



KAIVINKONEEN KONEOHJAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN TALONRAKENNUSTYÖMAILLA

Markus Laakso

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012
Rakennustekniikka
Infrarakentamisen suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infrarakentamisen suuntautumisvaihtoehto

LAAKSO, MARKUS: Kaivinkoneen koneohjauksen hyödyntäminen talonrakennustyömailla

Opinnäytetyö 54s., liitteet 2s.
Huhtikuu 2012

Maanrakentamisessa käytettävien työkonoiden automatisointi on yksi tämän hetken tärkeimmistä puheenaiheista infrarakentamisen alalla. Norjassa ja Ruotsissa koneohjauksen käyttö maanrakennustyömailla on arkipäivää. Suomessa järjestelmien käyttöä on viety viime vuosina eteenpäin muun muassa Destia Oy:n toimesta isoissa tiehankkeissa.

Pienemmillä maanrakennustyömailla koneautomaatiota ei juurikaan hyödynnetä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, onko koneohjausjärjestelmän käytöstä taloudellista ja työteknistä hyötyä pienemmillä maanrakennustyömailla keskikokoisen maanrakennusyrityksen, Maanrakennus Sulin Oy:n käytössä.

Työssä muodostetaan kokonaisvaltainen paketti yhden kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän toimivuudesta alkaen sen hankinnasta ja käyttöönotosta aina 3D-suunnitelmien laatimiseen ja järjestelmän hyödyntämiseen työmaalla. Työ on hyvin käytännönläheinen, koska opinnäytetyön kirjoittajalla on ollut mahdollisuus koko projektin ajan seurata järjestelmän toimintaa työmailla.

Tuloksia ja käyttökokemuksia kerättiin haastattelujen ja keskustelujen muodossa yrityksessä, ja koneohjausjärjestelmän parissa toimineilta henkilöiltä opinnäytetyön kirjoittajan omien kokemusten lisäksi. Haastattelukysymykset on esitetty yrityksen työpäällikölle, kahdelle työnjohtajalle, 3D-suunnitelmien laatijalle, työkonon kuljettajalle, ja mittaryhmälle.

Kokemusten perusteella koneohjausjärjestelmän hankinnasta oli ollut yritykselle selvää taloudellista hyötyä, vaikka tarkkoja lukuja ei ollutkaan saatavilla. Työkoneen teho ja tarkkuus oli parantunut, ja sitä kautta oli syntynyt materiaalisäästöjä riippumatta työvaiheesta. Mittaryhmän käyttö oli myös vähentynyt niillä työmailla, missä järjestelmää oli käytetty.

Työn aikana ei järjestelmästä ollut mahdollista saada kaikkea potentiaalia irti, mutta tulosten perusteella yritys, johon työ tehtiin, aikoo panostaa tulevaisuudessa lisää koneohjausjärjestelmien hankintaan. 3D-suunnitelmat aiotaan tehdä tulevaisuudessa yrityksen omin voimin. Tätä varten harkitaan uuden 3D-suunnitteluohjelmiston hankintaa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Technology
Option of Civil Engineering

LAAKSO, MARKUS: Using 3D-machine control on an excavator at construction sites

Bachelor's thesis 54 pages, appendices 2 pages
April 2012

3D-machine control use in Civil Engineering is one of the most important topics of discussion at the moment in the field of construction. For example in Norway and Sweden the use of 3D-machine control in major road projects is pretty common. In recent years in Finland, the use of these systems has been pushed forward by Destia LTD in major road projects.

The purpose of this thesis is to find out if it is possible to gain economical or technical benefits by use of 3D-machine control. This thesis is focused on medium-sized Civil Engineering company that operates on smaller construction sites.

This thesis forms a comprehensive package by using one excavator machine control system which is called, Novatron Vision 3D. The thesis includes things that are related to buying and installing the system on an excavator. The system is used at the construction sites in different operations. There is also 3D-modeling for 3D-machine control included.

The results and experience using system were gathered through interviews and discussions. Interview questions were asked from the company's technical manager, two supervisors, 3D-planner, excavator driver and also from the persons who do the measuring at the construction sites. The writer of this thesis has also made his opinion about using the system and from its benefits.

Final results shows that clear economical and technical benefits were gained in different operations by use of 3D-machine control. Excavator's efficiency and accuracy were improved and also materials were saved regardless of the task. The use of measure group was also reduced in construction sites where machine controlling was used.

During the thesis, it was not possible to get all the potential out of the system but the results were still very satisfying. The company to which the work was carried out plans to invest more to machine control systems in the future. In the future 3D plans will be made by the company's own efforts. However company is considering getting new 3D design software.

Keywords: Machine control system, 3D-machine control, 3D-modeling, Vision 3D

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 KONEOHJAUS	7
2.1 3D-koneohjauksen periaate	7
2.2 3D-koneohjaus kaivinkoneessa	7
2.3 Satelliittipaikannus	9
2.3.1 GPS-järjestelmä	10
2.3.2 GLONASS-järjestelmä	10
2.4 Koordinaatitot	10
2.5 Työmaamittaukset	11
3 LAITTEISTON HANKINTA JA KÄYTTÖÖNOTTO.....	13
3.1 3D-koneohjausjärjestelmän valinta	13
3.2 Novatron Vision 3D	14
3.3 Järjestelmän asennus ja kalibrointi.....	16
3.4 Koneohjausmallin tuottaminen	22
3.4.1 Tamron piha-alueiden pintamalli	23
3.4.2 Tamron pintamallin vieminen koneohjauslaitteistoon.....	27
3.4.3 Cargotecin viemärimalli.....	27
4 LAITTEISTON HYÖDYNTÄMINEN TYÖMAILLA	30
4.1 Maaleikkaus Tamron työmaalla.....	30
4.2 Liikennealueen rakennekerrosten levitys Tamrolla	33
4.3 Anturoiden pohjien teko Cargotecin työmaalla	34
4.4 Sade- ja jätevesiviemärointi Cargotecin työmaalla.....	36
4.5 Tarkemittausten tekeminen koneohjausjärjestelmän avulla.....	39
4.6 Rakennuttajien kanta tarkemittausten tekemiseen	40
5 KOKEMUKSET KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖSTÄ.....	42
5.1 Haastattelut ja käyttökokemukset	42
5.1.1 Työpäällikkö	42
5.1.2 Työnjohtaja	43
5.1.3 Pintamallien suunnittelija.....	44
5.1.4 Koneen kuljettaja	45
5.1.5 Mittaryhmä.....	46
5.2 Koneohjauslaitteiston tarjoamat edut ja hyödyt.....	46
5.3 Koneohjauslaitteiston käytön aikana ilmenneitä ongelmia.....	47
6 KUSTANNUSVERTAILU 3D-MALLIEN TUOTTAMISESTA	50
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	51
LÄHTEET.....	53
LIITTEET	55

1 JOHDANTO

Maanrakentamisessa käytettävien työkoneiden automatisointi on yksi tämän hetken tärkeimmistä puheenaiheista infrarakentamisen alalla. Koneohjausjärjestelmät ovat tehneet jo pitkään tuloaan Suomen markkinoille, mutta niiden käyttö on vieläkin varsin vähäistä verrattuna esimerkiksi Norjaan ja Ruotsiin.

Suomessa työkoneohjausta on viety viime vuosina aktiivisesti eteenpäin muun muassa Destia Oy:n toimesta. Työkoneohjauksesta on saatu pääosin hyviä kokemuksia isoissa tienrakennuskohteissa. Sen vaikutus työn tehokkuuden parantumiseen ja sitä kautta kustannussäästöihin on selviö.

Caterpillar on tehnyt vuonna 2006 Malagan koe- ja koulutuskeskuksessaan vertailututkimuksen, jossa rakennettiin kaksi identtistä 80 metrin tienpätkää perinteisin menetelmin sekä 3D-koneohjausta apuna käyttäen. Tiet sisälsivät leikkauksia, täyttöjä, suorja, kaaria ja siirtymäkaaria sekä pituus- ja sivukaltevuuksien muutoksia. (Caterpillar 2006, 4, 9–10.)

Tutkimuksen tuloksena tien rakentamisaika lyheni 3,5 päivästä (perinteinen menetelmä) 1,5 päivään (automatisoitu menetelmä). Työkoneiden työteho nousi huomattavasti ja työn jälki oli automatisoidulla menetelmällä huomattavasti tarkempaa ja tasalaatuisempaa kuin perinteisellä menetelmällä. Ajan säästön vuoksi myös polttoainetta säästettiin 43 %. (Caterpillar 2006, 4.)

Koneohjauksen käyttö pienemmissä yrityksissä ja pienemmillä työmailla on kuitenkin vähäistä johtuen osin ennakkoluuloista asiaa kohtaan, suunnitelmätietojen huonosta saatavuudesta koneohjausmuodossa sekä asiaan perehtyneiden henkilöiden puutteesta.

Yksi syy koneohjauksen vähäiseen käyttöön on siinä, että maanrakennusalalla toimii paljon yksityisiä kaivinkoneyrittäjiä tuntitöissä. Karkeasti laskettuna 30 000 euron laitteen takaisin maksamiseksi kolmessa vuodessa (6000 työtuntia) tulisi koneohjausjärjestelmällä varustetun työkoneen tuntiveloituksen olla 5 € enemmän verrattuna sellaiseen koneeseen, jossa järjestelmää ei ole. Kilpailu alalla on kuitenkin tällä hetkellä niin ko-

vaa, että harva tilaaja suostuu maksamaan ylimääräiset 5 €/h kaivinkoneen työskentelystä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää keskikokoiseen tela-alustaiseen kaivinkoneeseen asennetun satelliittipaikannusta käyttävän koneohjausjärjestelmän hyötyjä ja haittoja pienemmissä maanrakennuskohteissa, kuten talonrakennus- ja hallirakennustyömailla.

Työ tehdään Pirkanmaalla toimivaan keskikokoiseen maanrakennusalan yritykseen Maanrakennus Sulin Oy. Koneohjausjärjestelmäksi on valittu suomalaisen Novatron Oy:n tarjoama Vision 3D -järjestelmä kahdella paikannusantennilla varustettuna. Kaivinkone tulee työskentelemään ilman työmaalla toimivaa tukiasemaa. Signaalinkorjaukseen käytetään Mitta Oy:n tarjoamaa Novanet GNSS -tukiasemapalvelua. Tarkemmat perustelut kyseisen kokoonpanon valintaan kerrotaan työn edetessä.

Työssä on tarkoitus tutustua koneohjauksen periaatteisiin mahdollisimman käytännönläheisesti ja käydä läpi laitteiston hankintaan, asennukseen ja käyttöönottoon liittyviä asioita. Työssä tuotetaan kaksi 3D-pintamallia koneohjausta varten ja viedään ne laitteistoon sekä keskitytään koneohjausjärjestelmän hyödyntämiseen työmaalla maaleikkauksessa, anturoiden pohjien teossa, liikennealueiden rakennekerrosten levityksessä sekä viemärikaivussa. Järjestelmää on tarkoitus hyödyntää myös tarkemmittausten tekemisessä.

Tuloksia ja laitteiston hankinnan kannattavuutta keskikokoiseen maanrakennusalan yritykseen punnitaan yrityksen työpäällikön, työmaiden työnjohtajien, 3D-mallien suunnittelijan, koneenkuljettajan ja mittausryhmän haastattelujen sekä opinnäytetyön kirjoittajan omien kokemusten perusteella.

Työn tavoitteena on tuoda esille sekä hyötyjä että haittoja koneohjauksen avulla työskentelystä. Lopuksi selvitetään, kannattaako 3D-suunnitelmat teettää ulkopuolisilla suunnittelutoimistoilla vai pystyykö yrityksen oma suunnittelija tekemään pintamallit koneohjauskäyttöön edullisemmin.

2 KONEOHJAUS

2.1 3D-koneohjauksen periaate

3D-koneohjauksessa käytetään rakennussuunnitelmista tuotettua kolmiulotteista mallia sekä työkoneen tarkkaa paikannusta opastamaan työkoneen kuljettajaa. Työkone varustetaan paikannuslaitteilla, tietokoneilla sekä anturijärjestelmällä. Niiden avulla saadaan selville terän tai kauhan reaaliaikainen XYZ-koordinaattien sijainti työkoneessa. Suunnitelmatieto tuodaan digitaalisessa 3D-muodossa ohjausjärjestelmään, ja työkoneen kuljettaja näkee työskentelyyn tarvittavat tiedot laitteistoon kuuluvalta näytöltä. (Jaakkola 2010, 44.)

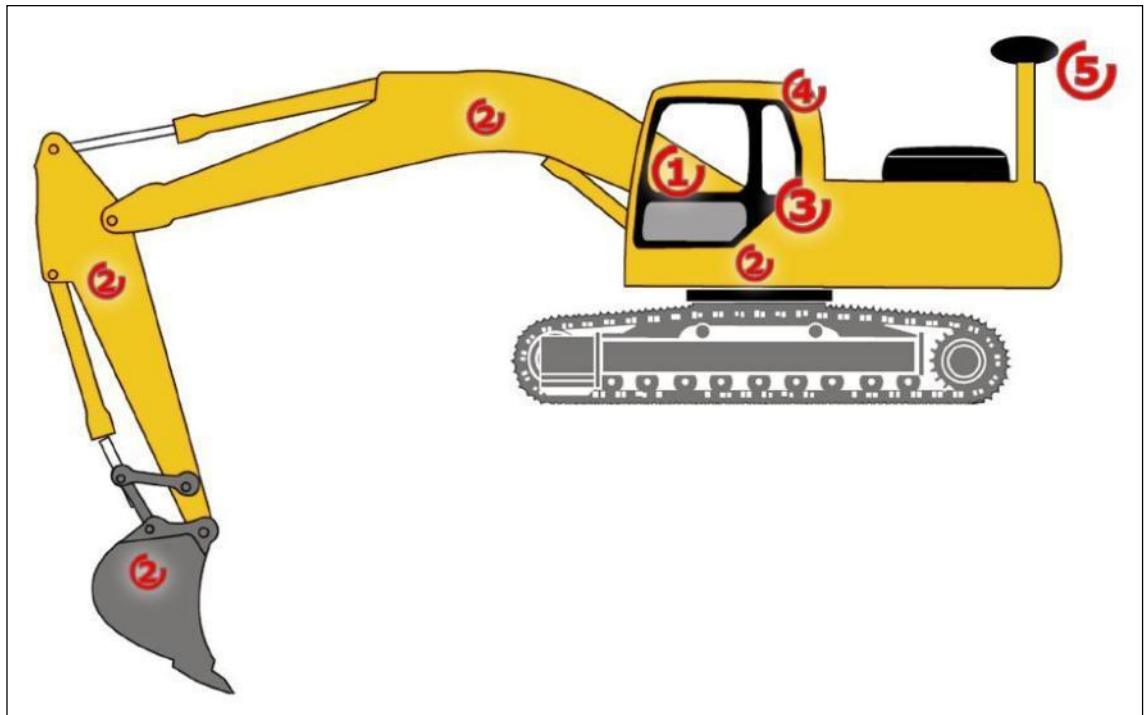
On olemassa sekä ohjaavia että opastavia koneohjausjärjestelmiä. Ohjaava järjestelmä on viety teknisesti pidemmälle kuin opastava järjestelmä ja siinä työkoneen hydraulikkaa ohjataan automaattisesti. Ohjaava järjestelmä on toiminnaltaan erittäin tarkka ja niitä käytetään työmailla muun muassa tiehöylissä. Opastavassa järjestelmässä työkoneen kaikki liikkeet hallitsee kuljettaja. Opastavaa järjestelmää käytetään kaivinkoneissa. (Jaakkola 2010, 44.)

2.2 3D-koneohjaus kaivinkoneessa

Kaivinkone on maanrakennustyömaan yleiskone, jolle tulee yleensä eniten käyttötunteja työmaalla. Kaivinkoneeseen on saatavilla laaja valikoima lisälaitteita, mutta sen pääasiallisina tehtävinä ovat edelleen kaivu- ja kuormaustyöt. Tela-alustainen kaivinkone on hyvän kantavuutensa vuoksi käytetyin työkone pohjatöissä. Muita tärkeitä kaivinkoneella suoritettavia töitä ovat pengerrys-, materiaalin vastaanotto- ja luiskatyöt. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 40.)

Kaivinkoneissa on käytössä suhteellista kaivusvyvyttä ja tasoa ohjaavia järjestelmiä, joissa ei kuitenkaan hyödynnetä 3D-malleja tai 3D-paikannusta koneen ohjaukseen. Näitä järjestelmiä kutsutaan 1D- ja 2D-ohjausjärjestelmiksi. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 41.)

3D-malliin perustuvan ohjausjärjestelmän hyödyntäminen kaivinkoneessa edellyttää koneen sijainnin ja asennon reaaliaikaista mittaamista mahdollisimman tarkasti. Kaivinkoneen ohjauksessa paikannusjärjestelmäksi tarvitaan yhdestä kahteen GPS-antennia tai -vastaanotinta sekä kallistusta mittaavat anturit kaivukoneen rungon ja puomien asennon mittaamiseen. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 41.)



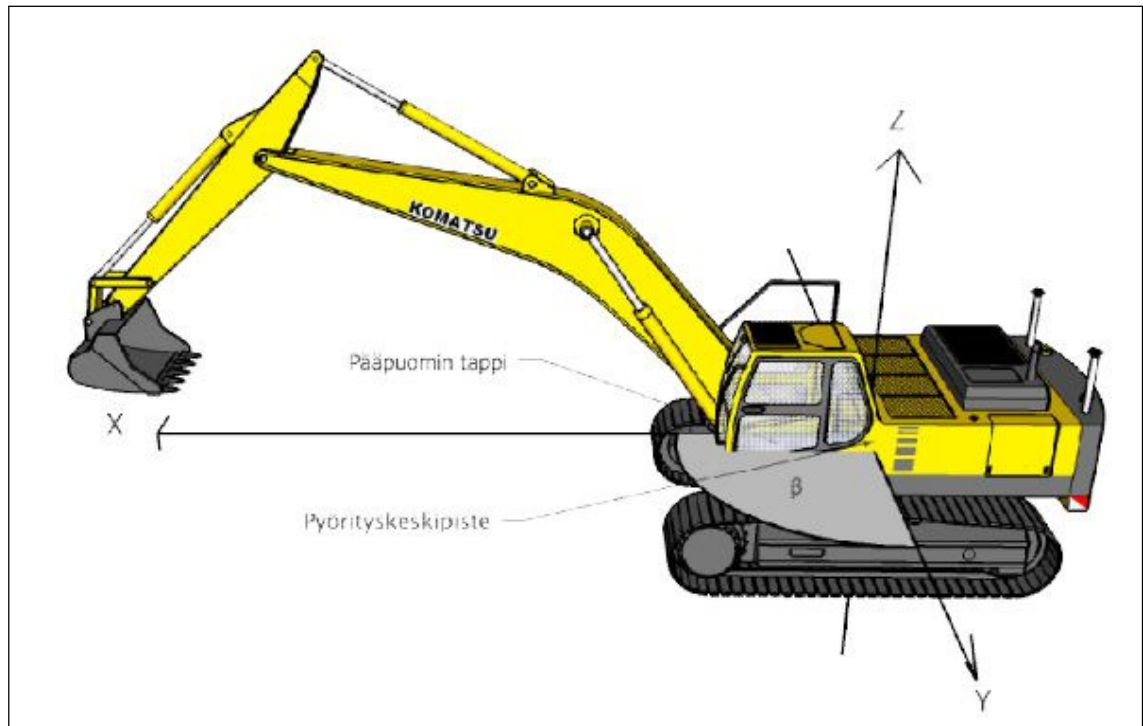
KUVA 1. Kaivinkoneen 3D-ohjausjärjestelmän osien sijoittelu (Novatron Oy 2010, 5)

Kuvassa 1 on esitetty kaivinkoneen 3D-ohjausjärjestelmän osat ja niiden sijainti:

- 1) näyttö
- 2) kallistusanturit
- 3) keskusyksikkö
- 4) radioantenni
- 5) paikannusantenni.

Järjestelmän osien ja satelliittipaikannuksen avulla kaivinkone muodostaa työmaalla oman koordinaatistonsa työmaan sisäisessä koordinaatistossa. X-koordinaatti ilmoittaa kauhan kärjen kohtisuoran etäisyyden origosta Z-koordinaatin kertoessa kauhan korkeuden suhteessa origoon. Y-koordinaatti antaa kauhan sivuttaispoikkeaman, joka voidaan ymmärtää myös koneen kiertokulmana β . Kiertokulmasta voidaan käyttää myös nimeä suuntima. Origona voidaan käyttää pääpuomin tyvitappia tai koneen pyörimis-

keskipistettä. Kuvassa 2 on kaivinkoneen sisäinen koordinaatisto. Kuvasta 2 nähdään myös kaivinkoneen pyörityskeskipisteen sijainti. (Kauppinen 2010, 8.)



KUVA 2. Kaivinkoneen sisäinen koordinaatisto (Kauppinen 2010, 7)

2.3 Satelliittipaikannus

Kaivinkoneen paikannus työmaalla tapahtuu satelliittien avulla. Kun satelliittien paikat tunnetaan, voidaan niistä laskea kaivinkoneen sijainti. Satelliittipaikannuksella on mahdollista päästä senttimetritarkkuuksiin, joka riittää maanrakennustyömailla lähes jokaiseen työvaiheeseen. Mahdollisimman tarkan sijainnin määrittämiseksi sekä satelliittien kiertoajasta maapallon ympäri johtuvan kellovirheen ratkaisemiseksi tarvitaan samanaikaiset havainnot vähintään neljään satelliittiin. (Poutanen 2007, 8.)

Kaikkia eri paikannusjärjestelmiä kutsutaan yhteisesti lyhenteellä GNSS, Global Navigation Satellite Systems. Tunnetuimmat järjestelmät ovat yhdysvaltalainen GPS ja neuvostoliittolainen GLONASS. Näiden kahden rinnalle on tulossa, ja on jo osittain tullut muita satelliittipaikannusjärjestelmiä, kuten eurooppalainen Galileo. Myös Kiina, Intia ja Japani rakentavat parhaillaan omia järjestelmiään. Lukuun ottamatta kahta viimeistä, kaikki ovat globaaleita paikannusjärjestelmiä. (Poutanen 2007, 7 - 8.)

Novatron Vision 3D pystyy hyödyntämään sekä GPS- että GLONASS-järjestelmien satelliitteja yhtäaikaaisesti. Taivaalla voi olla kerrallaan näkyvissä näiden järjestelmien satelliitteja 8 - 20 kappaletta riippuen päivästä ja kellonajasta.

2.3.1 GPS-järjestelmä

GPS on lyhenne sanoista Global Positioning System. Se on Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä järjestelmä, ja tarkoitettu alun perin sotilaskäyttöön. Järjestelmä sisältää 24 signaalia lähettävää satelliittia sekä joitakin varasatelliitteja, jotka kiertävät maapalloa runsaan 20 000 km:n korkeudella. (Poutanen 2007, 16.)

Varasatelliittien tarkoitus on parantaa järjestelmän luotettavuutta, koska jonkin satelliitin rikkoutuessa se voidaan välittömästi korvata toisella. GPS-järjestelmässä on näkyvissä vähintään kuusi satelliittia joka hetki. (Poutanen 2007, 16.)

2.3.2 GLONASS-järjestelmä

GLONASS on Neuvostoliiton aikana aloitettu satelliittinavigointijärjestelmä. GPS-järjestelmän tavoin sekin on alun perin kehitetty sotilaallisia käyttötarkoituksia varten. Järjestelmään kuuluu yhteensä 24 satelliittia joista kolme toimii varalla. (Poutanen 2007, 19.)

Satelliitit kiertävät maapalloa noin 19 100 km:n korkeudella merenpinnasta. Niiden inkliinaatiokulma on hieman suurempi kuin GPS-järjestelmän satelliittien, mikä parantaa paikannustarkkuutta etenkin pohjoisessa. GLONASS-järjestelmässä on näkyvissä vähintään viisi satelliittia joka hetkellä. (Poutanen 2007, 19.)

2.4 Koordinaatistot

Rakennushankkeessa käytetty koordinaattijärjestelmä valitaan suunnittelun alkaessa ja samaa järjestelmää käytetään rakentamisen aikana. Koordinaattijärjestelmän valintaan vaikuttavat ympäröivän seudun vallitseva koordinaattijärjestelmä ja yleisesti käytössä oleva järjestelmä. Joillakin työmailla voidaan käyttää myös työmaakohtaista erilliskoordinaatistoa. (Mäntykivi 2011, 6.)

Tässä opinnäytetyössä koneohjauslaitteiston toimintaa seurataan kahdella työmaalla. Toisen työmaan koordinaattijärjestelmänä on KKJ-järjestelmä ja toisen ETRS-GK24-järjestelmä. Kummankin rakennustyömaan korkeusjärjestelmänä toimii N2000, johon Tampereella siirryttiin Helmikuun lopussa 2011 (Tampereen kaupunki, 2011). 3D-pintamallit mallinnetaan suunnitelmien mukaisiin koordinaatteihin ja tarvittavat korjaukset ja kalibroinnit voidaan tehdä työmaalla koneohjauslaitteistoon.

Koneohjauslaitteiston valikosta pystytään valitsemaan työmaalla tarvittava koordinaatisto. Järjestelmässä on oletuksena valittavana kymmeniä erilaisia koordinaattijärjestelmiä. Silloin kun oikeaa koordinaatistoa ei ole valittavana, tai koordinaatteja on suunnittelu- ja mallinnusvaiheessa lyhennelty, voidaan työmaalle laskea paikallismuunnos hyödyntäen vähintään viittä WGS84 - XYZ vastin pistettä. (Hokkanen, 2012.)

Jos järjestelmään kalibroidaan pelkkä sijainti, mutta koordinaatiston kierrot ovat eri, esimerkiksi paikallinen X-akseli ei ole yhdensuuntainen työmaalla käytettävän KKJ-koordinaatiston X-akselin suhteen, niin tarkkuus alkaa karkaamaan kun siirrytään kalibroitipisteeltä kauemmaksi. (Hokkanen, 2012.)

Tarkkuutta pystytään parantamaan kalibroimalla laitteisto kahdelle pisteelle. Pisteiden tulee sijaita rakennettavan tontin ääri nurkissa, jolloin koordinaatiston kierrosta johtuva epätarkkuus tasataan näiden kahden pisteen avulla. Tällöin koneohjauslaitteisto on tarkimmillaan tontin keskikohdassa. Tarkkuuteen pystytään vaikuttamaan myös pintamallien suunnitteluvaiheessa, jolloin Helmert-muunnoksen avulla koordinaatistojen X- ja Y-akseleista on mahdollista tehdä yhdensuuntaiset. (Hokkanen, 2012.)

2.5 Työmaamittaukset

Maanrakennus Sulin Oy:ssä työskentelee mittaustehtävissä kaksi henkilöä. Mittalaitteena toimii perinteinen takymetri. Rakennustöiden aikana mittaryhmä suorittaa useita merkintä- ja kartoitus- ja tarkemittauksia työmaan tarpeiden ja luonteen mukaan.

Merkintämittauksia ovat muun muassa tontin rajojen, rakennusten nurkkien, muiden rakenteiden, viemärikaivojen, luiskien ja liikennealueiden merkitseminen. Mittatikkuihin laitetaan myös korkolaput, jotka kertovat työkoneiden kuljettajille esimerkiksi lii-

kennealueiden valmiin pinnan koron, tai maanleikkauksen ja rakennekerrosten alapinnan tavoitetason.

Tärkeä osa mittaustyötä ovat louhittavien kalliomassojen ja leikattavien maamassojen määrittäminen. Esimerkiksi louhintatyömaalla mittaryhmä kartoittaa jatkuvasti louhittavan massan määrää ja massanvaihtotyömaalla vaihdettavan massan määrää.

Mittaustuloksia toimitetaan päivittäin työmaainsinöörille, joka mittauksista saatujen tietojen perusteella voi vertailla urakassa laskettujen, ja työmaalla toteutuneiden massojen eroja. Mittausten perusteella voidaan määrittää ja kaivusvyökyksiä vertailla myös suunnitelmissa esitettyihin tavoitetasoihin.

Jokaisella työmaalla täytyy suorittaa tilaajan vaatimia tarkemittauksia. Tarkemittauksia suoritetaan muun muassa viemärikaivojen sijainneista, viemäriputkien korkeusasemasta sekä liikennealueiden eri rakennekerrosten ja valmiin pinnan korkeusasemasta. Tarkemittaukset ovat osa urakoitsijan laatujärjestelmää, ja ne kertovat rakennetun ja suunnitellun tiedon eron työmaalla.

Koneohjauslaitteiston käyttöönotolla on tarkoitus vähentää mittaryhmän mittaamiseen käyttämää aikaa eri työvaiheissa, koska kiireisimpinä aikoina mittaryhmää joudutaan usein odottelemaan. Takymetria ei voi myöskään käyttää pimeässä tai hämärässä, eikä kovassa vesi- tai lumisateessa. Koneohjauslaitteistolla ei tällaisia rajoitteita ole. Koneohjauslaitteiston käyttöönotto ei kuitenkaan tule kokonaan poistamaan mittaryhmän tarvetta.

3 LAITTEISTON HANKINTA JA KÄYTTÖÖNOTTO

3.1 3D-koneohjausjärjestelmän valinta

Opinnäytetyöhön toimeksiannon antaneella Maanrakennus Sulin Oy:llä oli jo ennestään yhteistyötä suomalaisen Novatron Oy:n kanssa. Maanrakennus Sulin Oy on ollut yrityksen työpäällikön mukaan tyytyväinen vuosien saatossa Novatron Oy:stä hankkimiinsa Easy Dig 2D-laitteisiin ja Novatron Oy:n tapaan ottaa asiakkaat huomioon, joten näillä perusteilla 3D-koneohjausjärjestelmä päätettiin hankkia kyseisestä yrityksestä. (Sulin, 2011.)

3D-koneohjausjärjestelmäksi valittiin Novatron Vision 3D kahdella paikannusantennilla varustettuna. Pakettiin ei valittu kauhan kallistuksen anturia, eikä myöskään omaa tukiasemaa työmaalle. Tukiasema päätettiin korvata Mitta Oy:n tarjoaman Novanet GNSS-tukiasemapalvelun avulla.

Tukiasemapalvelun hinta on 300 €/vuosi/työkone. Oman työmaalla sijaitsevan tukiaseman hinta olisi ollut noin 14 000 €, joten Internetin kautta toimiva korjauspalvelu koettiin yhden koneohjausjärjestelmän takia taloudellisesti järkevämmäksi. Internet-tiedonsiirtoa varten koneeseen täytyy hankkia GPRS/3G-dataliittymä. Dataliittymä mahdollistaa myös etätukiyhteyden käytön.

Järjestelmä päätettiin asentaa tela-alustaiseen Hitachi ZX 250 LC -malliseen kaivinkoneeseen. Kyseisessä koneessa oli jo ennestään Easy Dig 2D -järjestelmä, ja se siirrettiin toiseen kaivinkoneeseen 3D-järjestelmän asennuksen yhteydessä. Kuvassa 3 on tela-alustainen kaivinkone, johon 3D-koneohjauslaitteisto päätettiin asentaa.



KUVA 3. Tela-alustainen kaivinkone Hitachi ZX 250LC

3.2 Novatron Vision 3D

Vision 3D on maanrakennuskoneisiin suunniteltu modulaarinen koneohjausjärjestelmä, joka voidaan siirtää koneesta toiseen. Järjestelmä koostuu anturoinnista, paikannuksesta ja mittatiedon projisoinnista tietokoneen avulla. Vision 3D -järjestelmää voidaan käyttää työkoneessa sekä 2D- että 3D-järjestelmänä. (Novatron 2011, 4.)

Työkoneeseen asennetut anturit ovat CAN-väyläisiä ja pystyvät mittaamaan asentoaan tuhansia kertoja sekunnissa, mikä takaa reaaliaikaisen mittaustuloksen näkymisen järjestelmän näytöllä. Tietokoneyksikkö on suunniteltu kestäämään kovia pakkasia sekä korkeita lämpötiloja (-20...+60 °C). Tietokoneen käyttöjärjestelmä on Windows XP -pohjainen. (Novatron 2011, 4.) Kuvassa 4 on tietokoneyksikön etupaneeli liitännöineen ja kuvassa 5 tietokoneyksikön takapaneeli liitännöineen.



KUVA 4. Novatron Vision 3D -järjestelmän tietokoneyksikön etupaneeli



KUVA 5. Novatron Vision 3D -järjestelmän tietokoneyksikön takapaneeli

3D-paikannus tapahtuu GPS- ja GLONASS-satelliittien avulla. Tukiasemalta tulevan korjaussignaalin avulla työkonetta paikannetaan kahden senttimetrin luokkaan XYZ-koordinaatistossa. Järjestelmään on mahdollista valita joko yksi tai kaksi paikannusantennia. (Novatron 2011, 4.)

Yhtä antennia käytettäessä työkonetta kadottaa suuntansa jokaisella kerralla, kun sitä liikuttaa. Siirtymisen jälkeen konetta pyöritetään noin 60 astetta, ja se paikantaa itsensä uudelleen. Kahden antennin järjestelmässä ei tällaista ongelmaa ole, vaan työkonetta suunta on jatkuvasti selvillä. Ominaisuudesta on hyötyä varsinkin ahtaissa paikoissa, missä työkonetta ei ole mahdollista pyörittää riittävästi. (Novatron 2011, 4.)

Vision 3D -järjestelmä voidaan varustaa kallistuvan kauhan ja kauhanpyörittäjän anturoinnilla. Kauhanpyörittäjän anturoinnilla voidaan mitata pyörittäjän kallistusta, mutta ei sen pyörimistä. Näin saavutetaan työkoneen lähes kaikkien liikkeiden havainnointi. Yksi järjestelmän lisävarusteista on laservastaanotin. Sen käytöstä on hyötyä enemmän 2D-puolella, missä tasolaserin lähettämää sädettä voidaan käyttää vertailutasona. (Novatron 2011, 4.)

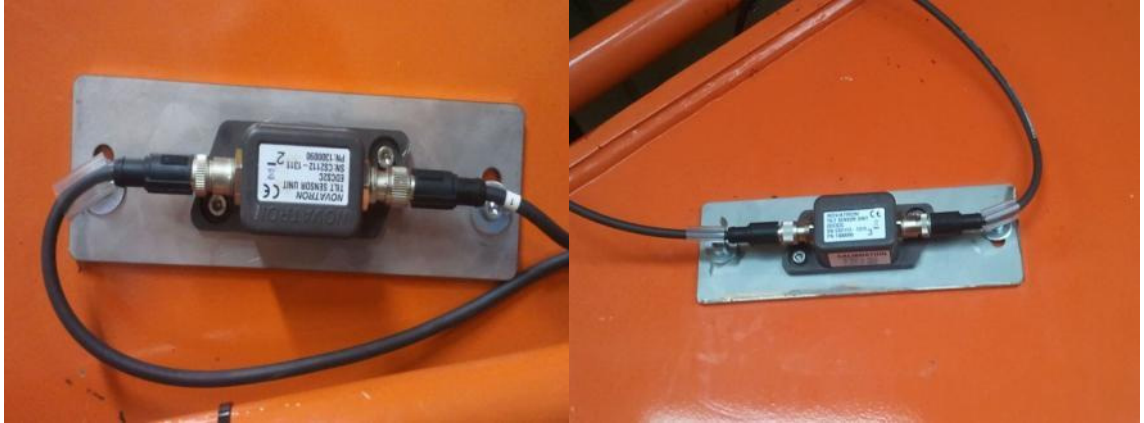
Suunnitelma-aineistot voidaan viedä järjestelmän käyttöön useissa eri tiedostomuodoissa, joko muistitikun avulla tai langattomasti palvelimelta. Pintamallit voidaan viedä järjestelmään suunnitteluohjelmien tukemissa DXF- ja XML-formaateissa. Pisteaineistoina voidaan käyttää muun muassa GT- ja CSV-muotoisia formaatteja. (Novatron 2011, 2.)

Järjestelmän avulla voidaan myös todentaa työmaalla tehtyä työtä eli tehdä tarkemittauksia. Tiedot voidaan siirtää työkoneesta toimiston käyttöön langattoman yhteyden tai muistitikun avulla. Langaton yhteys mahdollistaa myös etäyhteyden käytön Novatron Oy:n huollon ja asiakkaan välillä. Ongelmatilanteissa etäyhteys on hyödyllinen ominaisuus. (Novatron 2011, 2,5.)

3.3 Järjestelmän asennus ja kalibrointi

Koneohjauslaitteisto asennettiin kaivinkoneeseen 2.4.2011. Novatron Oy:ltä asennuksen suoritti asentaja / huoltomies Mikko Pakkanen. Asennuspäivä aloitettiin kaivinkoneessa olevan Easy Dig -järjestelmän purulla, joka kesti noin kaksi tuntia. Purkutyön jälkeen päästiin aloittamaan Vision 3D -järjestelmän asennus, jonka ensimmäisenä vaiheena suoritettiin CAN-väyläisten johtojen sekä antureiden paikalleen kiinnitys.

Kuvassa 6 näkyvät kaivupuomiin ja peruspuomiin kiinnitetyt anturit. Kuvasta 7 käy ilmi kaivupuomin päähän koiranluuhun sekä kaivinkoneen hyttiin asennettujen antureiden paikat. Anturit on kiinnitettävä tukevasti, jotta ne eivät pääsisi irtoamaan kaivutyön aikana. Ne on pyrittävä myös sijoittamaan siten, etteivät ne osu kaivaessa ulkopuolisiin rakenteisiin tai kaivantojen reunoihin. CAN-väyläisen johdotuksen ansiosta asennusjälki on siisti.



KUVA 6. Kaivupuomin ja peruspuomin anturit asennettuna 2.4.2011



KUVA 7. Koiranluuhun ja koneen hyttiin asennetut anturit 2.4.2011

Kuvassa 8 näkyvät kaikki kaivinkoneen hyttiin asennetut laitteiston osat. Vasemmalla kuvassa on järjestelmän tietokoneyksikkö. Oikeanpuoleiset takaikkunassa kiinni olevat laatikot ottavat signaalia vastaan radio- ja paikannusantenneilta. Hyttiin asennettavat osat vaativat melko runsaasti tilaa, ja ne on pyritty sijoittamaan sellaiseen paikkaan, missä ne eivät häiritse kaivinkoneen kuljettajan työskentelyä. Asennusjälki on edelleen siisti huolimatta asennetun laitteiston koosta ja määrästä.



KUVA 8. Kaivinkoneen hyttiin asennetut laitteiston osat 2.4.2011

Kuvassa 9 on kaivinkoneen peräpuntin päälle asennettu paikannusantenni. Antenni on kiinni jalustassa kierteellä, ja jalusta on tukevasti kiinni kaivinkoneen peräpuntissa. Antennille tuleva kaapeli ja antennilautanen ovat helppoja irrottaa työpäivän jälkeen.

Radioantenni asennettiin kaivinkoneen hytin katon takaosaan ilman jalustaa. Antenni ei tällöin ole kaivinkoneen korkeimmalla oleva osa, vaan muun muassa varoitusvilkku nousee korkeammalle. Tämäkin antennilautanen on tarpeen tullen helposti irrotettavissa. Kuvassa 10 on radioantenni asennettuna kaivinkoneen hytin katolle.

Antennien tulee olla vähintään kahden metrin päässä toisistaan, jotta kahden antennin järjestelmä toimii moitteetta. Antennien sijoittelussa tulee muistaa myös se, että ne ovat turvassa kaivutyön aikana ja tiukasti kiinni kaivinkoneen rungossa.



KUVA 9. Paikannusantenni asennettuna kaivinkoneen peräpuntin päälle 2.4.2011



KUVA 10. Radioantenni asennettuna kaivinkoneen katolle 2.4.2011

Novatron Vision 3D -järjestelmään kuuluu 8,4 tuumainen kapasitiivinen kosketusnäyttö (Novatron 2011, 2). Ison näytön etuna on sen helppo käytettävyys ja luettavuus. Kuljettaja voi valikoista muuttaa pintamallin näkymään kolmioverkkona tai kiinteänä pintana, ja halutessaan eri väreillä. Näyttö tarjoaa runsaasti muutakin olennaista tietoa ja laitteiston toiminnan kannalta kuljettajalle tärkeää informaatiota.

Näyttö sijoitettiin kuljettajasta katsottuna hieman alas etuoikealle, koska kuljettajan on samaan aikaan seurattava sekä kaivinkoneen kauhaa että 3D-suunnitelmaa näytöltä. Tarpeen tullen näytön saa käännettyä kokonaan sivuun kaivinkoneen sivulasia vasten, ja työvuoron loputtua se on helppo irrottaa kokonaan. Ennen näytön irrotusta on järjestelmästä muistettava sammuttaa virta. Kuvassa 11 on järjestelmän näyttö asennettuna kaivinkoneen hyttiin.



KUVA 11. Järjestelmän näyttö asennettuna kaivinkoneen hyttiin 2.4.2011

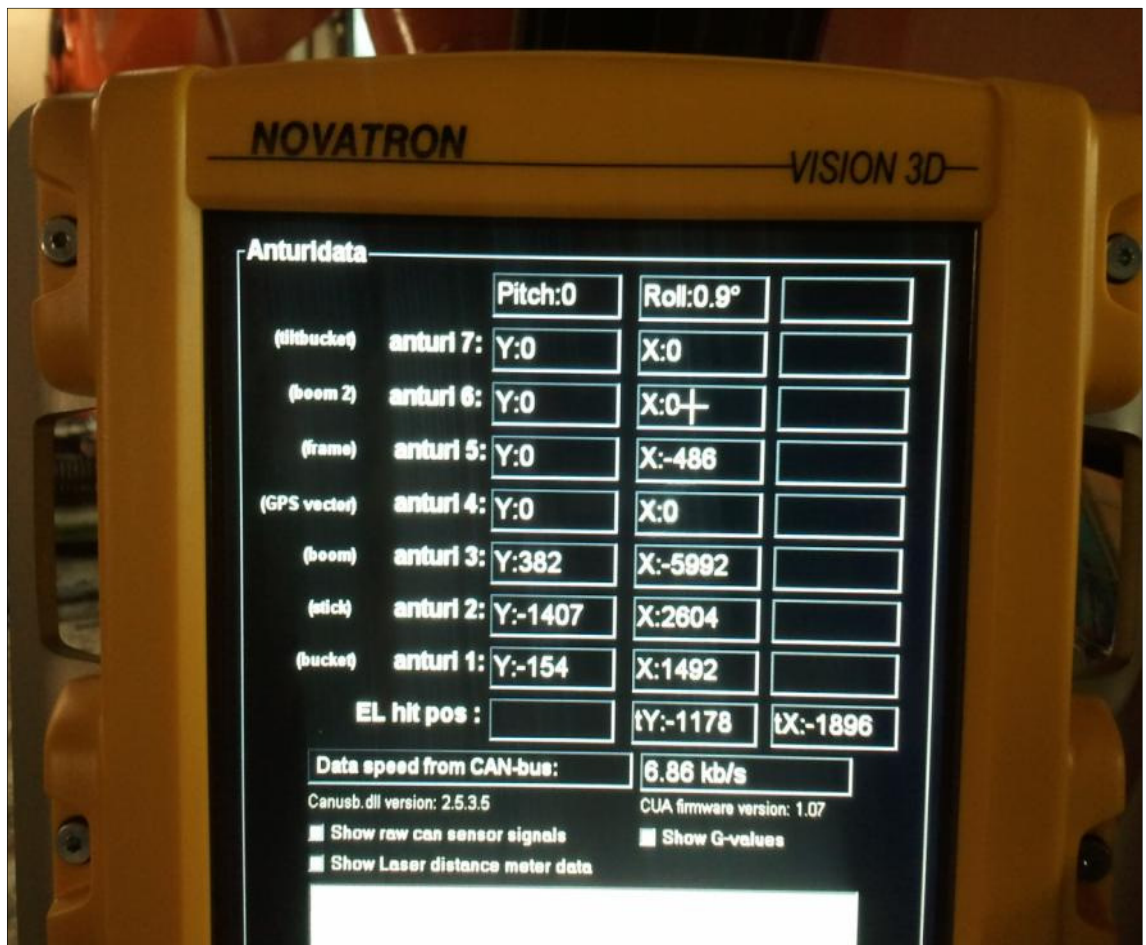
Laitteiston osien asennuksen jälkeen suoritettiin järjestelmän kalibrointi. Kalibroinnissa käytetään apuna lasertähtäintä ja mittanauhaa. Mittaamalla saadaan määritettyä kauhan ja puomien korkeus- ja etäisyysero koneen keskipisteeseen sekä paikannusantenneihin nähden. Mitat syötetään laitteistoon ja kauhan paikka saadaan selville kaivinkoneen sisäisessä koordinaatistossa. Järjestelmän kalibrointiin kuuluu myös erilaisten kauhojen ja niiden mittojen tallentaminen järjestelmän muistiin. Asennuksen aikana mitat tallennettiin kaivinkoneen luiska- ja kynsikauhasta.

Kaivinkone vietiin työmaalle 4.4.2011, jossa suoritettiin työmaakalibrointi monikulmiopisteen suhteen, jonka X-, Y- ja Z-koordinaatit olivat tarkasti tiedossa. Työmaakalibroinnin suoritti Teemu Virtanen Novatron Oy:stä. Asennuksen ja kalibroinnin aikana

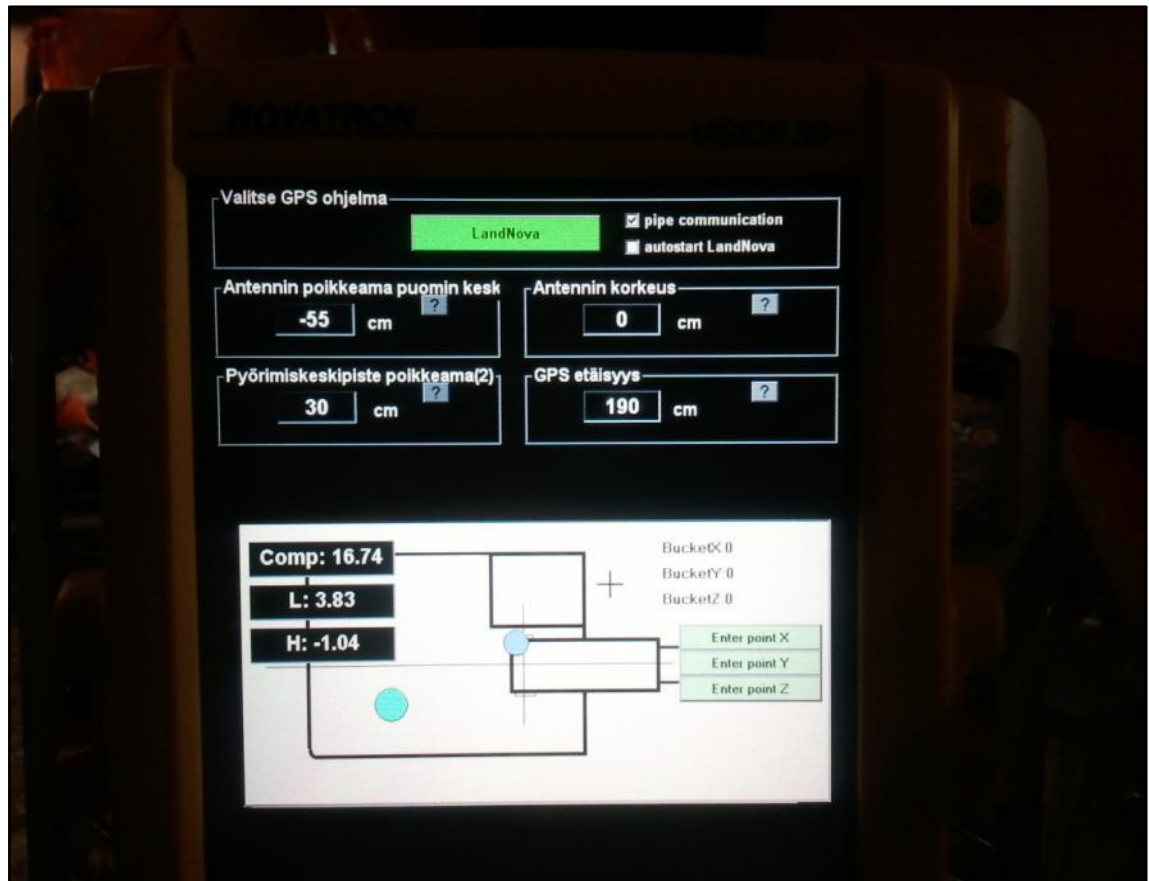
opinnäytetyön kirjoittajalle ja kaivinkoneen kuljettajalle annettiin käyttökoulutusta laitteen toiminnasta. Kuvassa 12 on järjestelmän kalibrointi käynnissä. Kuvassa 13 syötetään järjestelmään puomien mittoja, ja kuvassa 14 paikannusantennin mittoja kaivinkoneen keskipisteeseen nähden.



KUVA 12. Järjestelmän kalibrointi käynnissä 2.4.2011



KUVA 13. Koneohjausjärjestelmän kalibroitimittoja 2.4.2011



KUVA 14. Paikannusantennien kalibroitimittoja 2.4.2011

3.4 Koneohjausmallin tuottaminen

Tässä luvussa käydään lyhyesti läpi koneohjausmallin tuottamiseen liittyviä asioita. Luvussa tuotetaan koneohjausmalli (2D-suunnitelman muuttaminen 3D-suunnitelmaksi) Tamron työmaan piha-alueista sekä tehdään viemärimalli Cargotecin työmaalle. Maanrakennus Sulin Oy:llä on käytössään CADS Planner GeoXY -niminen ohjelma mittausaineistojen ja CAD-muotoisten suunnitelmien käsittelyä varten. Koneohjausmallit tuotetaan kyseisellä ohjelmalla.

CADS Planner GeoXY sisältää toiminnon 3D-maastomallin tuottamiseen kuvaan, joko itse merkittyjen tai mittalaitteelta tuotujen pistemerkintöjen avulla. Maastomalli tuotetaan kolmioverkkipintana. Visuaalisen tarkastelun lisäksi 3D-mallista saadaan tuotettua automaattisesti myös leikkauskuvat ja korkeuskäyrät. (CADS Planner, 2012).

Kuten edellä on mainittu, Novatronin koneohjauslaitteisto tukee DXF- ja XML-formaatteja sekä pisteaineistoista GT- ja CSV-muotoisia formaatteja. CADS

GeoXY ei pysty käsittelemään XML-formaattia, joten pintamallit tuotetaan DXF -muodossa käyttäen tarpeen tullen GT-muotoisia pistetietoja taustakarttana.

3.4.1 Tamron piha-alueiden pintamalli

Tamron työmaan piha-alueiden pintamalli on tehty Ramboll Finland Oy:n laatiman pinnantasaussuunnitelman pohjalta. Pintamallin tuottamista varten DWG-muotoinen suunnitelma avataan näkyviin pohjalle. Ennen pisteiden sijoittamista suunnitelmaan täytyy se kohdistaa esimerkiksi Helmert-muunnoksen avulla. Kuvassa 15 on esitetty CADS GeoXY:n Helmert-muunnos.

Kuvan kohdistus, Helmert muunnos

Kuvan koordinaattiasetukset

Maanmittauskoordinaatisto, yksikkönä metri

Muunnos tehdään 2D-tasossa, vaikka pisteille syötettäisiin myös Z-arvo. Jos kuvaa joudutaan skaalaamaan (johtuen alkuperäisten ja uusien pisteiden keskinäisten suhteiden eroavaisuudesta) skaalautuu se myös Z-suunnassa, joten myös korkomaailma voi muuttua.

Pisteiden alkuperäiset koordinaatit

1. piste: 15957.537439787,94747.37973805,0 Osoita kuvasta...

2. piste: 15708.786567499,94895.816481229,0 Osoita kuvasta...

Pisteiden uudet koordinaatit

1. piste: 15957.537,94747.378,0 Osoita kuvasta...

2. piste: 15708.788,94895.818,0 Osoita kuvasta...

Alkuperäisten ja uusien pisteen väliset siirtymät

1. pisteet

Pisteiden välinen etäisyys: 0.0017928274961331

Siirtymä x: -0.000439 y: -0.001738 z: 0

2. pisteet

Pisteiden välinen etäisyys: 0.0020877558398667

Siirtymä x: 0.0014325 y: 0.0015187 z: 0

Skaalaus ja kierto

Skaalauskerroin: 1.0000002110069

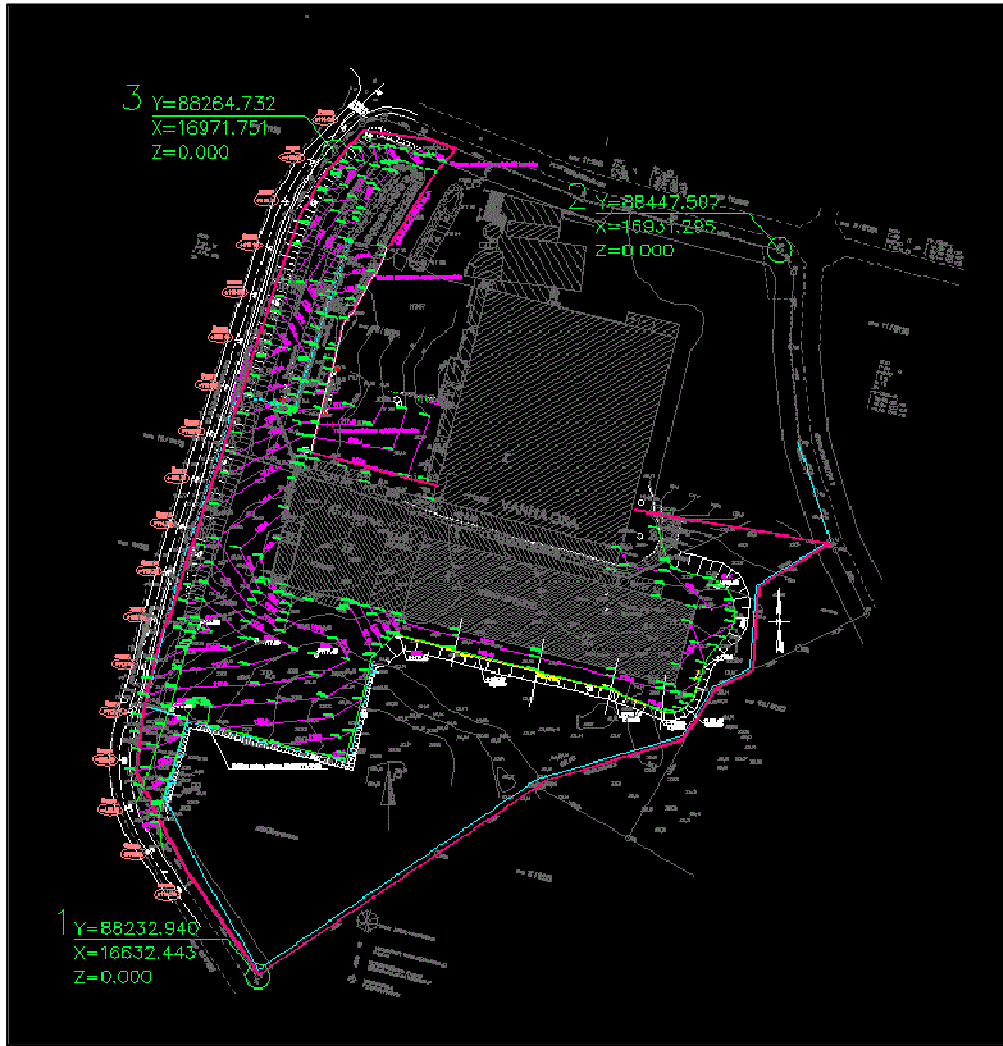
Kiertokulma: 0.00074294494455929

OK Peruuta Ohje

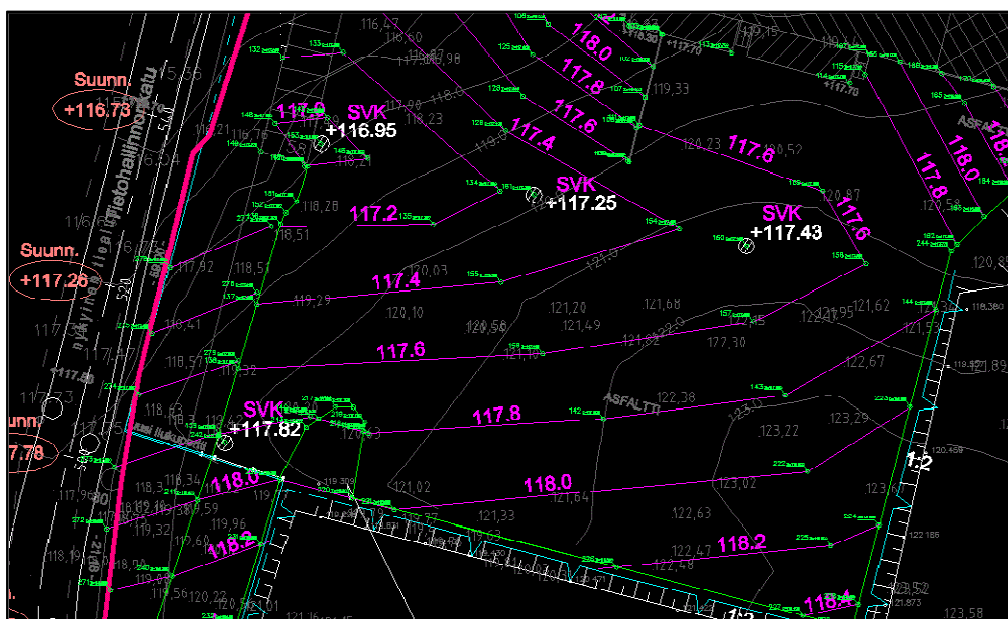
KUVA 15. Helmert-muunnos CADS GeoXY -ohjelmalla

Suunnitelman kohdistusta varten täytyy olla tiedossa tontin rajojen koordinaattitiedot. Suunnitelma voidaan kohdistaa esimerkiksi kuvassa 16 näkyvien tontin nurkkien yksi ja kaksi avulla. Kun kuvassa 15 näkyvä skaalauskerroin on hyvin lähellä yhtä, on kohdistus onnistunut ja suunnitelma on niin sanotusti oikeassa paikassa.

Monesti suunnittelijat kohdistavat suunnitelmansa jo suunnitteluvaiheessa, mutta aina näin ei ole, ja siitä syystä kohdistus kannattaa suorittaa aina koneohjausmallia tehtäessä. Kuvassa 16 on Tamron työmaa-alueen pinnantasaussuunnitelma ja kuvassa 17 on otos pinnantasaussuunnitelman eteläosasta.



KUVA 16. Tamron pinnantasaussuunnitelma



KUVA 17. Otos Tamron pinnantasaussuunnitelma

Seuraava vaihe pintamallin tekemisessä on pisteiden merkitseminen pohjakuvaan. Pisteet voidaan merkitä pinnantasaussuunnitelmassa esitetyille taiteviivoille, liikennealueen reunoille, kaivojen kohtiin sekä luiskien ylä- ja alareunoihin. Pisteiden merkinnän yhteydessä pisteelle annetaan Z-lukema eli sen korkeus merenpinnasta. Mitä enemmän pisteitä kuvaan merkitään, sen tarkempi koneohjausmallista on mahdollista tehdä. Pisteet ja niiden korkotiedot näkyvät kuvassa 18 vihreällä värillä.



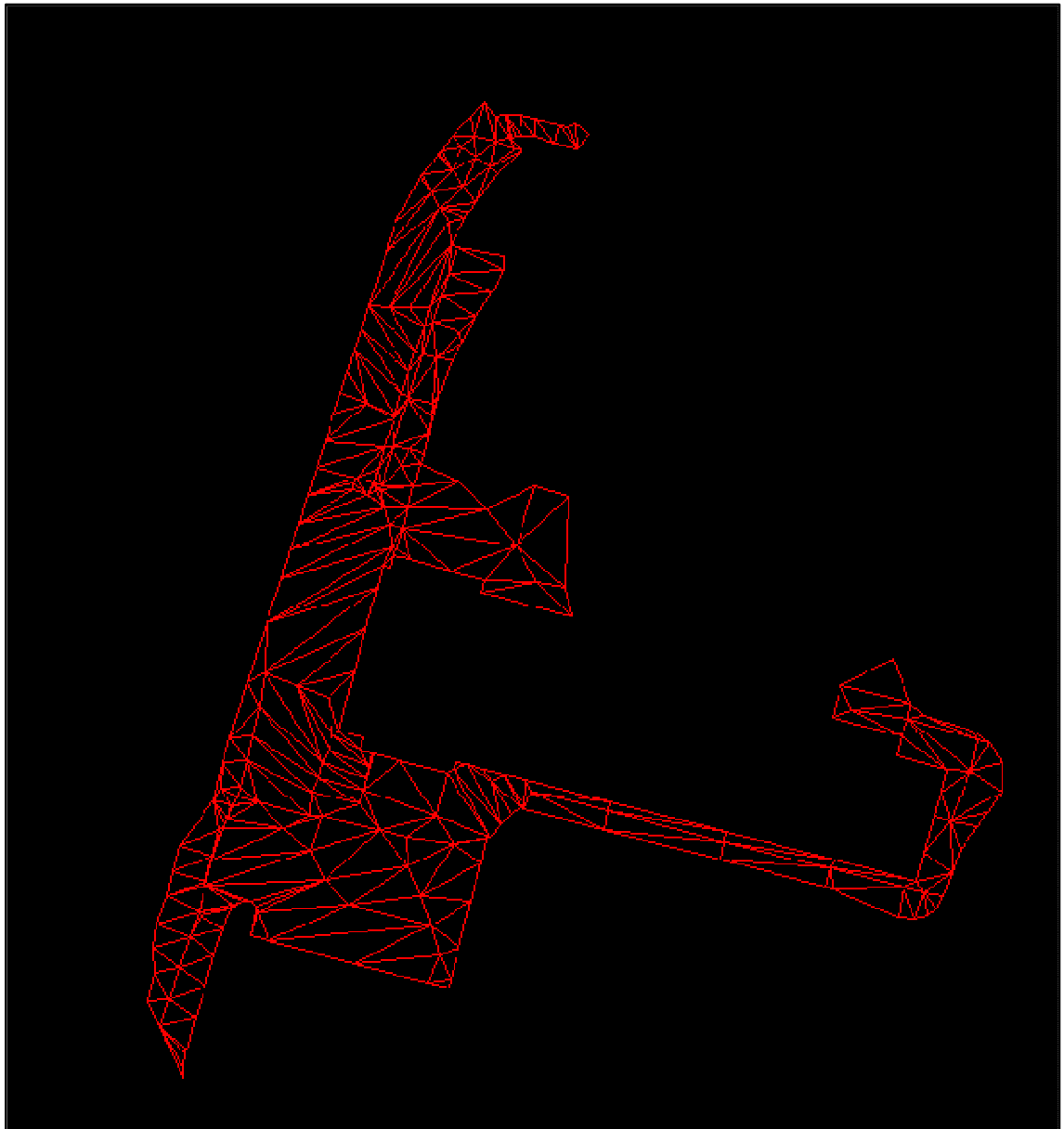
KUVA 18. Pisteiden merkintää pinnantasaussuunnitelmaan

Pisteiden merkinnän jälkeen alue kolmioidaan (muodostetaan kolmiopintoja kolmen pisteen suhteen) manuaalisesti tai automaattisesti. Tamron pintamallin kolmiointi tehtiin manuaalisesti, koska tällöin pystyttiin seuramaan mallin muodostumista ja miettimään samalla, onko pisteet sijoitettu oikeille paikoille oikealla tiheydellä. Manuaalista kolmiointia suoritettaessa suunnittelija pystyy seuramaan koko ajan mallin muodostumista, ja näin valmista pintamallia ei tarvitse erikseen tarkastella.

Kun kaikki kolmiopinnat on saatu valmiiksi, täytyy niistä muodostaa yksi yhtenäinen kolmioverkko. CADS GeoXY -ohjelmassa kyseinen toiminto hoituu yhdellä komennolla. Kun yhtenäinen kolmioverkko on tehty, se kannattaa kopioida uuteen ja tyhjään kuvaan, jolloin pohjalla olleesta suunnitelmasta ei tule mukaan yksittäisiä viivoja ja pisteitä, jotka saattavat haitata mallin näkymistä koneohjauslaitteistossa. Tämän jälkeen yhte-

näinen kolmioverkko puretaan takaisin yksittäisiksi kolmiopinnoiksi yhden komennon avulla. Mallin toimivuuden yksi ehto on, että kolmioidut pinnat ovat yksittäisiä kolmiopintoja, ei yhtenäinen kolmioverkko.

Viimeinen vaihe on pintamallin tallentaminen oikeaan muotoon. CADS GeoXY osaa tallentaa pintamallin DXF 2010, DXF 2007, DXF 2004/LT2004 ja DXF 2000/LT 2000 versioihin. Pintamalli tallennettiin varmuuden vuoksi kaikkiin edellä mainittuihin versioihin ja vietiin USB-tikulla koneohjauslaitteistoon. Koneohjauslaitteisto ymmärsi näistä tallennusmuodon DXF 2000/LT 2000. Muita tallennusmuotoja ei saatu laitteiston näytöllä näkymään. Kuvassa 19 näkyy Tamron piha-alueiden valmis pintamalli.



KUVA 19. CADS GeoXY:llä tuotettu Tamron piha-alueiden pintamalli

3.4.2 Tamron pintamallin vieminen koneohjauslaitteistoon

Suunnitelmien vieminen koneohjauslaitteistoon työmaalle päätettiin alusta alkaen hoitaa USB-tikun avulla. Tällöin voidaan tarkistaa paikanpäällä mallin toimivuus, ja samalla käydä kaivinkoneen kuljettajan kanssa läpi suunnitelman yksityiskohtia. Kuvassa 20 näkyy Tamron piha-alueiden pintamalli koneohjauslaitteiston näytöllä. Pintamalli on mallinnettu valmiin pinnan korkoon, jolloin kaivinkoneen kuljettajan täytyy olla tietoinen piha-alueiden rakennekerrosvahvuuksista.



KUVA 20. Tamron pintamalli koneohjauslaitteiston näytöllä.

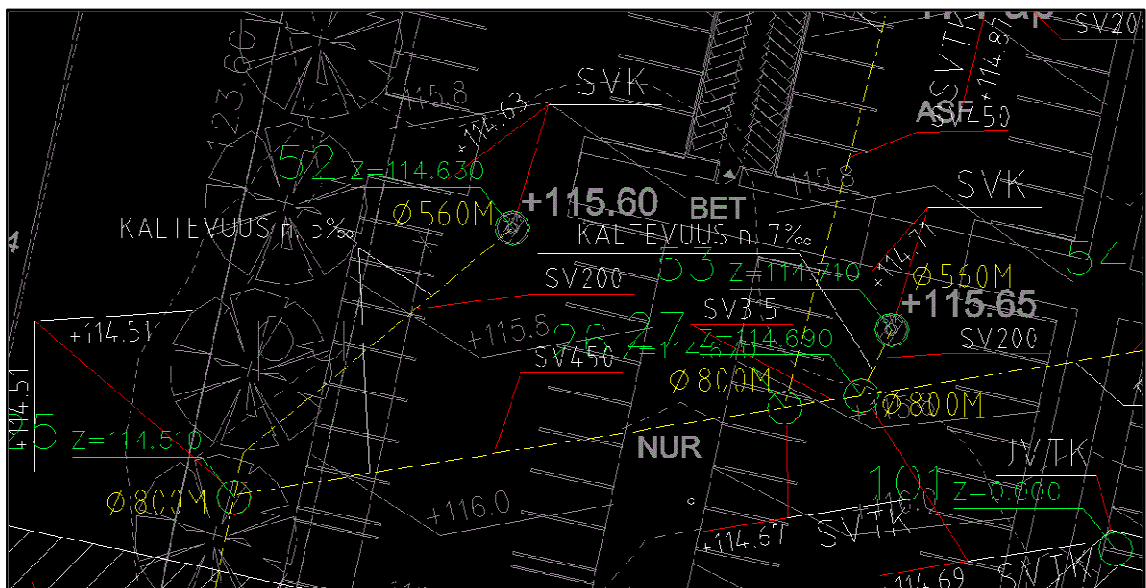
3.4.3 Cargotecin viemärimalli

Novatronin koneohjauslaitteisto mahdollistaisi viemäreiden teossa linjamuotoisen LIN-formaatin käytön, mutta CADS GeoXY ei tue kyseistä formaattia. Suunnitelma haluttiin kuitenkin tehdä Maanrakennus Sulin Oy:n omin voimin, joten viemäreistä pää-

tettiin tehdä kolmioitu pintamalli. Cargotecin työmaan viemärimalli on tehty Ramboll Finland Oy:n tekemän LVI-suunnitelman pohjalta. Kuvassa 21 on otos Cargotecin ulkopuolisten sade- ja jätevesiviemäreiden suunnitelmasta.

Viemärimallin teon lähtökohdiksi otettiin työkoneen luiskakauhan leveys ja viemärikaivannon luiskien jyrkkyys. Työkoneessa käytettävän luiskakauhan leveys on noin 2,80 metriä, joten kaivannon pohja päätettiin mallintaa yhtä leveäksi ja viemäreiden vesijuoksu korkeuteen. Kaivannon luiskat mallinnettiin jyrkkyyteen 1:1 ja noin 1,5 metrin verran kaivannon pohjasta ylöspäin.

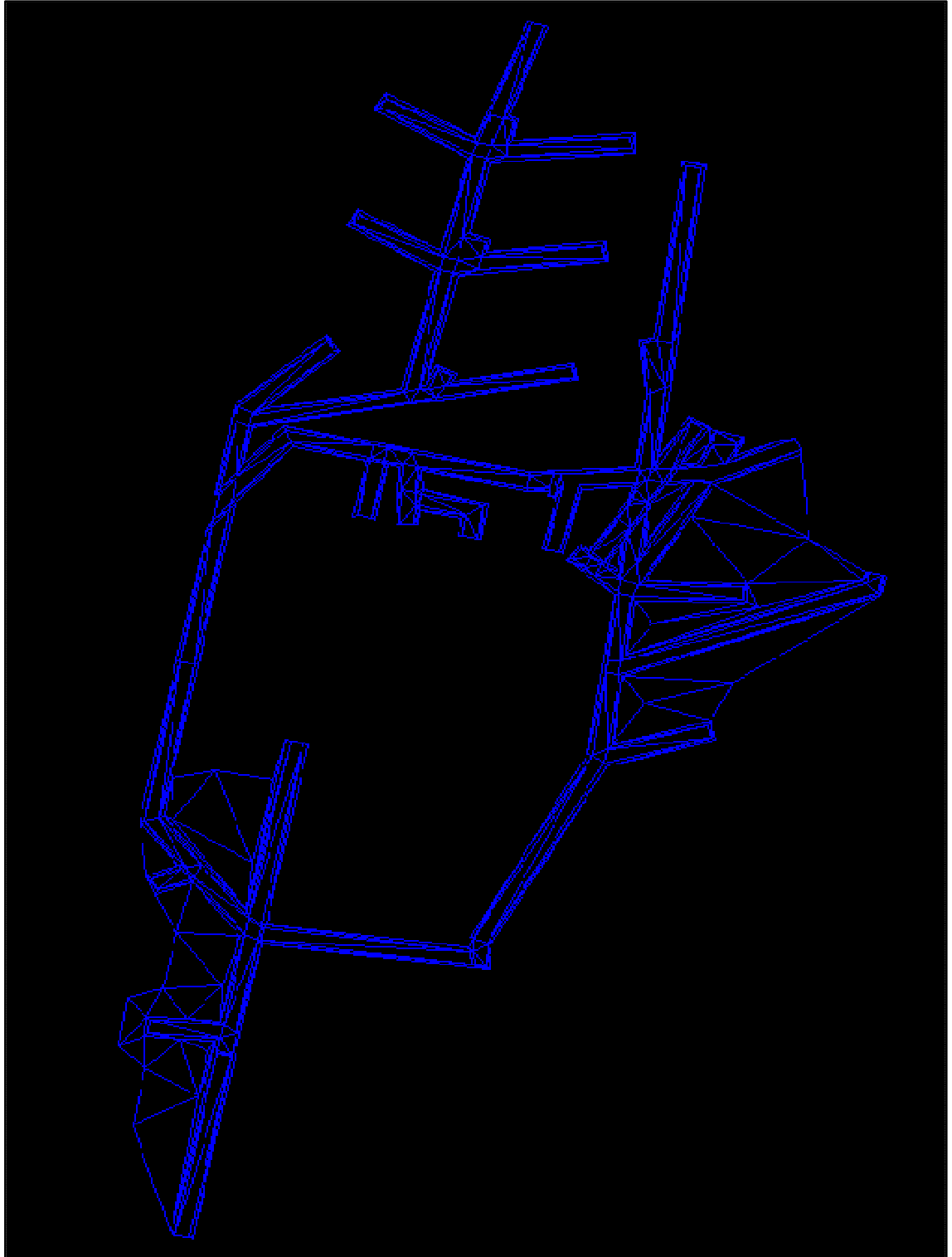
Luiskien mallintaminen ei olisi ollut välttämätöntä, mutta se päätettiin tehdä, koska tällöin kaivannosta saatiin leveämpi koneohjauslaitteen näytöllä. Tämä sen takia, koska kauhan mittapisteen mennessä mallin ulkopuolelle laitteisto kertoo kuljettajalle, että "mittapiste ei ole mallin päällä", ja malli katoaa laitteiston näytöltä siksi aikaa, kunnes kauhan mittapiste palaa mallin päälle takaisin.



KUVA 21. Otos Cargotecin LVI-suunnitelmasta

Kun kaivojen väli mallinnetaan yksinkertaisimmillaan kahdella kolmiopinnalla, tulee malliin automaattisesti tasainen kaltevuus. Kuvassa 21 näkyvien kaivojen vesijuoksujen korkeusero on 0,18 metriä jolloin putkilyn kaltevuus on noin 0,5 % eli 5 mm metrin matkalla.

Kuvassa 22 näkyy valmis sade- ja jätevesilinjoista tehty pintamalli. Putkilinjoja on yhteensä yli 1000 m ja kaivoja pitkälti yli 100 kpl. Kaivojen koordinaattitiedot tuotiin koneohjauslaitteistoon erillisenä GT-muotoisena taustakarttana, jolloin ne oli mahdollista saada laitteiston näytöllä näkyviin eri värillä kuin pintamalli.



KUVA 22. Cargotecin sade- ja jätevesiviemäreistä tehty pintamalli

4 LAITTEISTON HYÖDYNTÄMINEN TYÖMAILLA

Koneohjauslaitteistoa hyödynnettiin kahdella työmaalla maaleikkauksessa, anturoiden pohjien teossa, liikennealueiden rakennekerrosten levityksessä sekä sade- ja jätevesiviemäröinnissä. Laitteisto otettiin ensimmäisenä käyttöön Tamron laajennuksen työmaalla Tampereen Lahdesjärven kaupunginosassa, jossa aluksi päästiin kokeilemaan maaleikkausta ja anturoiden pohjien tekoa järjestelmän avulla. Myöhemmin laitteistoa hyödynnettiin samalla työmaalla liikennealueiden leikkaustöissä sekä rakennekerrosten teossa. Ensimmäiset Tamron työmaalla käytetyt 3D-suunnitelmat tilattiin Ramboll Finland Oy:ltä, ja niitä käytettiin työmaalla ensimmäiset neljä kuukautta. Tämän jälkeen pinnantasaussuunnitelmiin tuli muutoksia, joten katsottiin edullisemmaksi tuottaa 3D-pintamallit itse.

Joulukuun alussa 2011 kaivinkone siirrettiin Tampereen Ruskoon Cargotecin työmaalle, jossa laitteistoa päästiin hyödyntämään anturoiden pohjien teossa sekä sade- ja jätevesiviemäröinnissä. Myöhemmin keväällä 2012 on tarkoitus tehdä 3D-malli Cargotecin työmaan pinnantasauksesta, ja muotoilla koneohjauksen avulla avo-ojat sekä luiskat korkoonsa. Pintamallia voidaan tarpeen tullen käyttää myös rakennekerrosten levitykseen työmaa-alueella.

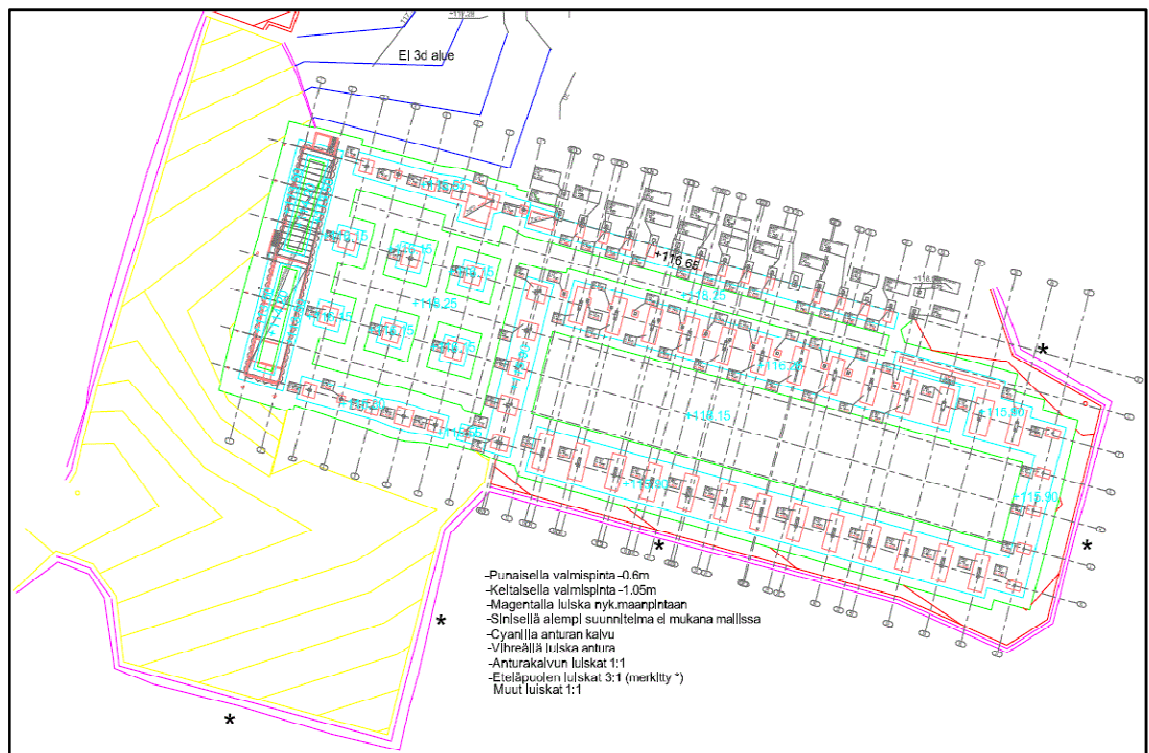
A-insinöörit Oy:n toimesta Bronto Skyliftin työmaalle Tampereen Raholaan tuotettiin 3D-pintamalli piha-alueen pinnantasauksesta loppukesästä 2011. Tarkoituksena oli käydä viimeistelemässä luiskat koneohjauslaitteiston avulla kyseisellä työmaalla, mutta aikataulullisista syistä johtuen mallin toimivuutta ei päästy testaamaan.

4.1 Maaleikkaus Tamron työmaalla

Maanrakennus Sulin Oy tekee vuosittain runsaasti töitä talonrakennuskohteissa, jotka sisältävät paljon maaleikkausta. Maaleikkaus on usein suuri osa maarakennusurakan kustannuksia ja koneohjauksen avulla on mahdollisuus saada maaleikkaukseen lisää tarkkuutta ja tehokkuutta. Maaleikkauksen kustannukset muodostuvat useasta eri osasta, eli maata leikkaavan ja kuormaavan kaivinkoneen tuntihinnasta, kuorma-autojen tuntihinnasta sekä mahdollisesta maankaatopaikan kaatopaikkamaksusta. Työn

tehokkuuden ja tarkkuuden parantuessa koneohjauksella on mahdollista vaikuttaa näihin kaikkiin tekijöihin.

Tamron työmaalla oli leikattavia massoja urakan laskentavaiheessa tuhansia kuutioita. Kohde sisälsi myös paljon louhittavia massoja, mikä ei koneohjauksen käyttöä ajatellen ollut paras mahdollinen tilanne. Maaleikkausta oli kuitenkin paljon sekä liikennealueilla, että rakennuksen pohjalla, johon oli tarkoitus tehdä metrin massanvaihto anturoiden alle. Kuvassa 23 on esitetty periaate millä koneohjausmalli on tehty maaleikkausta varten.



KUVA 23. Tamron koneohjausmallin periaate (Ramboll Finland Oy, 2011)

Kuvassa 24 on maaleikkaustyöt käynnissä anturalinjalla ja kuvassa 25 oikeaan korkoon leikattua rakennuspohjaa (1 m alle anturan alapinnan). Kuten kuvista 24 ja 25 huomataan, niin mittatikkuja ei leikkausvaiheessa tarvinnut käyttää juuri lainkaan. Koneohjauslaitteiston avulla onnistuttiin leikkaamaan anturalinjat oikealle paikalle ja oikeaan korkoonsa todella hyvällä tarkkuudella.

Laitteistoa ei aluksi uskallettu jättää toimimaan täysin omavaraisesti, vaan leikkaustyön korkoa ja anturalinjaa käytiin tarkastamassa muutama otteeseen mittaryhmän toimes-

ta. Mitään huomauttamista ei kuitenkaan ilmaantunut. 3D-mallia tehtäessä oli otettu huomioon riittävät työvarat. Samaa mallia voitiin käyttää myös kun anturan pohjia tehtiin korkoonsa.



KUVA 24. Maaleikkaustyöt käynnissä Tamron työmaalla 12.05.2011



KUVA 25. Korkoonsa leikattua rakennuspohjaa Tamron työmaalla 13.05.2011

4.2 Liikennealueen rakennekerrosten levitys Tamrolla

Tamron työmaalla koneohjausta hyödynnettiin muun muassa liikennealueiden rakennekerrosten levityksessä. Valmistelevana toimenpiteenä liikennealue oli leikattu rakennekerrosten alapintaan, ja alueelle oli levitetty pohjalle suodatinkangas. Suoraan suodatinkankaan päälle levitettiin 400 mm:n jakava kerros murskeesta 0/90 mm.

Kuvassa 27 näkyvä liikennealue on leikattu rakennekerrosten alapintaan ja päälle on levitetty suodatinkangas. Kuvassa 28 koneohjauslaitteistolla varustettu kaivinkone levittää jakavaa kerrosta liikennealueelle. Jakavan kerroksen levitys hoidettiin käyttäen Tamron työmaan piha-alueiden valmiin pinnan pintamalla. Kaivinkoneen kuljettajalle kerrottiin, että jakavan kerroksen yläpinta on 200 mm alle valmiin pinnan. Sillä perusteella kuljettaja pystyi muotoilemaan liikennealueen oikeaan korkoonsa.

Liikennealueelle laitettiin mittaryhmän toimesta joitakin mittatikkuja, joihin oli laitettu valmiin pinnan korkolaput. Tämä tehtiin, jotta pystyttiin seuraamaan järjestelmän toimintaa. Kauhan mittapistettä ja korkolappuja eri paikoista vertailtaessa oli niiden ero suurimmillaan XY-suunnassa noin 5 cm ja Z-suunnassa noin 3 cm.



KUVA 27. Liikennealue rakennekerrosten alapinnassa Tamron työmaalla 21.10.2011

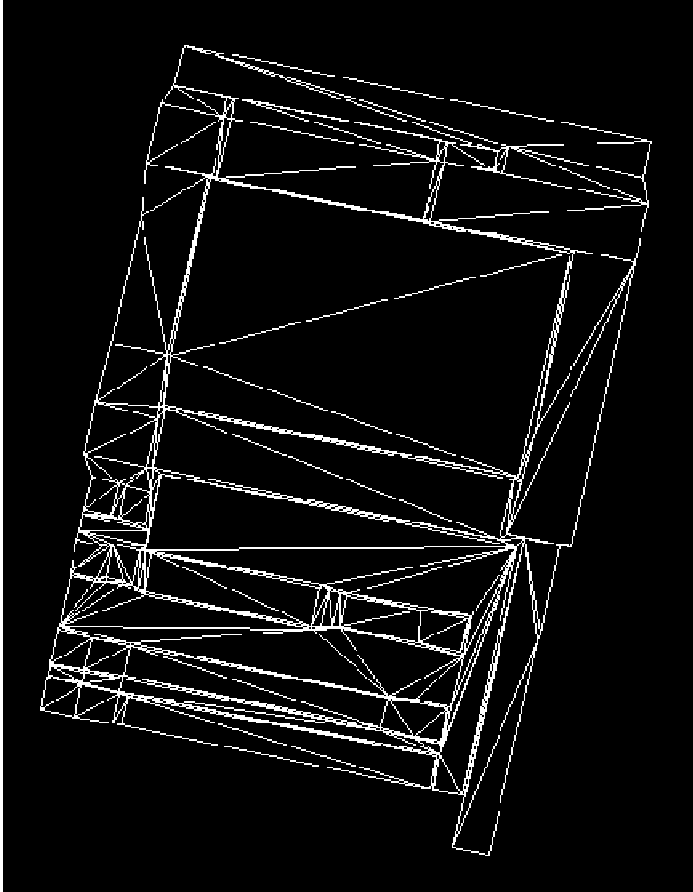


KUVA 28. Jakavan kerroksen levitystä Tamron työmaalla 21.10.2011

4.3 Anturoiden pohjien teko Cargotecin työmaalla

Cargotecin työmaalla anturoiden pohjia viimeisteltiin koneohjauksen avulla. Kuvassa 29 näkyy Cargotecin pajarakennuksen pohjoisosan anturan pohjista tehty pintamalli. Kuvassa 30 on anturoiden pohjien viimeistely käynnissä 21.12.2011. Anturoiden pohjien teon yhteydessä vedettiin myös salaojalinjoja ja asennettiin salaojakaivoja, mutta niitä varten ei tehty 3D-suunnitelmia.

Pajarakennuksen anturoille oli tehty aikaisemmassa rakennusvaiheessa massanvaihto louheesta ja kiilattu murskeella 0/150 mm noin 300 mm alle anturan alapinnan. Viimeinen 300 mm vahva murskekerros levitettiin koneohjauksella apuna käyttäen. Kaivinkoneen apumies tarkasti tasolaserilla koron useasta kohtaa anturan pohjilta ja pohjan korko pysyi toleranssien sisällä lähes joka paikassa ollen noin ± 2 cm.



KUVA 29. Cargotecin anturoista tehty pintamalli



KUVA 30. Anturoiden pohjien tekoa Cargotecin työmaalla 21.12.2011

4.4 Sade- ja jätevesiviemäröinti Cargotecin työmaalla

Koneohjausta päästiin hyödyntämään Cargotecin työmaalla sade- ja jätevesiviemäröinnissä keväällä 2012. Kaivannon pohja ja luiskat mallinnettiin kolmioverkkona. Kaivot tuotiin laitteistoon erillisenä GT-muotoisena tiedostona, jolloin ne saatiin näkymään eri värillä kuin pintamalli. Kuvassa 31 on viemärimallin näkymä kaivinkoneen kuljettajalle.

Kuvassa näkyy keltaisella värillä viemärikaivanto ylhäältä. Vihreät pisteet merkitsevät kaivoja. Kaivot on numeroitu tiedostoon samoin numeroin, kuin ne on tilattu tehtaalta työmaalle. Tällöin kaivinkoneen kuljettaja tietää, minkä kaivon hän tarvitsee seuraavaksi, ja osaa kertoa sen apumiehelle.



KUVA 31. Viemärikaivannon näkymä laitteiston näytöllä

Cargotecin maarakennustyöselityksen mukaan kaivannon pohjalle tulee tehdä 200 mm:n vahvuinen arinakerros. Viemärimallissa kaivannon pohja on mallinnettu viemäreiden vesijuoksuun. Tästä tietoisena kaivinkoneen kuljettaja kaivaa viemäriinjan 200 mm alle laitteistolla näkyvän tavoitetason, ja laittaa hiekkaa tai murskettä 200 mm tilalle. Arina tiivistetään tässä kohtaa tärylätkällä apumiehen toimesta ja viimeinen taso-

kerros levitetään tasolaseria apuna käyttäen. Apumiehen työtä helpottaa se, ettei arinan korkoa tarvitse olla seuraamassa koko ajan. Kaivojen paikkoja ei myöskään enää tarvitse sitoa apumiehen toimesta, koska kuljettaja pystyy laittamaan kauhan mittapisteen kaivon kohdalle laitteistoa hyväksi käyttäen.



KUVA 32. Sadevesilinjan teko käynnissä Cargotecilla

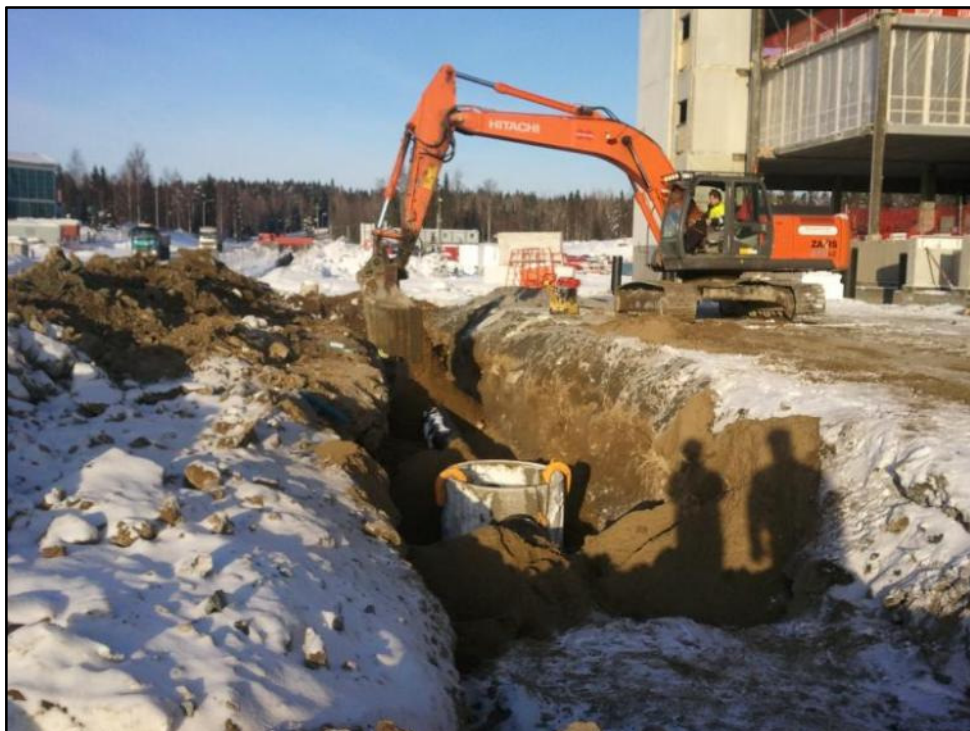
Kuvassa 32 näkyy kaivettua sadevesilinjaa, ja kuvassa 33 on sadevesilinjan putken asennus käynnissä. Kuvassa 34 tehdään alkutäyttöä viemärikaivantoon asennetulle putkelle. Huomionarvoisia asioita viemäröintiä tehtäessä oli useita. Kaivinkoneen kuljettaja kertoi, että kaivaminen oli nopeutunut johtuen siitä, että hukkakaivun määrä oli pienentynyt huomattavasti. Lisäksi kaivantolinja pysyi kaivettaessa suorana kaiken aikaa ja arinan vahvuus pysyi tasalaatuisena lähes koko kaivannon matkalta. Yksi huomionarvoinen seikka on, että kun kuljettaja tietää putken halkaisijan, hän pystyy tekemään juuri oikean vahvuisen suojahiikkakerroksen putken päälle, jolloin on mahdollista säästää materiaalia.

Myös mittaryhmän osuus Cargotecin viemäröintitöissä on vähentynyt. Aikaisemmin mittaryhmä on merkinnyt kaikkien kaivojen paikat työmaille. Koneohjauslaitteiston käyttöönoton myötä kaivoja ei ole tarvinnut merkitä työmaalle lainkaan, vaan kaikki Cargotecin kaivot on asennettu paikalleen laitteiston avulla. Kaivoista on otettu joitakin

tarkemittauksia mittamiesten toimesta koskien kaivojen sijaintia ja korkeusasemaa. Tähän mennessä kaivojen sijainti ja korkotaso ovat olleet muutaman sentin sisällä verrattuna suunnitelman mukaisiin sijainteihin ja korkotasoon



KUVA 33. Sadevesilinjan putken asennus käynnissä Cargotecilla



KUVA 34. Sadevesilinjan putken täyttötyö käynnissä Cargotecilla

4.5 Tarkemittausten tekeminen koneohjausjärjestelmän avulla

Järjestelmän avulla voidaan suorittaa myös maastomittausta. Kun tiedetään kauhan mittauspisteen koordinaatit, voidaan niitä hyödyntää toteutumätiedon tallentamiseen. Pisteet on mahdollista erotella koodeilla. (Novatron 2011, 2).

Tarkemittauksia otetaan työmailla yleensä esimerkiksi asfaltin pinnasta, eri rakennekerrosten pinnoista sekä kaivojen sijainneista ja niiden vesijuoksujen koroista. Tarkkeet otetaan mittamiesten toimesta takymetrillä, ja tiedot välitetään työmaainsinööriin käsittelyn kautta tilaajalle. Tarkemittausten tekeminen on oleellinen osa yrityksen ja työmaiden laatusuunnitelmaa.

Tarkemittauksen ottamista koneohjausjärjestelmällä kokeiltiin Cargotecin työmaalla. Tarkemittaus otettiin yhden sadevesikaivon kannesta ja siitä saatua tietoa verrattiin suunnitelman mukaisiin koordinaattitietoihin sekä mittaryhmän tekemään tarkemittaukseen.



KUVA 35. Tarkemittauksen otto sadevesikaivon kannesta

Kuvassa 35 tehdään tarkemittausta sadevesikaivon kannesta Cargotecin työmaalla. Kai-vinkoneen kauhaan on mitattu tarkasti sen keskikohta ja tehty siihen pieni maalimerkin-tä, jotta kuljettaja saa tarkasti vietyä kauhan kaivon keskikohtaan.

Taulukossa 1 on esitetty koordinaattitiedot sadevesikaivon kannesta, josta on tehty tar-kemittaus sekä koneohjausjärjestelmällä, että mittaryhmän toimesta. Taulukossa on esi-tetty myös suunnitelman mukaiset koordinaatit. Taulukosta 1 nähdään, että takymetrilla ja koneohjausjärjestelmällä tehdyt tarkemittaukset ovat XY-tasossa noin 5 cm:n päässä toisistaan. Suunnitelman mukaiseen sijaintitietoon heittoa on noin 2 - 3 cm.

TAULUKKO 1. Sadevesikaivon koordinaattitiedot

Koordinaatti	Novatron Vision 3D	Mittaryhmä / Takymetri	Suunnitelma
X	15770.461	15770.410	15770.430
Y	94802.581	94802.520	94802.540

4.6 Rakennuttajien kanta tarkemittausten tekemiseen

Opinnäytetyön tekijä selvitti rakennuttajien ja valvojen edustajien mielipiteitä koneoh-jausjärjestelmän käytöstä tarkemittausten tekemiseen. Asiaa tiedusteltiin muun muassa SRV Pirkanmaalta, A-insinöörit Rakennuttaminen Oy:ltä, Tampereen kaupungilta ja Ramboll Finland Oy:ltä. Kaikille osapuolille esitettiin kysymys "Hyväksyttekö laadun-varmistuksena koneohjauksella otettuja tarkemittauksia?". Lisäksi kaikille kerrottiin laitteiston mittatarkkuudeksi X,Y-suunnassa ± 3 cm ja Z-suunnassa ± 2 cm.

Vastaukset olivat melko kirjavia. Osan mielestä koneohjausjärjestelmä soveltuu tarke-mittausten tekemiseen esimerkiksi eri rakennekerroksista ja maaleikkauksen jäljiltä. Osan mielestä on aina ehdottomasti käytettävä takymetrimittausta riippumatta mitatta-vasta kohteesta. Vastaajista pääosan mielestä asiaa voitiin katsoa kuitenkin työmaakoh-taisesti ja ehdotettiin esimerkiksi sellaista, että koneohjausjärjestelmän luotettavuus työmaalla osoitettaisiin takymetrimittausten avulla, jonka jälkeen järjestelmää voitaisiin käyttää tarkemittausten tekemiseen. (Häkkinen, Ilkka, Majuri, Ruohomäki, Virta 2012.)

Vastaajien mielestä tarkemittauksiin liittyvät asiat pitäisi ilmoittaa etukäteen työvaihe-kohtaisissa suunnitelmissa, joissa olisi ilmoitettu etukäteen vastuuhenkilöt sekä mittaus-

tiheydet ja -laitteet, ja ne hyväksytettäisiin tilaajalla ennen mittauksien tekemistä. Tällöin mittaukset olisivat luotettavia ja suunniteltu työvaiheiden vaatiman tarkkuuden mukaan. (Häkkinen ym. 2012.)

Kyselyyn vastanneet osapuolet olivat kiinnostuneita asiasta ja pitivät koneohjauksen käyttöä hyvänä asiana esimerkiksi uusille ennen rakentamattomille alueille rakennettaessa. Vastanneiden osapuolten mielestä koneohjauksen käyttö on ehdottomasti osa tulevaisuutta infrarakentamisen alalla, ja tarkemittausten tekemisen järjestelmien avulla odotetaan yleistyvän. (Häkkinen ym. 2012.)

5 KOKEMUKSET KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTÖSTÄ

5.1 Haastattelut ja käyttökokemukset

Tässä luvussa käydään läpi haastattelukysymysten pohjalta koneohjauslaitteiston toimivuutta ja sen käytöstä kertyneitä kokemuksia Maanrakennus Sulin Oy:ssä viimeisen vuoden ajalta. Kysymykset on laadittu yrityksen työpäällikölle, työnjohtajille, 3D-mallien laatijalle, koneen kuljettajalle sekä mittaryhmälle ja ne vaihtelevat hieman vastaajaan mukaan. Kullekin osapuolelle esitetyt kysymykset ovat opinnäytetyön liitteenä.

Opinnäytetyön kirjoittaja on lisäksi tehnyt huomattavan määrän muistiinpanoja koneohjausjärjestelmän työmaakäyttöön liittyvistä asioista ja keskustellut moneen otteeseen järjestelmän toiminnasta niiden henkilöiden kanssa, joille kysymykset on esitetty. Kaiken edellä mainittujen asioiden pohjalta yritetään muodostaa käsitys järjestelmän toimivuudesta Maanrakennus Sulin Oy:n käytössä tähän asti.

Luvussa käsitellään haastattelukysymykset ja keskustelut. Niiden perusteella selvitetään koneohjausjärjestelmän tarjoamat edut ja hyödyt talonrakennustyömaan maanrakennustöissä. Luvussa kerrotaan myös järjestelmän käytön aikana ilmenneistä ongelmista.

5.1.1 Työpäällikkö

Maanrakennus Sulin Oy:n työpäällikön mukaan koneohjausjärjestelmä päätettiin hankkia yritykseen, koska laskennallisesti uskottiin, että laitteisto maksaa investointina itsensä takaisin noin vuodessa. Työpäällikön mukaan järjestelmä soveltuu parhaiten isojen alueiden maaleikkaustöihin, esimerkiksi isoille pysäköintialueille. Myös luiskien ja meluvallien muotoilu tulee parhaiten kysymykseen. Viemäröintityöt ja rakennekerroksien levittäminen liikennealueille onnistuvat myös hyvin. (Sulin, 2012.)

Työpäällikkö kertoi, että järjestelmää ei ole päästy hyödyntämään 100 prosenttisesti, koska työkonetta on jouduttu käyttämään muun muassa louhintatöissä täkkäykseen ja louheen irrotukseen sekä tekemään välillä muita pieniä töitä, joihin mallinnusta ei voida eikä kannata tehdä. Työkoneen teho, tuottavuus ja tarkkuus ovat silti parantuneet jonkin

verran viimeisen vuoden aikana. Tätä kautta on saatu yritykselle taloudellista hyötyä muun muassa materiaalisäästöjen kautta. Työpäällikön mukaan säästöjä on syntynyt myös mittaryhmän työtuntien vähenemisestä niillä työmailla, joilla koneohjausjärjestelmää käytetään. Mittakeppien ja korkolappujen vähyys vaikeuttaa hieman varsinkin isomman rakennuskohteen hahmottamista, mutta haitta on hyvin marginaalinen. (Sulin, 2012.)

Yrityksessä ollaan erittäin tyytyväisiä järjestelmän hankintaan ja toimivuuteen. Tulevaisuudessa olisi tarkoitus lisätä järjestelmien määrää yrityksen käytössä ja mahdollisesti jonain päivänä Maanrakennus Sulin Oy:n jokaisessa omassa kaivinkoneessa olisi käytössä koneohjausjärjestelmä. Muihin työkoneisiin ei järjestelmän hankintaa ole vielä mietitty, mutta pyöräkuormaaja voisi olla yksi potentiaalinen vaihtoehto. (Sulin 2012.)

5.1.2 Työnjohtaja

Työnjohtajista molemmat olivat tutustuneet koneohjausjärjestelmään ja tunsivat sen toimintaperiaatteen. Heidän mielestään työkoneen teho ja sitä kautta tuottavuus olivat parantuneet ainakin jonkin verran. Kumpikaan ei kuitenkaan osannut kertoa tarkkoja lukuja. Lisäksi kiviainesmateriaaleja oli säästynyt lähes jokaisessa tehdyssä työvaiheessa. (Niemi & Savolainen, 2012.)

Työnjohtajat kertoivat työkoneen tarkkuuden parantuneen koneohjauksen käyttöönoton myötä. Työmaille oli syntynyt kustannussäästöjä mittaryhmän käytön vähenemisen myötä. Toinen työnjohtajista mainitsi, että esimerkiksi viemäröintitöissä mittaryhmän käyttö oli vähentynyt noin 90 %. Toinen työnjohtajista kertoi, että kaivinkoneen kuljettajasta oli tullut selvästi oma-aloitteisempi järjestelmän käyttöönoton jälkeen. (Niemi & Savolainen, 2012.)

Toisella työnjohtajalla ei ollut kokemusta koneohjausjärjestelmän käytöstä tarkemittauksen tekemiseen, mutta mainitsi, että porarille oli annettu järjestelmän avulla korkoja louhintatöitä varten. Toisella työnjohtajalla oli kokemusta tarkemittauksen tekemisestä, ja hän sanoi järjestelmän soveltuvan muun muassa eri rakennekerroksista tehtäviin tarkemittauksiin. Työnjohtajat olivat yhtä mieltä siitä, että järjestelmää voisi käyttää onnis-

tuneesti esimerkiksi kallion ja massanvaihdon kartoituksessa. (Niemi & Savolainen, 2012.)

Molempien työnjohtajien mielestä koneohjausjärjestelmä helpottaa heidän toimintaansa työmaalla. Muun muassa koneen kuljettaja oli hahmottanut työmaan paremmin alusta alkaen, ja tämä oli tehnyt työnjohtajille laadun tarkkailusta helpompaa. Työnjohtajat mainitsivat myös, että mittaryhmän käytön vähenemisen myötä heitä ei ole enää tarvinnut odotella, vaan mittatiedot ovat koko ajan koneen käytössä. Lisäksi pimeässä ja kovassa sateessa mittaaminen ei takymetrillä onnistu. (Niemi & Savolainen, 2012.)

Työmaan mittakepeistä ja korkolapuista puhuttaessa työnjohtajat sanoivat, että niiden puute hieman vaikeuttaa työmaan hahmottamista, mutta lisäsivät, että työkohdetta pystyy hahmottamaan melko hyvin työkoneen näytöltä. Kumpikin työnjohtajista oli ollut tyytyväinen järjestelmän toimintaan ja molemmat olivat valmiita käyttämään järjestelmää omilla työmaillaan myös jatkossa. (Niemi & Savolainen, 2012.)

5.1.3 Pintamallien suunnittelija

Suunnittelija kertoi tuntevansa koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen pääpiirteittä. Lisäksi hän oli tutustunut laitteiston toimintaan henkilökohtaisesti työmaalla ja koekäyttänyt tekemiään pintamalleja. Suunnittelijalla ei ollut aikaisempaa kokemusta pintamallien tekemisestä koneohjauskäyttöön, mutta kokemusta CADS GeoXY -ohjelman käytöstä ja kolmioinnista löytyi muutaman vuoden ajalta. (Tarkkio, 2012.)

Suunnittelijan mielestä pintamallien tekeminen CADS GeoXY -ohjelmalla on työlästä ja Maanrakennus Sulin Oy:n pitäisi harkita esimerkiksi 3DWIN-ohjelmiston hankintaa pintamallien tekemistä varten. 3DWIN-ohjelmistolla onnistuisi myös LIN-formaatin käsittely. Suunnittelijan mukaan Tamron piha-alueiden valmiin pinnan pintamallin tekemiseen oli kulunut aikaa noin 20 tuntia. Cargotecin viemärimallin tekeminen oli kestänyt noin kahdeksan tuntia. Suunnitelmien muutokset olivat aiheuttaneet lisätöitä muutamien tuntien edestä. (Tarkkio, 2012.)

Pintamallin tarkkuudesta puhuttaessa suunnittelija oli sitä mieltä, että verkon tiheydellä ei varsinaisesti ole merkitystä. Kolmiointi tulee olla aukoton ja niin kattava, että verkko

on suunnitelmien mukainen. Tarkkuuden määrittelevät enemmänkin yleiset laatuvaatimukset ja osittain myös työtekniset asiat. Suunnittelija täsmensi, että kolmioverkon tiheyden määrittäminen tulee olennaiseksi, kun ohjelmisto kolmioi automaattisesti. Automaattinen kolmiointi voi tehdä turhaan pieniä kolmioita, jolloin tiedoston koko kasvaa, ja se voi aiheuttaa ongelmia mallin toiminnassa koneohjausjärjestelmässä. Suunnittelija lisäsi myös, että puhuttaessa 2D-suunnitelmien muokkaamisesta 3D-suunnitelmiksi "käsityönä" tehdyt mallit ovat luotettavampia kuin ohjelmiston itse kolmioimat. Asia on tietenkin täysin eri, kun puhutaan tietomalleista. (Tarkkio, 2012.)

Suunnittelijan mielestä työmaille tehdyt pintamallit olivat toimineet hyvin, kunhan oli löydetty oikeat tallennusmuodot. Tarkemmittausten tekemiseen ei järjestelmä suunnittelijan mielestä sovi, vaan siihen tarvitsee käyttää takymetria mahdollisten virheiden minimoimiseksi. Suunnittelijan mielestä koneohjauksen tulevaisuuden rooli maanrakennusalalla on suuri, koska koko ajan pitää pystyä menemään eteenpäin ja järjestelmien tulee kehittyä. (Tarkkio, 2012.)

5.1.4 Koneen kuljettaja

Kaivinkoneen kuljettaja kertoi, että oli saanut käyttökoulutusta koneohjausjärjestelmän käyttöönoton yhteydessä, ja sanoi tuntevansa järjestelmän toimintaperiaatteen. Kuljettaja oli ollut tyytyväinen laitteiston toimintaan tähän asti, vaikka häiriötilanteilta ei oltu kokonaan vältytty. Laite ei ollut muutamaa otteeseen muun muassa pystynyt paikantamaan itseään riittävän tarkasti, johtuen katvealueesta ja tukiaseman korjaussignaalin katkeamisesta. Häiriötilanteisiin oli kuitenkin ollut nopeasti apua saatavilla. (Lehtinen, 2012.)

Kuljettaja oli käyttänyt järjestelmää maaleikkaukseen, anturoiden pohjien tekemiseen, liikennealueiden rakennekerrosten levitykseen ja viemäröintitöihin. Lisäksi kuljettaja kertoi käyttäneensä laitteistoa tarkemmittausten tekemiseen sekä antaneensa porarille muutamaa otteeseen korkoja louhintatöitä varten. (Lehtinen, 2012.)

Kuljettajan mielestä järjestelmä oli toiminut pääsääntöisesti hyvin, eikä hän tekisi enää mieluummin töitä ilman sitä. Kuljettaja arvioi, että työn jälki, tarkkuus ja tehokkuus olivat parantuneet varsinkin pimeään aikaan työskenneltäessä. Kuljettaja kertoi, että

myös apumiehen tehtävät varsinkin viemäröintitoissa olivat helpottuneet järjestelmän tulon myötä. Kuljettaja ei kaivannut mittatikkuja työmaalle, vaan kertoi, että pystyy hahmottamaan työkohteen koneohjausjärjestelmän näytöltä. (Lehtinen, 2012.)

5.1.5 Mittaryhmä

Mittaryhmää haastateltaessa he kertoivat ensimmäisenä mittaustyön vähentyneen niillä työmailla huomattavasti, missä järjestelmä oli ollut käytössä. Alkuun järjestelmän toimintaa oli valvottu mittaryhmän toimesta, mutta kun oli huomattu, että järjestelmä toimii, niin esimerkiksi kaivojen mittaaminen paikalleen oli hoidettu pelkästään koneohjauksella. (Eskola & Tuomala, 2012.)

Mittaryhmä kertoi tuntevansa koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen ja toivovansa lisää järjestelmiä yrityksen käyttöön, koska esimerkiksi massanvaihtojen ja kallion karkoitus onnistuisi sen avulla mainiosti. Mittaryhmä kertoi myös, että heitä ei voida kokonaan korvata koneohjauksella, vaan esimerkiksi tietyt tarkemittaukset täytyy tehdä edelleen takymetrillä. (Eskola & Tuomala, 2012.)

Mittaryhmä oli muutamaan otteeseen tehnyt tarkemittauksia koneohjauksen käytön jäljiltä ja kertoivat työn tarkkuuden olleen toleranssien sisällä tai erittäin lähellä sitä. Mittaryhmän mielestä järjestelmää voitiin käyttää tarkemittausten tekemiseen esimerkiksi rakennekerrosten eri pinnoista. Kysyttäessä pintamallin laatimisesta työmaan käyttöön mittaryhmä vakuutti sen onnistuvan pienen harjoittelun tuloksena. (Eskola & Tuomala, 2012.)

5.2 Koneohjauslaitteiston tarjoamat edut ja hyödyt

Kaikkien vastausten perusteella koneohjausjärjestelmä on tarjonnut useita hyötyjä Maanrakennus Sulin Oy:lle. Työkoneen tehokkuus ja tarkkuus ovat parantuneet varsinkin pimeään aikaan työskenneltäessä. Materiaalisäästöjä on syntynyt useissa kohteissa riippumatta työvaiheista, ja mittaryhmän käyttö on vähentynyt niillä työmailla huomattavasti, joilla järjestelmää käytetään.

Koneohjausjärjestelmän käyttöönoton myötä työnjohtajien laadun tarkkailu on helpottunut ja kaivinkoneen kuljettaja on pystynyt hahmottamaan työkohteen paremmin heti alusta alkaen. Kaivinkoneen kuljettajasta on tullut oma-aloitteisempi, mikä on työmaan kannalta hyvä asia.

Kaivinkoneen apumiehen tehtävät ovat helpottuneet viemärointitoissa. Kaivoja ei tarvitse sitoa, koska niiden sijaintitiedot ovat koneohjausjärjestelmässä. Kuljettaja pystyy kaivamaan erittäin tasalaatuisen arinan putkille, jolloin apumiehen ei tarvitse hoitaa muuta kuin tiivistystyö. Putkilinjoista tulee myös automaattisesti suoria ja kaadoista tasaiset.

Järjestelmää voidaan hyödyntää myös ilman 3D-pintamalleja. Esimerkiksi kun tehdään isoa kenttää tai rakennuksen anturan pohjia samaan korkoon tai tasoon, voidaan kuljettajalle ilmoittaa tavoitetaso. Järjestelmän näytöllä näkyvän korkeuden avulla kuljettaja pystyy tekemään kentän tai anturan pohjat oikeaan tasoon. Tätä ominaisuutta hyödynnettiin esimerkiksi Cargotecin työmaan anturan pohjilla.

Tulevaisuutta ajatellen järjestelmän hankinnasta on ollut hyötyä myös siten, että siitä on saatu käyttökokemuksia ja päästy hyödyntämään sitä useissa erilaisissa työvaiheissa maanrakennustyömailla. Seuraavan järjestelmän käyttöönotto sujuu varmasti helpommin ja paremmin, koska pystytään välttämään käyttäjistä johtuneet virheet ja laatimaan riittävän tarkat koneohjausmallit Maanrakennus Sulin Oy:n omin voimin.

5.3 Koneohjauslaitteiston käytön aikana ilmenneitä ongelmia

Koneohjausjärjestelmän käytön aikana ilmenneet ongelmat ovat olleet melko maltillisia ja ne on saatu ratkaistua yleensä Novatron Oy:n avustuksella. Kesällä 2011 ukkosmyrskyn aikana Novatron Oy:n toimipisteen katolla oleva tukiasema vaurioitui hieman yli vuorokaudeksi, ja tänä aikana korjaussignaalia ei saatu järjestelmän käyttöön, jolloin se oli hyödytön.

Tamron työmaalla oli ilmennyt paikannusongelmia aivan uudisrakennuksen lähistöllä työskennellessä. Kuvassa 36 katvealue on sinisen korkean seinän juurella. Huomattakoon, että ongelmat paikannuksessa olivat kyseisessä kohdassa vain hetkellisiä.

Paikannusongelmat kyseisessä kohdassa syntyvät siitä, ettei koneohjausjärjestelmä pysty käyttämään riittävää määrää satelliitteja hyödykseen paikantamista varten. Osa satelliiteista tulevista signaaleista saattaa heijastua rakennuksen seinästä laitteiston käyttöön, jolloin järjestelmä ei pysty hyödyntämään signaaleja eikä paikantamaan työkonetta tarkasti. (Hokkanen, 2012.)



KUVA 36. Katvealue Tamron työmaalla

Cargotecin työmaalla laitteisto on muutamaankin otteeseen joutunut katveeseen, jolloin se ei pysty antamaan tarkkaa sijaintitietoa kuljettajalle. Asiaan saatiin apua Novatron Oy:stä, ja laitteiston asetuksia muutettiin hieman heidän avustuksellaan. Novatron Oy on myös lisännyt korjaussignaalin vahvuutta Ruskon alueella Tampereella. Järjestelmä on alkanut toimimaan alueella paremmin sen jälkeen.

Kaivinkoneen kuljettaja on myös valitellut muutamaankin otteeseen, että järjestelmä vaikuttaa kaivinkoneen radion kuuluvuuteen. Kaivinkoneeseen on tarkoitus asentaa lähiaikoina häiriönpoistaja, jolla ongelma saadaan korjattua. Koneohjausjärjestelmän signaalinkorjaus toimii Elisa Oy:n Internet-yhteyden avulla. Internet-yhteys on muutamaankin otteeseen lakannut hetimitään toimimasta, jolloin laitteisto on kertonut, ettei se voi paikantaa itseään tarkasti. Ongelma on mennyt yleensä nopeasti ohi ilman toimenpiteitä.

Projektin alussa oli hieman ongelmia pintamallien tallennusmuodon kanssa, mutta kun asia saatiin opeteltua kokemuksien kautta, niin sen jälkeen kaikki on toiminut moitteetta. Kaikki tarpeelliset mallinnukset pystytään hoitamaan CADS GeoXY -ohjelmalla.

Työmaaolosuhteissa oli päässyt kerran käymään niin, että kaivinkoneen kuljettajalla oli ollut väärät tiedot työmaan rakennekerrosvahvuuksista, jolloin kuljettaja oli luullut, että järjestelmä on väärässä. Asia oli kuitenkin korjaantunut työnjohdon avulla. Tämä on asia, johon tulee kiinnittää aina erityistä huomiota pintamallia tehtäessä ja selvitetessä kuljettajalle, mitä siihen on mallinnettu ja mitä ei.

Yhtenä ongelmana järjestelmän käytössä on ollut se, ettei järjestelmää ole pystytty käyttämään jatkuvasti hyödyksi, koska välillä työkone on joutunut tekemään sellaisia töitä, johon pintamallia ei ole tehty tai ei voida tehdä. Esimerkkinä tästä ovat louhintatöissä täkkääminen ja louheen irrotus.

6 KUSTANNUSVERTAILU 3D-MALLIEN TUOTTAMISESTA

Koneohjausjärjestelmän käyttö sisältää työmaakohtaisia 3D-mallien tuottamisesta aiheutuvia käyttökustannuksia, koska uudelle työmaalle täytyy olla saatavilla uudet 3D-pintamallit ja suunnitelmien muutosten johdosta myös 3D-malleja on pystyttävä muuttamaan nopealla aikataululla, jotta järjestelmää pystyttäisiin koko ajan hyödyntämään. Työssä selvitettiin kannattaako yrityksen itse hoitaa pintamallien teko vai teettää suunnitelmat ulkopuolisilla suunnitteluyrityksillä.

Tamron työmaalla yhteistyötä tehtiin Ramboll Finland Oy:n kanssa ja Bronton työmaalle pintamallin tuotti A-insinöörit Oy. Bronton mallia ei päästy aikataulullisista syistä kuitenkaan testaamaan. Maanrakennus Sulin Oy:n työpäällikkö Tero Sulin yhdessä opinnäytetyön tekijän kanssa tiedusteli etukäteen Ramboll Finland Oy:n ja A-insinöörit Oy:n tuntiveloitusta pintamallien laatimisesta. Lisäksi kysyttiin hintaa Mitta Oy:stä ja niitä päätettiin verrata Maanrakennus Sulin Oy:n itse tuottamista malleista aiheutuneisiin kustannuksiin.

Vertailun tuloksena yrityksen oma suunnittelija pystyy tuottamaan pintamallit työmaiden käyttöön jonkin verran edullisemmin kuin ulkopuoliset toimijat. Selvityksen perusteella Ramboll Finland Oy:llä, A-insinöörit Oy:llä ja Mitta Oy:llä kului selvästi vähemmän aikaa pintamallien tekemiseen kuin yrityksen omalla suunnittelijalla, mutta sitä vastoin tuntiveloitus oli huomattavasti edullisempi yrityksen omalla suunnittelijalla. Vertailussa ei ole huomioitu pintamallin tuottamiseen vaadittavan ohjelmiston tai sen lisenssin hankintahintaa.

Lisäksi on huomioitava, että mahdollisiin suunnitelmanmuutoksiin on huomattavasti helpompi reagoida yrityksen sisällä, ja sitä kautta saadaan pintamallit nopeammin muutettua uusien suunnitelmien mukaisiksi. Yrityksen harkinnassa on myös 3DWIN-suunnitteluohjelman hankinta, jolloin pintamallien teko nopeutuisi huomattavasti ja 3D-suunnitelmia pystyttäisiin tuottamaan entistä edullisemmin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työ antoi hyvän mahdollisuuden tutustua kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän toimintaan käytännönläheisesti heti järjestelmän hankinnasta ja käyttöönotosta alkaen. Työstä muodostui kokonaisvaltainen paketti, jossa saatiin kerättyä arvokasta kokemusta 3D-suunnitelmien tekemisestä yrityksen omin voimin sekä laitteiston hyödyntämisestä työmailla erilaisissa työvaiheissa.

Työn alkuvaiheissa ja järjestelmää käyttöönotettaessa kului paljon aikaa toimintojen opetteluun, mutta mitä pidemmälle projekti eteni, sen tutummaksi laitteisto on tullut kaikille sen parissa toimineille ja sitä käyttäneille. Järjestelmän kanssa on ollut myös kaikenlaisia pieniä ongelmia projektin aikana, mutta ne on kaikki saatu selvitettyä onnistuneesti, joko Novatron Oy:n, opinnäytetyön tekijän tai 3D-suunnitelmien laatijan toimesta.

Projektin alussa tehtiin yhteistyötä suunnittelutoimistojen kanssa 3D-mallien tuottamisesta, mutta havaittiin, että yrityksen sisällä pystytään tekemään samantasoiset suunnitelmat kilpailukykyiseen hintaan. Pintamallien tuottamista yrityksen sisällä puoltaa myös seikka, että pystytään reagoimaan paremmin ja nopeammin mahdollisiin suunnitelman muutoksiin. Vuorovaikutus pintamallien laatijan, työnjohdon ja koneen kuljettajan välillä on myös välittömämpää.

Käyttökokemusten ja haastattelujen perusteella koneohjausjärjestelmän hankinnasta on ollut selvää taloudellista hyötyä Maanrakennus Sulin Oy:lle. Koneohjausjärjestelmän hankinnan myötä työkoneen tehokkuus ja tarkkuus on parantunut. Sitä kautta on syntynyt materiaalisäästöjä kun esimerkiksi ryöstöt kaivuvaiheissa ovat pienentyneet. Mittaryhmän käyttö on myös selvästi vähentynyt niillä työmailla, joilla koneohjausjärjestelmä on ollut käytössä.

Koneohjausjärjestelmästä ei työn aikana saatu kaikkea mahdollista potentiaalia irti. Esimerkiksi massanvaihtojen ja kallion kartoitusta ei päästy vielä kokeilemaan järjestelmän avulla, mutta lähitulevaisuudessa näin on tarkoitus tehdä. Nykyinen järjestelmä

aiotaan varustaa kauhan kallistuksen anturilla, jolloin järjestelmä ymmärtää kauhan liik-
keet. Tämä helpottaa entisestään työkoneen kuljettajan toimimista.

Työn aikana havaittiin myös, ettei järjestelmällä varustettua työkoneita ole mahdolli-
suus jatkuvasti pitää sellaisessa työssä, jossa koneohjausjärjestelmästä olisi apua. Tällai-
sia työvaiheita ovat esimerkiksi louhintatöissä täkkääminen ja louheen irrotus. Monesti
työmaan koon takia työmaalla on vain yksi kaivinkone maanrakennustöissä ja tällöin
pienimuotoista louhintaa varten sinne ei kannata tuoda toista konetta hoitamaan täkkä-
ystä sekä louheen kuormausta ja viedä sitä sitten takaisin toiselle työmaalle.

Keskikokoiselle maanrakennusyriitykselle koneohjausjärjestelmän hankinta on melko
suuri kertaluontoinen investointi. Pienissä projekteissa ei ole hetkessä mahdollisuus
saada niin suuria säästöjä järjestelmän avulla, että sen hankinta kannattaisi esimerkiksi
yhden työmaan takia. Tarvitaan pitkäjänteistä työtä, jotta voitaisiin saada etua muihin
kilpailijoihin nähden. Paras tilanne olisi, jos työkone pystyttäisiin työllistämään jatku-
vasti sellaisilla työmailla, joilla on paljon maaleikkausta ja rakennekerrosten levitystä.
Tämä on kuitenkin harvoin mahdollista pienten maarakennustyömaiden luonteen takia.

Työstä saatujen kokemusten perusteella Maanrakennus Sulin Oy aikoo panostaa lisää
koneohjausjärjestelmien hankintaan tulevaisuudessa. Yrityksessä on visio, jonka mu-
kaan järjestelmiä yritetään hankkia lisää yksi vuodessa tahdilla. Ensin on tarkoitus va-
rustaa kaikki kaivinkoneet järjestelmillä, jonka jälkeen harkitaan pyöräkuormaajien va-
rustamista niillä. Yrityksessä uskotaan myös siihen, että joskus tulevaisuudessa olisi
mahdollisuus saada koneohjaukseen soveltuvia pintamalleja jo suoraan suunnittelijoilta
urakoiden alkamisvaiheessa.

3D-mallien tekemiseen koneohjauskäyttöä varten CADS GeoXY on työläs ohjelma,
joten yrityksen harkinnassa on toisen suunnitteluohjelmiston hankinta, jotta mallien
tekoa saataisiin nopeutettua ja helpotettua. Yksi potentiaalinen vaihtoehto on suomalai-
nen 3DWIN-ohjelmisto, jota työn tekijä on päässyt käyttämään opiskellessaan Tampe-
reen ammattikorkeakoulussa.

LÄHTEET

Caterpillar. 2006. Road Construction Production Study. Malaga Demonstration & Learning Center. (viitattu 18.3.2012). Saatavissa: <http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf>

Jaakkola Mika. 2010. Työkoneautomaatio hyötykäyttöön - haaste työnjohdolle. Tierakennusmestari 4/2010, (viitattu 12.11.2011). Saatavissa: <http://www.tierakennusmestari.fi/>.

Heikkilä Rauno, Jaakkola Mika. 2005. Johdatus tierakentamisen automaatioon. Tiehallinnon selvityksiä 61/2004, (viitattu 13.11.2011). Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf>

Kauppinen Jussi. 2010. Kustannustehokas suuntima-anturi kaivinkoneen työnohjaukseen. Tampereen teknillinen yliopisto. Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta. Diplomityö. (viitattu 14.11.2011). Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6650/kauppinen.pdf?sequence=3>

Novatron Oy. 2010. Koneohjausjärjestelmät. (verkkojulkaisu). (viitattu 15.11.2011). Saatavissa: <http://www.novatron.fi/download/Esitys%20Novatron%20V3D%202010.pdf>

Poutanen Markku. 2007. Satelliittipaikannus. (verkkojulkaisu). (viitattu 15.11.2011). Saatavissa: <http://www.fgi.fi/~mp/tiedostot/gpskirja.pdf>

Mäntykivi Jari. 2011. 3D-koneohjauksen kannattavuus pienissä maarakennuskohteissa. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Opinnäyte-työ. (viitattu 5.2.2012). Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36209/Mantykivi_Jari.pdf?sequence=1

Tampereen kaupunki. 2011. Koordinaattiuudistus. (verkkojulkaisu). (viitattu 5.2.2012). Saatavissa: <http://www.tampere.fi/tampereinfo/kartat/koordinaattijarjestelmat/koordinaattiuudistus.html>

Novatron Oy. 2011. Vision 3D -koneohjausjärjestelmä. (verkkojulkaisu). (viitattu 18.11.2011). Saatavissa: http://www.novatron.fi/brochures/Vision_3D_FI.pdf

Novatron Oy. 2011. Vision 3D -käyttöohje. (viitattu 5.2.2012).

Sulin Tero. Työpäällikkö. Maanrakennus Sulin Oy. Suullinen tiedonanto 16.2.2011. (viitattu 14.1.2012).

CADS Planner. 2012. CADS Planner GeoXY - Helppokäyttöinen CAD-työkalu mittausalan ammattilaisille (verkkojulkaisu). (viitattu 17.3.2012). Saatavissa: <http://www.cads.fi/fi/Tuotteet/Muut%20toimialat%20ja%20ohjelmistot/GeoXY>

Häkkinen Pentti. Rakennuttamisryhmän päällikkö. Ramboll Finland Oy. Haastattelu 27.1.2012. Haastattelija Villman Iiro. Litteroitu. (viitattu 20.3.2012).

Ilkka Ari-Matti. Projektipäällikkö. A-insinöörit Rakennuttaminen Oy. Haastattelu 14.2.2012. Haastattelija Villman Iiro. Litteroitu. (viitattu 20.3.2012).

Majuri Heikki. Työpäällikkö. SRV Pirkanmaa. Sähköpostikeskustelu 2.2.2012. Haastattelija Villman Iiro. Litteroitu. (viitattu 20.3.2012).

Ruohomäki Pasi. Rakennuttajainsinööri. Tampereen kaupunki. Haastattelu 9.2.2012. Haastattelija Villman Iiro. Litteroitu. (viitattu 20.3.2012).

Virta Antti. Rakennuttajainsinööri. A-insinöörit Rakennuttaminen Oy. Haastattelu 14.2.2012. Haastattelija Villman Iiro. Litteroitu. (viitattu 20.3.2012).

Sulin Tero. Työpäällikkö. Maanrakennus Sulin Oy. Haastattelu 20.3.2012. Haastattelija Laakso Markus. (viitattu 25.3.2012).

Niemi Asko. Työnjohtaja. Maanrakennus Sulin Oy. Haastattelu 20.3.2012. Haastattelija Laakso Markus. (viitattu 25.3.2012).

Savolainen Elina. Työnjohtaja. Maanrakennus Sulin Oy. Haastattelu 20.3.2012. Haastattelija Laakso Markus. (viitattu 25.3.2012).

Tarkkio Timo. 3D-suunnittelija. Maanrakennus Sulin Oy. Haastattelu 20.3.2012. Haastattelija Laakso Markus. (viitattu 25.3.2012).

Lehtinen Petri. Kaivinkoneen kuljettaja. Maanrakennus Sulin Oy. Haastattelu 20.3.2012. Haastattelija Laakso Markus. (viitattu 25.3.2012).

Eskola Juha, Tuomala Kim. Mittaryhmä. Maanrakennus Sulin Oy. Haastattelu 20.3.2012. Haastattelija Laakso Markus. (viitattu 25.3.2012).

Hokkanen Visa. Tuotekehityspäällikkö. Novatron Oy. Suullinen tiedonanto 11.4.2012. (viitattu 11.4.2012).

LIITTEET

Työpäällikölle esitetyt kysymykset:

1. Millä perusteella päätitte hankkia kaivinkoneeseen 3D-koneohjausjärjestelmän?
2. Millaisiin työvaiheisiin koneohjaus soveltuu mielestänne parhaiten?
3. Onko työkoneen työteho / tuottavuus parantunut?
4. Onko työkoneen tarkkuus parantunut / heikentynyt koneohjauksen tulon myötä?
5. Onko koneohjauksesta ollut tähän asti taloudellista hyötyä?
6. Oletteko tyytyväinen koneohjausjärjestelmän toimivuuteen?
7. Onko mittaryhmän käyttö vähentynyt niillä työmailla missä järjestelmää käytetään?
8. Vaikeuttaako mittakeppien ja korkolappujen vähyys työkohteen hahmottamista?
9. Millainen on koneohjauksen rooli tulevaisuudessa Maanrakennus Sulin Oy:ssä?

Työnjohtajille esitetyt kysymykset:

1. Tunnetko koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen?
2. Miten koneohjausjärjestelmän käyttö on vaikuttanut työnjohdon rooliin?
3. Onko työkoneen työteho / tuottavuus parantunut?
4. Onko kiviainesmateriaaleja säästynyt koneohjauksen tulon myötä?
5. Onko työkoneen tarkkuus parantunut / heikentynyt koneohjauksen tulon myötä?
6. Onko mittaryhmän käyttö vähentynyt koneohjausjärjestelmän käyttöönoton johdosta?
7. Soveltuuko järjestelmä mielestäsi tarkkeiden ottamiseen työmaalla?
8. Vaikeuttaako mittakeppien ja korkolappujen vähyys työkohteen hahmottamista?
9. Helpottaako koneohjausjärjestelmä työnjohdon toimintaa?
10. Oletko valmis käyttämään koneohjausjärjestelmää seuraavalla / seuraavilla työmail-
la?

3D-pintamallien laatijalle esitetyt kysymykset:

1. Tunnetko koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen?
2. Mikä on mielestäsi riittävä kolmioverkon tiheys 3D-koneohjausta ajatellen?
3. Oliko sinulla aiempaa kokemusta pintamallien tekemisestä koneohjauskäyttöön?
4. Oliko pintamallien tekeminen hankalaa tai työlästä CADS GeoXY -ohjelmalla?

5. Kuinka kauan Tamron pintamallin tekeminen vei aikaa kokonaisuudessaan?
6. Kuinka kauan Cargotecin viemärimallin tekeminen vei aikaa kokonaisuudessaan?
7. Ovatko pintamallit toimineet työmaalla hyvin?
8. Soveltuuko järjestelmä mielestäsi tarkkeiden ottamiseen työmaalla?
9. Aiheuttaako suunnitelmien muutokset paljon lisätöitä pintamallien tekemiseen?
10. Mikä on mielestäsi koneohjauksen tulevaisuuden rooli?

Koneen kuljettajalle esitetyt kysymykset:

1. Opetettiinkö koneohjausjärjestelmän käyttöä sen käyttöönoton yhteydessä?
2. Tunnetko koneohjausjärjestelmän periaatteen?
3. Onko järjestelmää käytetty tarkemittauksien tekemiseen?
4. Onko koneohjausjärjestelmä mielestäsi toiminut hyvin?
5. Tekisitkö töitä mieluummin ilman koneohjausjärjestelmää?
6. Onko työkoneen teho / tuottavuus noussut koneohjauslaitteiston tulon myötä?
7. Onko työnjälki parantunut laitteiston tulon myötä?
8. Onko häiriötilanteissa apua ollut saatavilla riittävän nopeasti?
9. Onko satelliittien vähyys tai katvealueet haitanneet laitteiston toimivuutta?
10. Onko työmaalla mittamies riittävän nopeasti paikalla jos tarvitaan?

Mittaryhmälle esitetyt kysymykset:

1. Millä lailla koneohjauslaitteisto on vaikuttanut työnkuvaanne?
2. Tunnetteko koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen?
3. Ovatko sen työmaan takymetrimittaukset vähentyneet missä koneohjausjärjestelmää käytetään?
4. Tarvitaanko järjestelmiä tulevaisuudessa lisää yrityksen käyttöön?
5. Voidaanko takymetrillä mittaaminen korvata kokonaan koneohjausjärjestelmillä?
6. Voidaanko mielestänne koneohjausjärjestelmää käyttää tarkkeiden ottamiseen työmaalla?
7. Oletteko tehneet takymetrillä tarkemittauksia koneohjauksen käytön jäljiltä, millaisia tulokset ovat olleet?
8. Pystyisittekö tekemään yksinkertaisen pintamallin työmaan tarpeisiin ja viemään sen koneohjauslaitteistoon?