintä sekä sähköisten dokumenttien jakaminen tai julkaiseminen. Käytetyt viestimet voivat tällöin olla muun muassa puhelin, sähköposti sekä projektipankki. [Hietanen 2005: 41, 44–45; Pelin 2011: 286–287.]

Tietotekninen kehitys on tehnyt viestintärajoitusten tulkitsemisesta haastavaa, sillä tietoa voidaan välittää paperidokumentin, sähköisen dokumentin, tietomallin tai näkymän avulla. Viestinnän suorittamista on järkevää suunnitella etukäteen, sillä esimerkiksi palaverit ja puhelinsoitot aiheuttavat aina keskeytyksen tuottavaan työntekoon. Edes sähköposti ei ole aina ongelmaton viestintäväline, sillä huonosti jäsennelty viesti saattaa johtaa väärinkäsityksiin. Sähköposti on huono väline myös tiedon säilyttämiseen, sillä sähköpostin tallennustila on rajallinen eikä yksittäiseen viestiin voida lisätä liitteiksi suurikokoisia tiedostoja, kuten laserkeilausaineistoja. [Paananen 2003: 303; Hietanen 2005: 44–48; Pelin 2011: 286–287.]

3 Rakennushankkeen toteuttamiseen liittyvät toimistotyöt

3.1 Kiintopistetietojen selvittäminen

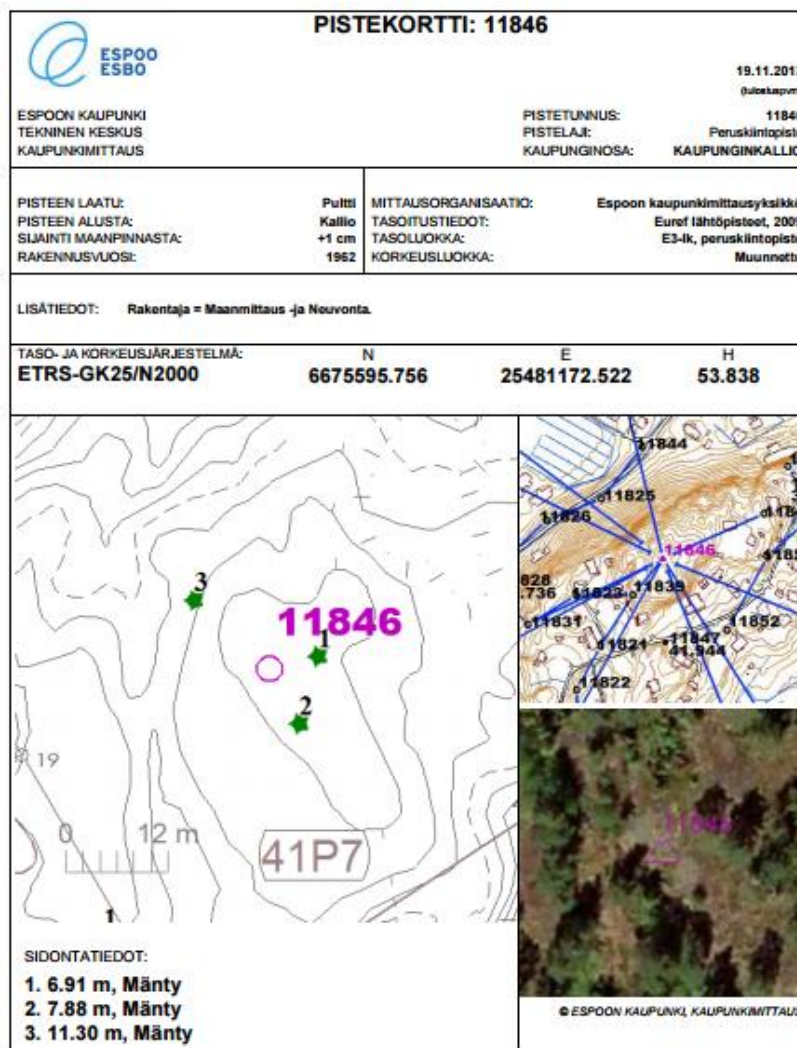
Rakentamisen toteuttamisvaiheessa on luotava yhteys käytettävän koordinaattijärjestelmän sekä maaston välille. Tämä on mahdollista kiintopisteiden avulla. [Salmenperä 2004: 12.] Maastossa sijaitsevat kiintopisteet jaotellaan hierarkkisesti valtakunnallisiin ja paikallisiin peruskiintopisteisiin sekä paikallisiin käyttökiintopisteisiin. Peruskiintopisteet muodostavat perusrunkoverkon, johon paikallisissa mittaustöissä hyödynnettävät käyttökiintopisteet pohjautuvat. [Kaavoitusmittausohjeet 2003: 6, 8; JHS 184 2012: 5, 8.] Tyyppiltään kiintopisteet voivat olla joko tasokiintopisteitä, korkeuskiintopisteitä tai yhdistettyjä taso- ja korkeuskiintopisteitä [Kaavoitusmittausohjeet 2003: 8].

Kiintopisteverkon tihenemisen sekä laajenemisen tulisi olla yhteydessä alueellisen rakennustarpeen lisääntymisen kanssa. Lähtökohtana on, että käyttökiintopisteistö ulottuu rakennettavalle alueelle jo ennen rakentamisen alkamista. Ihanteellisessa tilanteessa merkintä- ja kartoitusmittausten lähtöpisteiksi tarkoitettujen käyttökiintopisteiden välimatkat ovat urakka-alueen lähistöllä ainoastaan muutamia satoja metrejä. [Kaavoitusmittausohjeet 2003: 8–9; Salmenperä 2004: 12.] Paikallisen kiintopisteverkon pisteitä voidaan tietyissä tapauksissa hyödyntää suoraan osana rakennustyömaan pisteistöä, mutta tavanomaisesti työmaalle on syytä mitata myös oma mittauspisteistö [Salmenperä 2004: 105–106]. Työmaan mittauspisteistön voidaan ajatella edustavan paikallista käyttökiintopisteistöä seuraavaa kiintopisteluookkaa.

Kaikki mittaus toiminta on lähtökohtaisesti sidottu johonkin yleiseen koordinaatistoon. Osa rakennushankkeen sisäisistä kohteista saatetaan kuitenkin käsitellä erilliskoordinaatistossa. Erilliskoordinaatiston hyödyntäminen on yleistä erityisesti yksittäisten rakennusten osalta. Erilliskoordinaatistoa sovellettaessa koordinaatiston akselit sidotaan tavanomaisesti rakennuksen päälinjoihin. [Salmenperä 2004: 12.] Yleistä kiintopisteverkkoa ei näissä tapauksissa ole mahdollista hyödyntää suoraan, sillä kaikki mittauksen lähtöpisteet on luonnollisesti määriteltävä erilliskoordinaatistossa.

Suomessa kiintopisteiden mittauksesta sekä pisteisiin liittyvien tietojen ylläpidosta vastaavat valtion viranomaiset sekä kunnat. Tietoa valtakunnallisista kiintopisteistä on mah-

dollista saada Maanmittauslaitokselta [JHS 184 2012: 2]. Maanmittauslaitoksen kiintopisterekisteri kuuluu nykyisin osaksi Kiinteistötietopalvelua. Tiedot paikallisista käyttökiintopisteistä on puolestaan selvittävää kuntakohtaisesti. Osa kunnista voi tarjota kiintopistetiedot osana omaa karttapalveluaan, mutta varsinkin pienemmissä kunnissa tarvittavia kiintopistetietoja on usein tiedusteltava puhelimen tai sähköpostin välityksellä asiaan perehtyneeltä yhteyshenkilöltä. Mittausorganisaatiolle on luonnollisesti eduksi, jos kiintopistetiedot voidaan vastaanottaa sellaisessa tiedostoformaattissa, jota sekä mittauskalusto että maastomittausohjelmisto kykenevät hyödyntämään suoraan. Kiintopisteestä on mahdollista saada myös pisteselyskortti (kuva 2), josta selviää muun muassa pisteen numero, mittausorganisaatio sekä sijaintipiirros [Kaavoitusmittausohjeet 2003: 10]. Tulostetuista pisteselyskorteista voi olla apua etsittäessä kiintopisteitä ensimmäistä kertaa tuntemattomalta alueelta.



Kuva 2. Esimerkki pisteselyskortista [Espoon karttapalvelu 2016].

3.2 Suunnitelma-aineiston koordinaattitulkinta

3.2.1 Rakennushankkeen suunnitelma-aineistot ja koordinaatistot

Rakentaminen perustuu aina jonkinlaiseen suunnitelma-aineistoon. Suunnitelma-aineisto koostuu esimerkiksi tasopiirustuksista sekä pituus- ja poikkileikkauskuvista. Vielä muutamia vuosikymmeniä sitten yksittäisen työmaan kaikki suunnitelmat saatettiin laatia pelkästään graafisessa muodossa. Suunnitelmia tarkasteltiin tällöin pääsääntöisesti paperilta tai muovikalvolta. 1980-luvulta lähtien suunnitelmien laatiminen on perustunut kasvavassa määrin tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD, Computer Aided Design) hyödyntämiseen. CAD-ohjelmistojen käyttöönotto on nopeuttanut merkittävästi suunnitelmien laatimista sekä vähentänyt suunnittelutyön kustannuksia. [Junnonen 2009: 21, 24–25.]

Tällä hetkellä rakennusteollisuudessa eletään uutta muutosvaihetta, jossa tietomallipohjainen 3D-suunnittelu on syrjäyttämässä perinteisen dokumenttipohjaisen 2D-suunnittelun. Tietomallipohjaisen suunnittelun hyödyntäminen on tullut ajankohtaiseksi, sillä nykyisin jo keskikokoinen infrarakennushanke saattaa sisältää valtavan määrän erilaista informaatiota. Suuren tietomäärän hallitseminen tavanomaisen kansiorakenteen avulla on muodostunut haasteelliseksi. Tietomallipohjaiselle suunnittelulle ominaiset tietokannat tarjoavat ratkaisun tähän ongelmaan, sillä niiden avulla rakennushankkeen kaikki suunnitelmat voidaan esittää havainnollistavasti toistensa suhteen 3D-yhdistelmämallilla. [Junnonen 2009: 26, 29; Parkkinen 2012: 7; Niskanen 2015: 11–12.] Tietomallin hyödyntäminen mahdollistaa tällöin myös suunnitelmien välisten ristiriitaisuuksien paikantamisen hyvissä ajoin ennen rakentamisen toteuttamisvaihetta. Suunnittelualalla tätä paikantamista kutsutaan törmäystarkasteluksi. [Hietanen 2005: 24; Tuhola & Viitanen 2008: 33; Petschek 2014: 179.]

Rakentamisen toteuttamisvaiheen osalta pelkkä suunnitelma ei ole vielä riittävä tietolähde, vaan tarvitaan myös koordinaatisto, johon suunnitelman sisältö on sidottavissa. Jo suunnittelun alkuvaiheessa onkin kiinnitettävä huomiota siihen, missä koordinaattijärjestelmässä suunnittelualan kiintopisteet on määritetty [Junnonen 2009: 35].

Suomessa rakentamisessa sekä kaavoituksessa hyödynnetään yleisenä koordinaatistona eurooppalaiseen ETRS89-koordinaattijärjestelmään pohjautuvaa ETRS-GKn-ta-

sokoordinaatistoa. Kyseessä on koordinaatisto, jossa ETRS (European Terrestrial Reference System) viittaa käytettävään datumiin ja GK (Gauss-Krüger) sovellettavaan karttaprojektioon. Tasokoordinaatiston nimen lopussa oleva n ilmaisee käytettävän projektiokaistan keskimeridiaanin asteluvun. ETRS-GK_n-koordinaatistolla koko Suomi on kattavissa 13 keskimeridiaanikaistalla (19°, 20°, 21°...31°). [JHS 154 2008: 5–7.] Ennen kansainvälisen ETRS89-järjestelmän käyttöönottoa paikallisissa mittaustöissä hyödynnettiin tavanomaisesti kansallista KKJ-koordinaattijärjestelmää (Kartastokoordinaattijärjestelmä) [Junnonen 2009: 35]. KKJ-koordinaattijärjestelmä on tosin edelleen käytössä eräissä kunnissa.

Myös korkeusjärjestelmien osalta on pyritty eurooppalaisten järjestelmien yhtenäistämiseen. Suomessa tämä on tarkoittanut yleisesti käytetyn N60-korkeusjärjestelmän korvaamista uudella N2000-korkeusjärjestelmällä. [JHS 163 2008: 1–2.] Mittaustyön kannalta korkeusjärjestelmän vaihtuminen on ollut monin paikoin tasokoordinaatistojärjestelmille suoritettua uudistusta haastavampi, sillä N60- ja N2000-korkeusjärjestelmien välinen ero on paikkakunnasta riippuen ainoastaan noin 20–40 senttimetriä [JHS 163 2008: 10; Junnonen 2009: 35]. Ongelmat ovat saattaneet nousta esille erityisesti pitkäkestoisissa hankkeissa, joissa tarkemittauksia on voitu suorittaa kummassakin korkeusjärjestelmässä. Sekä tasokoordinaatti- että korkeusjärjestelmien osalta mittaustyötä saattavat välillä hankaloittaa myös kuntien omat koordinaattijärjestelmät. Esimerkiksi osassa Saloa on käytössä kaupungin oma NN-Salo-korkeusjärjestelmä, joka on 142 millimetriä alempana kuin N60-korkeusjärjestelmä [Kartat ja paikkatieto 2016].

3.2.2 Koordinaattitulkinna ja koordinaattimuunnokset

Mittaustekninen osaaminen on olennaisessa osassa suunnitelmalle suoritettavassa koordinaattitulkinna. Perinteisen koordinaattitulkinna tavoitteena on laskea käsin koordinaatit graafisessa suunnitelmassa oleville pisteille, kuten rakennuksen nurkille tai tien keskilinan pisteille. Tätä nimitetään yleisesti pääpistelaskennaksi. [Salmenperä 2004: 6; Laurila 2012: 92–93.] Tämänkaltaiset toimenpiteet ovat kuitenkin harvinaistuneet tietokoneavusteisen suunnittelun yleistymisen jälkeen.

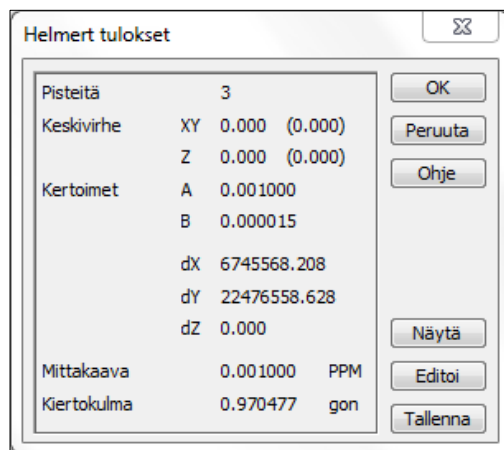
Nykyaikainen infrarakentaminen käyttää hyväkseen luvussa 3.2.1 kuvattua tietomallipohjaista suunnittelua, joka mahdollistaa suunnitteluaineiston sitomisen käytössä olevaan yleiseen koordinaatistoon koko suunnitteluprosessin ajan [Junnonen 2009: 21–22].

Arkkitehdit tai suunnittelijat saattavat kuitenkin ohjelmistoteknisistä syistä sitoa esimerkiksi rakennuksen piirustuksen tontin rajojen mukaiseen erilliskoordinaatistoon, jota kutsutaan usein myös projektikoordinaatistiksi. Suunnitelmien laatiminen selkeytyy koordinaattien lukuarvojen pysyessä suhteellisen pieninä, mutta projektikoordinaatiston käyttämisestä voi seurata ongelmia soviteltaessa suunnitelmaa yleiseen koordinaatistoon. [Junnonen 2009: 22; Petschek 2014: 181.] Yleisten tietomallivaatimusten mukaan projektikoordinaatiston sijainti yleiseen koordinaatistoon nähdessä tulisi dokumentoida vähintään kahden vastinpisteen tai vaihtoehtoisesti yhden vastinpisteen ja kiertokulman avulla [Henttinen 2012: 7]. Käytännön työtilanteissa saattaa kuitenkin edelleen olla tarpeellista suorittaa erillisiä koordinaattitulkintoja rakentamisen toteuttamisvaiheen aikana.

Mittaustyön kannalta yleiseen koordinaatistoon sitomaton vektorimuotoinen suunnitelma on melko vähäarvoinen. Sen avulla ei voida esimerkiksi luoda merkintätyöhön vaadittavaa mittausaineistoa. Suunnitelma onkin pyrittävä sitomaan yksiselitteisesti rakennushankkeessa hyödynnettävään yleiseen koordinaatistoon. Tämä on mahdollista koordinaattimuunnoksen avulla. Maasto- ja rakennusmittauksissa on hyödynnetty yleisesti lineaarista yhdenmuotoisuusmuunnosta, eli Helmert-muunnosta. Tämä muunnos sopii hyvin suunnitelmassa käytetyn erilliskoordinaatiston ja yleisen koordinaatiston välisen origon siirron, kiertokulman sekä mittakaavaeron ratkaisemiseen. [Salmenperä 2004: 18; Laurila 2012: 81–82.]

Helmert-muunnoksen suorittamiseksi suunnitelmassa oleville pisteille on löydettävä tarkasti määritellyjä vastinpisteitä yleisestä koordinaatistosta. Vastinpisteitä on oltava vähintään kaksi, mutta useamman pisteen hyödyntäminen on aina suositeltavaa. Esimerkiksi asemapiirroksen yleiseen koordinaatistoon määrittämisessä saatetaan päätyä tilanteeseen, jossa asemapiirroksen koordinaattimuunnos on suoritettavissa ainoastaan suunnitelma-alueelta löytyvien rajapyykkien perusteella. Rajapyykkeihin liittyvät koordinaattitiedot on mahdollista selvittää Maanmittauslaitoksen Kiinteistötietopalvelusta. Koordinaattimuunnosta suorittavan työntekijän on kuitenkin syytä tiedostaa, etteivät Maanmittauslaitoksen määrittämät koordinaatit ole tarkkuusvaatimuksiltaan yhdenmuukaisia kaavan pohjakartan kartoituksessa määriteltujen rajapyykkien ja -merkkien koordinaattien kanssa [Kaavoitusmittausohjeet 2003: 23; Maanmittauslaitoksen julkaisusarja nro 112 2012: 6–24]. Tästä johtuen suunnitelman koordinaattimuunnosta suoritettaessa on aina kiinnitettävä erityishuomiota suunnitelman sisäisen tarkkuuden säilyttämiseen.

Käytännön koordinaattimuunnoksessa on kannattavaa hyödyntää käytössä olevien ohjelmistojen ominaisuuksia mahdollisimman järkevällä tavalla. Eräessä hyväksi havaitussa menettelytavassa koordinaattimuunnoksen parametrit lasketaan ensin maastomittausohjelmistolla (kuva 3), minkä jälkeen laskennassa saadut parametrit ovat hyödynnettävissä suunnitteluohjelmistolla suoritettavassa kolmivaiheisessa muunnoksessa. Tämänkaltainen menettelytapa on suositeltava, sillä maastomittausohjelmisto on erinomainen työväline koordinaattimuunnoksen laskemiseen, mutta CAD-formaatissa olevan suunnitelman käsittely maastomittausohjelmistolla saattaa johtaa datan häviämiseen. Tämä on havaittu myös käytännön työtilanteissa, kun kartoittajan merkintäaineistona ollut DWG-muotoinen asemapiirros ei enää maastotyövaiheessa sisältänytkään kaikkia tarvittavia merkintäkohteita [Peltola 2014].



Kuva 3. ETRS-GK22-koordinaatistoon suoritettun Helmert-muunnoksen muunnosparametrit 3D-Win-ohjelmistolla.

Muunnosparametrien laskemisen jälkeen suunnitelman varsinainen koordinaattimuunnos voidaan suorittaa CAD-ohjelmiston avulla. Maastomittausohjelmistot ja CAD-ohjelmistot käyttävät lähtökohtaisesti eri kulmayksikköä, minkä vuoksi gooneissa laskettu kiertokulma on muistettava muuntaa asteiksi. Tämän lisäksi on vielä tarkastettava, että laskettu mittakaava on todenmukainen. Edellä olevasta kuvasta (kuva 3) on mahdollista todeta mittakaavan vastaavan täsmällisesti suunnitelman mukaisen projektikoordinaatiston (kaikki mitat millimetreinä) ja käytössä olevan yleisen koordinaatiston (kaikki mitat metreinä) välistä mittakaavaeroa. Laskennassa käytettävä ohjelmisto ei kuitenkaan aina osaa pyöristää laskennallisia muunnosparametreja oikein. Erityisesti väärän mittakaavan soveltamisesta voi seurata kiusallisia ongelmatilanteita rakennushankkeen edetessä. Kun parametreille on suoritettu mahdolliset muunnokset sekä korjaukset, voidaan

koordinaattimuunnos suorittaa CAD-ohjelmistolla vaihe kerrallaan. Muunnoksen onnistuminen on mahdollista todeta avaamalla myös vastinpisteet sisältävä CAD-tiedosto ohjelmiston graafisessa käyttöliittymässä.

Asemapiirroksen yleiseen koordinaatistoon määrittäminen mahdollistaa usein myös muun suunnitteluaineiston koordinaatistoon sitomisen. Esimerkiksi perustus- ja alapohjapiirustuksessa esillä olevat anturat tulisi lähtökohtaisesti olla liitettävissä suoraan asemapiirroksessa esiintyviin rakennuksen sivuihin. Muunnosta suoritettaessa ei voida kuitenkaan luottaa sokeasti suunnitelmien ristiriidattomuuteen, sillä erityisesti dokumenttipohjaisessa 2D-suunnittelussa esiintyy aika ajoin virheellisyyksiä [Junnonen 2009: 21]. Tietynlaisia suunnitteludokumentteja, kuten pituus- ja poikkileikkauskuvia sekä yksittäisiä detaljikuvia, ei välttämättä ole tarpeellista tai edes mahdollista sitoa yleiseen koordinaatistoon. Erityisesti periaatteellisten detaljikuvien mittasuhteet saattavat olla vääristyneitä, mikä estää kokonaan niiden yleiseen koordinaatistoon määrittämisen.

3.3 Merkintä- ja mittausaineiston laadinta

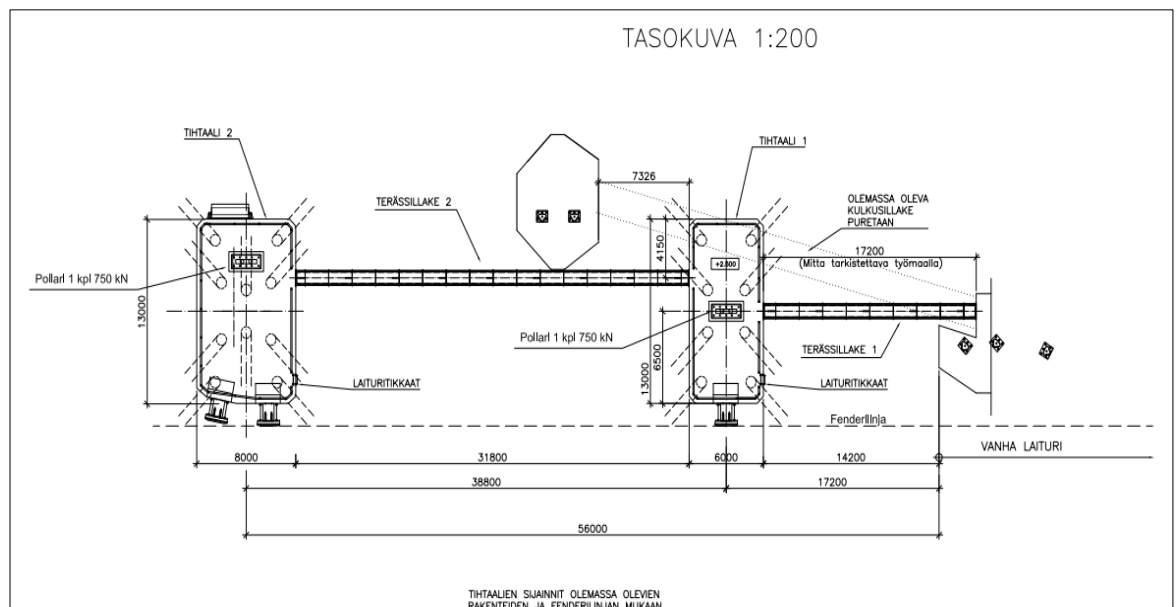
Luvussa 3.2 käsitelty koordinaattitulkinna on välttämätön esivaihe merkintäaineiston tekemiselle. Tietyissä tapauksissa on jopa mahdollista, ettei erilliselle merkintäaineiston laadimiselle ole sen jälkeen enää tarvetta. Tämä on mahdollista esimerkiksi silloin, kun käytössä oleva mittauskalusto pystyy hyödyntämään suoraan suunnittelijan käyttämää tiedostoformaattia. Esimerkiksi Leica Geosystems:n mittauskalustolla on mahdollista lukea suoraan DWG- tai DXF-muodossa olevia suunnitelmia [Naukkarinen 2014]. Tällöinkin saattaa kuitenkin olla tarpeellista piilottaa suunnitelmasta sellaisia elementtejä, joiden mukanaolo vaikeuttaa aineiston tulkitsemista tallentimen kautta.

Koko suunnitelman tallentimeen siirtämisen sijaan saattaa olla usein kannattavampaa poimia merkittävä aineisto kokonaan erilleen laajemmasta suunnitteluaineistosta. Tämä on rakennusmittausten parissa työskentelevälle henkilölle kaikista tavanomaisin ohjelmistolla suoritettava toimenpide, jonka taitaminen on perusedellytys sujuvalle mittaus-työlle. Toimenpide saattaa muodostua työlääksi esimerkiksi silloin, jos maastoon merkittävä yksittäinen piste (niin sanottu mittauspiste) on jostain syystä piirretty suunnitteluohjelmistolla esimerkiksi neljä pistettä käsittäväksi nelikulmioksi tai viisi pistettä sisältäväksi rastiksi. Mittausorganisaatiolle voi tämänkaltaisissa tilanteissa koitua ylimääräistä työtä,

kun nelikulmioista on laskettava keskipiste tai rastista on poistettava ylimääräiset pisteet. [Junnonen 2009: 90.]

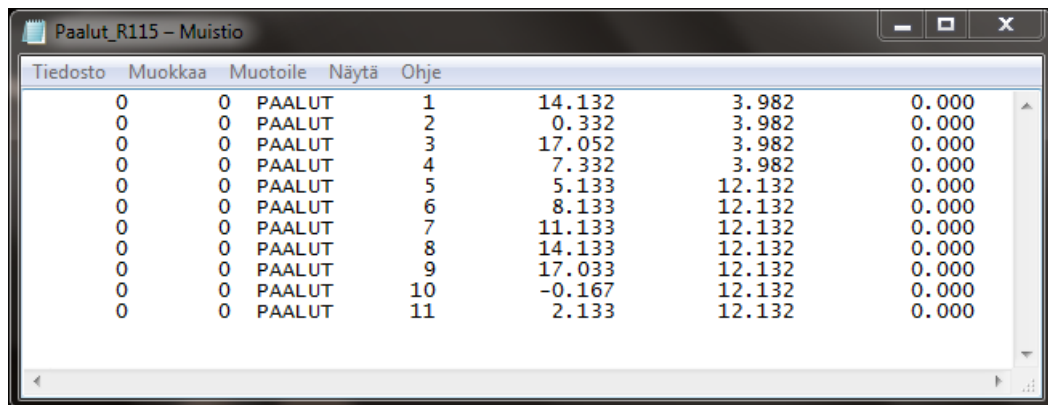
Aineistosta poimittavat pisteet voivat edustaa periaatteessa mitä tahansa kohdetta katkaistavan paalun kulmista rakennettavan viemärilinjän paalutukseen. Jos näiden pisteiden koordinaatit on määritelty suunnittelijan tuottamasta tasopiirustuksesta, on mahdollista, ettei pisteille määrity lainkaan korkeutta. Korkeuden määrittäminen voidaan tarvittaessa suorittaa erikseen jonkin muun suunnitteludokumentin, kuten detaljikuvan tai poikkileikkauksen, avulla.

Suunnitelmakuvien tulkinta on taito, jota ei yleensä korosteta tarpeeksi mittausorganisaation työnkuvassa. Mittausalan ammattilaisen ydinosaamiseen kuuluvat mittausteknisten menetelmien hallinta sekä koordinaatistojen tunteminen. Rakennettavien kohteiden tulkitseminen suunnitelmalta ei kuitenkaan aina ole kovinkaan yksiselitteistä mittausyöntekijälle. Erityisesti harjaantumattomalle mittausalan ammattilaiselle erilaisten suunnitelmien tulkitseminen saattaa tuottaa usein päänvaivaa. [Junnonen 2009: 24; Kavanagh 2009: 563.] Ongelmat voivat korostua etenkin tavanomaisesta poikkeavassa rakennushankkeessa, kuten vesirakennusurakassa (kuva 4). Tämä asettaa haasteensa mittausyön suorittamiselle, sillä mittausyöntekijän voi olla tavallista vaikeampaa ennakoita, mitkä kohteet urakoitsija haluaa milloinkin merkittäväksi työmaalle.



Kuva 4. Tasopiirustus, jonka tulkitseminen saattaa olla haasteellista kokemattomalle mittausyöntekijälle.

Pisteiden poimimisen sekä tarpeellisen koodittamisen jälkeen mittausaineisto tulee vielä kirjoittaa sellaiseen tiedostoformaattiin, jota käytössä oleva mittauskalusto pystyy lukemaan. Muutoin on mahdollista, että vasta maastossa huomataan laitteeseen siirretyn tiedoston olevan käyttökelvoton. 3D-Winin kaltainen maastomittausohjelmisto hallitsee lukuisia erilaisia formaatteja, minkä vuoksi sitä on mahdollista hyödyntää formaattien muunnoksissa erityisesti suunnitteluohjelmistojen ja mittauslaitteiden välillä. Perinteistä merkintäaineiston tiedostoformaattia edustaa esimerkiksi GT-formaatti. Kyseisen formaatin ASCII-muotoiseen tekstitiedostoon voidaan lisätä koordinaattien lisäksi tietoa neljään eri tunnuskenttään (kuva 5). [Junnonen 2009: 37.] Erilaisten tunnusten käyttämisestä voi olla merkittävää hyötyä siinä vaiheessa, kun varsinainen maastoon merkitseminen tulee ajankohtaiseksi.



Tiedosto	Muokkaa	Muotoile	Näytä	Ohje			
0	0	PAALUT	1	14.132	3.982	0.000	
0	0	PAALUT	2	0.332	3.982	0.000	
0	0	PAALUT	3	17.052	3.982	0.000	
0	0	PAALUT	4	7.332	3.982	0.000	
0	0	PAALUT	5	5.133	12.132	0.000	
0	0	PAALUT	6	8.133	12.132	0.000	
0	0	PAALUT	7	11.133	12.132	0.000	
0	0	PAALUT	8	14.133	12.132	0.000	
0	0	PAALUT	9	17.033	12.132	0.000	
0	0	PAALUT	10	-0.167	12.132	0.000	
0	0	PAALUT	11	2.133	12.132	0.000	

Kuva 5. GT-formaattiin kirjoitettu merkintäaineisto tekstieditorilla avattuna.

3.4 3D-koneohjausmallinnus

3.4.1 Koneohjaus rakennustyömailla

Koneohjauksen hyödyntäminen maarakentamisessa on yleistynyt huomattavasti kuluneen vuosikymmenen aikana. Varsinkin geometrisilta muodoiltaan selkeät rakenteet, kuten leikkauspinnat ja luiskat, voidaan nykyisin toteuttaa vaivattomasti koneohjauksen avulla. Ohjelmistojen kehittymisen sekä infrahankkeiden muuttuvien vaatimusten myötä koneohjauksen uskotaan leviävän laajemmin myös työmaan muiden rakenteiden toteuttamiseen. Kynnys koneohjauksen hyödyntämiseen tulee samalla alenemaan myös pienemmillä työmailla. [Jääskeläinen 2010: 44, Salminen 2015.]

Koneohjauksen tarkoituksena on korvata perinteinen merkintätyö (kuva 6). Merkintätyöhön verrattuna sillä on monia selkeitä etuja. Koneohjauksen avulla on ollut mahdollista parantaa työturvallisuutta sekä nopeuttaa rakennushankkeiden etenemistä. [Breach & Schofield 2007: 156.] Eräiden arvioiden mukaan työkoneautomaation avulla on kyetty vähentämään työkustannuksia jopa 20 % sekä nostamaan työn tehokkuutta lähes 30 % [Kavanagh 2009: 566; Petschek 2014: 203–205]. Työn kustannussäästöt voidaan selittää työn nopeutumisen lisäksi myös materiaalihävikin vähenemisellä.



Kuva 6. Koneohjausjärjestelmän toiminta työkoneen kuljettajan näkökulmasta [Petschek 2014: 207].

Koneohjauksen haasteet liittyvät monilla urakoitsijoilla uuden teknologian sekä työskentelytavan omaksumiseen. Erityisesti työkoneiden kuljettajilta vaaditaan enemmän mitausteknistä ymmärrystä, sillä työvaiheet muuttuvat riippuvaisiksi sijainnin määrittävästä GNSS-teknologiasta sekä oikeaoppisesta 3D-mallinnuksesta. Koneohjaus on kuitenkin otettu pääasiassa myönteisesti vastaan, sillä useimmat urakoitsijat ovat olleet aktiivisia koneohjausjärjestelmiin investoimisessa [Salminen 2015].

3.4.2 Koneohjauksen 3D-mallinnus

Perinteisten merkintätöiden vähentyessä mittausorganisaation työnkuvaan ovat astuneet yhä enemmän erilaiset koneohjaukseen liittyvät työtehtävät. Näihin työtehtäviin voivat kuulua esimerkiksi paikannuslaitteiden asentaminen työkoneeseen, GNSS-vastaanottimen toiminnan tarkkaileminen sekä koordinaattijärjestelmiin liittyvät selvitystehtävät. [Breach & Schofield 2007: 366.] Näiden lisäksi olennaisena osana koneohjauksessa on

työkoneen käytössä olevan 3D-mallin luominen. 3D-malli on välttämätön lähtötieto työkoneen kuljettajalle, jotta hän pystyisi hahmottamaan, mistä kohtaa maa-aineksen siirtoa suoritetaan. [Jääskeläinen 2010: 41.]

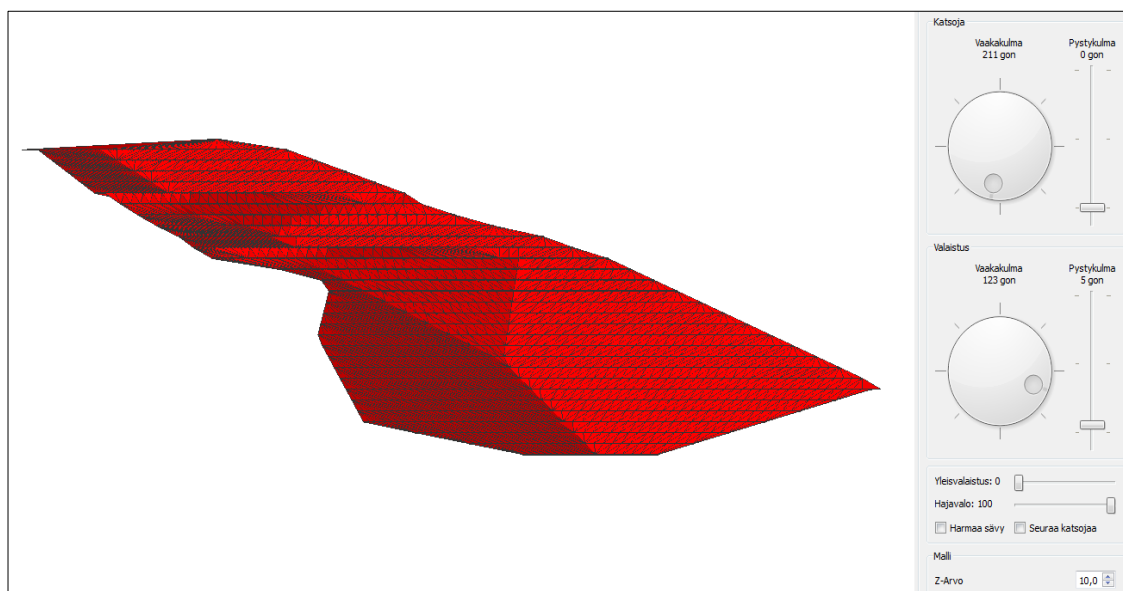
Infrarakentamisessa yleistynyt tietomallipohjainen suunnittelu on mahdollistanut monissa rakennushankkeissa 3D-mallin siirtämisen suoraan suunnittelijalta rakennustyömaan työkoneisiin. Suunnitelmatietojen tiedonsiirtoa varten on kehitelty Inframodel-menetelmä, joka perustuu avoimen LandXML-tiedonsiirtostandardin hyödyntämiseen. [Junnonen 2009: 46–48; Kemppainen & Liukas 2015: 8, 11.] Rakennusarkkitehtuurin osalta tiedonsiirrossa hyödynnetään vastaavasti IFC-standardia (Industry Foundation Classes) [Hietanen 2005: 46; Savisalo 2014].

Tietomallipohjaisen suunnittelun mukaisten toteutusmallien hyödyntämiselle on ominaista, että vastuu siirtyy entistä enemmän suunnittelijalle, sillä kiireisissä tilanteissa vastaanotetun tiedoston tarkastamista ei välttämättä pystytä suorittamaan kovinkaan perusteellisesti ennen sen kulkeutumista työkoneen tietojärjestelmään [Petschek 2014: 179–180, 208–209]. On myös mahdollista, ettei mittausyöntekijän ammattitaito riitä kaikkien virheellisyyksien havaitsemiseen [Junnonen 2009: 90]. Vastuu ei koidu kuitenkaan yksistään suunnittelijalle, sillä koneohjaukseen liittyvissä Yleisissä inframallivaatimuksissa mainitaan, että myös työmaalla rakenteita toteuttava organisaatio on velvollinen suorittamaan toteutusmallin tarkastuksen. Työmaalla suoritettavassa tarkastuksessa voidaan tehdä esimerkiksi pieniä korjauksia malliin jäävien aukkojen osalta. Tämän lisäksi on tarpeellista huolehtia toteutusmallin siirtämisestä työkoneen koneohjausjärjestelmään mahdollisella tiedostoformaatin muuntamisella. [Jaakkola 2015: 5.]

Tällä hetkellä työmailla on edellisestä kappaleesta poiketen melko yleistä, että koneohjauksessa hyödynnettävä 3D-malli on muokattava työmaakohtaisesti suunnittelijan antamien lähtömateriaalien pohjalta [Junnonen 2009: 95–96]. Tällöin korostuu urakoitsijan ja mittausorganisaation välinen yhteistyö. Osapuolet voivat sopia keskenään esimerkiksi siitä, mitkä rakennekerrokset mallinnetaan työkoneita varten ja missä formaatissa tiedonsiirto suoritetaan. On ensiarvoisen tärkeää, että 3D-mallin hyödyntäjällä on selkeä käsitys siitä, mitä pintaa tai rakennetta vastaanotettu tiedosto havainnollistaa [Petschek 2014: 211]. Esimerkiksi tierakennushankkeissa kerrospaksuudeltaan vakioina pysyvät rakennekerrokset on periaatteessa mahdollista määrittää yhden ja ainoan 3D-mallin avulla [Breach & Schofield 2007: 366].

Mittausalan yrityksen toteuttama 3D-koneohjausmallinnus pohjautuu numeeristen maastomallien (DTM, Digital Terrain Model) hyödyntämiseen. Maarakennuskohteissa maastomallin luominen perustuu tavanomaisesti kolmiointiin, jossa suunnitelman mukaiset tai kartoitetut pisteet sekä viivat voidaan yhdistää toisiinsa pintaa kuvaavaksi kolmioverkoksi (TIN, Triangulated Irregular Network). [Breach & Schofield 2007: 13–14; Kavanagh 2009: 571.] Kolmioinnin onnistumisen kannalta on tärkeää, että lähtöaineistossa luiskat sekä muut selkeät korkeusvaihtelukohdat havainnollistetaan taiteviivojen avulla. Ongelmallisiksi voivat muodostua myös kohdat, joissa pisteiden väliset etäisyydet ovat joko erittäin pitkiä tai erittäin lyhyitä. Erityisesti lähes pystysuorien seinämien sekä kaartuvien rakenteiden kolmioinnissa taiteviivojen piirtämisestä on ensiarvoista apua. [Junnonen 2009: 37–38; Petschek 2014: 209–210.] Vaikka lähtöaineisto olisikin muodostettu tarkoituksenmukaisesti, on hyvin todennäköistä, että maastomallia on vielä editoitava lisää esimerkiksi kolmioita poistamalla tai kääntämällä.

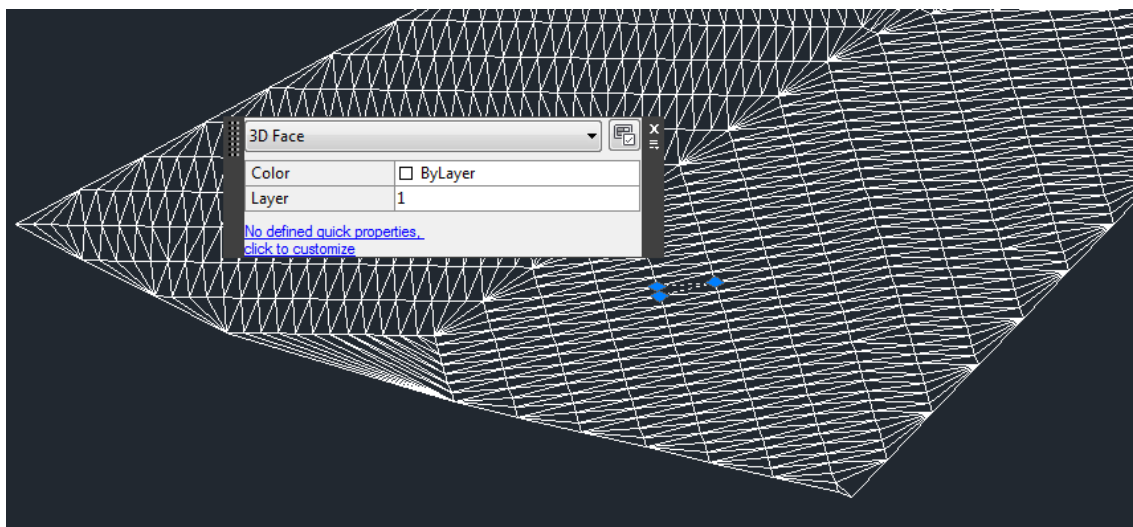
Kolmioinnin onnistumista on mahdollista tarkastella usealla eri tavalla, kuten muodostuvilla korkeuskäyrillä sekä erillisellä 3D-näkymällä (kuva 7) [Junnonen 2009: 37–38; Kavanagh 2009: 305]. Työn selkeyden nimissä saattaa joskus olla kannattavaa mallintaa tasaiset pinnat sekä luiskat kokonaan eri tiedostoihin, jotta suunnitelman mahdolliset epäjatkuvuuskohdat olisi helpompi paikantaa [Petschek 2014: 210].



Kuva 7. Erään pysäköintialueen leikkauksen maastomalli 3D-Win-maastomittausohjelmiston 3D-näkymässä. Kuvassa korkeuseroja on korostettu antamalla korkeusjärjestelmälle tasokoordinaatistosta poikkeava mittakaava.

On tärkeää huomioida, ettei 3D-mallinnuksen tarvitse välttämättä rajoittua pelkkään pintojen muodostamiseen. Koneohjausta hyödyntävälle työkoneelle voidaan luoda malliksi myös viivamainen kohde, jonka avulla on mahdollista määrittää esimerkiksi asennettavan vesiputken sijainti. [Jääskeläinen 2010: 44.] Erialaisten linjausten määrittämisessä käytetään kuitenkin vielä nykyisinkin useimmiten hyväksi perinteistä merkintätyötä. Käytettävästä tiedonsiirtoformaattista riippuen viivamaisten kohteiden lisäksi on mahdollista siirtää myös pistemäisiä kohteita työkoneen koneohjausjärjestelmään [Junnonen 2009: 95].

Ohjelmiston avulla kolmioitu sekä editoitu maastomalli ei vielä sellaisenaan riitä lähtötiedoksi työkoneelle, vaan mallin toteuttajan on myös selvitettävä, missä tiedostoformaattissa laadittu 3D-malli on mahdollista siirtää työkoneen tietojärjestelmään. Yleisenä siirtoformaattina hyödynnetään CAD-ohjelmistojen DXF-formaattia (Drawing Exchange Format) (kuva 8) [Junnonen 2009: 95; Maas & Vosselman 2010: 206]. Sen lisäksi edellä mainittu LandXML-formaatti on useiden koneohjausjärjestelmävalmistajien tukema tiedonsiirtomuoto. Eräs ongelmallisimmista tiedonsiirtoon liittyvistä asioista kulminoituu vaakaja- ja pystygeometrioihin. [Junnonen 2009: 95.] Geometrioita sisältävät tiedostotyytit, kuten VGP- ja TG-tiedostot, olisivat useissa tilanteissa hyödyllisiä koneohjausta varten, mutta lähtökohtaisesti kyseiset tiedostot on ensiksi kirjoitettava johonkin muuhun tiedostoformaattiin ennen varsinaisen 3D-mallin muodostamista.



Kuva 8. AutoCAD-ohjelmistolla luettu DXF-muotoinen maastomalli.

4 Rakennushankkeen todentamiseen liittyvät toimistotyöt

4.1 Tarkeaineistojen käsittely

4.1.1 Tarkemittaukset rakennushankkeen laadunvalvonnassa

Merkintä- ja asennusmittausten lisäksi rakennushankkeessa voidaan suorittaa erilaisia kartoitustöitä. Kartoitustyön tarve kasvaa etenkin rakennushankkeen loppupuolella, jolloin suunnitelman mukaiset rakenteet, kuten tien rakennekerrokset, ovat valmistuneet. Valmiiden rakenteiden kartoittamisesta käytetään yleisesti termiä tarkemittaus. Tarkemittausten lisäksi työmaalla voidaan suorittaa myös seuranta- ja muodonmuutosmittauksia. Tällaisilla mittauksilla voidaan tarkkailla esimerkiksi rakentamisen aikaisten kuormitustilanteiden, kuten paalutuksen, vaikutusta työmaan lähiympäristöön [Salmenperä 2002: 4]. Seuranta- ja muodonmuutosmittauksia suoritetaan usein joko tietyn työvaiheen tai koko rakennushankkeen ajan.

Tarkemittauksilla on olennainen merkitys rakennushankkeen laadunvalvonnan kannalta. Mittausten avulla pystytään todentamaan, kuinka suunnitelmanmukainen rakennettu kohde on. [Happonen ym. 1999: 21.] Mittausten avulla voidaan selvittää muun muassa lattioiden vaakasuoruudet, perustuspaalujen tasosijaintipoikkeamat sekä tien rakennekerrosten korkeussijaintipoikkeamat. Suureiden sallittuja vaihteluvälejä nimitetään toleransseiksi [Salmenperä 2004: 148]. Esimerkiksi infrarakentamisessa lähes kaikille rakenteille voidaan johtaa toleranssit infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista (InfraRYL).

Toleranssien tiukentamisella on suora vaikutus mittaustyön kustannuksiin. Korkealaatuiselle rakentamiselle on asetettava tiukat toleranssit, joiden todentamiseksi on sovellettava mittaustarkkuudeltaan riittävää mittauskalustoa sekä -menetelmää. Tämä nostaa edelleen hankkeen kustannuksia. Rakennushankkeeseen liittyvässä laadunvalvonnassa onkin monella tapaa kyse optimoinnista, jossa on pohdittava riittävän laadun takaamiseksi vaadittavien toimenpiteiden liittämistä projektikokonaisuuteen. [Salmenperä 2004: 148–149.]

4.1.2 Tarkelaskenta ja tarkepiirustusten laadinta

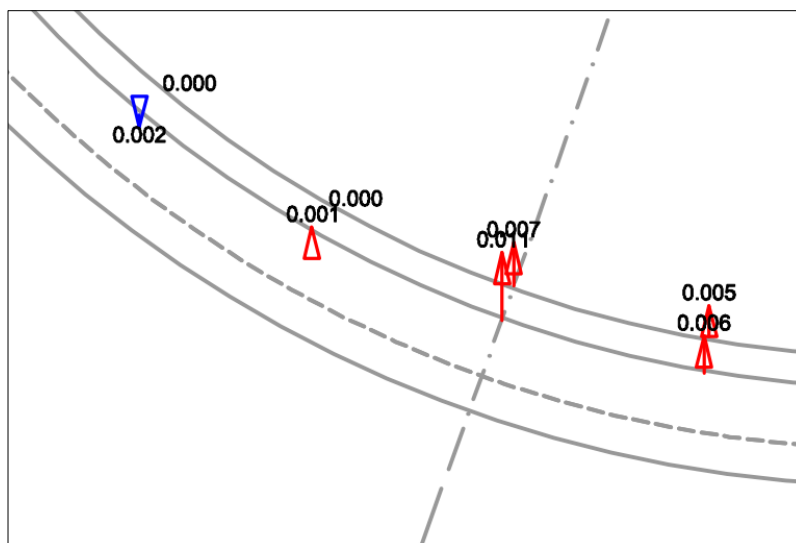
Nykyisin on tavanomaista, että mittausten avulla kerätystä tiedosta jalostetaan tarvittavia yksityiskohtia kuvaavia tarkepiirustuksia [Kavanagh 2009: 573]. Tarkepiirustuksen tiedostoformaatin määrittämisessä on kiinnitettävä huomiota dokumentin vastaanottajaan, sillä rakennushankkeen eri osapuolten käytössä olevat tietokoneohjelmistot saattavat poiketa toisistaan. Työn tilaaja saattaa hyötyä jo PDF-muotoisesta tarkepiirustuksesta, mutta esimerkiksi suunnittelijalle tai arkkitehdille lähetettävä tarkepiirustus on syytä toimittaa myös CAD-formaatissa [Anderson & Mikhail 1998: 988; Rounds & Segner 2011: 373–374]. On myös yleistä, että vastaanottaja haluaa tarkepiirustuksen lisäksi esimerkiksi GT-formaatissa määritellyn numeerisen tarkemittaustiedon [Mäki 2016].

Urakoitsija on vastuussa siitä, että sovituista kohteista toimitetaan niiden valmistuttua tarkat ja kattavat tarkepiirustukset rakennushankkeen tilaajalle. Alusta asti huolellisesti ja järjestelmällisesti suoritettavat mittaus- ja dokumentointityö helpottavat usein urakan luovuttamista. On tärkeää ymmärtää, ettei mittauksia suoriteta pelkän mittauksen vuoksi, vaan suoritettavalla laadunvalvonnalla on olennainen merkitys rakennetun kohteen turvallisen käytön sekä tulevien korjaus- tai täydennysrakentamistöiden kannalta. [Rounds & Segner 2011: 373–374.] Rakennetun kohteen toteutumiseen liittyvät dokumentit ovat tärkeitä myös mahdollisten ongelma- ja kiistatilanteiden varalta selvittäessä vastuullisia [Lock 2004: 175].

Tarkemittausten avulla on mahdollista kerätä merkittävä määrä tietoa työmaalla sijaitsevista kohteista. Mittauksissa saatujen tarkkeiden käsittely ja muokkaaminen työn tilaajan haluamaan muotoon eivät tästä johtuen ole yksiselitteistä prosessointia. Kerätyn tiedon jatkokäsittelyn kannalta on usein hyödyllistä, että jo maastotyövaiheessa tehdään tarpeelliset muistiinpanot kartoitetuista kohteista. Myös käsintehty piirroksia sekä valokuvat poikkeavista kohteista saattavat olla hyödyksi siinä vaiheessa, kun aineistosta on tuotava esille olennainen sisältö työn tilaajalle. Pelkkään ulkomuistiin nojautuminen voi kostautua viimeistään siinä vaiheessa, kun suoritetuista tarkemittauksista vaaditaan lisäselvityksiä rakennushankkeen jo päätyttyä. [Anderson & Mikhail 1998: 89–90.]

Toteutuneen ja suunnitelman mukaisen rakenteen väliset eroavaisuudet voidaan määrittellä tarkelaskennan avulla. Tarkelaskentaa voidaan toteuttaa käytössä olevasta ohjelmistosta riippuen usealla eri tavalla. Laskentatavan valinnassa on tärkeää, että kohteiden toteutuminen voidaan kuvata yksiselitteisesti sekä riittävällä tarkkuudella [Rounds &

Segner 2011: 374]. Perinteisessä maastomittausohjelmistolla suoritettavassa tarkelaskennassa tarkasteluun valitaan mukaan sekä teoreettinen suunnitteluaineisto että kohteesta mitattu kartoitustiedosto. Ohjelmistolle on ilmoitettava, kumpi tiedostoista sisältää suunnitelman ja kumpi kartoituksen. Tällöin laskettavien suureiden etumerkit asettuvat automaattisesti oikein. Ohjelmiston avulla voidaan suorittaa myös erovektoreiden komponentteihin jako. Tästä on hyötyä esimerkiksi silloin, kun tarkepiirustuksessa halutaan kuvata ainoastaan yhden ulottuvuuden toteutuminen (kuva 9).



Kuva 9. Ote perinteisestä tarkepiirustuksesta, jossa anturan toteutunutta korkeustasoa on verrattu suunnitelman mukaiseen vakiotasoon.

4.1.3 Tarkeaineistojen tietojärjestelmään dokumentoiminen

Luvussa 2.2 mainittiin tarkemittauspalvelu, jossa mittausorganisaatio vastaa tarkeaineiston dokumentoimisesta kunnan, vesilaitoksen tai muun vastaavan organisaation tietojärjestelmään. Kyseinen mittauspalvelu kuuluu usein osaksi rakentamisen kokonaisurakkaa, mutta on myös mahdollista, että mittausorganisaatiota konsultoidaan erillisellä urakasopimuksella tarkemittauspalveluiden tuottamiseen. [Mäki 2016.]

Tietojärjestelmien hyödyntäminen yhdyskuntatekniikan hallinnoimisessa on yleistynyt nopeasti. Paikkatietojärjestelmien avulla yhdyskuntatekniikkaa hallinnoivien tahojen on mahdollista pitää tietokantansa järjestyksessä sekä mahdollisimman ajantasaisena myös suoritettujen rakennustoimenpiteiden jälkeen. Yleisimmin paikkatietojärjestelmien hyödyntäminen tulee kyseeseen maanalaisten kaapeleiden sekä vesiputkien dokumentoimisessa.

Mittausalan yrityksen toteuttama tarkemittauspalvelu sisältää useimmiten kaikki työvaiheet projektin koordinoimisesta varsinaisiin tarkemittauksiin ja edelleen tarkeaineiston dokumentoimiseen. Huolellisesti ja järjestelmällisesti suoritettu mittauustyö vähentää huomattavasti toimistotyöhön kuluva aikaa. Erityisesti poikkeavalla tavalla toteutetuista rakennetuista kohteista on tärkeää tehdä asianmukaiset muistiinpanot jo mittausvaiheessa, jotta tarkeaineiston editoiminen sujuisi hyvin. Toimistotyövaiheelta ei voida tällöinkään välttyä aivan kokonaan. On jopa todennäköistä, että toimistossa suoritettava työosio kohoaa ajallisesti projektin pitkäkestoisimmaksi.

Itse varsinainen ohjelmistolla suoritettava tarkeaineiston käsittely ei ole teknillisesti kovinkaan vaativaa, mutta pisteiden läpikäyminen käytännössä yksi kerrallaan voi olla ajankäytöllisesti hyvinkin kuluttavaa. Paikkatietojärjestelmästä sekä käsiteltävästä tarkeaineistosta riippuen pisteillä saattaa olla käytössä useita eri koodikenttiä, joissa kuvataan kohteiden ominaisuuksia, kuten materiaali sekä omistaja. Useiden koodikenttien hallinta erityisesti mittaustilanteessa on vaikeaa, minkä vuoksi tarkeaineiston käsittelyssä joudutaan usein turvautumaan hankkeen suunnitteludokumentteihin, kuten teleoperaattoreiden sijoituslupasuunnitelmiin tai vesihuoltojärjestelmään liittyviin kaivokortteihin.

Ongelmatilanteita syntyy erityisesti silloin, jos maan alle on jäänyt kartoittamattomia kohteita. Esimerkiksi telekaapeleiden kartoittaminen on tällöin suoritettava uudelleen erinäisten hakulaitteiden avulla. Tällöin on tärkeää, että tarketiedostossa on selkeästi eroteltu suoraan kartoitetut ja maan pinnalta kartoitetut kohteet. Aivan dokumentointityön lopuksi on syytä tehdä vielä tarkastus ylimääräisten sekä virheellisten pisteiden osalta. Samalla voi olla tärkeää varmistaa esimerkiksi viivojen jatkuvuus. Aineiston virheettömyyden lisäksi tarketiedoston käsittelyssä on kiinnitettävä huomiota siihen, missä muodossa valmis tiedosto toimitetaan vastaanottajalle. Tiedonsiirtoformaattina voidaan usein käyttää tavanomaista GT-formaattia.

4.1.4 Toteutumamallien muodostaminen

Työmailla yleistyvässä tietomallipohjaisessa prosessissa laadunvalvonta toteutetaan perinteisten tarkepiirustusten sijaan yhä useammin toteutumamallien avulla. Prosessin tavoitteena on yhdistää kerätty mittaustieto toteutumamalliksi, jota voidaan verrata olemassa olevaan toteutusmalliin. [Niskanen 2015: 4; Palviainen 2015: 4.] Toteutumamallin vertaamisessa toteutusmalliin on mahdollista selvittää rakentamisen toleranssien toteutuminen perinteisen 2D-tarkepiirustuksen tavoin. Tämän lisäksi sillä on huomattavasti

helpompaa havainnollistaa rakennushankkeen valmiusastetta, sillä toteutumatarkeuteen voidaan tarvittaessa lisätä myös dokumentoidut vesihuollon tarkemittaukset sekä muut kerätyt mittaustiedot.

Toteutumamallien muodostaminen vähentää suoritettavien tarkemittausten määrää, sillä suurin osa dokumentoitavista kohteista on mahdollista toteuttaa työkoneella suoritetuilla toteutumamittauksilla. Tilaajalle voidaan välittää tietomallipohjaisessa prosessissa laadunvarmistukseen liittyvää tietoa tavanomaisten tasokuvien lisäksi myös numeerisena mittaustietona. Dokumentointiin liitetään myös kirjallinen raportointiosio, joka sisältää esimerkiksi käytössä olleen työkoneautomaatiojärjestelmän tarkastusraportin. [Jaakkola 2015: 7, 9-10.]

4.2 Tilavuuslaskenta

4.2.1 Tilavuuslaskennan hyödyntäminen

Tarkemittausten lisäksi mittausorganisaatio voi suorittaa kartoituksia myös muita käyttötarkoituksia varten. Rakentamisen toteuttamisvaiheessa nämä kartoitukset liittyvät usein määrä- ja massalaskentaan. Määrä- ja massalaskennan tulokset toimivat urakanaikaisena laskutusperusteena etenkin yksikköhintaurakoissa [Liuksiala 1996: 46–47; Kavanagh 2009: 566]. Työn hinnoittelu voidaan suorittaa kappalemäärien lisäksi pituuksien, pinta-alojen sekä tilavuuksien perusteella. Esimerkiksi jalostetun kiviaineksen osalta painon mukainen hinnoittelu saattaa kuitenkin olla monella tapaa tilavuuden mukaista hinnoittelua selkeämpi. Erimielisyyksien välttämiseksi onkin tärkeää, että kaikki osapuolet ovat tutustuneet huolellisesti hankkeen määrämittausohjeisiin. [Jääskeläinen 2010: 38; Mäki 2016.]

Tässä työssä perehdytään ainoastaan tilavuuksien laskentaan. Tilavuuslaskentaa sovelletaan tavanomaisimmin työmaan maa- ja kalliomassojen määrittelyyn [Salmenperä 2004: 72]. Soveltaminen ei kuitenkaan rajoitu pelkästään rakennustyömaille. Esimerkiksi suuret tuotantoyksiköt, kuten turpeen jalostuslaitokset, saattavat hyödyntää mittausteknisesti toteutettua tilavuuslaskentaa omien materiaalivarastojensa inventoimisessa. Tämä havainnollistaa hyvin sitä, miten erilaisiin käyttötarkoituksiin tilavuuslaskentaa voidaan soveltaa.

4.2.2 Tilavuuslaskentaan liittyviä periaatteita

Erityisesti työmaalla toteutettavan tilavuuslaskennan osalta on syytä huomioida eräitä laskentaan liittyviä periaatteita. Useimmat näistä liittyvät erilaisiin tilavuuskäsitteisiin. Ohjelmiston avulla lasketut tilavuudet ovat käytännössä joko teoreettisia tai todellisia kiintotilavuuksia (m^3_{ktr}/m^3_{ktd}) riippuen siitä, minkä lähtöaineiston pohjalta laskenta on suoritettu. Eräät ohjelmistot osaavat kuitenkin muuntaa lasketun kiintotilavuuden suoraan esimerkiksi todelliseksi irtotilavuudeksi (m^3_{itd}), joka ilmaisee käytännössä saman maa-aineksen kuorma-auton lavalle lastattua tilavuutta. [Jääskeläinen 2010: 28–29.] Tilavuuksien muuntaminen perustuu näissä tapauksissa maa-ainekohtaisiin muuntokertoimiin. Tilavuuksien muuntokertoimia käytettäessä on kuitenkin pidettävä huoli siitä, että myös laskentatuloksen vastaanottaja ymmärtää, mikä tilavuuskäsite on milloinkin kyseessä.

Tilavuuskäsitteiden lisäksi rakennustyömaalla laskentatyötä suorittavan työntekijän on omaksuttava erityisesti louhintaan liittyviä periaatteita. Esimerkiksi tavanomaisessa avolouhinnassa tehdään jaottelu pengerlouhinnan sekä kanaalilouhinnan välille [Jääskeläinen 2010: 199]. Kanaalilouhinnalla tarkoitetaan louhintaa, jolla muodostetaan kaivanto esimerkiksi vesijohtoja ja sähkökaapeleita varten. Käytännössä kanaaleiksi luetaan kaikki sellaiset kaivannot, joiden leveys on enintään kolme metriä. Tätä leveämmät kaivannon louhinnat määritellään tavanomaiseksi pengerlouhinnaksi. [Jääskeläinen 2010: 131, 223.] Kanaalilouhinnan erottelu pengerlouhinnasta on tarpeen, sillä kapean kaivannon louhimisen kustannukset poikkeavat tavallisen pengerlouhinnan kustannuksista [Jääskeläinen 2010: 223–224]. Tämän vuoksi myös louhinnan tilavuuslaskennasta on selvittävä, mikä tilavuus on pengerlouhintaa ja mikä kanaalilouhintaa.

Louhinta-alueelle on ominaista myös louhittavan kallion pengerkorkeuden vaihtelu. Louhinnan kustannukset eivät kuitenkaan muutu merkittävästi, vaikka louhittavan kallion kerspaksuus alenisi lähes mitättömäksi. Tästä johtuen rakennusurakoinnissa noudatetaan yleisesti periaatetta, jonka mukaan alle metrin pengerkorkeudelle suoritettu louhinta laskutetaan tilavuuden sijaan louhittavan pinta-alan perusteella. Tästä louhinnasta käytetään nimitystä neliölouhinta. [Jääskeläinen 2010: 200, 222.] Neliölouhinta määritetään yhtä lailla pengerlouhinnalle kuin kanaalilouhinnalle. Erityisesti kuljetuskustannusten arvioimiseksi on kuitenkin tärkeää, että myös louhinnan kokonaistilavuus käy selkeästi ilmi laskentatuloksista.

4.2.3 Erilaiset laskentamenetelmät tilavuuslaskennassa

Tietokoneella suoritettava tilavuuslaskenta on syrjäyttänyt lähes kokonaan hitaat, käsin tehdyt tilavuuslaskelmat [Breach & Schofield 2007: 443]. Nykyään ohjelmistoilla suoritettavissa laskentatehtävissä korostuvatkin työntekijän matemaattisen osaamisen sijaan laskentaperiaatteiden sekä -menetelmien ymmärtäminen. Nopeutuneen laskentatyön vuoksi työssä on myös kiinnitettävä entistä enemmän huomiota lähtöaineiston virheettömyyteen [Anderson & Mikhail 1998: 93].

Ohjelmistolla suoritettava tilavuuslaskenta perustuu maastomallien hyödyntämiseen. Maarakennuskohteissa maastomallit luodaan perinteisesti kolmioinnin avulla. Tarkkaa sijaintitietoa sisältävät maastomallit eivät ole hyödyllisiä ainoastaan tilavuuslaskennassa, vaan niitä voidaan hyödyntää myös monissa muissa käyttötarkoituksissa, kuten suunnittelutyössä ja koneohjauksessa. [Salmenperä 2004: 72; Breach & Schofield 2007: 13–14, 443; Kavanagh 2009: 571.]

Tilavuuksien määrittämiseen tarvitaan aina vähintään kaksi erillistä maastomallia. Laskennassa käytettävät maastomallit voidaan muodostaa kolmioimalla esimerkiksi mitatuista hajapisteistä tai viivoista. Erityisesti korkeuskäyräaineiston muodostaminen suoraan kelvolliseksi maastomalliksi saattaa kuitenkin muodostua mahdottomaksi, sillä käyrien kolmioimisessa ei välttämättä pystytä noudattamaan kolmioinnin yleisperiaatteita [Junnonen 2009: 32].

Käytössä oleva laskentaohjelmisto saattaa olla erittäin tarkka maastomalleille annettavista tunnuksista, sillä tunnukset määrittelevät oletusarvot pintojen keskinäisille suhteille. Esimerkiksi kalliolouhintaan liittyvän neliölouhinnan määrittämiseksi on pidettävä huoli siitä, että ohjelmisto pystyy tunnistamaan käyttäjän editoimista maastomalleista sekä kallion pinnan että leikkauksen. [3D-Win Maastomalliohje 6.2 2015: 35.] Tunnusten sekä muiden ominaisuustietojen lisäksi maastomallin käsittelijän on varmistettava kolmioitavan pinnan virheettömyys. Tältä osin työvaihe ei eroa mitenkään esimerkiksi 3D-koneohjaukseen liittyvästä maastomallien editoimisesta, jota on käsitelty luvussa 3.4.2.

Itse varsinaisen laskentamenetelmän valitsemiselle ei ole olemassa yksiselitteistä nyrkisääntöä. Jokaisella menetelmällä on sekä hyvät että huonot puolensa. Hyvänä periaatteena voidaan pitää lähinnä sitä, että jokaisessa laskentatehtävässä tulisi soveltaa vertailun vuoksi ainakin kahta eri menetelmää. [3D-Win Maastomalliohje 6.2 2015: 35.]

Esimerkiksi 3D-Win-maastomittausohjelmistolla hyödynnetään usein maastomallien yhdistämistä. Maastomallien yhdistämisessä muodostuu tarkka eropinta, joka tarjoaa ohjelmiston käyttäjälle nopean ja helpon keinon tilavuuden määrittämiseen [3D-Win Maastomalliohje 6.2 2015: 35, 39]. Tällainen tilavuuslaskennan menetelmä sopii hyvin esimerkiksi rakennuksen perustuksia varten toteutetun kaivannon maa-aineksen määrittämiseen.

Toinen yleisesti hyödynnetty menetelmä on poikkileikkausmenetelmä, joka noudattaa perinteisen käsittehdyn tilavuuslaskennan laskentaperiaatteita. Menetelmä on hieman edellistä monimutkaisempi, mutta sen soveltamisesta on etua erityisesti väylämäisissä hankkeissa. Menetelmän hyödyntämiseksi on luotava mittalinja, joka voidaan sitoa esimerkiksi työmaan mukaisiin paalulukuihin (kuva 10). [3D-Win Maastomalliohje 6.2 2015: 35.] Valitsipa minkä tahansa laskentamenetelmän, on syytä tiedostaa, että tilavuuslaskenta on muista geodeettisista laskennoista poiketen luonteeltaan aina enemmän tai vähemmän arvioimista [Laurila 2012: 114].

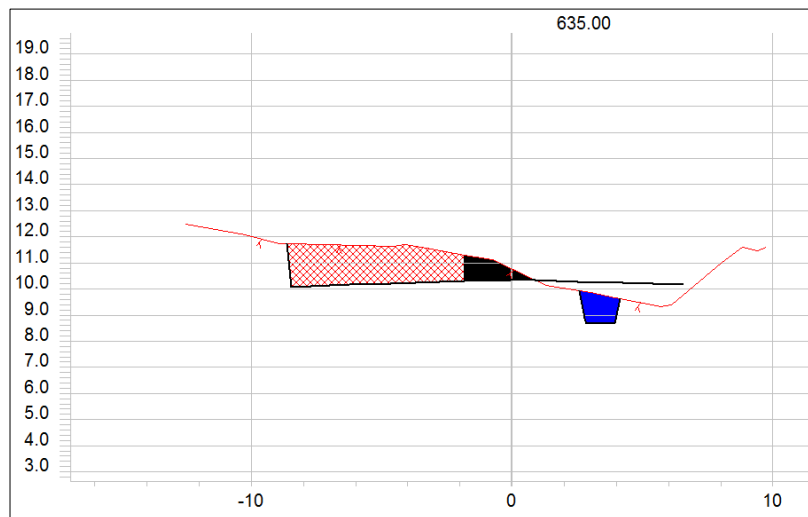
Pinta: Koodi:	Louhinta		Neliolouhinta		Täyttö		Kanaalin louhinta		Kanaalin neliot		Kanaalin täyttö	
	Alue	Tilavuus	Alue	Tilavuus	Alue	Tilavuus	Alue	Tilavuus	Alue	Tilavuus	Alue	Tilavuus
600.0-605.0	14.0	16.7	7.8	5.3	-	-	-	-	-	-	-	-
605.0-610.0	31.0	49.7	19.4	10.6	6.5	5.1	4.2	5.2	2.1	1.0	6.3	6.2
610.0-615.0	53.2	107.9	14.4	9.3	0.2	0.0	9.3	13.8	0.0	0.0	9.3	13.8
615.0-620.0	73.3	130.0	5.2	4.0	-	-	9.3	13.6	0.0	0.0	9.3	13.6
620.0-625.0	78.0	140.1	0.3	0.3	-	-	9.2	13.1	0.0	0.0	9.2	13.1
625.0-630.0	53.8	76.2	19.6	14.2	-	-	9.2	12.7	0.0	0.0	9.2	12.7
630.0-635.0	29.0	39.1	24.6	12.6	20.4	9.4	4.4	5.3	3.7	2.8	8.1	8.1
635.0-640.0	49.3	73.0	22.1	13.0	6.4	2.4	7.8	9.9	0.8	0.8	8.6	10.6
640.0-645.0	80.9	138.3	3.4	3.2	-	-	8.7	11.0	0.0	0.0	8.7	11.0
645.0-650.0	90.0	178.9	0.7	0.7	-	-	8.7	11.1	0.0	0.0	8.7	11.1
650.0-655.0	92.4	228.9	0.0	0.0	-	-	8.7	11.1	0.0	0.0	8.7	11.1
655.0-660.0	92.1	231.4	0.0	0.0	-	-	8.8	11.1	0.0	0.0	8.8	11.1
660.0-665.0	92.6	217.1	0.0	0.0	-	-	8.7	10.9	0.0	0.0	8.7	10.9
665.0-670.0	92.2	212.0	0.0	0.0	-	-	8.5	10.7	0.0	0.0	8.5	10.7
670.0-675.0	80.8	182.6	8.9	7.6	-	-	8.5	10.6	0.0	0.0	8.5	10.6
675.0-680.0	62.2	134.1	20.4	14.4	1.9	0.4	8.5	10.6	0.0	0.0	8.5	10.6
680.0-685.0	33.2	103.1	14.5	6.8	11.4	3.0	8.5	10.5	0.0	0.0	8.5	10.5
685.0-690.0	42.3	60.9	31.3	23.3	-	-	8.5	10.5	0.0	0.0	8.5	10.5
690.0-695.0	45.2	76.5	26.2	16.5	0.8	0.1	8.5	10.4	0.0	0.0	8.5	10.4
695.0-700.0	40.1	96.8	9.1	4.3	3.9	1.0	6.8	8.3	0.0	0.0	6.8	8.3
Yhteensä	1246.4	2494.3	227.7	145.9	51.6	21.3	154.9	200.4	6.6	4.5	161.5	205.0

Kuva 10. Poikkileikkausmenetelmällä lasketut kalliolouhinnan tilavuudet.

4.2.4 Laskentatulosten visualisointi

Pelkät laskentatulokset eivät usein anna riittävästi tietoa urakoitsijalle. Tilavuuksien lisäksi on tärkeää, että urakoitsija hahmottaa tilavuuksien työmaakohtaisen sijainnin. Sijaintien todentaminen ei ainoastaan todista mittausorganisaation suorittaneen työnsä oikein, vaan siitä voi olla apua myös kuljetuskustannusten arvioinnissa. [Anderson & Mikhail 1998: 931.]

Sijaintien esittelemisessä voidaan käyttää hyväksi lukuisia visualisointikeinoja. Esimerkiksi tierakennushankkeissa lasketut tilavuudet voidaan kuvata sekä tasopiirustusten että poikkileikkauskuvien avulla. Tunnettuun paalulukuun liittyvä poikkileikkauskuva (kuva 11) on yleensä selkein tapa kuvata suoritettua tilavuuslaskentaa myös työn tilaajalle. Laskentavaiheessa määritelty neliölouhinnan käsite on mahdollista visualisoida havainnollisesti tämänkaltaisessa kuvassa.



Kuva 11. Erään tierakennushankkeen paaluluvun 635.00 kohdalta otettu kalliilouhinnan poikkileikkauskuva. Punainen viiva kuvaa kartoitettua kalliion pintaa, musta viiva suunnitelman mukaista louhintatasoa, punainen alue louhintaa, musta alue neliölouhintaa ja sininen alue kanaalin neliölouhintaa.

Eri laskentamenetelmät asettavat rajoituksensa tulosten visualisoinnille. Esimerkiksi yleisesti hyödynnetty yhdistetty malli -menetelmä ei ole kovinkaan havainnollinen väylähankkeissa silloin, kun tasokuvasta tulisi käydä ilmi myös kanaalilouhinnan sijainti. Tästä johtuen tilavuuslaskennassa hyödynnetään usein myös kolmatta laskentamenetelmää, eli ruutumassa-menetelmää. Kyseisellä menetelmällä voidaan käsitellä useampaa pintaa samanaikaisesti, mikä mahdollistaa kanaalilouhinnan visualisoinnin tasopiirustukselle. [3D-Win Maastomalliohje 6.2 2015: 35.]

4.3 Laserkeilausaineistojen käsittely

4.3.1 Laserkeilauksen käyttökohteet

Laserkeilaus on korvannut monin paikoin perinteisemmät mittausmenetelmät niin yritystoiminnassa kuin tutkimustyössäkin. Laserkeilaamalla tuotettavat pistepilvet eivät vastaa

tarkkuudeltaan perinteisillä mittausmenetelmillä suoritettuja mittauksia, mutta niiden sisältämistä kattavista piste- ja ominaisuustiedoista on hyötyä erityisesti yksityiskohtaisissa mallinnustehtävissä. [Maas & Vosselman 2010: 237.] Pistepilviaineistoja on hyödynnetty innovatiivisesti myös epätavanomaisissa käyttötarkoituksissa, kuten arkeologisissa tutkimuksissa ja onnettomuuspaikkatutkinnoissa.

Rakennusteollisuudessa laserkeilausta on käytetty hyväksi erityisesti vaikeakulkuisten sekä vaarallisten kohteiden, kuten teollisuuslaitosten ja siltojen, kartoittamisessa. Tavanomaista on myös rakennusten julkisivujen kartoittaminen. [Breach & Schofield 2007: 582; Kavanagh 2009: 184; Maas & Vosselman 2010: 237.] Rakentamishankkeeseen liittyvät pistepilvet tuotetaan pääasiassa terrestriaalisen laserkeilauksen avulla. Perinteinen kojeasemalta suoritettava staattinen laserkeilaus on yleisin tapa pistepilvien tuottamiseen, mutta varsinkin väylähankkeissa kinemaattisen laserkeilauksen (kutsutaan myös mobiililaserkeilaukseksi) kysyntä kasvaa jatkuvasti. [Maas & Vosselman 2010: 293–294.] Laserkeilauksen toteuttamistavasta riippumatta pistepilvet tarjoavat paljon rakennustoimintaa palvelevaa tietoa, jota on mahdollista hyödyntää myös jälkikäteen ilman tarvetta uusille maastotyösuoritteille. Laserkeilauksen yleistymisen esteenä ovat erityisesti kustannuskysymykset, sillä sekä laitteet että henkilöstön kouluttaminen muodostuvat yritykselle merkittäväksi menoeräksi [Breach & Schofield 2007: 582].

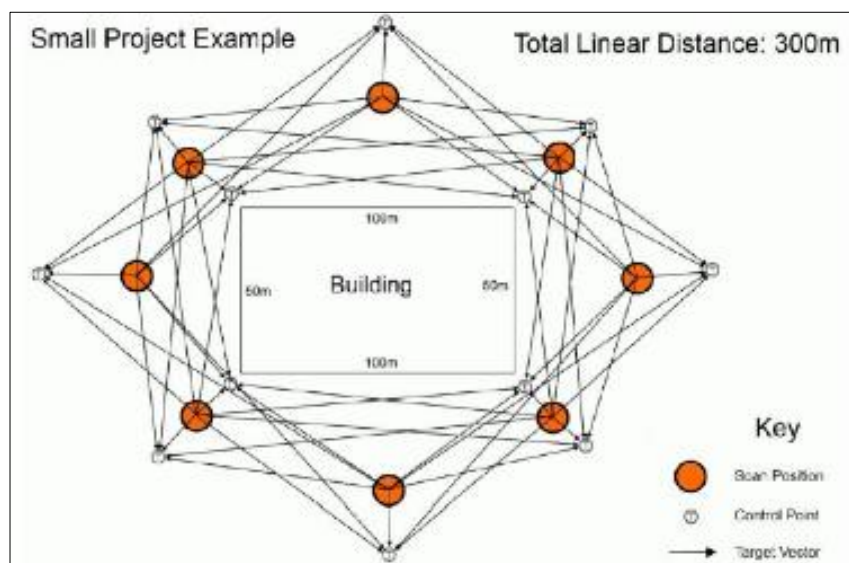
4.3.2 Pistepilvien jatkokäsittely

Laserkeilauksen tiedonkeruuvaihe on ylivertaisen nopea mihin tahansa muuhun mittausmenetelmään nähden. Tämän johdosta mittausalan yrityksen toiminta on muuttunut toimistotyöpainotteisemmaksi, sillä pistepilven jatkokäsittely saattaa kestää helposti pidempään kuin varsinainen maastotyövaihe. [Laurila 2012: 273.] Pistepilven tulkintaa sekä käsittelyä on mahdollista helpottaa useilla eri visualisointikeinoilla. Erityisesti laserskanneriin liitetyllä kameralla otetut valokuvat auttavat skannatun ympäristön hahmottamista (kuva 12) [Breach & Schofield 2007: 588; Junnonen 2009: 33–34; Maas & Vosselman 2010: 39]. Heikot valaistusolosuhteet esimerkiksi teollisuustiloissa saattavat kuitenkin rajoittaa valokuvien käyttökelpoisuutta [Mäki 2016]. Tällöin pistepilvi voidaan visualisoida vaihtoehtoisesti laserskannerin keräämien ominaisuustietojen avulla. Pistepilven yksittäiset pisteet voidaan esittää muun muassa pisteestä palautuvan signaalin voimakkuuden tai pisteen ja laserskannerin origon välisen etäisyyden värieron avulla. [Joala 2006: 3; Breach & Schofield 2007: 588; Maas & Vosselman 2010: 45.]



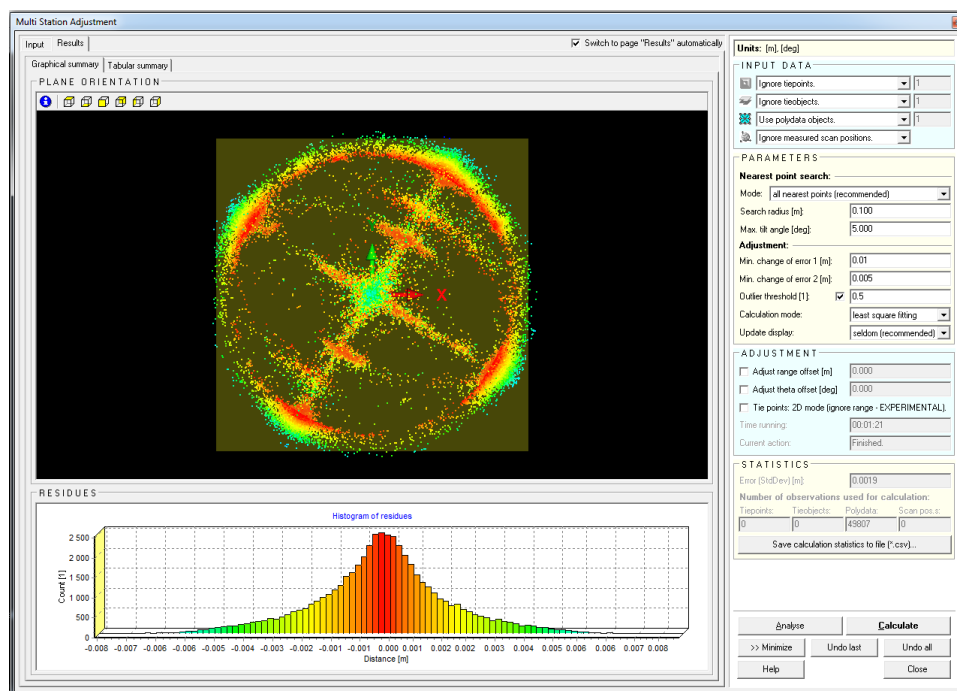
Kuva 12. Pistepilvi, johon on liitetty kuvatietoa [Sinervä 2016].

Maanpinnan muotojen, kasvillisuuden sekä rakennettujen kohteiden peitteisyyden vuoksi laserkeilaus on useimmiten suoritettava useammalta kojeasemalta. Yhtenäisen pistepilven muodostamiseksi eri kojeasemilta kerätyt tiedot on yhdistettävä toisiinsa. Tähän on olemassa erilaisia tapoja käytössä olevasta mittauskalustosta ja ohjelmistosta riippuen, mutta yleisimmin pistepilvet yhdistetään toisiinsa liitospisteiden avulla (kuva 13). Pisteitä on oltava mielellään vähintään neljä, ja niille on mitattava koordinaatit ennen laserkeilauksen suorittamista. [Breach & Schofield 2007: 588; Maas & Vosselman 2010: 158; Laurila 2012: 272.]



Kuva 13. Periaatekuva laserkeilauksen liitospisteverkon suhteesta keilausasemiin [Nordic Geo Center 2014: 16].

Ohjelmiston avulla pistepilvi on tasoitettavissa liitospisteiden mukaiseen yleiseen koordinaatistoon. Ohjelmisto antaa tiedon tasoituksen tarkkuudesta (kuva 14). Koordinaatistoon sitomisen jälkeen pistepilvestä voidaan myös karsia ylimääräisiä pisteitä. Virheelliset pisteet on mahdollista poistaa lähes automaattisesti käytössä olevasta ohjelmistosta riippuen. Pistepilveä on mahdollista myös harventaa. [Junnonen 2009: 33–34; Maas & Vosselman 2010: 39.] Staattisessa laserkeilauksessa pistepilven pistetiheys on tavanomaisesti niin suuri, ettei ylimääräisten pisteiden poistamisesta koidu ongelmia aineiston jatkokäsittelylle [Maas & Vosselman 2010: 158].



Kuva 14. Esimerkki ohjelmiston tasoitustyökalusta [Mäki 2016].

Käsiteltyä pistepilveä voidaan hyödyntää täysin samoihin käyttötarkoituksiin kuin mitä tahansa muuta maastokartoitusta. Tilavuuslaskenta sekä poikkileikkauskuvien laatiminen ovat eräitä tavanomaisimmista käyttökohteista. Aineistolle suoritettava kolmiointi sekä mahdolliset jatkotoimenpiteet, kuten tilavuuslaskenta, voidaan usein suorittaa laserkeilausaineistojen käsittelyssä käytettävällä ohjelmistolla. Aineisto voidaan myös kirjoittaa jonkin muun ohjelmiston tukemaan tiedostoformaattiin. Esimerkiksi 3D-Win-maastomittausohjelmisto pystyy käsittelemään pistepilviaineistoa LAS-tiedostoformaattissa. Maastomittausohjelmistoon sisältyy suodatin, jonka avulla suurikokoisen LAS-tiedoston pistetiheyttä on mahdollista harventaa tiedoston käsittelyä helpottamiseksi.

5 Lopuksi

Tässä insinööriyössä selvitettiin, minkälaisia toimistotyötehtäviä rakennusmittausalan yritykselle voi nykyisin kuulua. Tämän lisäksi työssä pyrittiin luomaan yleiskuva mittausorganisaation asemasta rakennushankkeen yhtenä osapuolena.

Selvityksen tekeminen oli monella tapaa mielenkiintoinen sekä avartava kokemus. Rakennusalaan liittyvät tekniset muutokset ovat selkeästi hämärtäneet rakennushankkeen eri osapuolten toimenkuvia. Suurin yksittäinen syy tähän on ehdottomasti tietomallipohjaisen suunnittelun yleistyminen rakennusteollisuudessa. Kyseinen suunnitteluteknikka tulee varmuudella lisäämään rakentamiseen liittyviä toimintamahdollisuuksia, mutta tätä ennen edessä on vielä pitkä oppimisprosessi, jonka tavoitteena on saada kaikki sidosryhmät ymmärtämään uusien toimintatapojen tuomat edut rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Toinen vastaavanlainen, tosin ehkä hieman vaikeammin arvioitavissa oleva asia, on laserkeilauksen hyödyntäminen. Riippumatta siitä kuinka laajamittaisesti laserkeilausta voidaan hyödyntää rakentamisen toteuttamisvaiheessa, lienee selvää, että kyseinen osaamisala vaatii tulevaisuudessa lisää ammattilaisia.

Tietomallipohjaisen suunnittelun yleistyminen tulee todennäköisesti pienentämään usean tässä insinööriyössä esitetyn työtehtävän merkitystä tulevien vuosikymmenten aikana. Erityisesti perinteiseen merkintätyöhön liittyvät esitehtävät, kuten suunnitteluaineiston koordinaattitulkinta sekä merkintäaineiston laatiminen, tulevat suurella todennäköisyydellä vähenemään nykyisestä. Myös rakentamisen laadunvalvonnassa sekä muussa kartoitustyössä tullaan hyödyntämään aina vain enemmän uuden teknologian suomia mahdollisuuksia. Laserkeilaus sekä koneohjauksen avulla suoritettu toteutumamittaus tarjoavat kehittyessään paljon nykyistä eheämmän rakentamisen toteuttamisvaiheen, jossa mittausorganisaation työprosessi limittyy paremmin osaksi projektikokonaisuutta.

Tulevien muutosten seurauksena mittausorganisaation on pystyttävä vastaamaan kokonaisvaltaisemmin toimintaympäristön kehittymiseen. Yksittäisen mittausalan työntekijän työnkuva laajenee, sillä käytössä voi olla saman projektin aikana hyvin erilaisia teknisiä sovelluksia, joiden avulla on saatava aikaan työn tilaajaa hyödyttäviä työsuoritteita. On erityisen tärkeää ymmärtää, ettei mittauksia tehdä pelkän mittaamisen takia, vaan niiden avulla on pyrittävä palvelemaan projektikokonaisuutta mahdollisimman tarkoituksenmukaisella tavalla.

Omat haasteensa syntyvät erityisesti siitä, että eri rakennushankkeiden toimintaympäristöt sekä menettelytavat tulevat jatkossakin poikkeamaan toisistaan. Pienissä rakennushankkeissa, joissa rakennuttaja saattaa suorittaa sekä suunnittelu- että urakointityön itse, tullaan hyödyntämään vielä hyvinkin pitkään perinteisempiä suunnittelu- ja mittauspalveluita. Näissä hankkeissa ei vielä tällä hetkellä painoteta laadunvalvontaan liittyviä asioita läheskään niin paljon kuin varsinaista rakentamisen toteuttamista. Varsinkin kokemattomalle työntekijälle siirtyminen tämänkaltaisesta työympäristöstä suuren rakennusalan yrityksen aliurakointityöhön uusimpia teknologisia ratkaisuja hyödyntävälle työmaalle voi olla erittäin suuri.

Lähteet

3D-Win Maastomalliohje versio 6.2. 2015. Verkkodokumentti. 3D-system Oy. Saatavissa: <http://www.3d-system.fi/index.php/asiakkaat>. Luettu 2.2.2016.

Anderson, James & Mikhail, Edward. 1998. Surveying: Theory and Practice. Boston: McGraw-Hill.

Breach, Mark & Schofield, Wilf. 2007. Engineering Surveying. Oxford: Elsevier.

Espoon karttapalvelu. 2016. Verkkodokumentti. Espoon kaupunki. Saatavissa: <http://kartat.espoo.fi/ims>. Luettu 15.2.2016.

Happonen, Kari, Pihlajavaara, Ari & Sipiläinen, Sari. 1999. Maarakennusalan kartta-merkinnät. Helsinki: FinnMetko Oy.

Henttinen, Tomi. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset YTV2012 Osa 1 Yleinen osuus. Verkkodokumentti. Gravicon Oy. Saatavissa: https://asiakas.kotisivukone.com/files/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf. Luettu 7.2.2016.

Hietanen, Jiri. 2005. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Jaakkola, Mika. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015 Osa 12 Inframallin hyödyntäminen suunnittelun eri vaiheissa ja rakentamisessa. Verkkodokumentti. Destia Oy. Saatavissa: http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2015/11/YIV2015_Mallin-nusohjeet_Osa12_1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmentel-mae_V_1_01.pdf. Luettu 7.2.2016.

JHS 154. 2008. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Saatavissa: <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154.pdf>. Luettu 13.2.2016.

JHS 163. 2008. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Saatavissa: <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS163/JHS163.pdf>. Luettu 13.2.2016.

JHS 184. 2012. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Saatavissa: <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS184/JHS184.pdf>. Luettu 3.2.2016.

Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Luentomateriaali 30.11.2006. Leica Nilomark Oy.

Junnonen, Juha-Matti (toim.). 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.

Jääskeläinen, Raimo. 2010. Maarakennuksen ja louhinnan perusteet. Porvoo: Tammermekaniikka.

Kaavoitusmittausohjeet. 2003. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. Saatavissa: http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf. Luettu 3.2.2016.

Karlsson, Fanny. 2016. Pilvipalvelu korvaamassa yritysten omat tietojärjestelmät. Verkkodokumentti. Staria Oyj. Saatavissa: <http://www.staria.fi/fi/pilvipalvelu-korvaamassa-yritysten-omat-tietojarjestelmat/>. Luettu 1.3.2016.

Kartat ja paikkatieto. 2016. Verkkodokumentti. Salon kaupunki. Saatavissa: <http://www.salo.fi/liikennejakartat/kartatjapaikkatieto/>. Luettu 13.2.2016.

Kavanagh, Barry. 2009. Surveying: Principles and Applications. Upper Saddle River, NJ: Pearson/ Prentice Hall.

Kempainen, Liisa & Liukas, Juha. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015 Osa 2 Yleiset mallinnusvaatimukset. Verkkodokumentti. Sito Oy. Saatavissa: http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf. Luettu 7.2.2016.

Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.

Liuksiala, Aaro. 1996. Rakennussopimukset: käytännön käsikirja. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Lock, Dennis. 2004. Project Management in Construction. E-book. Aldershot: Gower.

Maanmittauslaitoksen julkaisusarja nro 112. 2012. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. Saatavissa: http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Nro_112_Kiinteistorekisterikartan_rajamerkkien_sijaintitarkkuus.pdf. Luettu 27.12.2015.

Maas, Hans-Gerd & Vosselman, George. 2010. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. E-book. Dunbeath: Whittles Publishing.

Mäki, Elton. 2016. Mittausinsinööri, Vitomittaus Oy. Keskustelu 18.2.2016.

Naukkarinen, Marko. 2014. Mittaustyönjohtaja, Vitomittaus Oy. Puhelinkeskustelu 24.6.2014.

Niskanen, Jari. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015 Osa 1 Tietomallipohjainen hanke. Verkkodokumentti. WSP Finland Oy. Saatavissa: http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf. Luettu 7.2.2016.

Nordic Geo Center. 2014. RIEGL VZ-400 koulutus Moduuli 8. Koulutusmateriaali 10.2.2014. Nordic Geo Center Oy.

Paananen, Juha (toim.). 2003. Tietotekniikan peruskirja. Jyväskylä: Docendo.

Palviainen, Petteri. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015 Osa 5.3 Maarakennustöiden toteutumamallin laadintaohje. Verkkodokumentti. Destia Oy. Saatavissa: http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_3_Maarakennustoiden_toteutumamallin_laadintaohje_V_0_9.pdf. Luettu 7.2.2016.

Parkkinen, Timo. 2012. Tietomallipohjainen suunnitteluprosessi. Opinnäytetyö (YAMK). Savonia-ammattikorkeakoulu.

Pelin, Risto. 2011. Projektinhallinnan käsikirja. Helsinki: Projektijohtaminen Oy.

Peltola, Tino. 2014. Mittaustyönjohtaja, Vitomittaus Oy. Puhelinkeskustelu 3.1.2015.

Petschek, Peter. 2014. Grading: landscapingSMART. 3D-Machine Control Systems. Stormwater Management. E-book. Basel: Birkhäuser.

Rakennuttajakonsultti. 2016. Verkkodokumentti. Rakennuttajatoimisto Valvontakonsultit Oy. Saatavissa: <http://www.valvontakonsultit.fi/uutiset/rakennuttajakonsultti/>. Luettu 9.2.2016.

Rounds, Jerald & Segner, Robert. 2011. Construction Supervision. E-book. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

RT 10-10387. 1989. Verkkodokumentti. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <http://docplayer.fi/41705-Rt-10-10387-talonrakennushankkeen-kulku-sisallysluettelo-talonrakennushanke-husbyggnadsatagande-building-project.html>. Luettu 28.2.2016.

Salmenperä, Hannu. 2002. Valvonta- ja muodonmuutosmittaukset. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

Salmenperä, Hannu. 2004. Maasto- ja rakennusmittausten perusteet. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Salminen, Kaisa. 2015. Espoon pilottikohteissa hyviä kokemuksia mallintamisesta. Verkkodokumentti. InfraBIM. Saatavissa: <http://www-infrabim.fi/espoo-kiristaa-mallinnusvaatimuksia-asteittain/>. Luettu 29.1.2016.

Savisalo, Anssi. Rakennetun alueen kaavoitus. FCG. Luentomateriaali 2.9.2014. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Sinervä, Juuso. 2016. Maanmittausinsinööri, Vitomittaus Oy. Sähköpostikeskustelut keväällä 2016.

Toivonen, Timo. 2016. Toimitusjohtaja, Vitomittaus Oy. Puhelinkeskustelut keväällä 2016.

Tuhola, Esa & Viitanen, Kristiina. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.

