

Ville Kola

**KONEOHJAUSJÄRJESTELMIEN JA
MITTALAITTEIDEN KÄYTTÖÖNOTTO
NCC SUOMI OY**

Opinnäytetyö
Rakennustekniikka

2018



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Ville Kola	Insinööri (AMK)	Kesäkuu 2018
Opinnäytetyön nimi		61 sivua 5 liitesivua
Koneohjausjärjestelmien ja mittalaitteiden käyttöönotto NCC Suomi Oy		
Toimeksiantaja		
NCC Suomi Oy		
Ohjaaja		
Juha Karvonen, Sirpa Laakso		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja perehtyä infrarakentamisen kohteessa työmaalla käytettävään mittaustekniikkaan, mittalaitteisiin, koneohjausjärjestelmiin ja tietomallintamiseen. Työssä yhtenä lähtökohtana oli myös tehdä käytännön tarkasteluja ja vertailuja suorittamalla mittauksia työmaalla.</p> <p>Työn teoriaosuudessa käsiteltiin mittauksiin liittyvää ohjeistusta, mittalaitteita ja ohjelmistoja. Käytännön mittaukset suoritettiin oikeassa työmaaympäristössä kunnallistekniikan saneerauskohteessa. Tarkasteltujen mittaustapojen tarkkuuksia vertailtiin keskenään ja tuloksia verrattiin myös suunnitelmiin. Tulokset on esitetty opinnäytetyön liitteissä Excel-taulukoiden muodossa. Käyttäjien kokemukset ohjelmistoista ja järjestelmistä selvitettiin haastatteluilla.</p> <p>Koneohjausjärjestelmän käyttöönotto suoritettiin kadun saneerauskohteessa. Käyttöönotossa tuotettiin suunnitelma-aineistosta koneohjausjärjestelmälle käyttökelpoinen 3D-koneohjausmalli. Tilaajan toimittamien lähtöpisteiden avulla työmaalle muodostettiin koneohjaukselle sopiva toimintaympäristö sekä selvitettiin järjestelmien ja mittalaitteiden toimivuus satelliittipaikannuksessa.</p> <p>Mittaustuloksista saatiin tietoa minkälaisiin tarkkuuksiin erilaisilla mittalaitteilla ja järjestelmillä päästään. Työmaan työnjohdolla käytössä olleilla mittauslaitteilla suoritettut mittaukset saavuttivat tarkkuuksiltaan InfraRYL:n ohjeistusten mukaiset toleranssirajat. Koneohjausjärjestelmien tarkkuuksien tutkintaa suoritettiin toteammittauksien muodossa eri pisteistä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena voidaan todeta, että koneohjausjärjestelmien ja mittalaitteiden tarkkuuksissa on eroja, jotka johtuvat lähinnä mittaustarkkuuksiin liittyvistä seikoista, kuten satelliittien määrien vaihtelusta, sääolosuhteiden muutoksista ja muista satelliittipaikannukseen häiriötä aiheuttavista tekijöistä.</p>		
Asiasanat		
koneohjaus, mittalaitteet, tietomallintaminen, mittaukset		

Author (authors)	Degree	Time
Ville Kola	Bachelor of Engineering	June 2018
Thesis Title		
Usage of machine control systems and measuring technology NCC Suomi Oy		61 pages 5 pages of appendices
Commissioned by		
NCC Suomi Oy		
Supervisor		
Juha Karvonen, Sirpa Laakso		
Abstract		
<p>The objective of the thesis was to study measuring technology, machine control systems and building information modeling at infrastructure projects.</p>		
<p>Research on machine control systems and measuring technology based on literature and interviews. Basics of building information modeling were introduced in training courses. The foundation for usage at infrastructure work site was based on the technology and systems introduced in the theory part of thesis.</p>		
<p>One of the research questions was to find out how well various measuring and survey systems and 3D-machine control systems worked at the work site. Different devices were tested in real municipal infrastructure work site with the same parametric and machine control models. Results of measurements were compared with each other and with the designed measuring material.</p>		
<p>This thesis was helpful for the commissioner and valuable information about the accurate of machine control systems and measuring equipment was found. Reasons for variable measurement results were cause of weak connection with the satellites, buildings and trees blocking the GPS signal and changing weather conditions.</p>		
Keywords		
3D-machine control, measuring technology, building information modeling		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
1.1	Tausta, tilaaja ja tavoitteet	5
1.2	Tutkimusmenetelmät	6
2	MITTAUSTEKNIKKAA JA MALLINTAMINEN.....	7
2.1	Koordinaatisto, satelliitit ja paikannus	7
2.2	Tukiasemaverkot	13
2.3	Tietomallintaminen.....	17
3	MITTALAITTEET	25
3.1	Takymetrit.....	25
3.2	GPS-laitteisto.....	27
4	KONEOHJAUS JA -AUTOMAATIO	31
4.1	Koneohjausjärjestelmät	31
4.2	Koneohjauksen nykyhetki ja tulevaisuus	33
5	KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO JA MITTAUKSET TYÖMAALLA.....	34
5.1	Käyttöönottokohde.....	34
5.2	Mittausten suorittaminen ja tulokset.....	48
5.3	Mittausten tulosten pohdinta ja johtopäätökset.....	52
6	YHTEENVETO	53
	LÄHTEET.....	55
	KUVALUETTELO.....	59

LIITTEET

Liite 1. Mittaustuloksia

1 JOHDANTO

1.1 Tausta, tilaaja ja tavoitteet

Koneautomaatio ja tietomallinnus ovat nykyisin arkipäivää infrarakentamisen kohteissa. Laitteiden käyttö työmaalla on jo vakiintunutta käytäntöä ja niiden avulla on mahdollista saavuttaa tarkempaa ja tehokkaampaa työskentelyä. Koneohjattuun työhön ja siihen liittyvään valvontaan on laitteina työmaalle tarjolla kevyitä maastotallentimia ja mittaukseen sopivia tablettilaitteita ohjelmistoinen ja ne sopivat mainiosti työnjohdon käytettäväksi. Työmaan laadunvalvonnan, hallinnan ja työn tehokkaan ohjauksen kannalta on tärkeää perehtyä kevyiden mittalaitteiden tekniseen hallintaan ja toiminnan ymmärtämiseen kokonaisuutena, sillä ne ovat tärkeitä työkaluja nykyaikaisella infratyömaalla.

Opinnäytetyön tilaajana toimii NCC Suomi Oy. Infra-alan toiminta yrityksessä on Suomessa jaettu kolmeen yksikköön, alueellisesti Etelä- ja Pohjois-Suomeen sekä maanlaajuisesti operoivaan tienhoitoon. Suomen infraosasto on osa pohjoismaista NCC Infrastructure -kokonaisuutta, jolla on toimintaa Suomen lisäksi Norjassa, Ruotsissa sekä Tanskassa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja perehtyä infra-rakentamisessa käytettävään koneautomaatioon ja siihen liittyviin laitteisiin, ohjelmistoihin sekä työkaluihin. Tilaajana toimiva NCC Suomi Oy on tehnyt strategisia päätöksiä liittyen digitaaliseen työympäristöön, minkä vuoksi opinnäytetyön tarkoituksena on koota tietoa tulevia hankintoja varten ja perehdyttää asian tiimoilta. Kirjallisen tutkinnan kohteena ovat koneohjausjärjestelmät, mittalaitteet ja tietomallintamiseen soveltuvat ohjelmat. Haastattelututkimuksen tavoitteena on saada kommentteja käyttökokemuksista kenttäolosuhteissa sekä mielipiteitä koneautomaatiolla saavutettavista hyödyistä ja haitoista. Tutkivassa osassa käyttöön otetaan kaivinkoneeseen asennettava koneohjausjärjestelmä kunnallistekniikan saneerauskohteessa sekä suoritetaan mittauksia koneohjatusti. Vertailun vuoksi mittauksia suoritetaan työnjohdolla käytössä olevalla perinteisellä mittauslaitteistolla.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön teoriaosuudessa perehdytään kirjalliseen materiaaliin sekä verkkojulkaisuihin. Mittaustekniikkaa, siihen liittyvää teoriaa ja laitteita käsittelevässä osassa käytetään lähteinä kirjallisen materiaalin lisäksi verkkodokumentteja ja esitteitä. Koneohjausjärjestelmiin ja tietomallinnukseen perehdyttäessä hyödynnettiin muutamien laite- ja järjestelmätoimittajien luentoja, verkkojulkaisuja ja laitteiden käyttöohjeita.

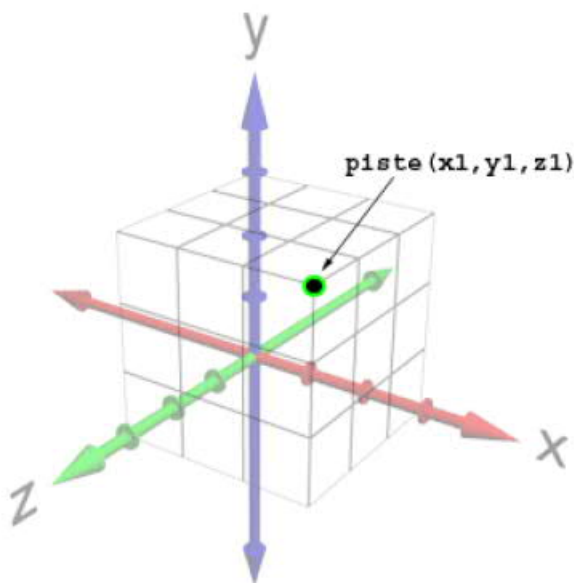
Työn yhteydessä suoritettut työmaamittaukset suoritettiin kunnallistekniikan saaneerauskohteessa, koska siinä oli mahdollista toteuttaa vertailevia mittauksia koneohjausjärjestelmien, mittamiehen ja työnjohdon käytettävissä olevien mitauslaitteiden välillä. Koneohjauksen käyttöönoton yhteydessä opinnäytetyössä käydään tarkasti läpi, kuinka suunnitelma-aineisto saatetaan 3D-koneohjausjärjestelmän käytettäväksi ja hyödynnettäväksi työmaalle. Tarkempien mittaustulosten tarkasteluun käytetään hyväksi Microsoftin Excel-työkalua. Perinteisten työmaamittausten avulla haluttiin selvittää koneohjattujen toteumamittausten tarkkuutta kokeellisesti erilaisista rakenteista. Mittausten tarkoituksena oli selvittää minkälaiseen mittaukseen laitteet soveltuvat parhaiten ja minkälaisiin seikkoihin on syytä kiinnittää erityistä huomiota työmaalla tehtävissä mittauksissa.

Haastattelututkimukset suoritettiin ensi vaiheessa vapaa muotoisesti sähköpostitse ja puhelimitse. Toisessa vaiheessa haastatteluja jatkettiin työmaaympäristössä tapahtuneissa kokouksissa. Syntyneiden ajatusten ja keskustelujen perusteella työhön on liitetty alan ammattilaisten näkökulmia ja kommentteja. Haastateltavat henkilöt valikoituivat koneohjausjärjestelmien tuntemuksen ja käyttökokemusten mukaan. Mittalaitteiden ja mallinnuksen osalta haastateltavat olivat mittauksiin liittyvien laitteiden, tietokantojen sekä muiden tietomallinnuksen ympärillä toimivien sovellusten asiantuntijoita ja käyttäjiä. Haastattelujen lähtökohtana oli lähestyä koneohjausjärjestelmiä sekä muita opinnäytetyössä käsiteltäviä aihealueita riippumattomana laitevalmistajista tai laitteiden eroavaisuuksista. Tärkeää oli fokuoittaa työmaalla ja toimistolla tehtävään työhön infrarakentamisen sektorilla toimivan urakoitsijan näkökulmasta.

2 MITTAUSTEKNIikka JA MALLINTAMINEN

2.1 Koordinaatisto, satelliitit ja paikannus

Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät muodostavat teknisen toimintaympäristön paikkatiedon mittaukselle. Koordinaattijärjestelmä muodostuu, kun koordinaatisto kiinnitetään maapalloon geodeettisten ja tähtitieteellisten mittausten sekä runkomittausten avulla. Tällöin koordinaattijärjestelmää ja koordinaatistoa on mahdollista hyödyntää käytännön mittauksissa. Konkreettisesti koordinaattijärjestelmä on olemassa alueilla mitattujen runkopisteiden muodossa. Koordinaatiston idea on havainnollistaa tarkasti, miten paikan sijainti voidaan esittää. Koordinaatistoja on kolmenlaisia: ellipsoidikeskinen kolmiulotteinen suorakulmainen koordinaatisto (Kuva 1), kaksiulotteinen maantieteellinen koordinaatisto ja kaksiulotteinen suorakulmainen koordinaatisto. (Laurila 2012, 139.) Yksittäisen pisteen sijainti voidaan esittää vaihtoehtoisesti missä tahansa koordinaatistossa, sillä koordinaattilukujen muuntaminen järjestelmästä toiseen on matemaattisesti mahdollista. Koordinaattijärjestelmien väliset muunnokset ovat hankalia, sillä muunnosparametrit joudutaan määrittämään kohdekohtaisesti konkreettisin mittauksin, jolloin samalla aiheutuu helposti virheitä. (Laurila 2012, 140.)

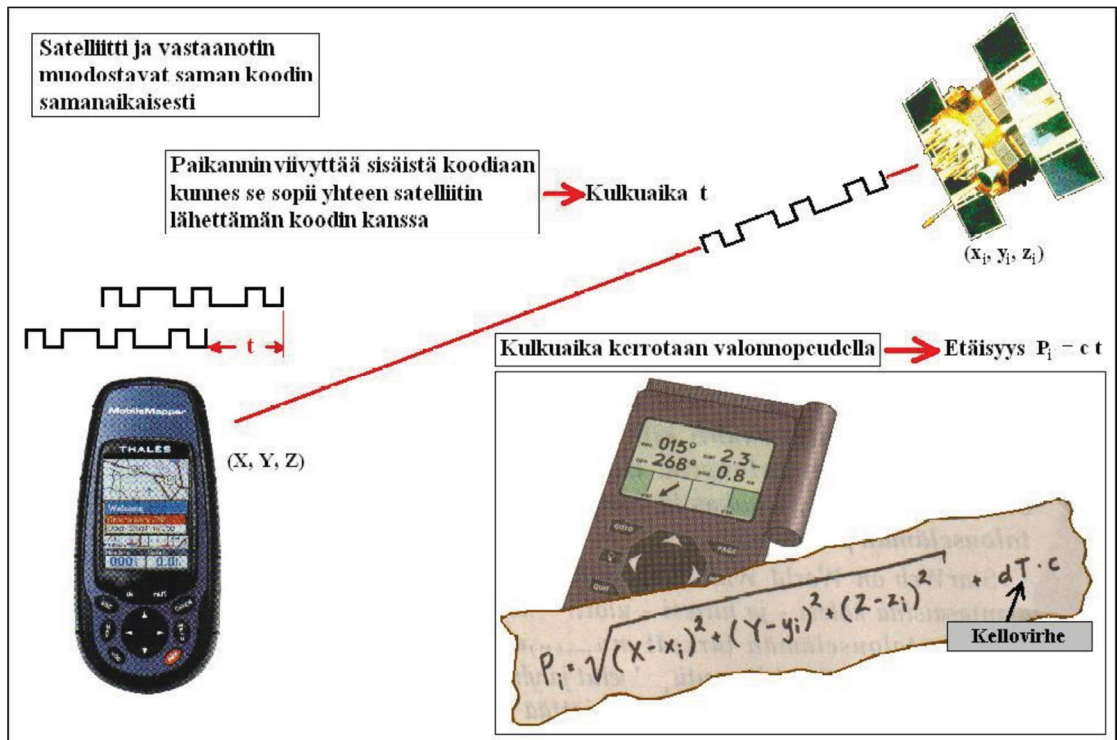


Kuva 1. Kolmiulotteinen koordinaatisto. Visualisointi reaaliaika-3D-sovelluksessa. (Palonen 2005)

Satelliittipaikannuksen peruseriaate on satelliittien lähettämien signaalien havaitseminen, joiden perusteella mitataan etäisyyksiä satelliittien ja mittauksen vastaanottimen välillä. Paikannussatelliitin lähettämä signaali sisältää paikannuskoodin, joka kertoo vastaanottimelle oman sijaintinsa. Tällöin paikannussatelliitin tunnetun sijainnin ja etäisyyden avulla voidaan määrittää mittauksen paikka. Paikannuksen geometrian kannalta paikannussatelliittien määrä on riittävä, kun mittauksessa huomioidaan etäisyydet vähintään kolmeen satelliittiin, mutta navigointiin riittävä tarkkuus vaatii sijaintitiedot vähintään neljästä eri satelliitista. (Laurila 2012, 291-292.)

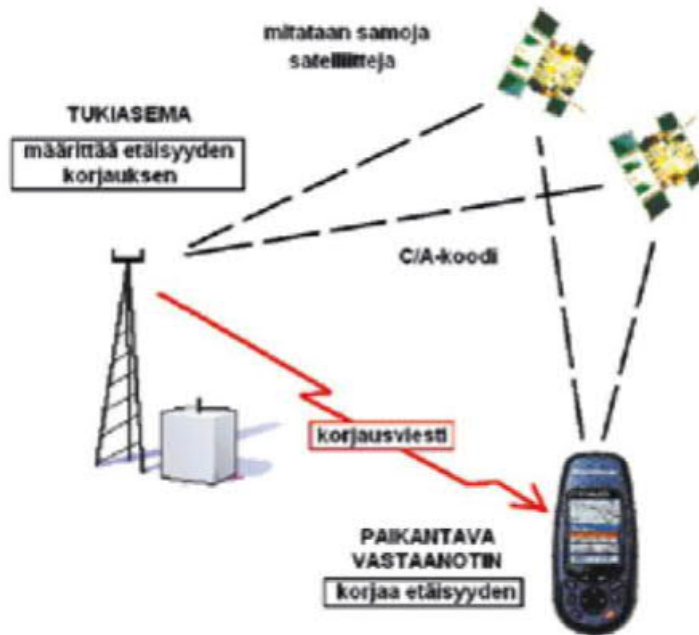
Paikannussatelliittien tunnettu sijainti perustuu satelliittijärjestelmiä hallinnoivien tahojen valvonta- ja seuranta-asemiin, joiden tehtävänä on määrittää satelliittien tarkka sijainti avaruudessa ja päivittää tietoa jatkuvasti. Määrittely perustana toimii tarkka ajan määrittäminen, jossa satelliitin lähettämän signaalin lähetysajankohdan ja vastaanottoajankohdan avulla lasketaan signaalin kulku-aika, joka kertoo satelliitin ja vastaanottimen välisen etäisyyden. (Laurila 2012, 282-283, 287.)

Kuvassa 2 esitetty absoluuttinen paikannus perustuu neljästä eri satelliitista vastaanotettuun signaaliin ja sen mukana kulkevaan koodiin. Mittaustapana absoluuttinen paikannus on yksinkertainen, koska sijainnin laskenta perustuu suoraan vastaanotettua signaalia lähettäviin satelliitteihin. Vähimmäismäärä satelliiteille on edellä mainittu neljä, jotta mahdollinen kellovirhe voidaan poistaa. Mittauksen kulkuajan tarkkuuden vuoksi on käytettävä atomi- tai stabiloituja kvartsikelloja. Paikannustarkkuudeltaan absoluuttisella paikannuksella päästään sellaiselle tasolle, jossa tavanomaisilla GPS-laiteilla ja sovelluksilla kuten navigaattoreilla on mahdollisuus toimia. (Laurila 2012, 295-297.)



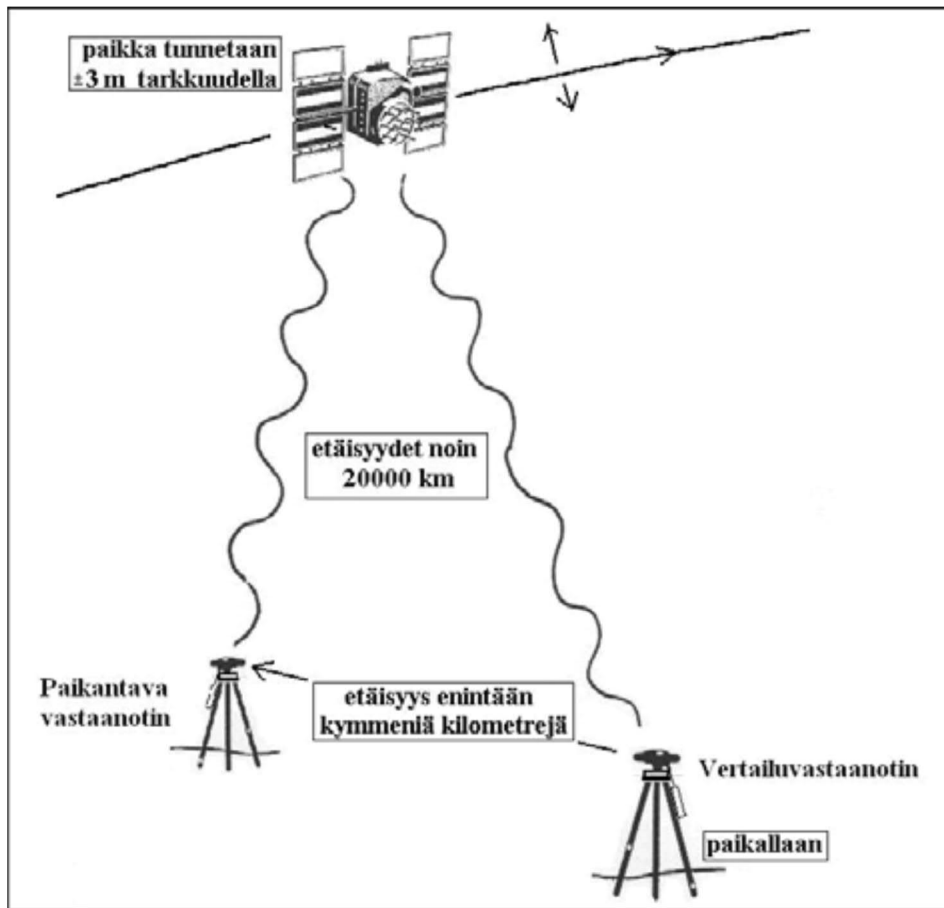
Kuva 2. Absoluuttisen paikannuksen periaatekuva. (Laurila 2012)

Differentiaalinen paikannus on esitetty kuvassa 3. Se perustuu C/A-koodin avulla mitattaviin etäisyyksiin satelliittien ja vastaanottimien välillä. Differentiaalisessa GPS-mittauksessa apuna tarvitaan tukiasema, jonka sijainti on maantieteellisesti tunnetulla pisteellä. Tukiaseman avulla voidaan verrata havaintopaikan ja sijainniltaan tunnettujen satelliittien välisiä etäisyyksiä. Tämän tiedon avulla lasketaan sijaintivirhe paikannusvastaanottimelle, joka pystyy sitten tekemään mittaus-datalle niin sanotun differentiaalikorjauksen. Differentiaalisella paikannuksella on mahdollista saavuttaa 0.5—5 m:n sijaintitarkkuus, joten mittaus tapa soveltuu muun muassa yleisen paikkatiedon keruuseen, merenmittaukseen ja ammattimaiseen auto- ja laivaliikenteeseen. (Laurila 2012, 299-301,313.)



Kuva 3. Havainnekuva differentiaalinen mittaus. (Laurila 2012)

Suhteellinen mittaus (Kuva 4) perustuu vaihehavaintoihin. Havaintoihin käytetään kantaaltoa aiemmin mainitun C/A-koodin sijaan. Kantaaltoa vastaanottava vastaanotin tarvitsee vertailuvastaanottimen, jonka suhteen vaihehavainnot mitataan. Vaihehavaintoihin perustuvalla suhteellisella mittaustavalla saavutetaan paras mahdollinen tarkkuus, parhaimmillaan virheet ovat vain millimetrejä vertailuvastaanottimen suhteen. Tarkkuus vastaa parhaimmillaan takymetrimittauksen tarkkuutta, joten sitä voidaan käyttää vaativissa mittaus- ja kartoitustekniikan sekä koneohjauksen tehtävissä. Ilmakehän aiheuttamien virhevaikutusten sekä katvealueiden ja heijastusten vuoksi mittaustarkkuus on käytännössä huonoimmillaan 5 cm:n luokkaa. (Laurila 2012, 301-304, 313.)

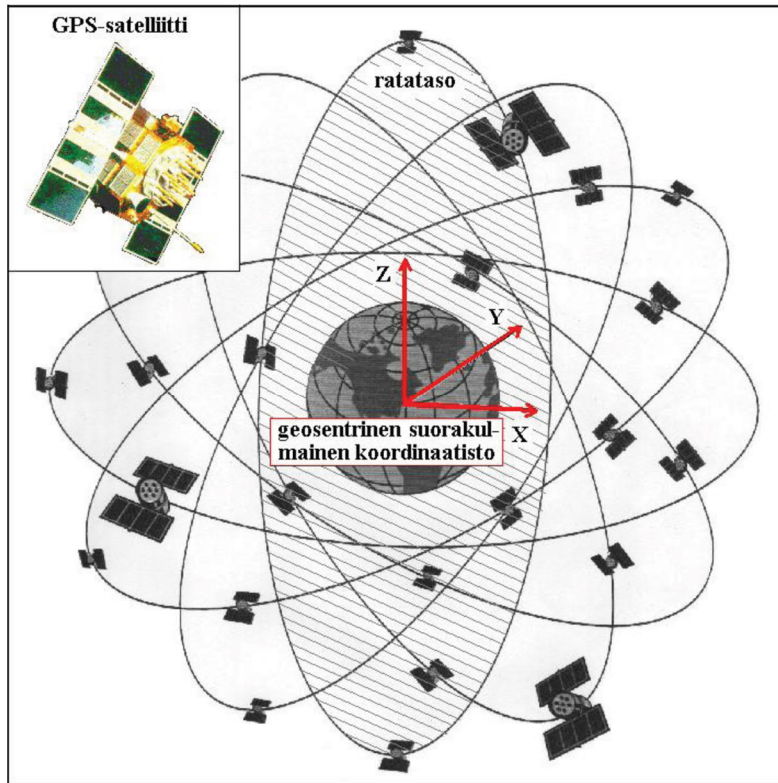


Kuva 4. Suhteellisen mittauksen periaatekuva. (Laurila 2012)

2.1.1 GPS ja GNSS

GPS (Global Positionin System) eli tarkemmin NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) on satelliittipaikannusjärjestelmä, jota kehittää ja ylläpitää Yhdysvaltojen puolustushallinto (Kuva 5). Alun perin Yhdysvaltojen puolustushallinto kehitti järjestelmän tukemaan sotilaallista toimintaa ja sen tavoitteena oli saavuttaa muutaman metrin tarkkuus sivuttais- ja korkeuspaikannukseen. Järjestelmältä vaadittiin hyvää häiriöiden sietokykyä sekä yksisuuntaisuutta, jotta sen sotilaallinen käyttö oli mahdollista. Yksisuuntaisuus tarkoittaa tässä yhteydessä sitä, että laite pystyy ainoastaan vastaanottamaan signaaleja, mutta ei lähettämään. (Laurila 2012, 282.)

Nykyisin järjestelmän avulla on mahdollista määrittää sijainti ja nopeus lähes missä tahansa maapallolla, riippumatta häiriötekijöistä, kuten sääolosuhteista. GPS-järjestelmiä onkin käytössä useissa arkipäivän laitteissa kuten älypuhelimissa ja navigaattoreissa.



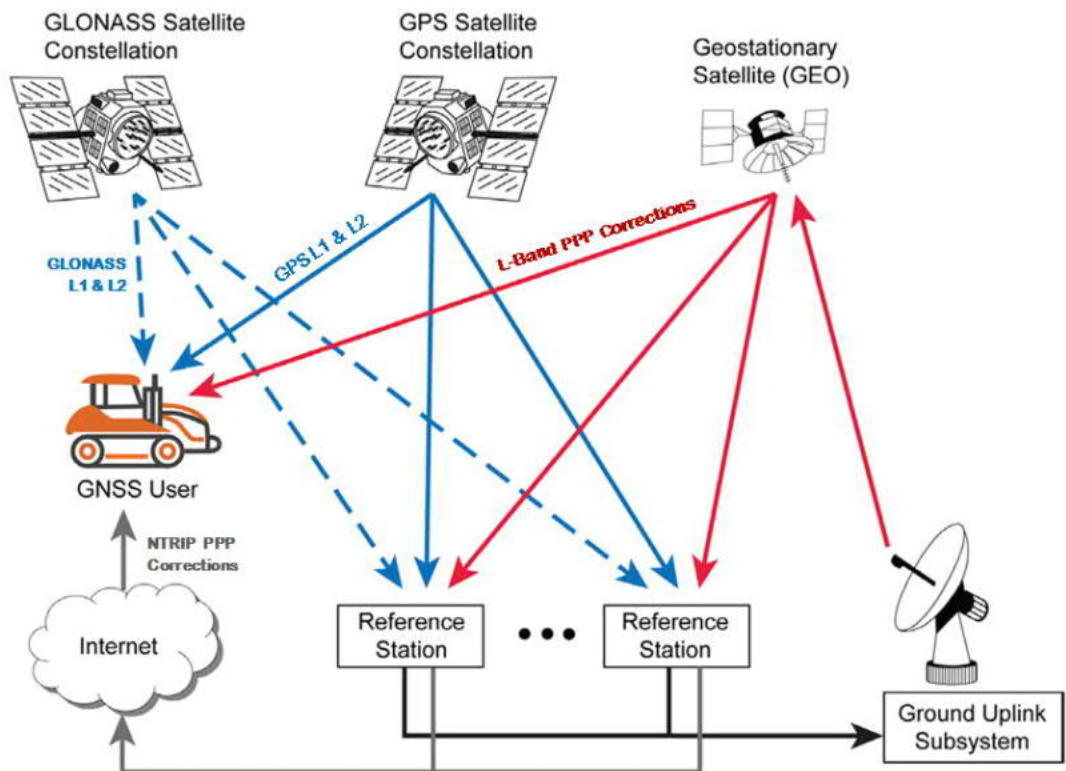
Kuva 5. GPS-järjestelmän satelliitit ja ratatasot. (Laurila 2012)

Tällä hetkellä GPS-satelliittipaikannusjärjestelmään kuuluu Yhdysvaltojen hallituksen mukaan 31 maatakiertävää aktiivista satelliittia, joista viimeisin on lähetetty avaruuteen vuonna 2016. Satelliitit kiertävät maata kuudella tasavälein kiertävällä ratatasolla. Seuraavan sukupolven (GPSIII) satelliitin oletettu laukaisu avaruuteen tapahtuu syyskuussa 2018. (GPS:The Global Positioning System s.a.)

GNSS (Global Navigation Satellite System) koostuu Yhdysvaltojen GPS-satelliiteista, Venäjän Glonass-satelliiteista, Euroopan Galileo-satelliittijärjestelmästä, Kiinan Beidou-satelliiteista sekä muista maata kiertävistä alueellisista järjestelmistä. GNSS:llä tarkoitetaan niin sanottua laajennettua satelliittipaikannusjärjestelmää (Kuva 6). (Laurila 2012, 289-290.)

Järjestelmän hyötynä pelkän GPS-verkon käyttöön verrattuna on signaalin parempi tarkkuus, laatu ja saatavuus. Tämä perustuu yksinkertaisesti siihen, että mittauksissa käytettävällä vastaanottimella on käytössä useampi satelliitti, joista paikannus signaalia lähetetään.

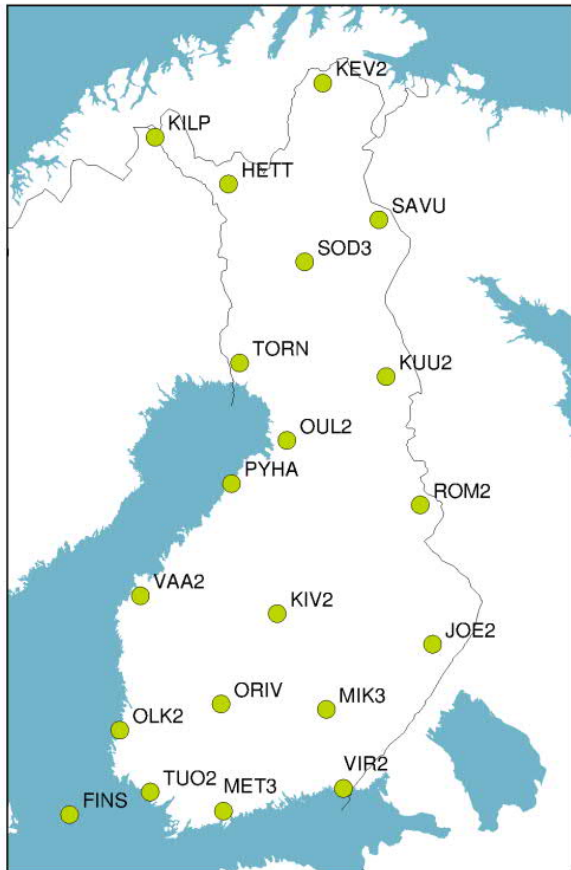
GPS- ja GNSS-järjestelmien toimivuuden kannalta tärkeitä ovat laskenta- ja valvontakeskukset ympäri maapalloa, jotka monitoroivat satelliittien lähettämää signaalia mahdollisten kellovirheiden tai muiden poikkeavuuksien, häiriöiden ja virheiden varalta. (Laurila 2012, 283.)



Kuva 6. GNSS- toimintaperiaate. (IG InsideGNSS s.a.)

2.2 Tukiasemaverkot

Tukiasemaverkolla tarkoitetaan tukiasemista koostuvaa kokonaisuutta, jonka avulla mahdollistetaan paikantaminen eri alueilla. Verkon tarkkuus riippuu käytävissä olevien tukiasemien määrästä ja asemasta. Suomessa toimiva Finn-Ref-verkko on valtakunnallinen GNSS-tukiasemaverkko, johon kuuluu nykyisin 20 asemaa (Kuva 7). (Maanmittauslaitos 2017).

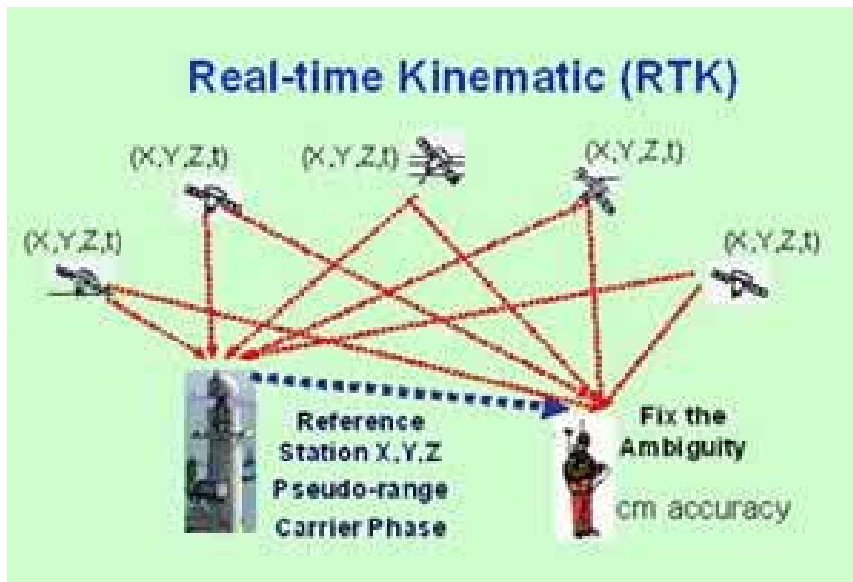


Kuva 7. FinnRef-verkkoon kuuluvat GNSS-asemat vuonna 2017. (Maanmittauslaitos 2017)

RTK-mittauksessa (Real Time Kinematic) eli reaaliaikaisessa mittauksessa liikkuvan vastaanottimen lisäksi käytetään tunnetulla pisteellä sijaitsevaa vertailuvastaanotinta eli tukiasemaa (Kuva 8). Tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välisillä erotushavainnoilla poistetaan satelliittimittauksessa ongelmia aiheuttavat virhelähteet. (Laurila 2012, 319.)

RTK-mittauksessa mittausalue on halkaisijaltaan noin 10—20 km. Erityistä tarkkuutta vaativat mittaukset on syytä suorittaa niin, että tukiasema on mahdollisimman lähellä mitattavaa kohdetta.

Perinteikkäämmän RTK-mittauksen tavoin maastomittauksissa käytetään verkko-RTK-mittaustapaa, jossa vertailuvastaanottimia on sijoitettu tunnetuille pisteille ympäri Suomea (Laurila 2012, 320). Verkko-RTK-menetelmällä ei mittauksen suorittamiseen siis tarvita omaa tukiasemaa. Käytössä olevat verkko-RTK-mittausspalvelut sekä verkot eivät ole laitesidonnaisia eli niitä voidaan käyttää minkä tahansa valmistajan laitteissa.

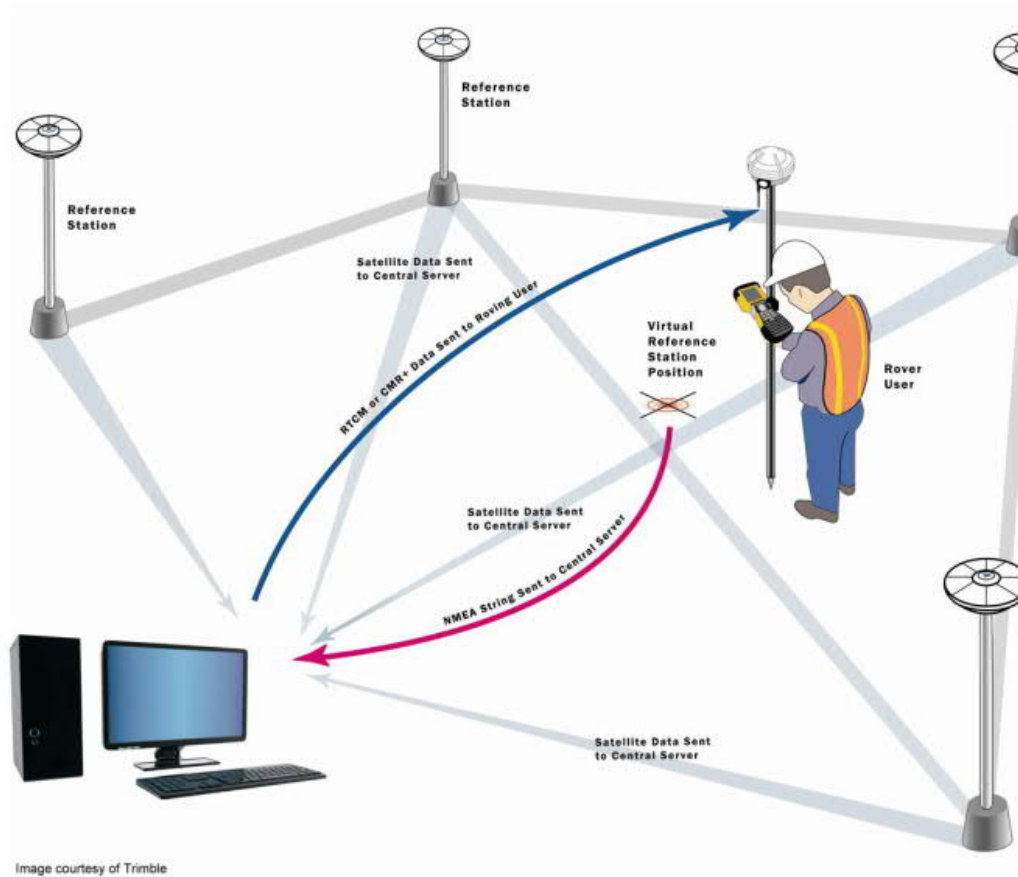


Kuva 8. Havainnekuva RTK-mittauksesta. (Ardupilot s.a.)

VRS-mittaus (Virtual Reference Station System) perustuu virtuaalisesti luotun tukiasemaan, joka lasketaan jokaiselle mittaajalle erikseen (Kuva 9). Samoin kuin verkko-RTK-mittauksessa ei VRS-menetelmää käytettäessä tarvita erillistä kiinteää tukiasemaa. VRS-verkkoa käytetään yleisesti maanmittauslaitoksen, kuntien ja muiden mittausalan yritysten toimesta. (Laurila 2012, 321-322.)

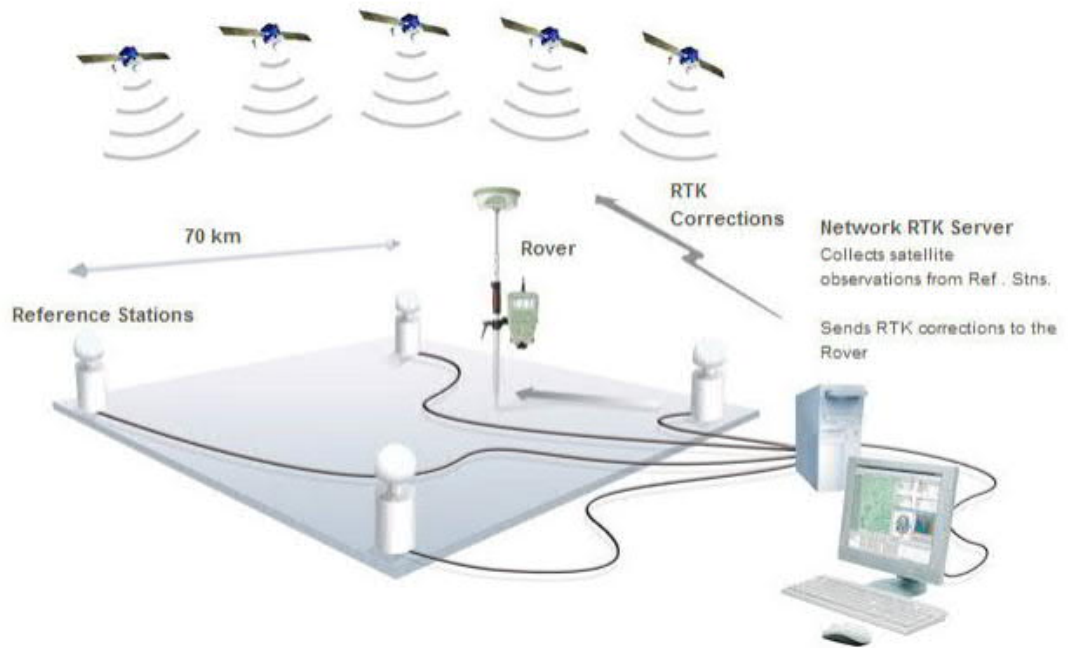
Suomessa Geotrim Oy:n ylläpitämä Trimnet on VRS-järjestelmä, jonka perustana on maanlaajuinen tukiasemaverkosto sekä Vantaalla sijaitseva laskenta-keskus. palveluntarjoajan mukaan tällä saavutetaan tarkat ja tasalaatuiset mitaustulokset (Geotrim Oy 2017).

Ristiriitaa mitaustulosten tarkkuuteen kuitenkin aiheuttaa se, että virtuaalinen tukiasema lasketaan jokaiselle mittaajalle erikseen, jolloin syntyy mahdollisuus eroavaisuuksille samasta pisteestä mitattaessa, mutta eri virtuaalista tukiasemaa käytettäessä. Tietyillä alueilla Suomessa VRS-verkko on kuitenkin kattavampi ja näin ollen teoriassa tarkempi kuin muut verkko-RTK-mittausspalvelut.



Kuva 9. VRS-järjestelmän toimintaperiaate. (Trimble s.a.)

Verkko-RTK-mittauksia voidaan suorittaa myös HxGn SmartNet-järjestelmässä, jonka toiminta perustuu noin 100 referenssiasemien tukiverkostoon (Kuva 10). VRS-verkosta poiketen liikkuvalla vastaanottimella ei tässä muodosteta virtuaalista tukiasemaa, vaan mittauksen tukena laskennassa käytetään tunnetuille pisteille asetettuja tukiasemia (Hexagon Geosystems s.a.). Palvelun tarjoajan mukaan paikannus on mahdollista suorittaa jopa 1—2 senttimetrin tarkkuudella, mutta todellisuudessa tarkkuudet työmaaolosuhteissa ovat vaak- ja pystygeometrisesti tarkasteltuna 1—8 senttimetrin luokkaa riippuen referenssiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välisestä etäisyydestä sekä muista virhelähteistä. SmartNetin avulla mitattaessa samasta pisteestä on käytössä lähtökohtaisesti aina sama tukiasema, jolloin virheet on helpompi jäljentää ja selvittää niiden syyt.



Kuva 10. Smartnetin toimintaperiaate. (Hexagon Geosystems s.a.)

2.3 Tietomallintaminen

Infrarakentamisen tietomallintaminen Suomessa perustuu tehtyihin määrittelyihin ja julkaistuihin ohjeisiin (Kuva 11). Niitä ovat yleiset inframallivaatimukset ja -ohjeet eli YIV2015, avoin Inframodel-tiedonsiirtoformaatti sekä tietomallintamista tukeva InfraBIM-nimikkeistö. (BuildingSMART Finland 2018.)

YIV Mallinnusohjeet

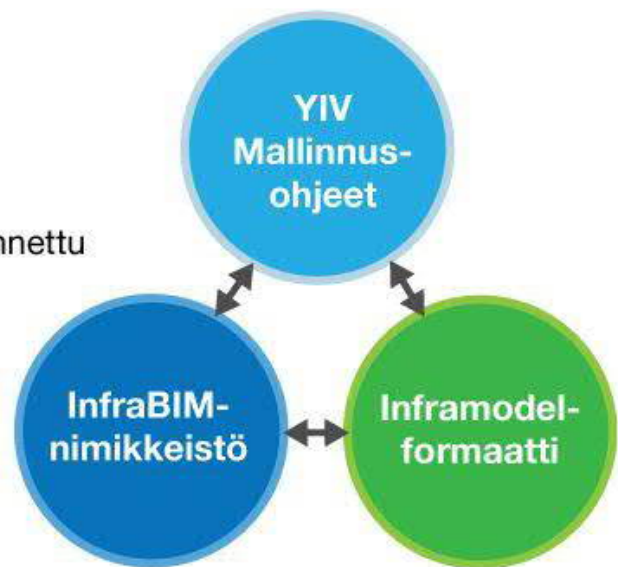
- Mitä ja miten mallinnetaan

InfraBIM-nimikkeistö

- Infra RO-nimikkeistö laajennettu inframallinnusta tukevaksi

Inframodel-formaatti

- Inframodel3
- Määrittely
- Käyttöohje



Kuva 11. Infran tietomallinnuksen peruspilarit. (BuildingSMART Finland s.a.)

Tietomallintaminen infra-alalla on verrattuna talonrakentamisen malleihin vielä jälkijunassa. Digitalisoitumisen ja älykkäiden koneohjausjärjestelmien vahvan

mukaan tulon myötä suuret infraprojektien tilaajat ja toimijat ovat tuoneet vauhtia kehitykseen. Vuonna 2018 pidetyillä inframallintamispäivillä haasteina tietomallintamisen kehitykselle ja yleistymiselle nähtiin toiminnan ja toimintatapojen vakioiminen, lainsäädännöllisten seikkojen muuttaminen koskemaan myös tietomallipohjaista infra-rakentamista sekä yleinen tietämättömyys siitä, että miten ja minkälaista tietomallipohjaista rakentamista kannattaa suorittaa ja vaatia. (Inframallinnuspäivät 2018.)

Tietomallipohjaisia hankkeita on viimeisten vuosien kuluessa toteutettu erilaisina pilottihankkeina ja allianssimallilla. Isoista infrakohteista esimerkiksi Tampereelle rakennettava moderni kaksihaarainen raitiotie on päätetty toteuttaa suurimmaksi osaksi tietomallintamista ja älykästä koneohjausta käyttäen (Novatron Oy 2017).

YIV2015 eli yleiset inframallivaatimukset ja -ohjeet ovat syntyneet tietomallipohjaisten hankkeiden yleistymisen johdosta. Tarkoituksena inframallivaatimuksilla on selkeyttää, miten ja mitä mallinnetaan hankkeen eri vaiheissa. Tavoitteena on, että tietomallinnuksen avulla tuodaan hyötyjä hankkeen suunnitteluun, toteutukseen sekä käyttöönoton jälkeiseen omaisuudenhallintaan ja ylläpitoon, jolloin mallintamisella tuotetaan hankkeelle arvoa koko infran elinkaaren ajan (Kuva 12). (BuildingSMART Finland 2015.)

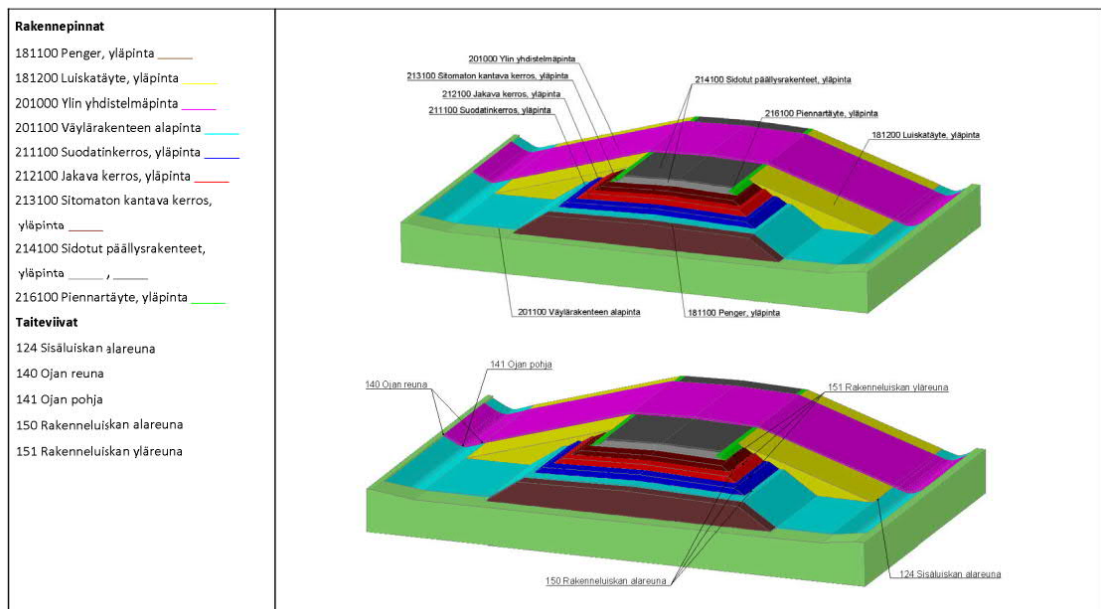


Kuva 12. Yleiset tehtävät tietomallihankkeessa. (BuildingSMART Finland 2015)

Inframodel on infra-alan tiedonsiirtoon kehitetty avoin tiedonsiirtoformaatti. Kansainväliseen LandXML-standardiin pohjautuvaa formaattia käytetään suunnitteluohjelmissa sekä mittaus- ja koneohjaussovelluksissa. Avoin tiedonsiirtoformaatti on tehostanut tietomallipohjaista suunnittelua ja toteutusta. Tällä hetkellä tiedonsiirtoformaatista on otettu käyttöön päivitetty Inframodel4-versio, joka kattaa lähes kaikki infra-rakentamisen työympäristön tarpeet niin suunnittelu- kuin toteutusvaiheessakin. Uusina asioina verrattuna edeltäjänsä Inframodel3-versioon, on erillisinä mittauskohteina käyttöön tulleet muun muassa toteumatiedot, pohjanvahvistusmenetelmät, pintarakenteet ja niiden materiaaliominaisuudet sekä muutamia verkkolajeja kuten kaukolämpö, kaasu ja jäte. (BuildingSMART Finland 2018.)

InfraBIM-nimikkeistöllä on rakennettu yhtenäinen numerointi ja nimeämiskäytäntö kaikkiin infra-rakenteiden ja -mallien vaiheisiin, kuten hankintaan, suunnitteluun, toteutukseen, toteuman mittaukseen sekä ylläpitoon (Kuva 13). Nimikkeistö perustuu Rakennustiedon Infra2015 rakennusosa- ja hankenimikkeistöön. (BuildingSMART Finland 2018.)

4.3 Yksiajorataisen tien rakennepinnat ja taiteviivat, 3D (2/3)



Kuva 13. Havainnekuva InfraBIM-nimikkeistöistä ja numeroinnista. (BuildingSMART Finland 2018)

Hämeenlinnassa inframallinnuspäivillä 13-14.3.2018 esittäytyneen työryhmän tavoitteena on julkaista InfraBIM-nimikkeistö ja ohjeet Rakennustieto Oy:n ylläpitämässä tietokannassa InfraRYL-julkaisua vastaavana tietomallinnus sivustona.

2.3.1 Ohjelmistot ja sovellukset

Oheinen teorian tieto perustuu 3D-Win-ohjelmiston verkkojulkaisuihin ja esitteisiin sekä Vantaalla järjestettyyn 3D-Win-peruskurssiin (2018).

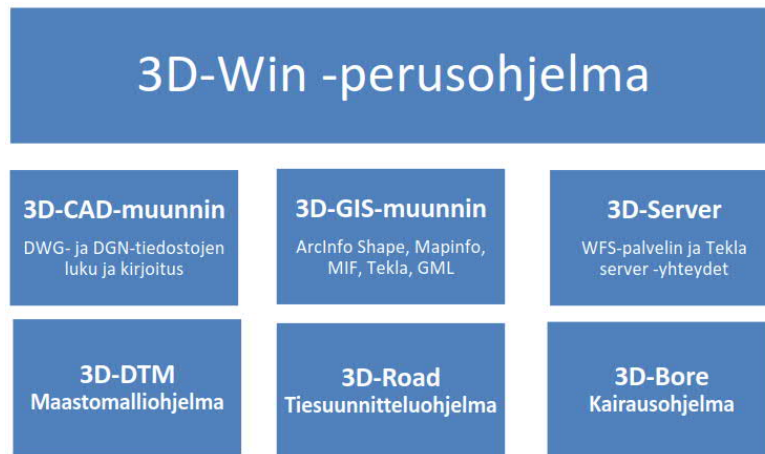
3D-Win on kotimaisen 3D-System Oy:n kehittämä ja ylläpitämä ohjelmisto maastomittaustietojen tuottamiseen ja käsittelyyn. Ohjelmisto on yleisesti käytössä maanmittaajilla, kartantekijöillä, paikkatiedon käsittelijöillä sekä infran suunnittelijoilla ja rakentajilla.

3D-Win-ohjelmistolla voidaan käsitellä päällekkäin useita vektori- ja rasterikuvaelementtejä, mutta samanaikaisesti pystytään hallitsemaan kutakin elementtiä erikseen. Omalla koodauksella ja symboliikalla hallitaan sitä, kuinka tiedosto lopulta kuvautuu näytölle.

3D-Win-ohjelman avulla voidaan muuntaa tiedostoformaatteja sekä tehdä sisäänrakennettuna tiedonsiirto yleisimpiin takymetreihin ja maastotallentimiin. Ohjelmiston avulla tiedostoja voidaan lukea ja kirjoittaa useissa eri formaateissa, kuten esimerkiksi maastotallentimien sekä CAD- ja paikkatietojärjestelmien käyttämissä siirtotiedostomuodoissa. Formaattimuunnoksia pystytään tekemään molempiin suuntiin, joten 3D-Win-ohjelma toimii myös eri järjestelmien välillä välitysohjelmana.

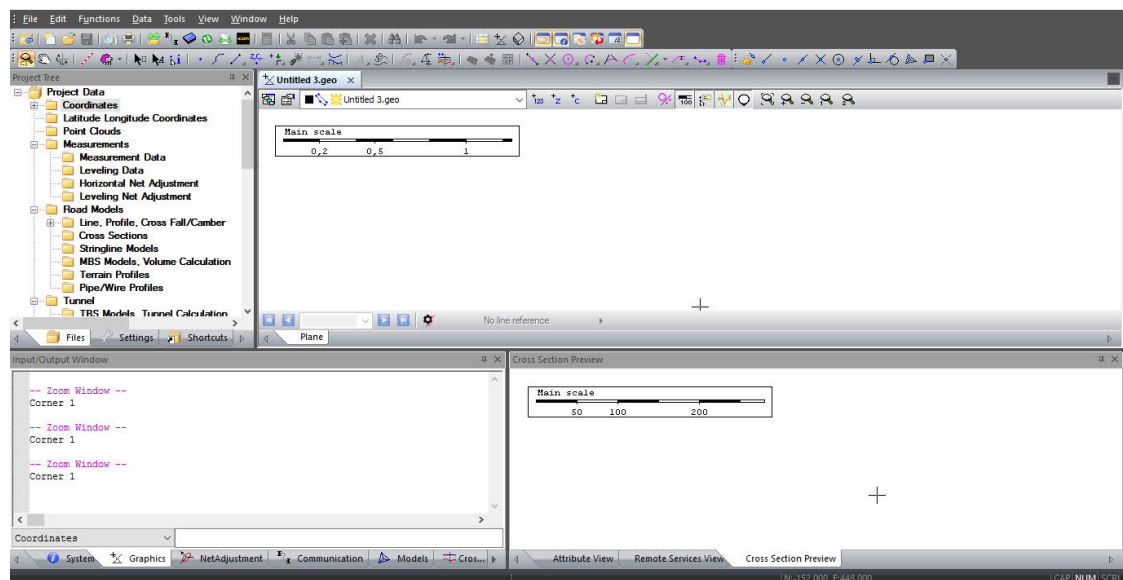
Koodimuunnostaulukoiden avulla aineiston editointi vaiheessa voidaan koodaus muuttaa halutun järjestelmän mukaiseksi. Samalla erilaisilla toiminnoilla voidaan tarkistaa tiedostojen ja geometrian koodauksen oikeellisuus.

3D-Win -perusohjelman ympärille on rakennettu useita lisäohjelmia (Kuva 14) kattamaan erilaisten toimijoiden tarpeita, kuten esimerkiksi 3D-Road-tiesuunnitteluohjelma, jolla voidaan lukea tai suunnitella tien vaaka- ja pystygeometriaa. (3D-System Oy s.a.)



Kuva 14. 3D-Win perusohjelman laajennukset. (3D-System Oy s.a.)

Leica iCON office on ohjelmistopaketti työmaan tietojen esikäsittelyyn, muokkaamiseen ja raportointiin (Kuva 15). Yhteistyössä mallinnusohjelmistojen kanssa Leica iCON office on tietomallipohjaiseen rakentamiseen sopiva sovellus, joka pystyy käsittelemään ja hallinnoimaan yleisesti käytettyjä dataformaatteja. Leica iCON officen selkeä vahvuus on rajapintatekniikassa, jolla on mahdollistettu mallinnustietojen synkronointi kaikkiin ohjelmiston käyttäjän rekisteröimiin laitteisiin ja sensoreihin sovelluksen kautta reaaliaikaisesti. Ohjelmistolla on mahdollista laskea tilavuuksia ja luoda esimerkiksi laaduntarkastusraportteja. (Leica Geosystems 2018.)

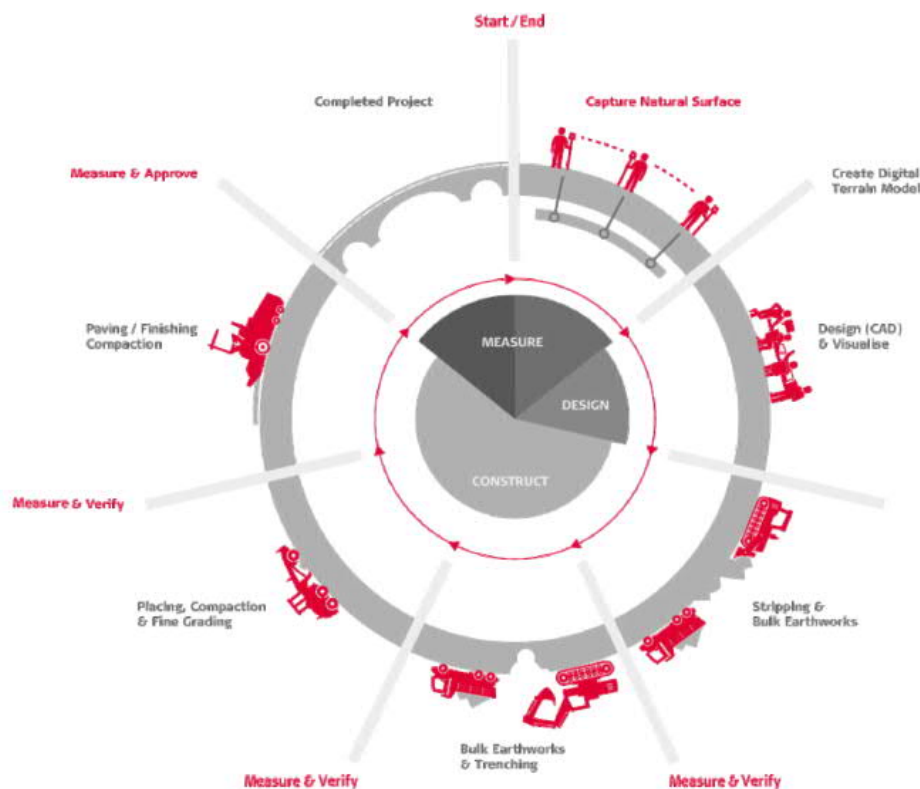


Kuva 15. Leica iCON Office-ohjelman aloitusnäkyä. (Kola 2018)

2.3.2 Tietomallien hallinta ja tiedonsiirto

Digitaalisen työmaan tärkeimpiä osa-alueita ovat tiedon jouheva synkronointi ja tuonti kaikkiin haluttuihin työkoneisiin ja mittalaitteisiin. Työmaalla työskentelevillä laitteilla on oltava käytössä paikkansa pitävät ja ajantasaiset tietomallit, jotta suunnitellut työt voidaan suorittaa vaatimusten mukaisina. Tiedonsiirtoon on kehitetty pilvipohjaisia palveluja, joista laitteiden on mahdollista ladata tarvittavat aineistot. USB-tikuilla tai vastaavilla massamuistivälineillä enää harvemmin tuodaan ja viedään tietoa työmaan, mittamiehen ja toimiston välillä.

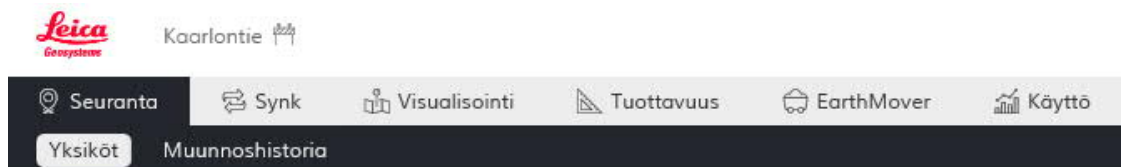
Leica Geosystems:n kehittämä Leica ConX on pilvipohjainen verkkoliittymäsovellus paikannustietojen, viitemallien ja toteutustietojen jakamiseksi ja esittämiseksi reaaliajassa (Kuva 16). Verkkoselaimessa Leica ConX-työkaluilla voi yhdenmukaistaa ja yksinkertaistaa tiedonkäsittelyä ja samalla tehostaa työkonien työskentelyä. (Leica Geosystems 2018.)



Kuva 16. Havainnekuva Leica ConX-työympäristöstä. (Leica Geosystems 2017)

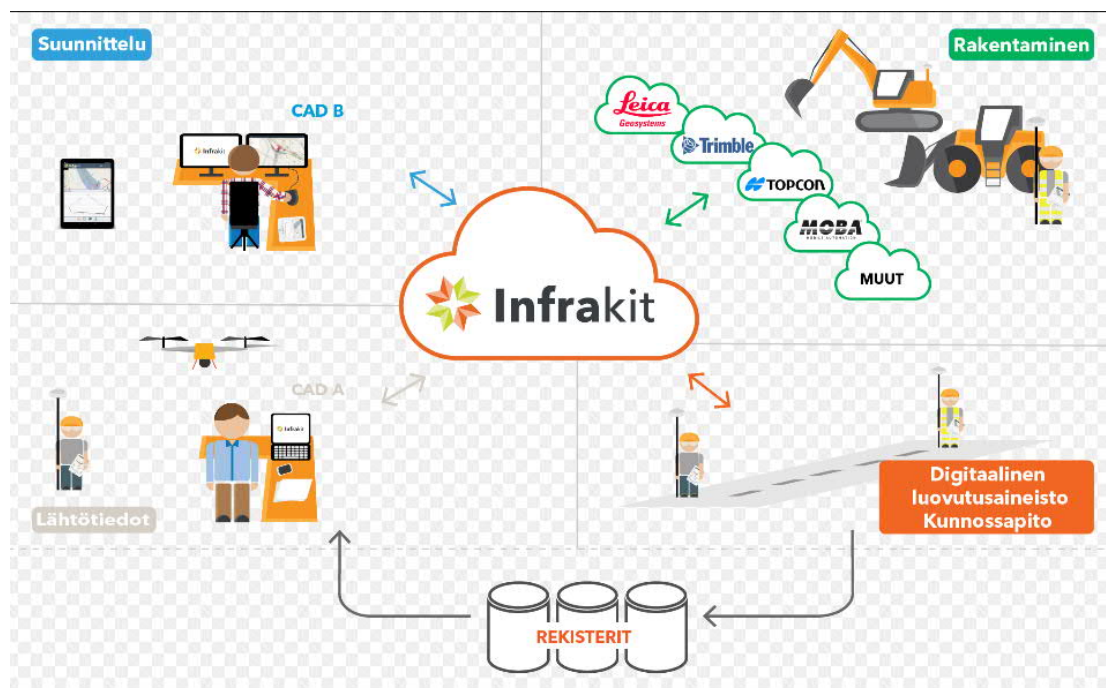
ConX-työkaluista (Kuva 17) seuranta-toiminnon avulla on mahdollista liitetyn mittajärjestelmän etäkäyttö, jolla voidaan tarkkailla ja valvoa työskentelyä. Sa-

malla etäohjauksella voidaan esimerkiksi auttaa mittalaitteen ongelmatilanteissa. Synk-toiminnolla synkronoidaan päivitetty tieto kaikille laitteille välittömästi, jolloin USB-tikun tai muun muistivälineen käyttöä ei tarvita. Sama toiminto varmistaa, että kaikki laitteet, jotka on liitetty ConX-palveluun ovat ajan tasalla ja käyttävät viimeisintä suunnitelmaa. Käyttö-toiminto on puolestaan kaluston hallintatyökalu, joka mahdollistaa reaaliaikaisen seurannan ja raportoinnin. Raportteja voidaan laatia mm. koneiden toiminnasta, reiteistä ja käytösteistä. (Leica Geosystems 2017.)



Kuva 17. Leica ConX- pilvipalvelun toimintapalkki. (Kola 2018)

Suomessa perustettu DCS Finland Oy tarjoaa Infrakit-pilvipalvelua, jonka tarkoituksena on yrityksen mukaan poistaa tehoton kommunikaatio infra-alan projekteista. Selainpohjaisen pilvipalvelun avulla kaikilla hankkeessa toimivilla osapuolilla on käytössään ajan tasalla oleva tieto käytössä olevista suunnitelmista ja työmaalla tapahtuvasta toteutuksesta (Kuva 18).

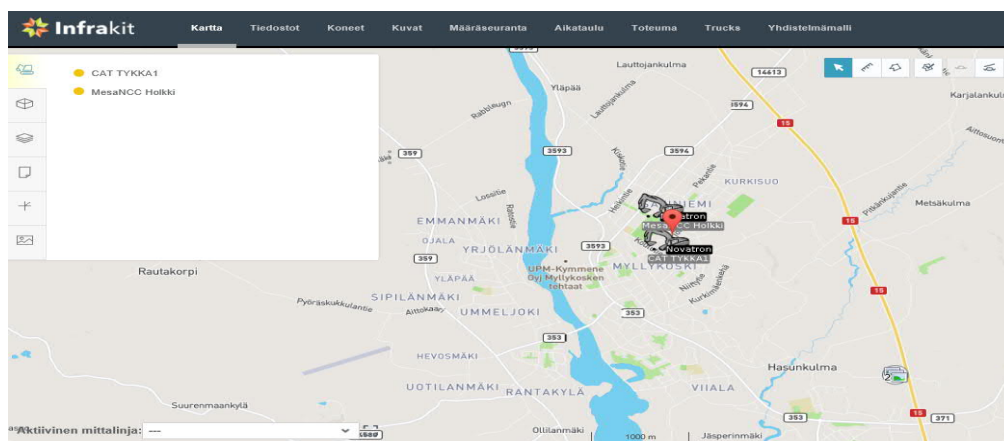


Kuva 18. Infrakit-palvelun toimintaympäristö. (DCS Finland Oy s.a.)

Infrakittiin tallennetaan mm. rakennushankkeessa tarvittavat kartoitusmittaukset, suunnitelmat sekä muut lähtötiedot. Infrakit LINK kommunikoi kaikkien mittalaitteiden ja 3D-koneohjausjärjestelmien kanssa, joten mikä tahansa avoin malliformaatti on mahdollista syöttää järjestelmään mukaan lukien myös IFC-mallit. Projektin aikana tietokantaan lisätyn aineiston avulla voidaan muodostaa hankkeesta täydellinen tietomalli lähtötietoineen, suunnitelma-aineistoineen ja toteumatietoineen. (DCS Finland Oy 2017.)

Infrakitin käyttöönotto koneohjatuissa kaivinkoneissa tapahtuu Infrakit LINK palvelun avulla. Jokaisella laitevalmistajalla on omat ominaisuutensa, kuinka Infrakit LINK-ohjelmiston saa yhdistettyä suoraan koneohjausjärjestelmän valvontalaitteisiin ja konekantaan. Ohjeistukset ja manuaalit löytyvät verkosta löytyvältä Infrakit WIKI-sivustolta. Sivustolla esitellään muun muassa, kuinka Infrakit-ohjelman avulla voidaan suorittaa esimerkiksi toteutuneiden massojen seuranta urakassa. (DCS Finland Oy 2017.)

Verkkoselaimella toimiva Infrakit OFFICE-ohjelma on työmaan hallintaan tarkoitettu käyttöliittymä, jonka avulla työmaan toimintaa ja mittauksia on mahdollista seurata. Ohjelmisto on mahdollista ladata myös Android-käyttöjärjestelmällä toimiviin puhelimiin ja tabletteihin. Infrakit OFFICE-ohjelman avulla voi muun muassa hallita työmaalla käytössä olevia laitteita ja suunnitelmia. Ohjelman aloitussivuna toimivalla karttapohjalla nähdään, mitä suunnitelmia ja laitteita työmaalla on käytössä ja missä palveluun yhdistetyt laitteet liikkuvat (Kuva 19). Koneohjatuilla laitteilla suoritettavat mittaukset piirtyvät palveluun halutulle suunnitelma tasolle, ja värikoodein osoittavat ovatko rakenteet toleranssien mukaisia vai ylittyvätkö ne. (DCS Finland Oy 2017.)



Kuva 19. Infrakit karttanäkymä verkkoselaimessa. (Kola 2018)

3 MITTALAITTEET

3.1 Takymetrit

Nykyaikainen takymetri on hyvän laskentakapasiteetin ja tallennuksen omaava tietokone, joka mittaa pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä. Takymetrillä tehtävät mittaukset tehdään takymetrin sijaintipisteen ja havaintokohteen välillä. Näiden havaintojen perusteella laite laskee paikkatietoihin tarvittavia koordinaatteja ja korkeusasemia. (Laurila 2012, 238.)

Ennen takymetrillä tehtävien mittausten suorittamista on koje keskitettävä ja tasattava mittauspisteille, tarkistettava tähyskorkeudet sekä orientoitava takymetri koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään. Orientoinnin voi suorittaa joko tunnetulle pisteelle tai vapaalle asemapisteelle. Orientointi vapaalle pisteelle voidaan suorittaa ja koordinaatit laskea, kun tiedetään etäisyydet vähintään kahteen liittyvään pisteeseen tai vaihtoehtoisesti tähyssuunnat vähintään kolmeen liittyvään pisteeseen. Tunnetulle pisteelle orientoinnissa täytyy tiedossa olla vähintään yhden liitospisteen koordinaatit, jolle kulmamittaus tämän jälkeen suoritetaan. Koska orientointi vaikuttaa takymetrillä tehtävien mittausten tarkkuuteen ja luotettavuuteen on orientoinnin jälkeen kartoitettava jokin tunnettu piste ja laskettava niin sanottu sulkuvirhe. (Laurila 2012, 252, 257, 259-260.)

Takymetrillä tehtävä mittaus suoritetaan tähtäämällä kojeen mittauskaukoputki halutulle pisteelle asetettuun prismaan, joka heijastaa takymetrin lähettämän lasersäteen takaisin kojeeseen. Prismen heijastamasta signaalista takymetri määrittää kantoaaltojen perusteella etäisyyden ja tallentaa prismaan mitatut pysty- ja vaaka-akselien asennot. Trigonometrian avulla takymetri laskee mitaushavaintojen perusteella sijaintikoordinaatit. Mittauksia, kun prismaa ei voida asettaa tarkasti mitattavaan kohteeseen vaan sen lähelle, kutsutaan epäkeskisiksi. Tällöin mittausten tarkkuus kärsii, kun prismaa ei voida asettaa haluttuun pisteeseen. (Laurila 2012,246-247, 249-250, 264-265.)

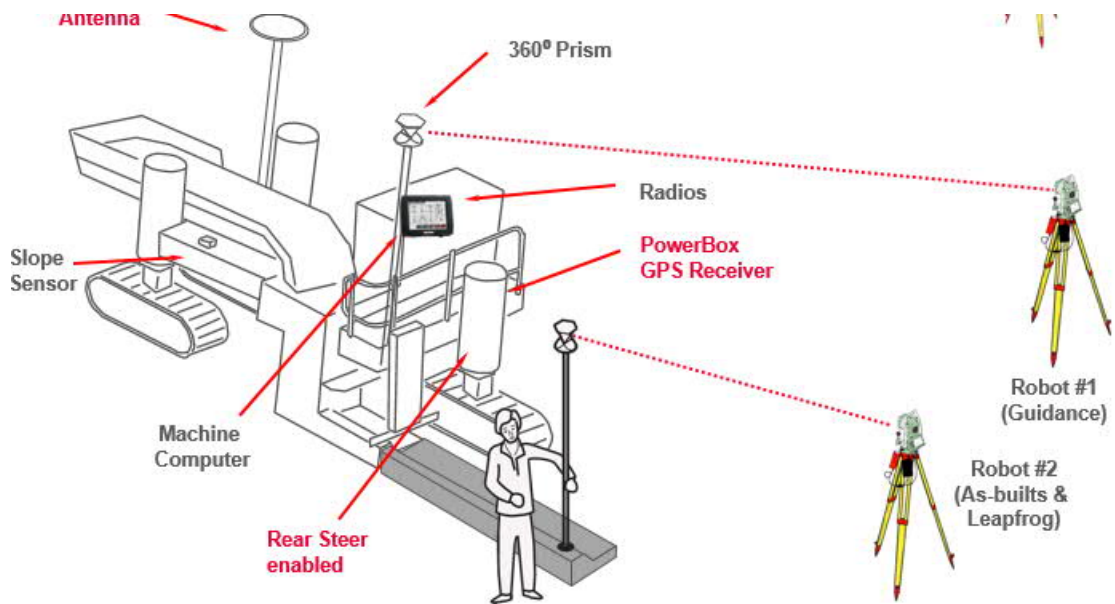
Takymetrioiden liikkeiden hallinnan automatisointi on mahdollistanut sen, että takymetrin toimintoja voidaan etäohjata. Etäkäytettävää takymetriä kutsutaan niin sanotuksi robottitakymetriksi (Kuva 20). Edellytyksenä etäkäytettävyydelle

ovat takymetrin servo-ominaisuus sekä takymetrin ja prisman välinen tietoliikennyhteys. Liikkeiden hallinnan automatisointi on mahdollistanut sen, että yksi mittaaja pystyy tekemään normaalit kartoitus- ja merkintämittauksiin liittyvät mittaustyöt yksin. (Laurila 2012, 275-276.)



Kuva 20. Trimble S6-robottitakymetri. (Kola 2018)

Robottitakymetria käytetään lisäksi koneohjausjärjestelmiä ohjaavana työkaluna (Kuva 21). Tällöin havaintoprisma on kiinnitetty työkoneeseen ja takymetri seuraa koneen sijaintia kolmiulotteisessa koordinaatistossa ja välittää tietoa koneohjausjärjestelmälle. Koneohjausjärjestelmä pystyy määrittämään koneen tarkan sijainnin koneohjausjärjestelmään liitettyjen antureiden ja takymetrin välittämän sijaintitiedon avulla. Tarkan sijainnin ja tietomallin avulla voidaan ohjata työkonetta ja laitteita, jolloin toteutus tapahtuu suunnitelmien mukaan. (Toppi 2018.)



Kuva 21. Havainnekuva robottitakymetrin käytöstä koneohjausta ohjaavana. (Toppi 2018)

3.2 GPS- laitteisto

Infra-alalla työnjohdon käyttöön on tullut tablettitietokoneisiin liitettäviä kevyempiä mittalaitteita, joilla työnjohdon on mahdollista valvoa koneohjatussa työympäristössä suoritettujen tehtävien laatua vaivattomammin ja tehokkaammin kuin perinteisillä mittausvälineillä. GPS-laitteistolla voidaan selkeyttää työtekijöille rakennettavan kohteen sijoittumista suhteessa vallitsevaan maastoon sekä samalla ohjata tehtävien työkohteiden suoritusjärjestystä. Mittamiehen kutsuminen työmaalle ei siten ole aina välttämätöntä, vaan nopeat karkeaa tarkkuutta vaativat mittaukset, voidaan suorittaa työnjohtovetoisesti. Tämä nopeuttaa työntekoa ja tuo joustavuutta urakointiin.

Leica iCON GPS 60-vastaanotin yhdessä Leica CC80-maastotallentimen kanssa muodostaa helppo- ja monikäyttöisen työkalun työnjohdon käytettäväksi työmaalle (Kuva 22). Tarkkuuksiltaan mittalaittekokoonpanolla ylletään samalle tasolle kuin mitta-alan ammattilaistenkin vastaavaa tekniikkaa käyttävillä laitteilla. Erityistä GPS60-vastaanottimessa on sen mukautuvuus myös työmaaolosuhteissa toimimaan GNSS-tukiasemana, jos tähän esiintyy kentällä tarvetta. Antennin satelliittipaikannus kommunikoi yhdessä kaikkien saatavilla olevien ja tulevaisuudessa käyttöönotettavien satelliittijärjestelmien

kanssa. Antenni voidaan yhteen sovittaa myös toimimaan ensisijaisena ohjausjärjestelmänä työkoneissa. Korjausdataa laitteeseen tuodaan internetin kautta, jolloin radioyhteyttä ei tarvita. (Leica Geosystems 2017.)

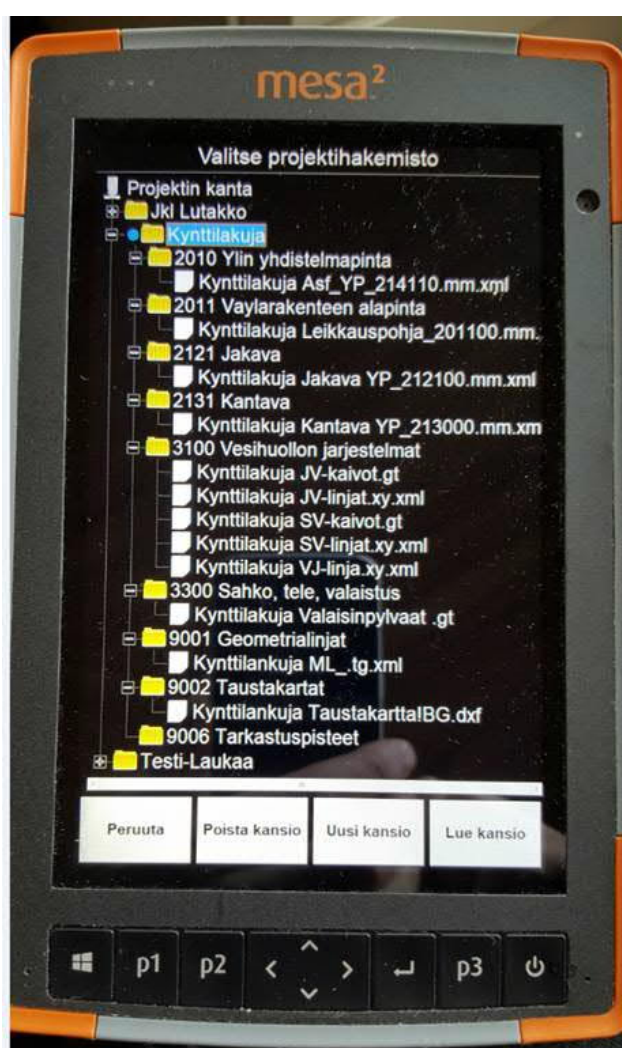
Maastotallentimena ja työmaalla käytettävää tablettitietokoneena toimiva Leica iCON CC80 on selkeälukuinen ja helppokäyttöinen, mutta samalla todella tehokas ja kestävä ratkaisu työmaalla tehtävien mittausten suorittamiseen. (Leica Geosystems 2017.)

Laitteen avulla voidaan reaaliaikaisesti tallentaa vaikeissakin olosuhteissa tehtävien mittausten tuloksia sekä saman aikaisesti lähettää ne pilvipalvelun kautta muille tuotannon henkilöille käytettäväksi. Lisäarvoa laitteeseen tuo yhteensopivuus IFC-mallien kanssa, jolloin laitetta voidaan hyödyntää myös muissa rakennusalan mittaustehtävissä, kuten esimerkiksi sillanrakentamisen kohteissa.



Kuva 22. Leica GPS60-vastaanotin sekä Leica CC80-maastotabletti. (Kola 2018)

Suomalaisen Novatron Oy:n Xsite PAD (Kuva 23) on vastaavanlainen tabletti-tietokone kuin edellä esitelty Leica CC80. Käyttöjärjestelmissä on kuitenkin poikkeavuuksia. Novatronin laitteessa pohjalla toimii LandNova 3D-ohjelmisto, joka ulkoasultaan ja ominaisuuksiltaan vastaa kaivinkoneisiin asennettavaa Novatron Xsite 3D-koneohjausjärjestelmää. LandNova-ohjelmisto on rakennettu lähtökohtaisesti infra-alan tarpeita varten. Tiedonsiirrossa tabletti synkronoi tietonsa valitusta pilvipalvelusta. Tällä hetkellä Xsite PAD ei tue IFC-malleja. (Novatron Oy s.a.)



Kuva 23. Novatron Xsite PAD. (Oikkonen 2018)

Markkinoilta löytyy vastaavanlaisia kokoonpanoja myös muilta mittalaitetoimittajilta, kuten Trimble ja Topcon. Trimblen Kenai-maastotabletti (Kuva 24) yhdessä ulkoisen GPS-antennin kanssa, tuottaa samanlaista tarkkuutta työmaamittauksiin kuten Leican ja Novatroninkin. Laitteeseen sisäänrakennettu GPS-

vastaanotin mahdollistaa mittaukset ilman ulkoista antennia valmistajan mukaan 2—4 metrin tarkkuudella (Trimble 2016.).



Kuva 24. Trimble Kenai-maastotabletti. (Trimble 2016)

Topconin tuotteiden myyntiä edustavan Topgeo Oy:n tablettitietokonetarjontaa edustaa tuote nimeltään FC-5000 (Kuva 25). Tabletin käyttöjärjestelmänä toimii Windows10. Laite on täysin pöly- ja vesitiivis. Ilman ulkoista GPS-antennia ei tällä laitteella ole mahdollista suorittaa mittauksia vaan tällöin laite toimii enemminkin työnjohdon ”toimistotyökaluna”. (Topgeo Oy s.a.)



Kuva 25. Topcon FC-5000 maastotabletti. (Topcon 2016)

4 KONEOHJAUS JA -AUTOMAATIO

4.1 Koneohjausjärjestelmät

Koneohjausjärjestelmän tarkoituksena on opastaa työkoneen käyttäjää työskentelemään työtä varten laadittujen suunnitelmien mukaisesti. Koneohjausjärjestelmiä on jokapäiväisessä käytössä monissa infrakohteissa käytettävissä työkoneissa kuten kaivinkoneissa, tiehöylissä, maantiivistäjissä, paalutuskooneissa, asfaltinlevittimissä, jyrskinkoneissa, puskkoneissa, liukuvalukoneissa sekä pyöräkuormaajissa.

Kaivinkoneissa käytettävät koneohjausjärjestelmät voidaan jakaa toimintaympäristönsä mukaan 1D-, 2D- ja 3D-koneohjausjärjestelmiin. 1D-koneohjausjärjestelmässä työkoneeseen asennetuilla sensoreilla mahdollistetaan toiminta yhdessä tasossa. Järjestelmä soveltuu hyvin esimerkiksi yhdessä tasossa tai yhdessä kaltevuudessa tehtäviin kaivuutöihin, jolloin työkoneen näyttöpäätteen avulla koneenkäyttäjälle välittyy kaivinkoneen kauhan asento verrattuna suunniteltuun kaivuutasoon (Kuva 26).



Kuva 26. Leica iCON iXe1- 1D-koneohjausjärjestelmän näyttöruutu. (Leica Geosystems 2017)

2D-koneohjausjärjestelmässä kauhan sensoreiden lisäksi kaivinkoneeseen on lisätty tarkka GNSS-kompassi suunnan määrittämiseksi sekä antureita koneen eri osiin. Antureilla kompensoidaan koneen pituus- ja sivuttaissuuntaiset kaltevuudet sen liikkessa. (Leica Geosystems 2017.) Työkoneen näyttöruudulta voidaan havaita kaivuutasot kauhan eri asennoissa (Kuva 27).



Kuva 27. Novatron XSITE PRO 2D-järjestelmän näyttöruutu. (Novatron Oy s.a.)

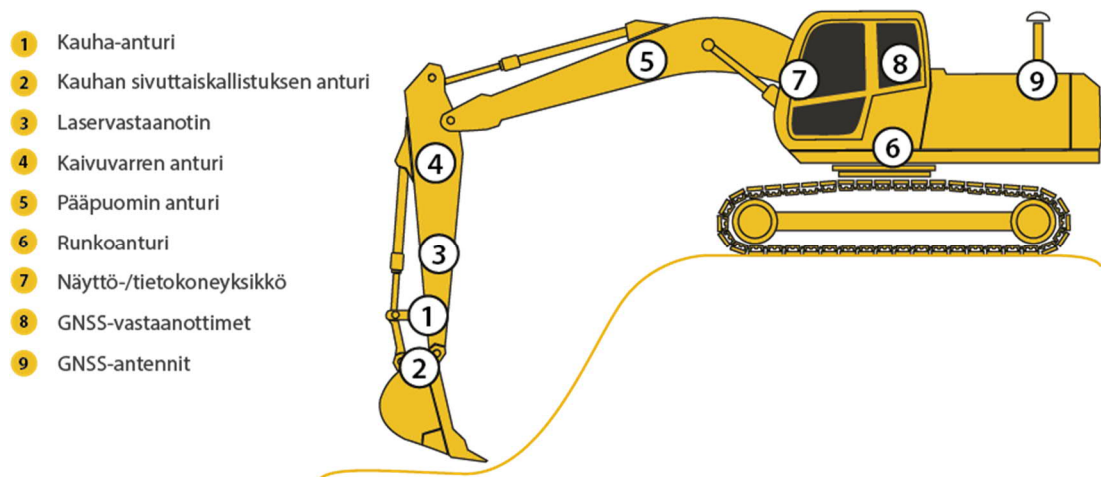
3D-koneohjausjärjestelmässä työkoneeseen kuten esimerkiksi kaivinkoneeseen on asennettu järjestelmä, jonka avulla pystytään paikantamaan koneen sijainti reaaliaikaisesti. Järjestelmää varten on koneeseen asennettu erilaisia antureita ja vastaanottimia, jotta koneen liikkeet pystytään havainnoimaan (Kuva 28). Työkoneen ohjaamossa koneenkuljettaja pystyy näyttöpäätteeltä seuraamaan koneen liikettä ja sijaintia. Järjestelmään viety suunnitelma 3D-mallin avulla koneen ja esimerkiksi käytettävän kauhan asemaa pystytään vertaamaan suunniteltuun tasoon. (3D-Koppi Oy s.a.)

Antureita asennetaan työkoneessa koneohjausta varten riittävästi, esimerkiksi kaivinkoneessa puomin liikkuviin osiin, jotta järjestelmä pystyy havainnoimaan puomin liikkeet. Muita antureita tarvitaan, jotta tunnistetaan koneen kallistumiset ja pyörintäliikkeet. Paikantamista varten koneeseen asennetaan GPS- tai

GNSS vastaanottimet, jolloin satelliittien tai takymetrin avulla pystytään selvittämään työkonteen tarkka sijainti. (Suomen GPS-Mittaus Oy 2015.)

Kaivinkoneen koneohjauksen vaatimaan sijaintitarkkuus saavutetaan, kun vastaanottimilla on käytössä korjausdataa varten yhteys aiemmin mainitun virtuaalisen tukiaseman eli VRS- tai RTK-palvelun kautta tai vaihtoehtoisesti työmaalle asennettavan kiinteän tukiaseman avulla. Kiinteän tukiaseman täytyy sijaita tunnetulla pisteellä, jotta koneohjausjärjestelmä vastaanottaa paikkaansa pitävää tietoa. (Novatron Oy s.a.)

Vastaanottimet ja anturit ovat kehittyneet viime vuosina valtavasti ja laitevalmistajat, kuten Novatron Oy, kertovat GPS-paikantimen avulla saavutetun tarkkuuden olevan muutaman senttimetrin luokkaa. Näin ollen työkoneseen asennetulla koneohjausjärjestelmällä on mahdollista saavuttaa InfraRYL:n asettamat laatuvaatimukset ja toleranssit sekä suorittaa toteutuneista rakenteista työkonella suoritettavien, tarke- eli toteumatietojen mittaaminen. (Ala-Heikkilä 2017.)



Kuva 28. 3D-koneohjausjärjestelmän osat. (Novatron Oy s.a.)

4.2 Koneohjauksen nykyhetki ja tulevaisuus

Koneohjausjärjestelmät ovat osa nykyaikaista toimivaa ja tehokasta työmaatoimintaa. Laitteistoja käytetään opastavina ja nykyisin myös ohjaavina välineinä monessa työmaalla käytössä olevassa työkonessa. Kehittyneet koneohjausjärjestelmät ovat Oulun yliopiston lehtorin Rauno Heikkilän mukaan Japanissa, jossa etäohjatuilla laitteilla tehdään töitä alueilla, joissa maaperän

olosuhteet ovat todella epävakait ja näin ollen ihmisille hengenvaaralliset (Inf-ramallinnuspäivät 2018.)

Kaivostoiminnassa on käytössä automatisoituja dumppereita, jolloin materiaalin liikuttaminen alueelle toimii koneautomaatio-periaatteella (Komatsu s.a.). Kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmissä tietyillä laitevalmistajilla on tarjota ratkaisuja, joissa koneohjausjärjestelmän toiminta on ohjaavaa, mutta ei täysin automatisoitua. Esimerkiksi Leica Geosystems on rototilt-valmistaja Engconin kanssa kehittänyt iXe CoPilot-automaattisen kallistustoiminnon. 3D-koneohjausjärjestelmän kanssa rototilt hoitaa kallistuksen siis automaattisesti. Automaattisia järjestelmiä on myös käytössä tiehöylissä ja puskukoneissa, joissa toiminto liikuttaa automaattisesti työkoneen terää tai levyä suunnitellun 3D-toetusmallin mukaisesti. (Engcon Positioning System 2017.)

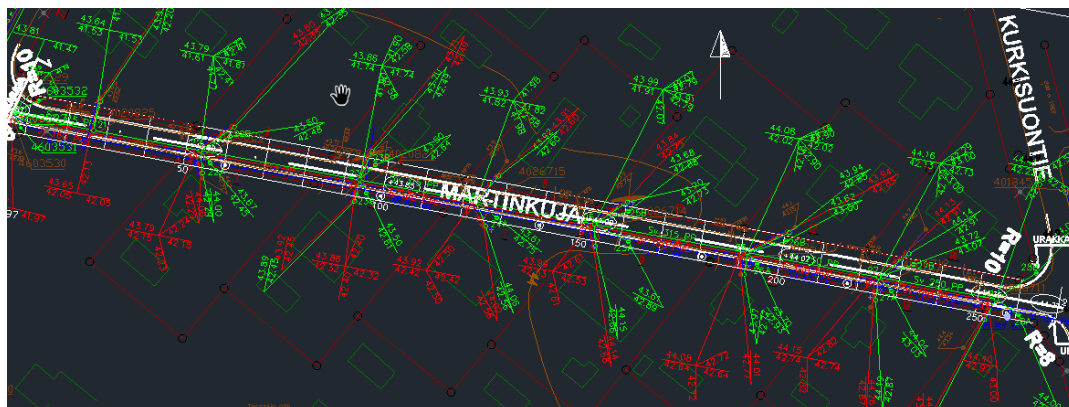
5 KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖNOTTO JA MITTAUKSET TYÖMAALLA

5.1 Käyttöönottokohde

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellyt mitta- ja koneohjauslaitteita sekä niihin liittyviä ohjelmia otetaan käyttöön kunnallistekniikan saneerauskohteessa NCC Suomi Oy:n työmaalla Kouvolassa. Kohteessa suoritetaan vanhojen jätevesiviemäri- ja vesijohtojärjestelmien purku, uusien järjestelmien, mukaan lukien uuden hulevesijärjestelmän asennus, sekä tienrakennekerrosten uusiminen. Tienrakennekerrosten uusimisen yhteydessä asennetaan salaojaputkia tienkuivatuksen varmistamiseksi sekä valaistuskapeleita uudelle valaistukselle. Kadut päällystetään asfaltilla ja ojapenkereet muotoillaan niin, että hulevedet ohjautuvat uusiin ojakaivoihin. Saneeraustyön tilaajana toimii Kouvolan kaupunki ja Kymen Vesi Oy. Valaistuksesta vastaa KSS Rakennus Oy. Kohteessa koneohjattuja laitteita on käytössä kaivuutöissä sekä lopullisen kantavan pinnan muotoilussa käytettävässä katuhöylässä. Toteutamittauksia otetaan koneohjatusti tarvittaessa louhintamääriä tarkastellessa sekä opinnäytetyön tarkasteluja varten tarvittavista apupisteistä sekä satunnaisesti myös rakennekerroksista ja leikkauspinoista.

5.1.1 Tietomallien teko ja hallinta työkohteessa

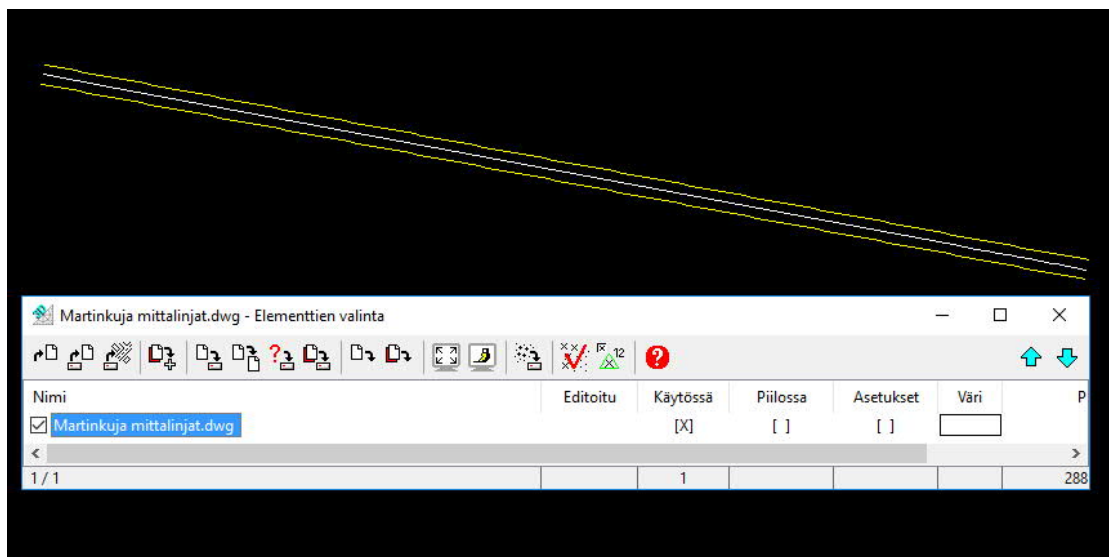
Koneohjausjärjestelmien käytön vuoksi on työmaalle järkevää toteuttaa urakoitsijan toimesta sopivat 3D-tietomallit, jos niitä ei tilaajan tai suunnittelijan puolesta ole tehty. Kyseisessä katusaneeraus kohteessa 3D-malleja ei tilaajan puolelta ollut saatavilla, vaan lähtötietoaineistona oli toimitettu suunnittelijan piirtämät tasokuvat kaduista DWG-tiedostomuodossa (Kuva 29).



Kuva 29. Katusaneerauksen lähtötietoaineiston havainnekuva rakennussuunnitelmasta. (Kola 2018)

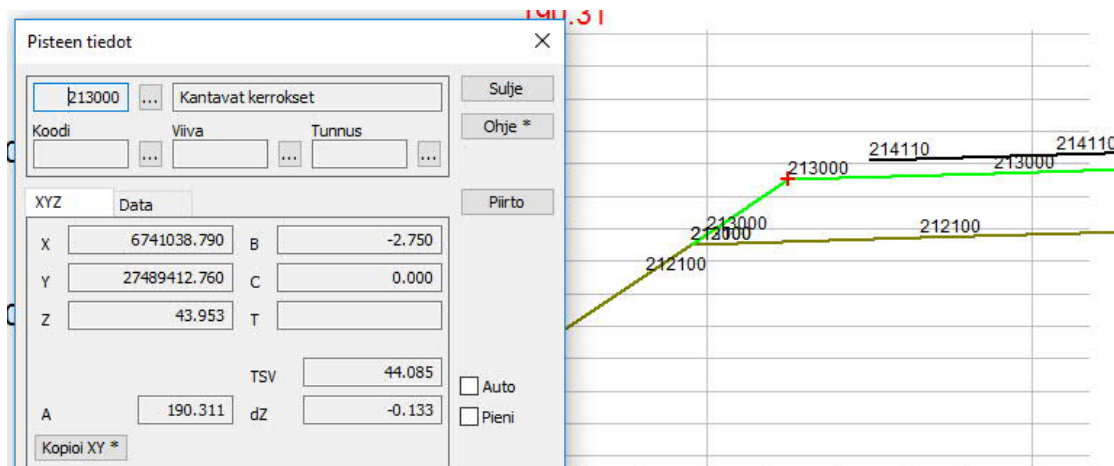
NCC Suomi Oy:n tarpeisiin koneohjausmallit tekevät yrityksen asiantuntija 3D-Win-ohjelmalla. 3D-Win-ohjelmiston vahvuuksia asiantuntijan mukaan ovat eri tiedostomuotojen käyttöä rajoittamaton avoimuus. Ohjelman tekijöillä on selkeä halu kehittää ohjelmiston toimintaa sekä tehdä nopeita ohjelmiston korjauksia ja päivityksiä, jos käytettävyydessä tai toiminnoissa ilmenee virheitä.

Kohteen mallien teossa lähtökohta oli se, että suunnittelijan luovuttamasta CAD-aineistossa löytyy DWG-kuva, joka sisältää rakennettavan tien vaaka- ja pystygeometrian eli 3D-taiteviivat (Kuva 30). Siirrettäessä tietoa 3D-Win-ohjelmaan DWG-kuvasta näkyvät mallissa tien peruslinjat korkeustietoineen. Näiden perusteella rakennekerrokset voidaan mallintamaan suunniteltujen tyyppi-poikkileikkausten perusteella.



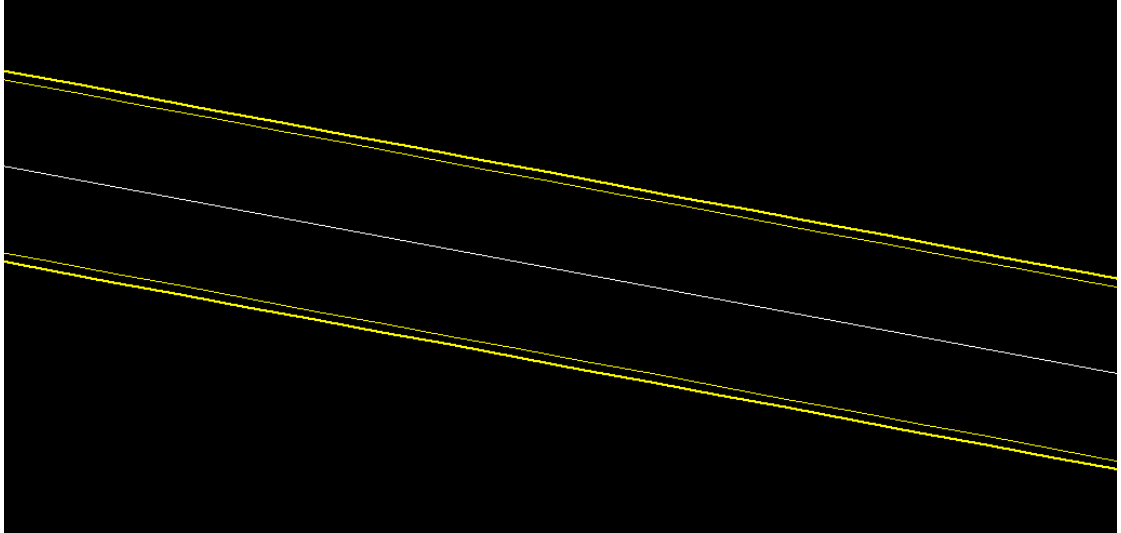
Kuva 30. Havainnekuva 3D-Win-ohjelmaan kuvautuvista katusaneerausmittalinjoista. (Kola 2018)

Katusaneerauskohteen mittalinjat ja tienreunaviivat täytyy editoida niin, että pintatunnukset, lajikoodit ja viivatyypit ovat Inframodel-formaatin mukaiset, jotta koneohjausjärjestelmät ja mittalaitteet tunnistavat mallinnetut tasot oikein (Kuva 31).



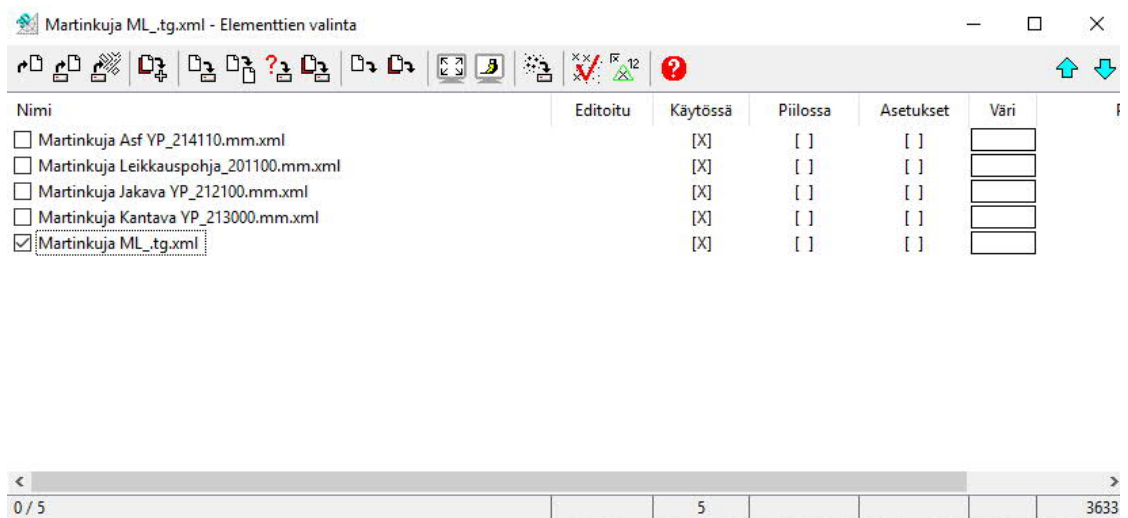
Kuva 31. Havainnekuva oikein koodatuista viivoista. (Kola 2018)

Ohjelmalla voidaan mallintaa tien rakennekerroksia useilla eri tyyeillä. Viivoja voidaan kopioida haluttuun suuntaan editoimalla taiteviivan tai viivan sisältämän pistejoukkojen tiedot ja sijainti suunnitelmia vastaaviksi (Kuva 32). Viivan kopiointin tai siirtämisen jälkeen uuteen asemaansa sen tiedot, pintatunnukset ja lajikoodit editoidaan Inframodel-formaatin mukaisiksi.



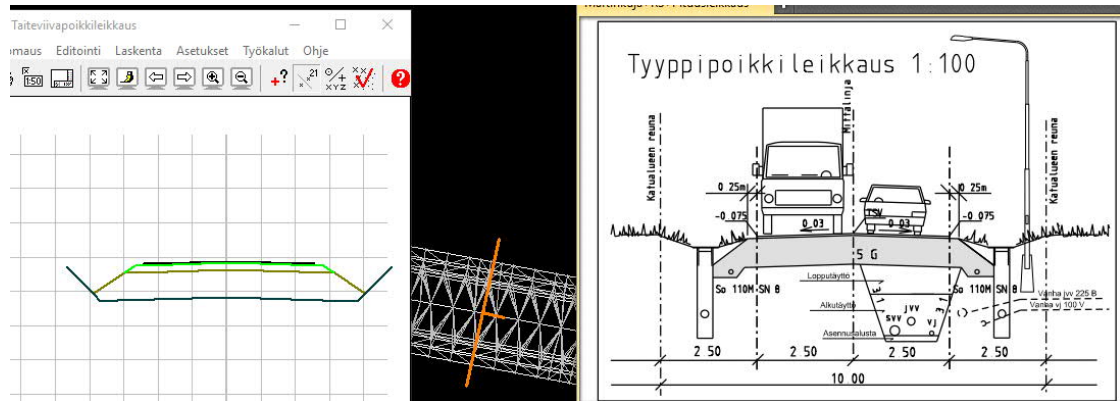
Kuva 32. Havainnekuva kopioidusta mittalinjaviivasta sisältäen uuden viivan varjon taustalla. (Kola 2018)

Editoinnin jälkeen viivat tallennetaan uudeksi elementiksi listalle. Elementtilistasta voidaan vektori- ja rasterikuvien tasoja tuoda näkyviin tai piilottaa halutun toiminnon mukaisesti (Kuva 33). Samaisesta listasta voidaan myös työkentelytasoa muuttaa valinnalla, johon muutokset ja editoinnit kohdistuvat.



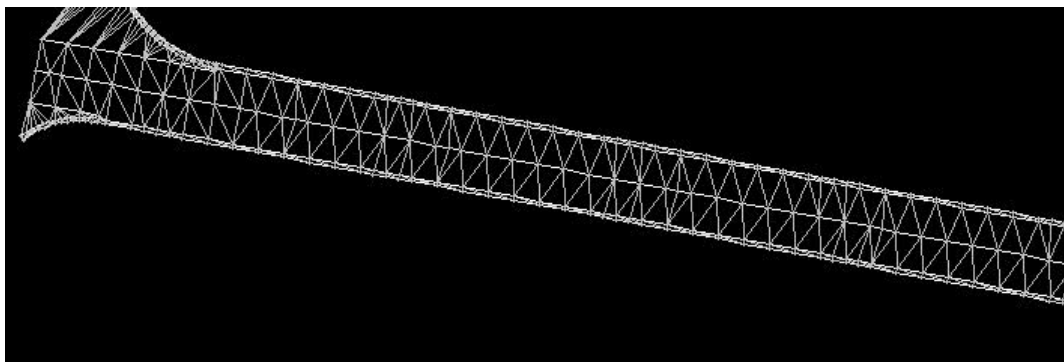
Kuva 33. Havainnekuva elementtilistasta. (Kola 2018)

Mallia tehdessä on syytä tarkastella uusia rakenteita aina taiteviivapoikkileikkaustarkastelun avulla, josta selviää, millainen rakenne on muodostettu (Kuva 34). Tällöin mahdolliset virheet ja poikkeavuudet on mahdollista havaita ja edelleen korjata.



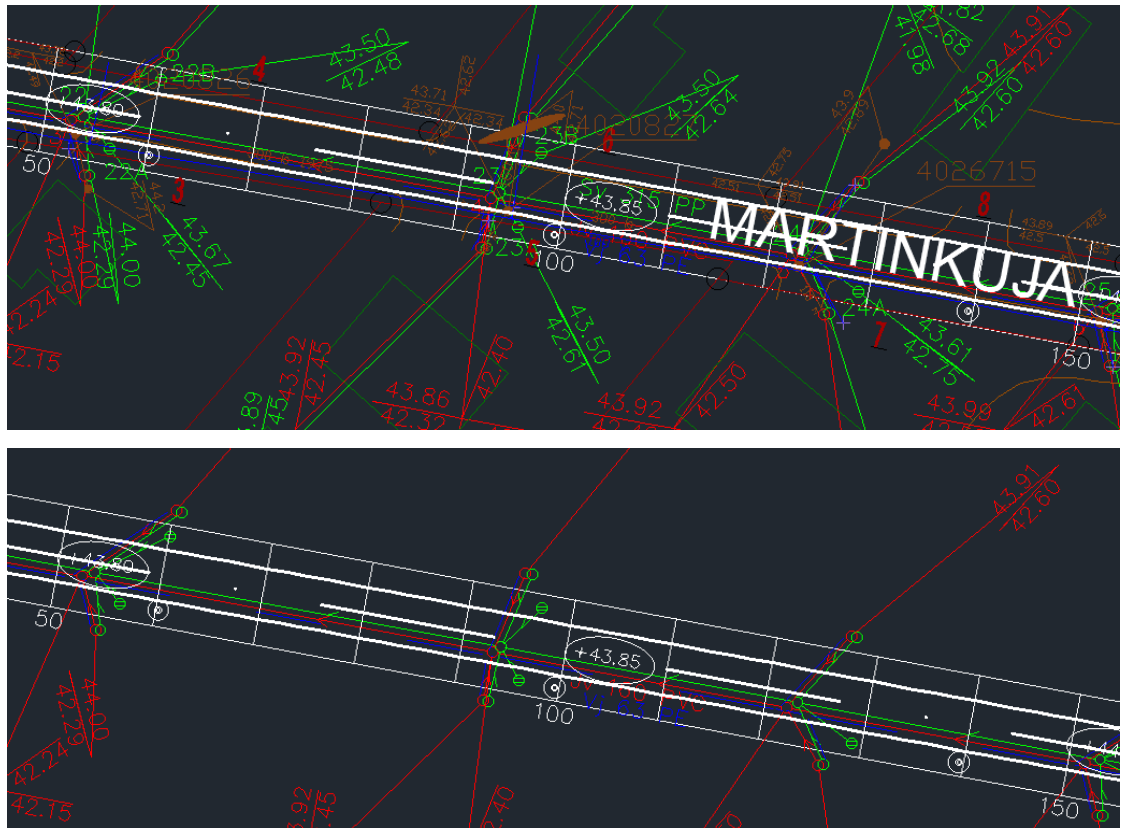
Kuva 34. Havainnekuva mallin taiteviivapoikkileikkauksesta ja katusaneerauksen tyypipoikkileikkaus. (Kola 2018)

Valmis rakennekerroksen pinta kolmioidaan maastomallin kolmiointi-työkalulla (Kuva 35). 3D-Win:ssä tämä tapahtuu automaattitoiminolla, jossa kolmiointi tapahtuu kolmen pisteen välille, joista muodostuu haluttu kolmio tasolle oikeassa korossa ja sijainnissa. Toiminnon toiminnan kannalta taiteviivalinjat täytty palastella koostumaan maksimissaan kahden metrin pituisista viivoista. Tällöin kolmiointi onnistuu eikä automaattitoiminto muodosta virheellisiä kolmioita. Tarvittaessa kolmioita voidaan myös kääntää, käännä kolmio hiirellä-toiminnolla. Kolmiointin onnistuminen voidaan tarkistaa korkeuskäyrä-toiminnolla, jonka avulla saadaan näkyviin koko pinnan korkeuskäyrät, jolloin tiheytivistä ja erkanevista viivoista voidaan päätellä mallin onnistuminen tai löytää mahdollisia virheitä.



Kuva 35. Havainnekuva kolmioidusta tasosta. (Kola 2018)

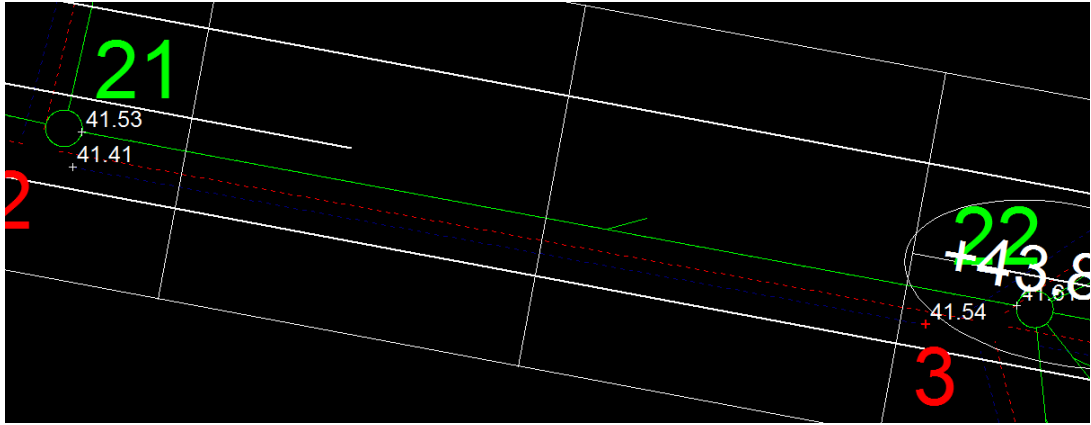
Putkilinjojen ja kaivojen mallintaminen onnistuu niin ikään 3D-Win ja AutoCAD-ohjelmaa apuna käyttäen. Suunnitelma-aineiston DWG-kuvasta voidaan AutoCAD-ohjelmassa poistaa tai sammuttaa tasot, jotka sisältävät malliin kuulumattomia turhia viivoja ja pisteitä (Kuva 36). Vasta tämän jälkeen on järkevää viedä tiedot 3D-Win-ohjelmaan.



Kuva 36. Vertailukuva alkuperäisen AutoCAD-version (ylhällä) ja muokatun (alhaalla) välillä. (Kola 2018)

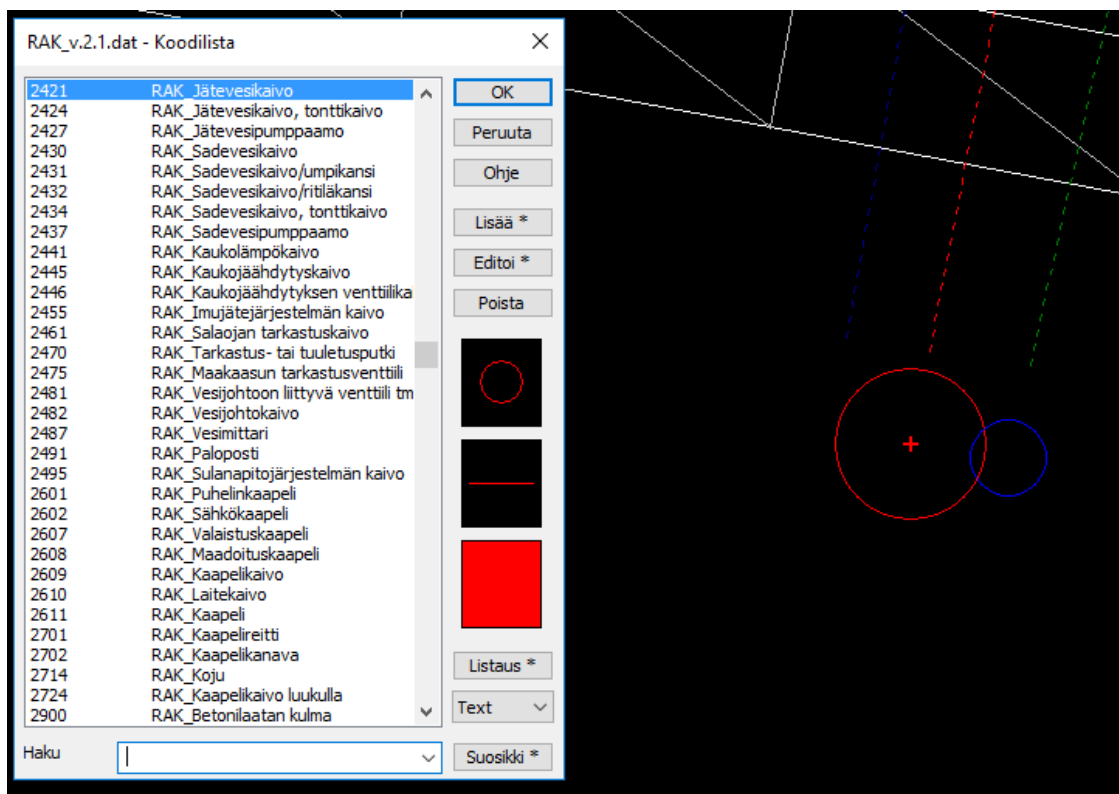
Putkilinjojen mallintaminen tehdään valitsemalla putkilinjaa kuvastavat viivat yksittäin DWG-kuvasta jätevesi-, hulevesi- ja vesijohtolinjat eritellen ja tallentamalla ne eri koodein omiksi elementeiksi, tai jos DWG-kuvassa olevat putket ovat oikeilla tasoilla, niin 3D-Win:ssä, koodit hakutapaa käyttäen voidaan tietyt putkilinjat hakea kerralla ja poimia pisteryhmä omaksi elementtistaksi.

Tässä kohteessa DWG-kuvan putkilinjat sisälsivät korkotiedot viivan molemmissa päissä (Kuva 37), joten niitä ei tarvinnut manuaalisesti muuttaa suunnitelman mukaisiksi. Tärkeää putkilinjoja tehdessä on muistaa koodata ne oikein InfraBIM-nimikkeistö mukaan, jotta ne piirtyvät ja näkyvät malleissa oikein.



Kuva 37. Havainnekuva viivasta DWG-kuvassa, jossa on korkotieto mukana. (Kola 2018)

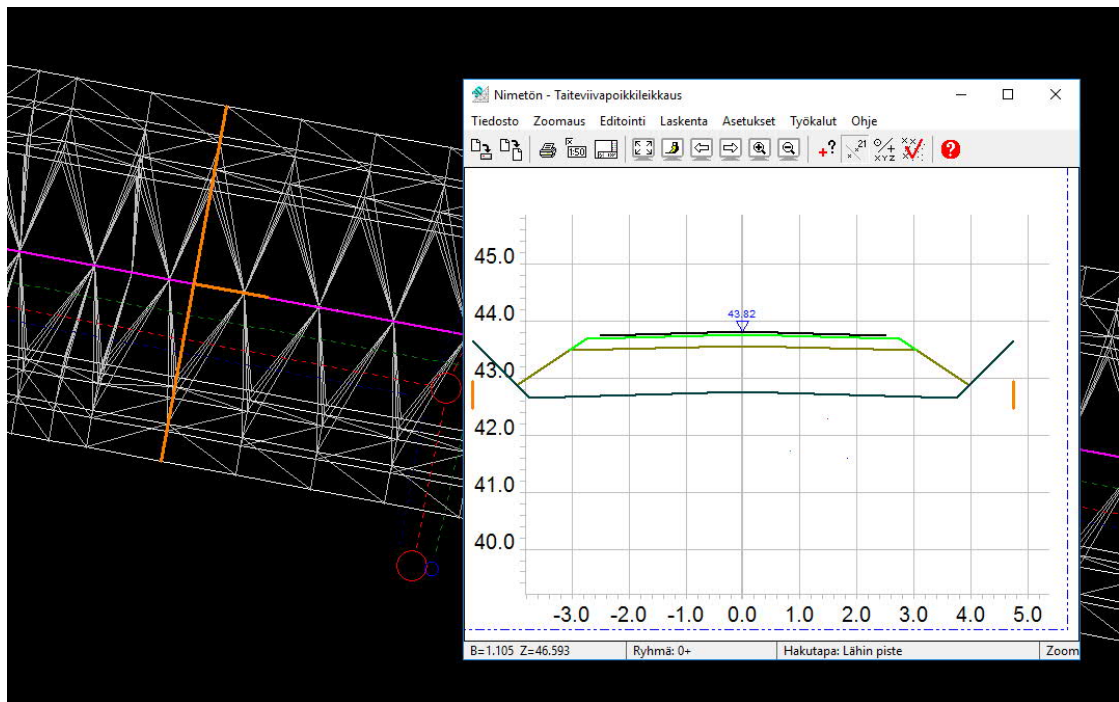
Kaivojen mallintaminen tehdään samalla tavalla kuin putkilinjojenkin. Kaivot valitaan ajetusta DWG-kuvapohjasta erilleen omaksi elementtitasoksi valitsemalla ne yksitellen ryhmäksi tai hakutapaa koodit käyttäen. Kaivoille löytyy koodilistojen perusteella myös omat tunnukset ja koodit kaikille eri kaivotyypeille koon, materiaalin ja käytön mukaan (Kuva 38).



Kuva 38. Havainnekuva RAK-koodilistasta. (Kola 2018)

Kun tien rakennekerrokset, putkilinjat ja kaivot on mallinnettu omiksi elementteiksi, ne voidaan laittaa yhtä aikaisesti näkyviin taiteviivapoikkileikkaustarkastelua varten ja sitä apuna käyttäen käydä paaluväli kerrallaan koko tien 3D-malli lävitse (Kuva 39). Linjat, rakennekerrokset ja kaivojen korot tarkistetaan

ja samalla varmistetaan, että ne ovat mallissa suunnitelman mukaisina paikallaan.



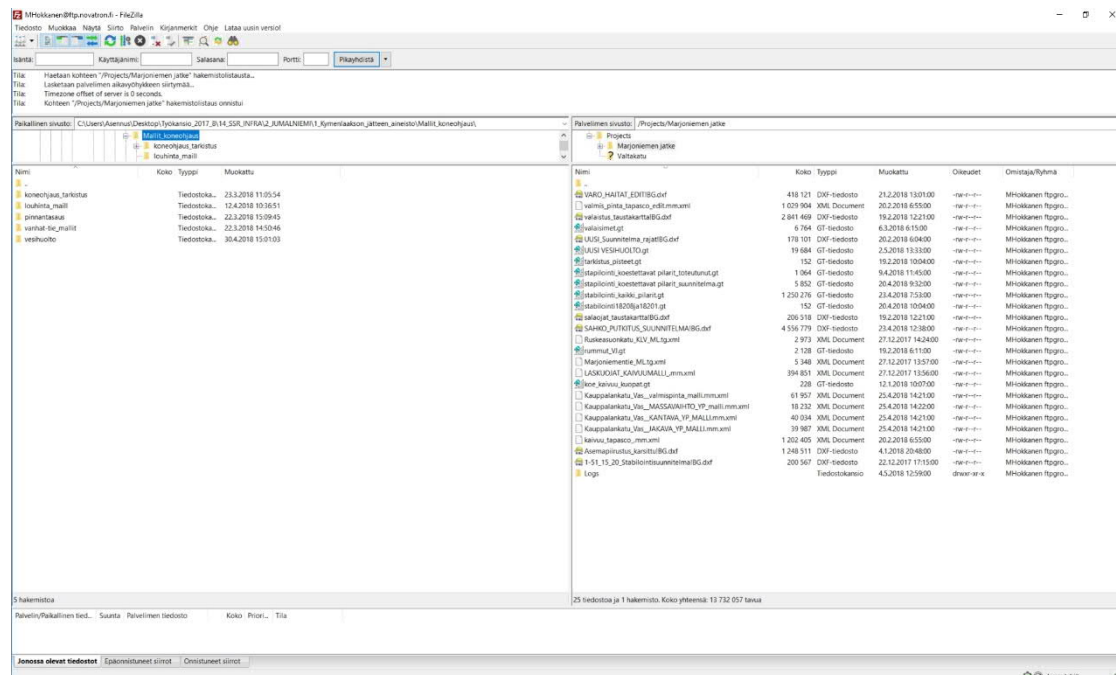
Kuva 39. Havainnekuva taiteviivapoikkileikkauksesta ja mallista. (Kola 2018)

Tarkistelun jälkeen elementit on syytä tallentaa, niin että kansiorakenne tiedostossa vastaa Inframodel-litterointia (Kuva 40). Leican koneohjausjärjestelmä vaatii, että tiedostopolun ensimmäinen kansio on joko IN tai OUT, sen mukaan ollaanko koneeseen tuomassa vai viemässä tiedostoja. Novatronin koneohjausjärjestelmä tunnistaa litteroidut kansiot asetettujen tunnusten mukaan, jolloin koneen näyttöruudusta voidaan valita haluttu taso ja ohjelma etsii hakemistosta oikean malliin luodun pinnan.

2010 Ylin yhdistelmäpinta	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio
2011 Vaylarakenteen alapinta	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio
2121 Jakava	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio
2131 Kantava	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio
3100 Vesihuollon järjestelmät	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio
3300 Sähkö, tele, valaistus	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio
9001 Geometrialinjat	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio
9002 Taustakartat	5.4.2018 10.23	Tiedostokansio

Kuva 40. Havainnekuva kansiorakenteesta. (Kola 2018)

Valmis 3D-malli voidaan tuoda koneohjausjärjestelmään käyttäen massamuistivälinettä kuten USB-tikkua. Tiedonsiirto toimii myös pilvipalveluiden tai vastaavien avulla. Novatron koneohjausjärjestelmän yhteyteen on otettu käyttöön FTP-palvelin, jonka avulla mittamies tai mallintekijä voi siirtää ajan tasalla olevat mallit työmaalle käytettäväksi (Kuva 41). Kuvassa vasemmalla omat tiedostot ja oikealla kaivinkoneeseen syötetyt tiedot. Opinnäytetyössä esitetty Infrakit-ohjelma sekä Leican vastaava järjestelmä ConX toimivat myös välityspalvelimena. Tietokantaan syötetty malli voidaan valita koskemaan kaikkia työmaalle työskenteleviä koneita tai vain tiettyä työnsuorittajaa. Samaisten palveluiden kautta koneohjauksella mitatut toteumatiedot sekä muut mitatut yksittäiset hajapisteet siirtyvät suunnittelijan, mittamiehen ja työnjohton käyttöön.



Kuva 41. Havainnekuva Novatron FTP-pilvipalvelusta. (Nissinen 2018)

5.1.2 Lähtöpisteet ja laitteiden kalibrointi

Saneerauskohteen lähtöpisteet tulivat työmaalle tilaajan toimittamina, koska suunnittelun pohjana on käytetty kaupungin ja vesilaitoksen mittauksia. Kaupungin lähtöpisteet tuotiin maastoon GPS-laitteistolla. GPS-laitteistoja varten maastoon sijoitettiin runkopisteiksi merkintänauloja, tässä kohteessa päällysteeseen, jonka jälkeen naulan kohdasta suoritettiin mittauksia GPS-laitteistolla (Kuva 42). Mittausten perusteella pisteelle saatiin x-, y- ja z-koordinaatit.



Kuva 42. Apupisteen mittaus GPS-laitteilla. (Kola 2018)

Runkopisteiden eli työmaan kiintopisteiden tarkka sijainti mitattiin myös takymetria apuna käyttäen. Maastoon sijoitettavien merkintänaulojen sijoittelussa oli pisteverkon toimivuuden varmistamiseksi mukana sekä kaupungin mittamies, että mittaustöitä kohteessa suorittava mittaustyönjohtaja. Näin lähtöpisteet saatiin sellaisiin paikkoihin, joista mittamiehen on myöhemmin ne helppo löytää ja orientoida hänen käyttämänsä takymetri luotettavasti käyttöön (Kuva 43).



Kuva 43. Katusaneerauksen mittauksiin toimitetut lähtöpisteet. (Kola 2018)

Takymetrin avulla mittamies muodostaa runkopisteillä koko työalueen kattavan kiintopisteverkon. Korkeuskiintopisteet merkataan työmaalla yleensä puihin tai muihin vastaaviin kiinteisiin, liikkumattomiin kohteisiin, joista ne on helppo tähystää (Kuva 44). Näitä on syytä myös ajoittain tarkistaa, jotta pisteet ovat vahingoittumattomia ja paikkansa pitäviä. Korkomerkkien avulla lopullisen valmiin pinnan taso saadaan takymetriohjauksella toimivalla katuhöylällä InfraRYL:n asettamien vaatimusten tasolle.



Kuva 44. Katuvalotolppaan liimattu korkeuskiintopisteenä toimiva korkomerkki. (Kola 2018)

Ennen kaivuutöiden aloitusta koneohjausjärjestelmien toimivuus on tarkistettava, jotta virheitä ei pääse syntymään. Koneohjausjärjestelmän sisäinen orientointi tapahtuu laitteiston asennusvaiheessa, yleensä laitetoimittajan asentajien toimesta. Sisäisessä orientoinnissa selvitetään koneen fyysiset mitat, käytettävien kauhojen mitat sekä muut tarvittavat tiedot oikeanlaisen paikannuksen saavuttamiseksi.

Työmaalla koneen sijainnin kalibrointi tapahtuu laitevalmistajien omien ohjeiden mukaisesti. Katusaneerauskohteessa Novatron-laitteiston sijainnin tarkistaminen koneen järjestelmästä suoritettiin siten, että varmistettiin näyttöpäätteestä käytössä olevat alkuasetukset, kuten koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä, valitun kauhan tiedot ja muut parametrit, jotta sijaintitiedot ovat järjestelmässä oikein. Tämän jälkeen koneen kauhan keskilinja asetetaan maastoon merkitylle tunnetulle pisteelle tai mittamiehen mittaamalle apupisteelle, jonka koordinaattitiedot ovat tiedossa (Kuva 45). Sijaintitietojen poiketessa, täytyy koneen asemointi tarkastella uudelleen ja selvittää mistä virheet voivat johtua. Koneen kauha voidaan kalibroida käyttäen luotilankaa apuna. Koneohjausjärjestelmien toimittajilla on omia etätukipalveluita, jonka kautta virhettä voidaan selvittää niissä tilanteissa, joissa virheen epäillään olevan inhimillisen virheen sijasta systemaattinen, järjestelmään liittyvä.



Kuva 45. Kauhan keskilinja kohdistettu tunnetulle pisteelle. (Kola 2018)

Opinnäytetyön katusaneerauskohteessa ei ollut käytössä omaa kiinteää tukiasemaa, joten koneohjausjärjestelmien valvonta oli tärkeässä asemassa. Periaate koneohjausta käytettäessä on se, että kone tulee käyttää tunnetulla pisteellä päivittäin, jotta koneohjausjärjestelmän sijainti varmistetaan työskennellessä ja mahdolliset virheet huomataan ajoissa. Tukiasemattomissa saneerauskohteissa ongelmia kaivinkoneen mittalaitteisiin aiheuttavat katvealueet. Esimerkiksi korkeat esteet, kuten puut ja rakennukset tai muut ilmakehän häiriöt voivat aiheuttaa virheitä ja suurta vaihtelua mittaustuloksiin. Tämän kaltaisissa tilanteissa, joiden vuoksi koneen mittauslaitteissa on virhettä, tehdyn työn valvontaa ja ohjausta on syytä seurata työnjohdon mittalaitteiden avulla tai käyttää mittamiestä useammin paikalla tarkistamassa rakenteita.

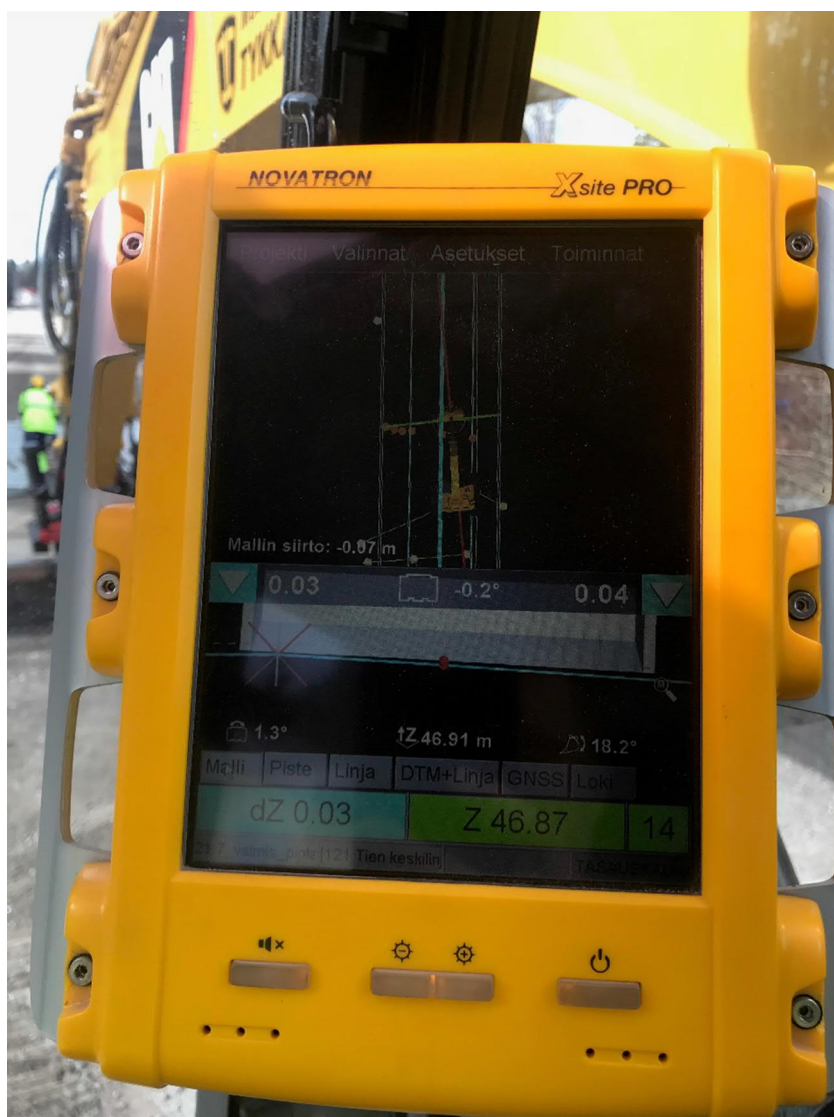
5.1.3 Mittauskalusto ja koneohjausjärjestelmä työmaalla

Myllykosken katusaneerauksen mittaukset suorittaa Ympäristösuunnittelu Oy. Yrityksen mittamiehen mittauslaitteisto koostuu Trimblen S6-takymetrasta ja sen yhteydessä toimivasta Trimblen TCU2-maastotallentimesta (Kuva 46). GPS-mittauskalustona on Trimblen R10 GPS-antenni sekä Trimblen TSC2-maastotallennin. Myllykosken kohteessa on yhtenä tavoitteena vähentää työmaan aikana tarvittavien kohteeseen paalutettujen merkkien määrää normaalisti, koska työmaalla on käytössä toteutukseen sopivat koneohjausmallit, mittalaitteet sekä koneohjausjärjestelmät.



Kuva 46. Trimblen TCU2- maastotallennin. (Kola 2018)

Koneohjausjärjestelmiä kohteessa oli käytössä neljässä kaivinkoneessa. Kaikki laitteet olivat Novatronin valmistamia. Malleina niin sanotuissa etukoneissa sekä takakoneissa oli Novatronin Xsite PRO 3D (Kuva 47). Koneiden Novatron 3D-laitteet ovat olleet käytössä muutamia kuukausia. Muutamalle konekuskille 3D-koneohjausjärjestelmien käyttö ja tietomallipohjainen rakentamisen on tuttu muutamista kohteista, mutta varsinaista saneeraustyötä ei oltu tehty 3D-malleja hyödyntäen aikaisemmin.



Kuva 47. Novatron 3D-laitteiston näyttöruutu. (Kola 2018)

Haastatteluissa suurimmiksi hyödyiksi aiemmin koneohjattuja kaivinkoneita kuljettaneet totesivat sen, että mittalaitteilla on mahdollista tarkastella tehtyjä rakenteita ja kaivantoja reaaliajassa nopeasti ilman tasolasereita tai mittamiestä. Ehdottomana hyötynä nähtiin myös se, että esimerkiksi kunnallistekniikan saneerauskohteessa kaivojen ja tonttiliitosten paikat ja suunnat olivat

näyttöpäätteeltä helppo nähdä, joka teki työn teosta sujuvampaa ja ennakoitavampaa. Takakoneiden mittalaitteiden avulla rakennekerrokset pystyttiin tekemään tarkemmin vaadittuun tasoon, jolloin materiaaleja säästy. Samalla huomattiin, että koneenkuljettaja pystyi suorittamaan kerrosten teon ilman rakennusmiehen apua ja poistumatta työkoneesta. Leikattavien maamassojen kannalta kaivuutason mallintaminen oli tärkeää, jotta ylikaivuulta ja ryöstöltä voidaan välttyä.

Työnjohdolla oli käytettävissä Leica Geosystems GPS60-antenni sekä siihen kytketty Leica CC80-maastotallennin. Satunnaisia mittauksia suoritettiin myös Novatron Oy:n Xsite PaD:llä, joka oli yhdistetty Geomax Zenith 35-antenniin.

Toteumamittauksiin soveltuvalla kalustolla tehtiin louhinnan kartoitusta sekä työnohjaus- ja laadunvalvontamittauksia rakennettavasta tiestä sekä toimituista lähtöpisteistä. Vähentyneiden mittapaalujen vuoksi mittalaitetta käytettiin varmistamaan kaivojen ja putkien suunniteltuja sijainteja.

5.2 Mittausten suorittaminen ja tulokset

Tien rakenteiden ja putkilinjojen saneerausta toimintatapojen, tarkkuuksien ja toleranssien osalta ohjailevat säädökset ja ohjeet, kuten InfraRYL eli infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Infra-alan yhdessä laatimat vaatimukset määrittävät työn lopputuloksen rakennustekniset laatuksiteerit. Tien eri rakennekerroksilla on laadittu omat toleranssit sekä laadunvalvontaa varten hyväksyttävät mittaustiheydet ja -tavat.

Kantavan rakennekerroksen yläpinnan korkeusaseman toleranssivaatimuksena katurakenteissa on keskiarvo +/-10 mm. Yksittäisen mittauksen poikkeama saa olla enintään +/-20 mm suunnitellusta. Mittaustiheys valmiista rakenteesta pitää olla vähintään yksi mittaus jokaiselta 20 metrin matkalta. Vaakasunnassa poikkeamat voivat olla hieman suuremmat, -0/+150 mm keskiarvo ja 20 metrin matkalla maksimiarvo +/-100 mm suunnitellusta. (Rakennustieto Oy 2017.)

Jakavalla kerroksella vastaavat lukemat ovat yläpinnan korkeusaseman suhteen toleranssi +/-30 mm keskiarvolle sekä yksittäiselle mittaukselle poikkeaman tulos 20 metrin matkalla +/-30mm. Vaakasuunnassa toleranssit ovat samat, kuin kantavalla kerroksella eli vaakasuunnassa -0/+150 mm sekä yksittäinen poikkeama 100 mm. (Rakennustieto Oy 2017.)

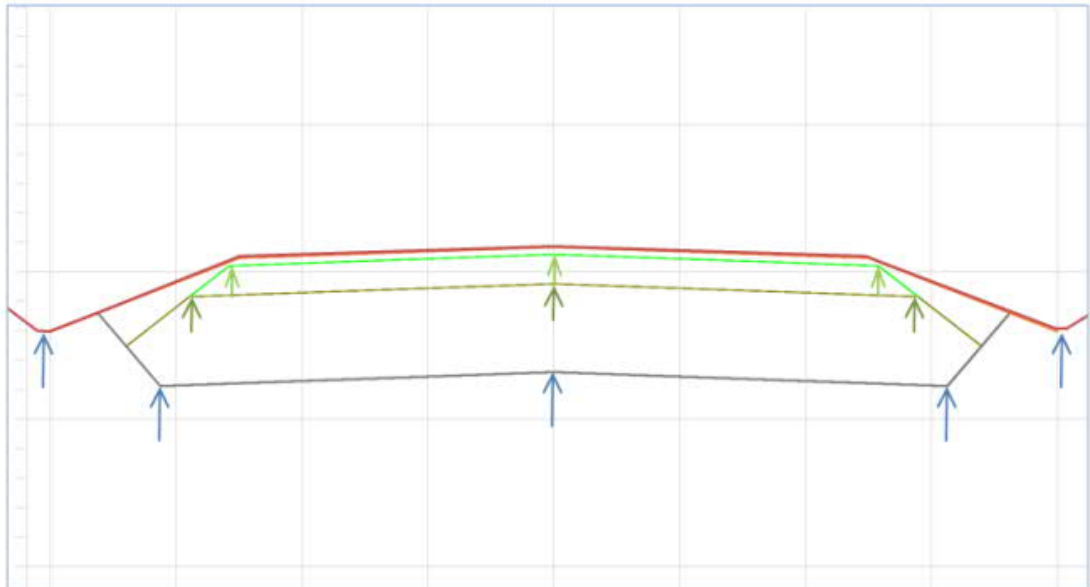
Saneerauskohteessa suoritettiin mittauksia opinnäytetyöhön liittyen tienrakennekerroksista vain katurakenteen jakavan kerroksen yläpinnalta, koska kaduille oli suunniteltu väliaikainen murskepinta talven ajaksi. Tällöin kantavan pinta tehdään oikeaan korkeusasemaan ja muotoon vasta talven jälkeen. Väliaikaisen kantavan rakenteen pintaa on kuitenkin syytä tarkkailla, jotta murskeiden määrät pysyvät suunniteltuina.

Putkistojen oikeanlaiselle asennukselle sekä sijainnille on InfraRYL-laatuvaatimuksissa omat kriteerit. Vesijohtoputken sijaintitoleranssi verrattuna suunniteltuun saa poiketa vaakatasossa ja korkeusasemaltaan +/- 100 mm. Putken sijainti määritetään jäte- ja hulevesiputkissa vesijuoksun kohdalta, mutta vesijohdoissa korkeusasema mitataan putken laesta. (Rakennustieto Oy 2017.)

Kaivojen asennuksessa toleransseja ja vaatimuksia on asetettu sekä kaivon pystysuuntaiselle poikkeamalle sekä sijaintipoikkeamalle. Pystysuora poikkeama saa olla enintään +/-10 mm, 1 metrin matkalla. Sijaintipoikkeama suunnitellusta saa olla reunakiven vieressä 100 mm ja muualla 200 mm. (Rakennustieto Oy 2017.)

Opinnäytetyön katusaneerauskohteessa tarkemittauksen putkien ja kaivojen sijaintien osalta suoritti tilaajan mittamies, jonka mittaukset siirtyivät reaaliaikaisesti vesihuoltolinjojen tietoja keräävään verkkoselain-pohjaiseen palveluun. Kyseisen palvelun käyttöoikeuden omistaa Myllykosken alueella vesihuoltolinjojen omistaja eli tässä tapauksessa Kymen Vesi Oy. Joissakin Suomen kaupungeissa kyseiset tiedot ovat myös julkisia. Erytystä huolta julkisista johtotiedoista syntyi vesityökorttikoulutuksessa, jossa aiheetta sivuttiin mahdollisten väärinkäytösten kannalta. (Heinilä 2018.)

Opinnäytetyön tutkimukseen liittyviä mittauksia suoritettiin sekä koneohjatulla laitteistolla, että työnjohdon käytössä olevilla mittalaitteilla. Varsinaiset tilaajalle toimitettavat tarkemittaukset suoritetaan kuitenkin takymetrilla, koska työ-koneella suoritettu mittaus ei ole virallinen tarkemittaus. Koneohjattuiden toteumatietojen mittauksissa noudatettiin YIV2015-ohjeistuksista löytyvää työko-neautomaatiojärjestelmillä tehtävien toteumamittausten suoritusohjetta. Suoritusohjeissa koneohjattujen mittausten tekeminen ohjeistetaan suoritta-maan kaikista rakenteiden taitteista InfraRYL:n määrittämällä tiheydellä (Kuva 48). Katusaneerauskohteessa toteumamittauksia suoritettiin jakavan kerrok-sen yläpinnalta sekä kontrolli mittauksia runkopisteiltä.



Kuva 48. Havainnekuva taiteviivoista, joista tarkkeita ohjeistetaan ottamaan. (BuildingSmart Finland 2017)

Työnjohdon käytössä olevien GPS-mittalaitteiden tarkkuutta selvitettiin tunnettuja pisteitä hyväksi käyttäen. Mittalaite asetettiin kohtisuoraan runkopisteenä toimivan naulan päälle. Pisteestä suoritettiin keskiarvomittaus, 25 mittauksen otannalla (Kuva 49). Mittalaitteilla mitattujen pisteiden sijaintipoikkeavuudet, verrattuna tilaajan toimittamiin, on esitetty opinnäytetyön liitteenä olevissa Excel-taulukoissa.



Kuva 49. GPS-mittalaitteella mitaamien merkintänaulasta. (Kola 2018)

Mittauksia suoritettiin työnjohdon mittalaitteilla 26 kappaletta sekä koneohjattulla kaivinkoneella tulostoituja mittauksia yhdeksän kappaletta. Suoritetuista mittauksista suurimmat poikkeavuudet olivat noin 40mm. Työnjohdon käytettävissä olevista mittauksista 19 kappaletta suoritettiin Leican mittalaittekokoonpanolla ja seitsemän kappaletta Novatronin Xsite PAD ja siihen liitettyllä Geomaxin Zenith 35- antennilla. Työnjohdon mittalaitteilla mitattuja tuloksia verrattiin keskenään sekä koneohjattujen mitausten kanssa (Kuva 50).

Tilaajan toimittamat	x	y	z
AP1	6740987.166	27489173.921	43.993
Mitatut Leica			
AP1	6740987.151	27489173.917	43.977
AP1	6740987.153	27489173.915	43.979
Mitatut Xsite			
AP1	6740987.175	27489173.933	43.979
AP1	6740987.173	27489173.929	43.981
Mitatut Novatron			
AP1	6740987.163	27489173.918	43.989
AP1	6740987.159	27489173.925	43.982
Eroavaisuudet			
Leica			
	0,015	0,004	0,016
	0,013	0,006	0,014
Xsite			
	-0,009	-0,012	0,014
	-0,007	-0,012	0,012
Novatron			
koneohjaus	0,003	0,003	0,004
	0,007	-0,004	0,011

Kuva 50. Mittaustulosten vertailua tilaajan toimittamiin pistetietoihin. (Kola 2018)

5.3 Mittausten tulosten pohdinta ja johtopäätökset

Mittaustuloksista voidaan päätellä, että satelliittipaikannukseen liittyvät mittaukset ovat syytä varmistaa aina takymetri-laitteistolla. GPS-laitteilla tehdyt mittaukset osoittavat kuitenkin, että laitteet ovat tarkkuuksiltaan vaadittavalla tasolla, jotta katusaneerauksen laadunvalvontaa ja työtä ohjaavia mittauksia on mahdollista tehdä. Koneohjausjärjestelmällä suoritettavat mittaukset pysyivät annettujen toleranssien sisällä, joten työkoneiden mittalaitteita voidaan käyttää toteumamittausten suorittamiseen. Koneohjattujen ja työnjohdon mittalaitteilla tehtyjen vertailumittausten perusteella laitteet toimivat hyvin pitkälti samantyyppisellä tarkkuudella. Mitään järjestelmällistä poikkeavuutta ei mittauksista löytenyt, vaan tulosten heilahtelut johtuivat todennäköisesti hetkittäisistä satelliittisignaalin peilauksista ja katveista.

GPS-mittauksessa katvealueet aiheuttavat ongelmaa tilanteissa, joissa koneohjausjärjestelmää käyttävä työkone on liikkeessä. Tällöin koneen järjestelmän korkeusasema saattaa poiketa +/- 80 mm todellisesta korosta. Sijainti poikkeamia syntyi, kun mittauksia suoritettiin korkeiden puiden läheisyydessä.

Työnjohdon käytössä olleilla mittalaitteilla toteumamittausten kannalta erityisen tärkeää on varmistaa, että mittalaite on asetettu mitattavaan kohteeseen oikeaoppisesti, jotta virheitä ei pääse syntymään. Käytettävissä olevien satelliittien määrällä huomattiin olevan merkittävä vaikutus tulosten tarkkuuteen. Koneohjauksen avulla suoritettavan työn kannalta ensisijaisen tärkeää on tietomallin paikkansapitävyys ja oikein mallinnetut tasot ja rakenteet. Toteumamittauksissa mittauspisteet on valikoitava ohjeistuksen mukaisesti, jotta saadut tulokset ovat kelvollisia.

Ammattitaitoinen ja koneohjauslaitteisiin perehtynyt mittamies tarvitaan ehdottomasti työmaalle, jotta mittalaitteiden virheet ja ongelmatilanteet pystytään selvittämään. Työmaalle asennettavan kiinteä tukiaseman käyttö on tarpeellista, kun työ vaatii koneohjaukselta erityistä tarkkuutta. Verkkopalveluiden kautta saatava korjausdata on altis häiriötekijöille, minkä vuoksi koneohjauksen sijainti- ja korkotiedot saattavat muuttua huomattavasti, vaikka työkone olisi paikallaan.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä koneohjausjärjestelmiin, mittalaitteisiin sekä tietomallinnukseen. Tavoitteena oli saada tietoa, jonka avulla yritys voi suunnitella tulevia digitaalisia työympäristöjä. Tässä onnistuttiin tilaajan mielestä hyvin. Opinnäytetyön teoriaosassa käsiteltiin aihepiiriä kokonaisvaltaisesti. Työmaaympäristöön liittyvä käyttöönoton läpileikkaus on hyödyllinen yrityksen näkökannasta. Tilaajan kanssa sovittiin, että jatkossa opinnäytetyötä hyödynnetään tulevissa tietomallinnuksen ja koneohjauksen hallinnointitehtävissä. Tavoitteena tilaajalla on saavuttaa riippumattomuus ulkopuolelta hankittaviin palveluihin liittyen tietomallintamiseen ja koneohjausjärjestelmiin. Koneohjattuja laitteistoja on suunniteltu hankittavaksi tilaajan organisaatiossa muutamisiin työkoneisiin. Opinnäytetyössä tarkasteltuja mittalaitteita on päätetty hankkia lisää ja hyödyntää muun muassa siltarakentamiskohteissa. Infrakitohjelma on päätetty ottaa käyttöön NCC Suomi Oy:n muutamissa suurissa infrakohteissa.

Haastattelututkimuksessa syntyi mielenkiintoisia keskusteluja liittyen laitteiden toimivuuteen sekä eri valmistajien tuotteiden eroavaisuuksia koskeviin tilanteisiin työmaalla. Inframallinnuspäivillä esittäytyneet luennoitsijat kokivat infra-rakentamisen tietomallintamisen olevan murrosvaiheessa ja uskoivat yhteisten ohjeiden ja sääntöjen vakioivan tilannetta.

Työmaamittausten tulosten anti oli odotuksen mukainen, sillä mittalaitteilla on saavutettu hyviä tuloksia myös muiden organisaatioiden puolella. Mahdollisten mittavirheiden minimoimiseksi on mittaustöiden suorittajan oltava tähän pätevä henkilö. Koneohjausjärjestelmiä käytettäessä on valvontaan syytä paneutua, koska koneiden käyttöönottojen yhteydessä huomattiin systemaattisia virheitä, joiden todellisia syitä ei saatu selvitettyä edes laitetoimittajien etätukien avulla. Usein tällaisissa tilanteissa ratkaisuna oli muuttaa parametrejä, jotta sijaintitiedot vastaisivat mahdollisimman hyvin annettuja lähtötietoja. Tämä on ongelmallista, sillä tällöin satelliittipaikannuksen avulla toimivaan koneohjausjärjestelmään on koneenkäyttäjän yhä useammin vaikea luottaa. Samalla suurien määrävirheiden ja rakenteiden sijainnin tai korkeusasemien virheiden todennäköisyys kasvaa huomattavasti. Koneohjausjärjestelmän anturien ja vastaanottimien fyysistä kuntoa ja teknistä toimintaa täytyy tarkastella vähintään viikoittain, jotta piilovirheitä mittalaitteisiin ei pääse syntymään.

LÄHTEET

Ala-Heikkilä, M. 2017. 3D-koneohjausjärjestelmää käytävällä kaivinkonekuskilla on koko ajan tieto mitä pitää tehdä. Aamulehti. Verkkoartikkeli. Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/uutiset/onneksi-lahdin-tahan-jukka-terva-haudalta-meni-tyopaikka-90-luvun-lamassa-nyt-novatron-on-kasvanut-70-tyontekijan-vientiyritykseksi-200438183/> [viitattu 2.4.2018].

BuildingSMART Finland. 2016. InfraBIM-nimikkeistö v.1.6, PDF-dokumentti. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/InfraBIM_nimikkeisto_v1_6.pdf [viitattu 24.3.2018].

BuildingSMART Finland. 2017. Inframodel4 käyttöön. Verkkoartikkeli. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/inframodel4-kayttoon-1-2-2018/> [viitattu 24.3.2018].

BuildingSMART Finland. 2017. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Osa 12: Inframallin hyödyntäminen suunnittelun eri vaiheissa ja rakentamisessa. Versio. 1.0, PDF-dokumentti. 14.10.2015. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmenetelmä.pdf [viitattu 2.4.2018].

DCS Finland Oy. s.a. Infrakit WIKI-sivusto. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi> [viitattu 14.4.2018].

Engcon Positioning System. 2017. Maailmanuutuus - Engconiin automaattinen kallistustoiminto Leican ohjaamana. Verkkoaineisto. Saatavissa: <http://engcon.com/fi/uutiset-ja-lehdisto/uutiset/2017/2017-05-02-maailmanuutuus---engconiin-automattinen-kallistustoiminto-leican-ohjaamana.html> [viitattu 30.3.2018].

Geotrim Oy. s.a. Trimnet VRS. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://www.geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs> [viitattu 20.3.2018].

GPS: The Global Positioning System s.a. Space Segment. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/> [viitattu 20.3.2018].

Heinilä, S. 2018. Vesityökorttikoulutus. Suomen Puhdasvesi yhtiöt.

Hexagon Geosystems. s.a. Tutustu maailman suurimpaan referenssiasemien verkostoon. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://hxgnsmartnet.com/fi-fi/why-hxgn-smartnet> [viitattu 22.3.2018].

Inframallinnuspäivät. 2018. Luennot ja esitykset. Novatron Oy.

Komatsu. s.a. Autonomous Haul System (AHS). Verkkoaineisto. Saatavissa: <http://www.komatsu.com.au/AboutKomatsu/Technology/Pages/AHS.aspx> [viitattu 24.4.2018].

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uudistettu painos. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Leica Geosystems. s.a. Leica ConX – Pilviratkaisu ja verkkoliittymä tietojen jakamista ja tarkastelua varten. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://leica-geosystems.com/fi-fi/services-and-support/workflow-services/leica-conx> [viitattu 25.3.2018].

Leica Geosystems. s.a. Leica iCON GPS 60 -vastaanotin, Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/construction-tps-and-gnss/smart-antennas/leica-icon-gps-60> [viitattu 23.4.2018].

Leica Geosystems. s.a. Leica iCON Office – Datanvalmisteluohjelmisto. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/machine-control-systems/software/leica-icon-office> [viitattu 26.3.2018].

Leica Geosystems. s.a. MC Solutions brochure. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/brochures/leica_mc_solution_bro.ashx?la=fi-fi [viitattu 24.4.2018].

Leica Geosystems. s.a. Rakennusalan takymetrit & GNSS. Verkkoaineisto. Saatavissa: <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/construction-tps-and-gnss/> [viitattu. 26.3.2018].

Maanmittauslaitos. 2017. FinnRef. Verkkoaineisto. Saatavissa: www.maanmittauslaitos.fi/node/1881 [viitattu 22.3.2018].

Novatron Oy. s.a. Mitä on koneohjaus. Verkkoaineisto. Saatavissa: <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/> [viitattu 24.4.2018].

Novatron Oy. 2017. Tampereen ratikkatyömaa – Enemmän mallia, vähemmän tikkua. Blogi. Saatavissa: <http://novatron.fi/koneohjaus-tampereen-ratikkatyomaalla/> [viitattu 24.3.2018].

Novatron Oy. s.a. Xsite® PAD. Verkkoaineisto. Saatavissa: <http://novatron.fi/koneohjaus/tyomaanhallinta/xsite-pad/> [viitattu 26.3.2018].

Oikkonen, H. 2018. Kustannusinsinööri. Sähköpostikeskustelu. 2.4.-1.5.2018. NCC Suomi Oy.

Rakennustieto Oy. 2017. InfraRYL 2017/1. Tekniset vaatimukset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/infraryl/extra/teknisetvaatimukset.html.stx> [viitattu 14.4.2018].

Suomen GPS-Mittaus Oy. s.a. Koneohjaus. Verkkoaineisto. Saatavissa: <http://sgmconsulting.fi/palvelut/mittaukset/koneohjaus/> [viitattu 24.4.2018].

Topgeo Oy. s.a. FC-5000. Verkkoaineisto. Saatavissa: <http://www.topgeo.fi/tuotteet/maastotietokoneet/fc-5000> [viitattu 26.3.2018].

Toppi, P. 2018. 3D-asiantuntija. Tapaaminen. 6.3.2018. Leica Geosystems.

Trimble. 2016. Kenai Rugged Tablet Computer. Verkkoaineisto. Saatavissa: <http://www.trimble.com/Mobile-Computing/Kenai-Product-Page.aspx> [viitattu 26.3.2018].

3D-Koppi Oy. s.a. 3D-Koneohjaus. Verkkoaineisto. Saatavissa:
<http://www.3dkoppi.fi/3d-koneohjaus/> [viitattu 24.4.2018].

3D-System Oy. s.a. 3D-Win, Windows-ohjelmisto mitatun tiedon jatkokäsittelyyn. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win> [viitattu 27.3.2018].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Palonen, T. 2005. Kolmiulotteinen koordinaatisto. Visualisointi reaaliaika-3D-sovelluksessa. Saatavissa: <http://student.labranet.jamk.fi/~palti/3d/opinnayte.pdf> [viitattu 22.5.2018].

Kuva 2. Laurila, P. 2012. Absoluuttisen paikannuksen periaatekuva. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.

Kuva 3. Laurila, P. 2012. Havainnekuva differentiaalinen mittaus. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.

Kuva 4. Laurila, P. 2012. Suhteellisen mittauksen periaatekuva. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.

Kuva 5. Laurila, P. 2012. GPS-järjestelmän satelliitit ja ratatasot. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.

Kuva 6. IG InsideGNSS. s.a. GNSS- toimintaperiaate. Saatavissa: <http://www.insidegnss.com/node/4087> [viitattu 24.4.2018].

Kuva 7. Maanmittauslaitos 2017. FinnRef-verkkoon kuuluvat GNSS-asetat vuonna 2017. Saatavissa: <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tutkimustoiminta/muut-tutkimus-ja-mittausasetat/finnref-gnss-asetat> [viitattu 11.4.2018].

Kuva 8. Ardupilot. s.a. Havainnekuva RTK-mittauksesta. Saatavissa: <http://ardupilot.org/rover/docs/common-gps-how-it-works.html> [viitattu 11.4.2018].

Kuva 9. Trimble. s.a. VRS-järjestelmän toimintaperiaate, Saatavissa: <https://www.gisresources.com/trimble-launches-vrs-now-service-in-new-mexico/> [viitattu 5.4.2018].

Kuva 10. Hexagon Geosystems s.a. Smartnetin toimintaperiaate. Saatavissa: https://www.smartnetna.com/hiw03_nrtk.cfm [viitattu 21.4.2018].

Kuva 11. BuildingSMART Finland s.a. Infran tietomallituksen peruspilarit. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/> [viitattu 22.3.2018].

Kuva 12. BuildingSMART Finland 2015. Yleiset tehtävät tietomallihankkeessa. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf [viitattu 22.3.2018].

Kuva 13. BuildingSMART Finland 2018. Havainnekuva InfraBIM-nimikkeistöistä ja numeroinnista. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmentelmä.pdf [viitattu 4.4.2018].

Kuva 14. 3D-System Oy s.a. 3D-Win perusohjelman laajennukset. Saatavissa: http://www.3d-system.fi/ruubikcms/download.php?f=3d-win_suomi.pdf [viitattu 11.4.2018].

Kuva 15. Kola, V. 2018. Leica iCON office- ohjelman aloitusnäkyä.

Kuva 16. Leica Geosystems 2017. Havainnekuva Leica ConX-työympäristöstä. Saatavissa: <https://leica-geosystems.com/fi-fi/services-and-support/workflow-services/leica-conx> [viitattu 2.4.2018].

Kuva 17. Kola, V. 2018. Leica ConX- pilvipalvelun toimintapalkki.

Kuva 18. DCS Finland Oy s.a. Infrakit-palvelun toimintaympäristö. Saatavissa: <https://infrakit.com/fi/lue-lisaa/> [viitattu 16.4.2018].

Kuva 19. Kola, V. 2018. Infrakit karttanäkymä verkkoselaimessa.

Kuva 20. Kola, V. 2018. Trimble S6-robottikymetri.

- Kuva 21. Toppi, P. 2018. Havainnekuva robottitakyetrin käytöstä koneohjausta ohjaavana.
- Kuva 22. Kola, V. 2018. Leica GPS60-vastaanotin sekä Leica CC80-maastotabletti.
- Kuva 23. Olkkonen, H. 2018. Novatron Xsite PAD.
- Kuva 24. Trimble 2016. Trimble Kenai-maastotabletti. Saatavissa: <http://www.trimble.com/Mobile-Computing/Kenai-Product-Page.aspx> [viitattu 15.4.2018]
- Kuva 25. Topcon 2016. Topcon FC-5000 maastotabletti. Saatavissa: <https://www.topconpositioning.com/field-controllers/touchscreen-field-controllers/fc-5000> [viitattu 11.4.2018].
- Kuva 26. Leica Geosystems 2017. Leica iCON iXe1- 1D-koneohjausjärjestelmän näyttöruutu. Saatavissa: <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/machine-control-systems/excavator/leica-icon-ixe1---1d-system> [viitattu 11.4.2018].
- Kuva 27. Novatron Oy s.a. Novatron XSITE PRO 2D-järjestelmän näyttöruutu. Saatavissa: <http://novatron.fi/koneohjaus/kaivinkoneisiin/xsite-pro-2d/> [12.4.2018]
- Kuva 28. Novatron Oy s.a. 3D-koneohjausjärjestelmän osat. Saatavissa: <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/> [viitattu 29.3.2018].
- Kuva 29. Kola, V. 2018. Katusaneerauksen lähtötietoaineiston havainnekuva rakennussuunnitelmasta.
- Kuva 30. Kola, V. 2018. Havainnekuva 3D-Win-ohjelmaan kuvautuvista katusaneerauksen mittalinjoista.
- Kuva 31. Kola, V. 2018. Havainnekuva oikein koodatuista viivoista.
- Kuva 32. Kola, V. 2018. Havainnekuva kopioidusta mittalinjaviivasta sisältäen uuden viivan varjon taustalla.
- Kuva 33. Kola, V. 2018. Havainnekuva elementtilistasta.
- Kuva 34. Kola, V. 2018. Havainnekuva mallin taiteviivapoikkileikkauksesta ja katusaneerauksen tyyppi-poikkileikkaus.
- Kuva 35. Kola, V. 2018. Havainnekuva kolmioidusta tasosta.
- Kuva 36. Kola, V. 2018. Vertailukuva alkuperäisen AutoCAD-version (ylhäällä) ja muokatun (alhaalla) välillä.
- Kuva 37. Kola, V. 2018. Havainnekuva viivasta DWG-kuvassa, jossa on korkotieto mukana.
- Kuva 38. Kola, V. 2018. Havainnekuva RAK-koodilistasta.
- Kuva 39. Kola, V. 2018. Havainnekuva taiteviivapoikkileikkauksesta ja mallista.
- Kuva 40. Kola, V. 2018. Havainnekuva kansiorakenteesta.
- Kuva 41. Nissinen, N. 2018. Havainnekuva Novatron FTP-pilvipalvelusta.
- Kuva 42. Kola, V. 2018. Apupisteen mittaus GPS-laitteilla.
- Kuva 43. Kola, V. 2018. Katusaneerauksen mittauksiin toimitetut lähtöpisteet.
- Kuva 44. Kola, V. 2018. Katuvalotolppaan liimattu korkeuskiintopisteenä toimiva korkomerkki.
- Kuva 45. Kola, V. 2018. Kauhan keskilinja kohdistettu tunnetulle pisteelle.
- Kuva 46. Kola, V. 2018. Trimblen TCU2- maastotallennin.

Kuva 47. Kola, V. 2018. Novatron 3D-laitteiston näyttöruutu.

Kuva 48. BuildingSMART Finland 2017. Havainnekuva taiteviivoista, joista tarkkeita ohjeistetaan ottamaan. YIV2015- mallinnusohjeet. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmentelmä.pdf. [viitattu 15.4.2018].

Kuva 49. Kola, V. 2018. GPS-mittalaitteella mittaamien merkintänaulasta.

Kuva 50. Kola, V. 2018. Mittaustulosten vertailua tilaajan toimittamiin pistetietoihin.

Mittalaitteilla suoritettujen mittausten tuloksia				
Mittalaite	Päivämäärä		AP= annettu piste	
Leica GPS60	11.4.2018		,=. koordinaatti erotuksissa	
Leica CC80-maastotalennin	SAT= satelliittien määrä		Yksikkö= 1,000m	
Piste				
E= Esankuja				
Tilaajan toimittamat	x	y	z	SAT
AP E1	6740987.166	27489173.921	43.993	
AP E2	6740957.075	27489229.216	43.700	
AP E3	6740941.445	27489478.423	44.554	
Mitatut				
AP E1	6740987.151	27489173.917	43.977	13
AP E2	6740957.073	27489229.222	43.681	12
AP E3	6740941.439	27489478.430	44.527	9
Eroavaisuudet				
AP E1	0,015	0,004	0,016	
AP E2	0,002	-0,006	0,019	
AP E3	0,006	-0,007	0,027	
M=Martinkuja				
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP M1	6741076.261	27489221.864	43.947	
AP M2	6741016.309	27489498.864	44.890	
Mitatut				
AP M1	6741076.268	27489221.886	43.930	9
AP M2	6741016.287	27489498.865	44.895	14
Eroavaisuudet				
AP M1	-0,007	-0,022	0,017	
AP M2	0,022	-0,001	-0,005	
KY=Kynttiläkuja				
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP KY1	6741149.105	27489259.771	44.119	
AP KY2	6741109.678	27489474.036	44.928	
Mitatut				
AP KY1	6741149.114	27489259.777	44.112	13
AP KY2	6741109.663	27489474.057	44.912	8
Eroavaisuudet				
AP KY1	-0,009	-0,006	0,007	
AP KY2	0,015	-0,021	0,016	
KA=Kaarlontie				
Tilaajan toimittamat				
AP KA1	6740441.352	27488596.264	43.322	
AP KA2	6740805.127	27488811.821	42.771	
Mitatut				
AP KA1	6740441.337	27488596.256	43.283	8
AP KA2	6740805.127	27488811.822	42.749	9
Eroavaisuudet				
AP KA1	0,015	0,008	0,039	
AP KA2	0	-0,001	0,022	
Suurimmat	x	y	z	
Poikkeamat	0,022	0,022	0,039	

Mittalaitteilla suoritettujen mittausten vertailua				
Mittalaite	Päivämäärä		AP= annettu piste	
Leica vs. Geomax vs. Novatron	23. ja 30.4.2018		,=. koordinaatti eroissa	
Maastotallentimet vs. koneohjaus			Yksikkö= 1,000m	
Piste				
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP1	6740987.166	27489173.921	43.993	
Mitatut Leica				
AP1	6740987.151	27489173.917	43.977	
AP1	6740987.153	27489173.915	43.979	
Mitatut Xsite				
AP1	6740987.175	27489173.933	43.979	
AP1	6740987.173	27489173.929	43.981	
Mitatut Novatron				
AP1	6740987.163	27489173.918	43.989	
AP1	6740987.159	27489173.925	43.982	
Eroavaisuudet				
Leica				
AP1	0,015	0,004	0,016	
AP1	0,013	0,006	0,014	
Xsite				
AP1	-0,009	-0,012	0,014	
AP1	-0,007	-0,012	0,012	
Novatron				
koneohjaus	0,003	0,003	0,004	
AP1	0,007	-0,004	0,011	
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP2	6740805.127	27488811.821	42.771	
Mitatut Leica				
AP2	6740805.138	27488811.811	42.758	
AP2	6740805.127	27488811.822	42.749	
Mitatut Xsite				
AP2	6740805.138	27488811.811	42.758	
AP2	6740805.140	27488811.808	42.760	
Mitatut Novatron				
AP2	6740805.135	27488811.811	42.764	
AP2	6740805.137	27488811.814	42.759	
Eroavaisuudet				
Leica				
AP2	-0,011	0,01	0,013	
AP2	0	-0,001	0,022	
Xsite				
AP2	-0,011	0,01	0,013	
AP2	-0,013	0,007	0,011	
Novatron				
koneohjaus	-0,008	0,01	0,007	
AP2	-0,01	0,007	0,012	

Mittalaitteilla suoritettujen mittausten vertailua			
Mittalaite	Päivämäärä		AP= annettu piste
Geomax Zenith 35	23.4.2018		,=. koordinaatti eroissa
Novatron Xsite PAD-maastotallennin			Yksikkö= 1,000m
Piste			
Esankuja			
Tilaajan toimittamat	x	y	z
AP1	6740987.166	27489173.921	43.993
Mitatut			
AP1	6740987.177	27489173.924	43.980
AP1	6740987.175	27489173.933	43.979
AP1	6740987.187	27489173.924	43.982
Eroavaisuudet			
AP1	-0,011	-0,003	0,013
AP1	-0,009	-0,012	0,014
AP1	-0,021	-0,003	0,011
Suurimmat	x	y	z
Poikkeamat	-0,021	-0,012	0,014
Kaarlontie			
Tilaajan toimittamat			
AP2	6740805.127	27488811.821	42.771
AP2	6740805.127	27488811.821	42.771
Mitatut			
AP2	6740805.139	27488811.816	42.759
AP2	6740805.140	27488811.808	42.760
AP2	6740805.139	27488811.804	42.752
AP2	6740805.138	27488811.811	42.758
Eroavaisuudet			
AP2	-0,012	0,005	0,012
AP2	-0,013	0,013	0,011
AP2	-0,012	0,017	0,019
AP2	-0,011	0,010	0,013
Suurimmat	x	y	z
Poikkeamat	-0,013	0,017	0,019

Mittalaitteilla suoritettujen mittausten tuloksia				
Mittalaite	Päivämäärä		AP= annettu piste	
Koneohjaus	30.4.018		,=. koordinaatti erotuksissa	
Xsite PRO 3D			Yksikkö=1,000m	
Piste				
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP1	6740502.404	27488622.569	43.345	
AP2	6740497.893	27488619.755	43.316	
AP3	6740495.365	27488626.566	43.325	
Mitatut				
AP1	6740502.392	27488622.548	43.338	
AP2	6740497.893	27488619.744	43.306	
AP3	6740495.373	27488626.545	43.342	
Eroavaisuudet				
AP1	-0,012	-0,021	-0,007	
AP2	0	-0,011	-0,01	
AP3	0,008	-0,021	0,017	
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP4	6741076.261	27489221.864	43.947	
Mitatut				
AP4	6741076.260	27489221.892	43.929	
Eroavaisuudet				
AP4	0,001	-0,028	0,018	
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP5	6741149.105	27489259.771	44.119	
Mitatut				
AP5	6741149.119	27489259.785	44.107	
Eroavaisuudet				
AP5	-0,014	-0,014	0,012	
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP6	6740805.127	27488811.821	42.771	
Mitatut				
AP6	6740805.119	27488811.816	42.739	
Eroavaisuudet				
AP6	0,008	0,005	0,032	
Suurimmat	x	y	z	
Poikkeamat	0,014	0,028	0,032	

Mittalaitteilla suoritettujen mittausten vertailua				
Mittalaite	Päivämäärä		AP= annettu piste	
Leica GPS60	1.5.2018		,=. koordinaatti eroissa	
Leica CC80-maastotallennin	SAT= satelliittien määrä		Yksikkö= 1,000m	
Piste				
Esankuja				
Tilaajan toimittamat	x	y	z	SAT
AP E1	6740987.166	27489173.921	43.993	
AP E2	6740957.075	27489229.216	43.700	
AP E3	6740941.445	27489478.423	44.554	
Mitatut				
AP E1	6740987.153	27489173.915	43.979	12
AP E2	6740957.077	27489229.212	43.705	16
AP E3	6740941.440	27489478.433	44.540	13
Eroavaisuudet				
AP E1	0,013	0,006	0,014	
AP E2	-0,002	0,004	-0,005	
AP E3	0,005	-0,01	0,014	
Martinkuja				
Tilaajan toimittamat	x	y	z	
AP M1	6741076.261	27489221.864	43.947	
Mitatut				
AP M1	6741076.258	27489221.882	43.934	11
Eroavaisuudet				
AP M1	0,003	-0,018	0,013	
Kaarlontie				
Tilaajan toimittamat				
AP KA1	6740441.352	27488596.264	43.322	
AP KA2	6740805.127	27488811.821	42.771	
Mitatut				
AP KA1	6740441.337	27488596.256	43.283	8
AP KA2	6740805.127	27488811.822	42.749	9
Eroavaisuudet				
	0,015	0,008	0,039	
	0	-0,001	0,022	
Suurimmat	x	y	z	
poikkeamat	0,015	-0,018	0,039	