

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Jarno Tamminen

Työkoneautomaation hyödyntäminen maa- ja pohjarakennusyrityksen kaivukonetyössä

Opinnäytetyö 2013

Tiivistelmä

Jarno Tamminen

Työkoneautomaation hyödyntäminen maa- ja pohjarakennusyrityksen kaivukonetyössä, 39 sivua, 2 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Maa- ja kalliorakentamisen suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2013

Ohjaajat: Dipl.ins. Pekka Saikko, Saimaan ammattikorkeakoulu, työpäällikkö

Tommi Lehtola, Fin-Seula Oy

Koneohjausjärjestelmä on tulossa pysyväksi työvälineeksi rakennustöissä. Tulevaisuudessa suurien urakoiden saamiseksi se on myös välttämätön. Tässä opinnäytetyössä selvitin koneohjausjärjestelmän käyttöönoton vaikutuksia maa- ja pohjarakennuspalveluita tuottavassa Fin-Seula Oy:ssä.

Työssäni vertailin Ruskeasannan sorttiaseman esirakentamisen työvaiheita ilman koneohjausjärjestelmää ja tilanteessa, jossa koneohjausjärjestelmä olisi käytössä. Lisäksi haastattelin Fin-Seula Oy:n kaivinkoneenkuljettajia, työnjohtoa sekä työpäälliköitä, joilta sain näkemyksiä ja kokemuksia koneohjausjärjestelmän vaikutuksista sekä koulutushalukkuudesta.

Opinnäytetyössäni tein lopuksi kohdeyritykselle käyttöönottosuunnitelman koneohjausjärjestelmästä. Työni soveltuu järjestelmän hankintaa suunnitteleville muillekin koneurakoitsijoille.

Avainsanat: koneohjaus, infrarakentaminen, kaivukone

Abstract

Jarno Tamminen

The utilization of construction machine automation at the excavation work of an earthwork and foundation construction company, 39 pages, 2 appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Civil and Construction Engineering, Lappeenranta

Thesis 2013

Instructors: Master of Science in Technology Pekka Saikko, Saimaa University of Applied Sciences, Site Manager Tommi Lehtola, Fin-Seula Oy

The use of engineering machine control systems is on the increase; in construction these systems are becoming a relevant tool in order to operate more effectively. In effect, to be commissioned for and to manage larger scale contracts in future it is necessary for the construction companies to adopt the new technologies at some level. The main purpose of this thesis was to consider the implementation of a machine control system and the effects of its use in Fin-Seula Oy, a company producing rock and foundation engineering services.

Before discussing the circumstance of the company, the thesis looks into the control systems in general. In addition to studying the systems and their functioning, it is necessary to go through the requirements their implementation sets regarding the hardware and software as well as the personnel.

In the case study a comparison between two different situations on a site in Ruskeasanta where they are building a waste management plant was made: a real one and an envisioned one. First, the phases of the earthworks and especially the excavation were depicted as they are done without the control system. Then the same phases were explained as they would be done if a control system was in use. To achieve a framework as comprehensive as possible of the situation for the company to discuss, the personnel was interviewed on their views of the matter and readiness to be educated. The results of the interviews are included in this work.

Finally, a plan of the implementation of the machine control system for Fin-Seula Oy is proposed. Although designed from the viewpoint of this certain company, the proposal is meant to serve also other similar companies in the process of considering the acquirement of a control system.

Keywords: machine control, infrastructure construction, excavator

Sisältö

1 Johdanto	5
2 Fin-Seula Oy	5
3 Maarakennus ja työkoneohjausjärjestelmä	6
3.1 Perinteiset maarakennustehtävät	6
3.2 Kehitys koneohjauksen käyttöönotossa	7
4 Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä	9
4.1 Edellytykset koneohjausjärjestelmän käytölle.....	10
4.2 Laitteisto ja toimintaperiaate.....	13
4.3 Paikannusmenetelmät.....	17
4.4 Kuljettajien osaamistarpeet	23
4.5 Taloudelliset vaikutukset	23
5 Koneohjausjärjestelmän käyttöönottosuunnitelma Fin-Seula Oy:ssä.....	24
5.1 Nykytila.....	25
5.2 Ruskeasannan hankkeen toteutus ilman koneohjausjärjestelmää	25
5.2.1 Kasvillisuuden poisto	25
5.2.2 Pintamaan poisto	26
5.2.3 Kevennyskaivu.....	26
5.2.4 Luiskien muotoilu	27
5.2.5 Esikuormituspenkereen rakentaminen louheesta	28
5.3 Ruskeasannan hankkeen toteutus koneohjausjärjestelmän avulla	29
5.3.1 Kasvillisuuden poisto	29
5.3.2 Pintamaan poisto	30
5.3.3 Kevennyskaivu.....	30
5.3.4 Luiskien muotoilu	30
5.3.5 Esikuormituspenkereen rakentaminen louheesta	30
5.4 Yhteenveto hankkeen suorittamisesta ilman koneohjausjärjestelmää ja koneohjausjärjestelmän avulla	31
5.5 Hankintakustannukset ja niiden kuoletus.....	32
5.6 Haastattelut	34
6 Yhteenveto.....	35
Kuvat.....	37
Taulukot.....	38
Lähteet.....	39

Liitteet

Liite 1 Haastattelukysymykset

Liite 2 Koneohjausjärjestelmän käyttöönottosuunnitelma Fin-Seula Oy:ssä

1 Johdanto

Opiskeluajanani vuodesta 2008 olen työskennellyt useiden maarakennusyritysten erilaisilla työmailla ja seurannut, kuinka työkoneohjauksen käyttö maa- ja pohjarakentamisessa on yleistynyt. Samalla myös perinteinen mittaryhmätointa on vähentynyt: mittaustyö suoritetaan nykyään yhä useammin koneohjauksen avulla. Koska koneohjaustekniikka vielä puuttuu infratekniikan opinto-ohjelmasta, koen tarpeelliseksi perehtyä siihen päättötyönäni.

Opinnäytetyöni tarkoituksena on selvittää työkoneohjauksen käyttöönoton vaikutuksia Fin-Seula Oy -nimisessä rakennusyrityksessä. Yrityksellä ei ole vielä käytössään 3D-koneohjausjärjestelmää, mutta urakoiden saamiseksi jatkossa sen käyttöönotto on välttämätöntä järjestelmän käytön muuten yleisesti lisääntymässä. Työn yhteydessä haastattelen Fin-Seula Oy:n henkilöstöä, vertailen rakennustyön suorittamista perinteisellä tavalla ja koneohjausjärjestelmän avulla. Lisäksi arvioin koneohjausjärjestelmän käyttöönoton taloudellisia vaikutuksia ja teen yritykselle koneohjausjärjestelmän käyttöönottosuunnitelman.

2 Fin-Seula Oy

Fin-Seula Oy on vuonna 2002 perustettu maa- ja pohjarakentamisen kokonaisurakointia sekä seulonta- ja korjaamopalveluita tuottava yritys. Liikevaihto vuonna 2012 oli noin 27 miljoonaa euroa ja henkilöstömäärä noin 60. Toimipiste sijaitsee Tuusulassa (Kuva 1) ja toiminta-alueena on Etelä-Suomen lisäksi erityiskohteita muuallakin Suomessa.

Fin-Seula Oy:n toimitusjohtajana toimii Mika Kari. Työpäälliköitä Fin-Seula Oy:llä on kolme ja työnjohtajia 11. Lisäksi yrityksellä on kolme tarjouslaskijaa. Kalustosta ja korjaamosta vastaa korjaamopäällikkö.

Fin-Seula Oy:n tyypillisiä pohja- ja betonirakentamisen kohteita ovat teollisuuden ja kaupan rakennukset sekä isommat asuinrakentamisen kohteet. Tie-, katu- ja kunnallistekniikan puolella Fin-Seula Oy toteuttaa niin yksittäisen kadun kuin kokonaisen kaava-alueen rakentamista.



Kuva 1. Fin-Seula Oy:n pääkonttori Tuusulassa

3 Maarakennus ja työkoneohjausjärjestelmä

Maarakennus tarkoittaa kaikkea rakentamiseen liittyvää maansiirtämistä, louhintaa, aluskasvillisuuden poistoa ja viherrakentamista. Merkittävintä se on infrastruktuurihankkeissa, joita ovat muun muassa tiet, rautatiet, satamat ja kunnallistekniikan rakentaminen. Automaatio ja tietotekniikka ovat nykyisin vahvasti mukana vähänkin isommissa hankkeissa. Esimerkiksi tierakentamisessa käytetään monia uusia apuvälineitä, jotka tehostavat työtä ja nostavat sen laatua. Tällaisia tekniikoita ovat koneohjaus, maatutkaus ja laserskannaus. Tällä hetkellä nimenomaan GNSS-/GPS-satelliittipaikannuslaitteilla ja kuljettajaa opastavilla tietokonenäytöillä varustetut maarakennuskoneet yleistyvät nopeasti.

3.1 Perinteiset maarakennustehtävät

Rakennustyömaat ovat eräänlaisia tuotantoprosesseja. Erilaisia työtehtäviä on paljon ja niihin tarvitaan erilaisia työkoneita. Nämä työtehtävät liittyvät tiiviisti toisiinsa. Seuraavaan työvaiheeseen siirtyminen vaatii, että edellinen työvaihe on saatu valmiiksi.

Maarakennusurakoitsijat tarjoavat erilaisia rakennuspalveluita yksityisille rakentajille, yrityksille ja kunnille. Urakoitsijoiden palveluihin kuuluvat muun muassa kunnallistekniset työt, pohjarakentaminen sekä piha- ja viherrakentaminen.

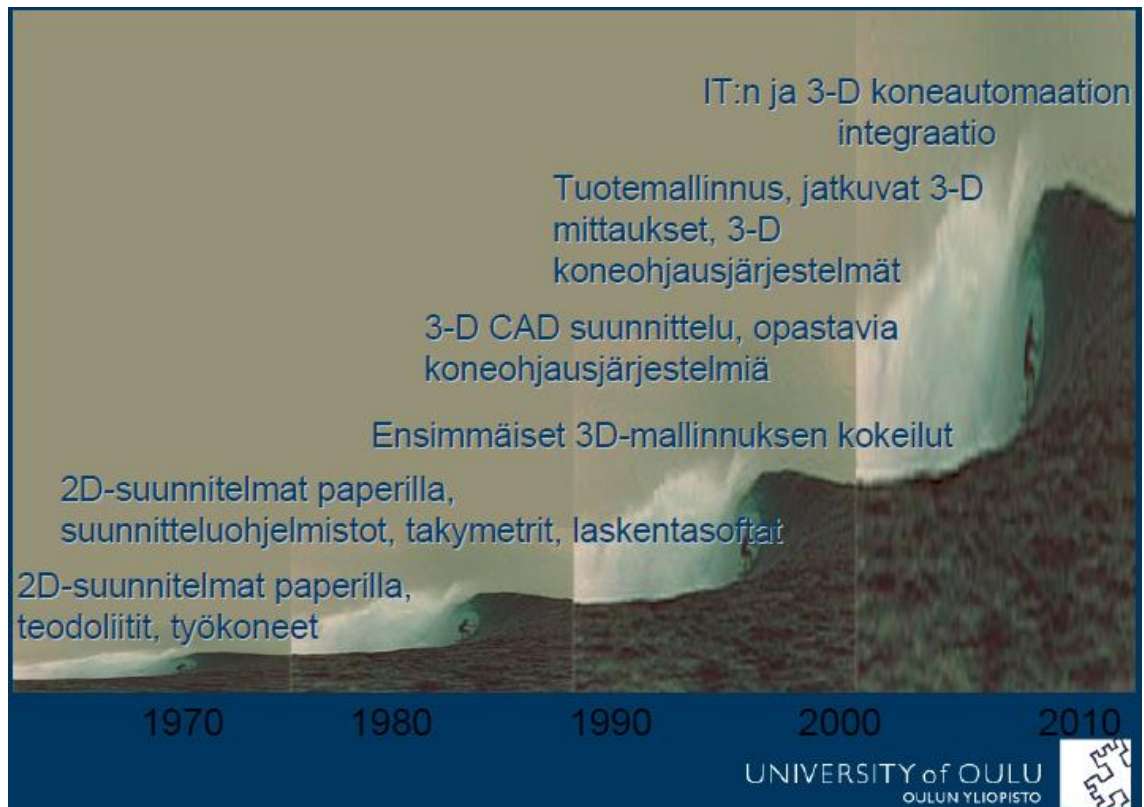
Kunnat ovat suurin kunnallistekniikan tilaaja. Kunnallistekniikkaan kuuluu vesihuollon, viemärien, teiden, katujen, siltojen ja raiteiden rakentaminen. Yleisin rakennuskohde on vanhan tien tai kadun restaurointi, johon yleensä uusitaan myös vesihuolto ja viemäröinti.

Pohjarakentamiseen kuuluvat työt ovat maankaivu, louhinta, pohjanvahvistus sekä perustuksien, salaojien, tukimuurien ja tukiseinien rakentaminen. Tyypillisiä pohjarakentamisen kohteita ovat teollisuuden ja kaupan rakennukset sekä asuinrakentamisen kohteet. Vaihtelevien pohjaolosuhteiden takia pohjarakentaminen on Suomessa usein haastavaa.

Piha- ja viherrakentaminen on puistojen, puutarhojen ja pihojen sekä muiden istutettavien viheralueiden rakentamista ja hoitoa.

3.2 Kehitys koneohjauksen käyttöönotossa

Automaatiolla tarkoitetaan koneiden tai laitteiden liikkumista itsestään. Maarakennuksessa kone tai laite tarvitsee kuljettajan. Maarakennuskoneisiin on kehitetty kuljettajaa avustavia ja opastavia koneohjausjärjestelmiä (Kuva 2). Automaation avulla helpotetaan ja nopeutetaan eri työvaiheita sekä saavutetaan taloudellista ja laadullista hyötyä, kun työ nopeutuu ja muuttuu ympäristöystävällisemmäksi. /1, s.11./



Kuva 2. Tienrakentamisen teknologian kehitysaskelleita Suomessa /2, dia 6/

Kokonaisvaltainen automaatio tarjoaa infrarakentamiseen kehittämismahdollisuuksia, joilla on mahdollista saavuttaa merkittävää taloudellista hyötyä sekä rakennustyön toimijoiden että koko yhteiskunnan mittakaavassa.

Ruotsi ja Norja ovat maailmanlaajuisesti edelläkävijöitä koneohjausjärjestelmien käytössä. Näissä maissa tieväylien uudisrakentamishankkeet toteutetaan pääsääntöisesti koneautomaatiolla. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa on vahvaa 3D-koneohjausjärjestelmän tuotekehitystä. /2, dia 8./

Rakennustyömaalle automaatio on tullut muihin teollisuusaloihin verrattuna hitaasti. Erityisesti maarakennuskoneisiin on kehitetty jo lukuisia erilaisia, tyypillisesti kuljettajia avustavia, automatisoituja koneohjausjärjestelmiä. /1, s.11./

Maanrakennustyö on pitkälle koneistettua ja mekanisoitua. Samanlaisia työtehtäviä esiintyy paljon. Kehittyneet 3D-paikannusjärjestelmät mahdollistavat nykyisin liikkuvien työkonoiden tarkan ohjauksen. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmällä saadaan kaivamiseen lisää tehokkuutta ja tarkkuutta. Perinteisiä mittapeppejä työmaalla ei enää tarvita, koska koneenkuljettaja näkee koneessa olevasta näytöstä koneen sijainnin suunnitelmakartalla ja kauhan koron. /1, s.11./

4 Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä

Kaivinkoneella on edelleen keskeinen rooli maarakennuksessa (Kuva 3). Se on myös varustettavissa monilla apulaitteilla ja sillä voidaan toteuttaa monta hanketta alusta loppuun saakka.



Kuva 3. Kaivinkone Komatsu PC290LC

Kaivinkoneiden käyttökohteita ovat lähinnä kaivu- ja kuormaustyöt, esimerkiksi kallio- ja maamassojen kaivu ja kuormaaminen leikkauksista ja varamaanottopaikois-

ta, ojien ja jokien kaivu ja perkaus, raivausmaiden irrotus ja kuormausta sekä rumpukuoppien, rakennusperustusten ja viemärikanavien teko. /3, s. 47./

Kaivinkonetta voidaan käyttää lisäksi työmailla paaluttamisessa tai väliaikaisena nostokoneena. Sen käyttökohteet jopa lisääntyvät automaation käyttöönoton myötä. Koneohjausjärjestelmää, riippumatta sen varustetasosta, voidaan kaivinkoneessa käyttää myös mittauslaitteena.

4.1 Edellytykset koneohjausjärjestelmän käytölle

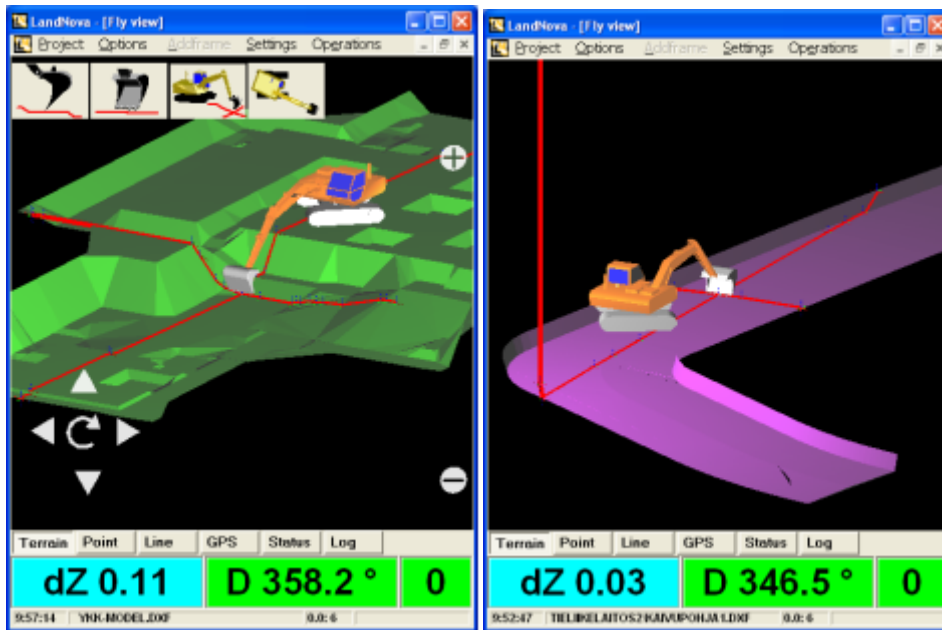
Kaivinkoneen ohjausjärjestelmään kuuluvat koneen puomiin ja runkoon kiinnitetyt anturit, jotka mittaavat muutoksia puomien asennossa. Muutokset mitataan 3D-järjestelmässä suhteessa laitteen GNSS-antenneihin. Anturit huomioivat myös koneen kallistukset ja pyörimisliikkeen. Koneessa olevassa järjestelmässä tieto välittyy anturista toiseen ja siitä edelleen tietokoneelle CAN-väylää pitkin. CAN-väylän käyttö tiedonsiirrossa mahdollistaa sen, että kaikkien koneen anturien tiedot välittyvät yhtä johtoa pitkin, eikä isommille johtokimpuille ole näin tarvetta. Anturi lähettää kaivinkoneen puomien asennosta kertovat vektorit ja oman ID-tunnisteensa atk-yksikölle. Kuvassa 4 näkyy anturien ja muiden järjestelmän osien sijoittelun koneen runkoon. Koneohjauksen edellytyksenä on koneen puomin kaikkien liikkuvien osien varustaminen asentoa mittaavilla elektronisilla antureilla. Lisäksi tarvitaan myös pyörimistä ja kaltevuutta mittaavia antureita. /4./



Kuva 4. Koneohjausjärjestelmän osien sijoittelu kaivinkoneeseen

3D-mallin rakenne

Koneohjaukseen tarvitaan myös digitaalisessa muodossa olevat rakennesuunnitelmat. Digitaalinen suunnitelma ladataan kaivinkoneessa sijaitsevaan ohjausjärjestelmään, jolloin koneenkuljettaja näkee suunnitelman hytissä olevasta näytöstä (Kuva 5).



Kuva 5. Kuljettajaa opastava käyttöliittymä /2, dia 12/

Kone vaatii toimiakseen tietystä formaatissa (*.geo) olevan kolmiulotteisen rautalankamallin työmaasta. Mallissa käytetään pintojen kuvaamiseen kolmiointia. Mallin luominen onnistuu vaivattomimmin, jos työmaan käytössä on oma suunnittelija, joka osaa piirtää valmiiksi kuvat siten, että niiden kääntäminen ei vaadi "siivoamista" ennen tiedostoformaatin muunnosta. /4./

Pintamallit, kuten kadut, voidaan tehdä esimerkiksi Geo Construction ohjelmistolla. Putkitöiden vaatimat kaivumallit puolestaan ovat yksinkertaisempia ja ne tehdään 3D-Win-ohjelmistolla sekä tallennetaan ns. .geo-muotoon. Putkitöiden kaivumalli koostuu putkikaivannon kallistuksella varustetusta keskilinjasta, joka on levitetty työalueelle siten, että kauha pysyy koko kaivun ajan sen yläpuolella. Kaivot ja vastaavat pistemäiset kohteet ovat mallissa pisteinä, eikä niiden tyyppiä tai tarkempia tietoja ole merkitty malliin. Tällöin ne katsotaan edelleen paperikuvista, josta on etuna se, että koneenkuljettajan on helpompi havaita kauhan korkeus vertailutasoon nähden. Myös kaivojen sijainnin merkintä malliin mahdollistaa tarkan asennuksen ilman erillistä takymetrimittausta. /4./

3D-malliin perustuvan ohjausjärjestelmän hyödyntäminen edellyttää koneen sijainnin ja asennon reaaliaikaista mittaamista. Kaivinkoneen sijainnin selvittämiseksi tarvitaan satelliittipaikannusta tai takymetriä. GPS-antennit tai takymetrin prisma on sijoitettu koneeseen näkyvälle paikalle ja sensorien avulla saadaan kauhan sijainti tarkasti selville. /4./

4.2 Laitteisto ja toimintaperiaate

Maanrakennuksessa kone tai laite tarvitsee kuljettajan. Yksinkertaisin koneohjausjärjestelmä sisältää laserin ja konevastaanottimen. Vastaanotin asetetaan koneen kauhaan tai terään ja näin ollen laserin lähettämä säde voidaan havaita koneen ohjaamosta käsin. Selkeät osoittimet näyttävät koneen ohjaajalle, mihin suuntaan kauhaa tulisi liikuttaa.

Nykyiset työkoneiden ohjausjärjestelmät koostuvat tyypillisesti erillisestä työstöterän asentoa ja sijaintia osoittavasta perusjärjestelmästä ja sen päälle erikseen asennetusta paikkatietoa ja 3D-mallia hyödyntävästä järjestelmästä.

Kaivinkoneissa koneohjausjärjestelmät toimivat eri tavalla kuin esimerkiksi puskukoneessa tai tiehöylässä. Kaivinkoneen koneohjauksessa on otettava huomioon koneen kaikki liikkuvat osat. Järjestelmän sensorit on sijoitettava koneessa sellaisiin paikkoihin, että ne altistuvat mahdollisimman vähän haitallisille tekijöille.

Koneohjausjärjestelmä koostuu työkoneen ohjaamossa olevasta näyttölaitteesta (Kuva 6), anturoinnista, keskusyksiköstä, radioantennista ja paikannusantenneista.



Kuva 6. Käyttöliittymän näyttö koneessa

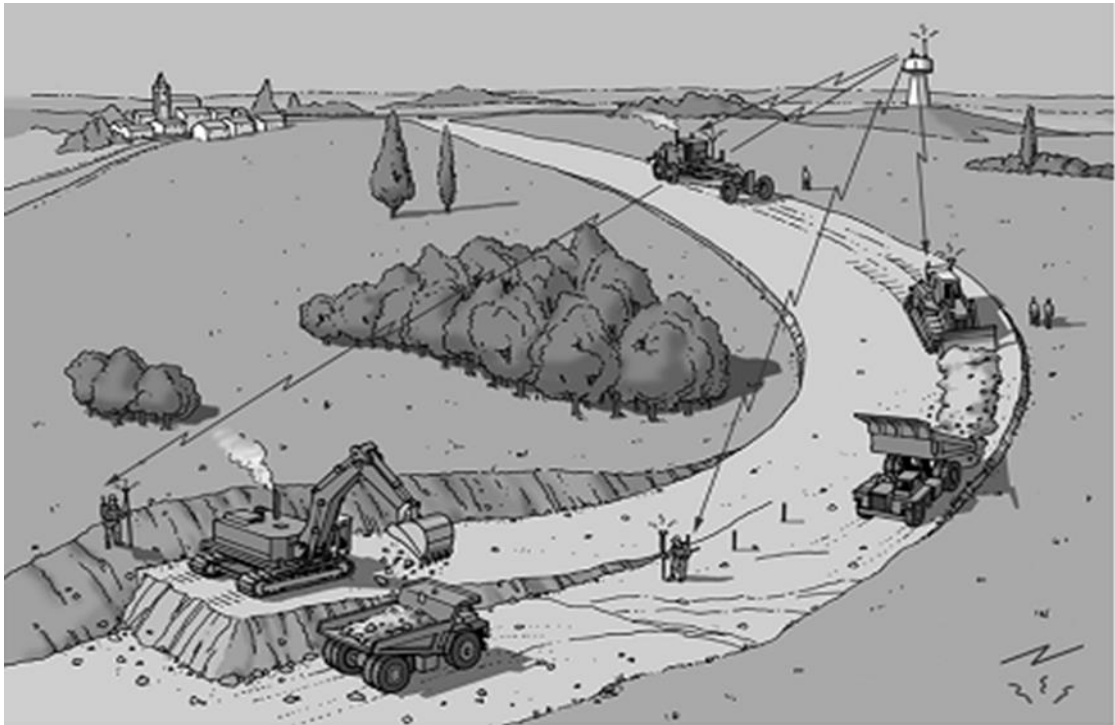
Laitteessa on myös mahdollisuus tarkastella rautalankamallia koneen ympärillä kahdesta eri näkökulmasta. Toisessa malli on esitetty ylhäältäpäin, kuten perinteisissä paperikuvissa ja toisessa se on kolmiulotteisena ja sitä voi näyttöä koskettamalla pyörittää. Tällöin koneen ympäristön kohteita voi tarkastella eri näkökulmista ja samalla nähdä niiden sijainnit suhteessa koneeseen. /4./

Työkoneeseen asennetut paikannusantennit (Kuva 7) ovat yhteydessä satelliitteihin, joiden avulla työkone paikannetaan. Paikannusantenneja voi olla yksi tai kaksi. Yhden paikannusantennin ongelmana on, että vain sen perusteella ei voida suoraan tietää koneen asentoa. Suuntatiedon saaminen onnistuu konetta liikuttelemalla, mutta ahtaissa kaupunkitiloissa se ei aina ole mahdollista. Yleensä paikannusantenneja on hyvä olla siis kaksi, jotta voidaan tunnistaa myös koneen suunta.



Kuva 7. Kaksi GNSS-antennia

GNSS-antennit tarvitsevat tuekseen tukiaseman, joka on tunnetulle pisteelle viety antenni, jossa on mukana laskentayksikkö ja radiolähetin (Kuva 8). Lähetin lähettää koneelle korjaussignaalin, joka sisältää aikaleiman ja eri satelliittien virheiden korjausvektorit. Tämän korjauksen avulla saadaan koneen tarkkuus halutulle tasolle, kun mittauksen virhelähteet minimoidaan.



Kuva 8. Tukiasemapaikannus /5, dia 11/

Kaivinkoneen näyttölaitteeseen saadaan reaaliaikainen kuva rakennesuunnitelmasta ja koneen sijainnista suunnitelmapakartalla. Suunnitelmat voidaan poimia työtehtävittäin järjestelmästä. 3D-sovellus tuottaa poikkeamatietoa, jota välitetään tietoliikenneportin kautta kuljettajaa ohjaavalle järjestelmälle. Perusjärjestelmät sisältävät yleensä aina myös tasolaser-ohjauksen, jota voidaan käyttää kohteissa, joissa ei ole 3D-suunnitelmaa käytettävissä. /4./

Suurin hyöty 3D-koneohjauksesta saadaan, kun suunnitelmista luodaan kolmiulotteinen maastomalli, jossa kaikilla pisteillä on sijainti XY-tasossa ja korkeussuunnassa Z. Maastomallista kuljettaja näkee valmiin pinnanmuodon ja kauhan etäisyyden pinnasta ja valitusta linjasta. 3D-sovelluksessa koneesta on tehty mittamiehen välineisiin verrattava mittalaite, jota on sovellettu tuottamaan kuljettajalle tarpeellista tietoa rakennettavasta kohteesta. /6, s.10./

Tietokoneyksikkö

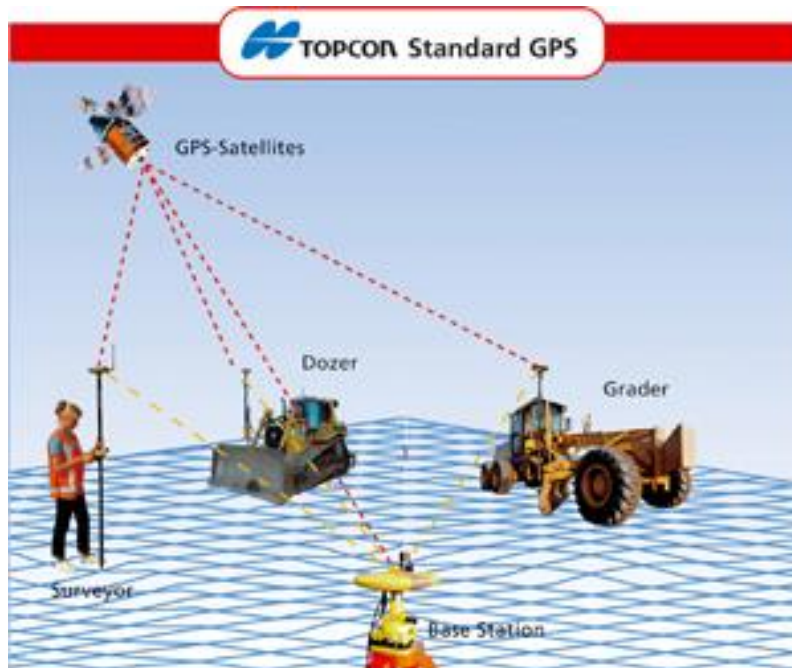
Koneohjausjärjestelmän tietokoneyksikkö on integroitu kosketusnäyttöön, joka on asennettu kuljettajan etupuolelle ohjaamoon. Tietokoneessa on yleensä datalinkki, bluetooth ja wlan, mutta siinä ei tarvitse olla asennettuna mitään muita sovelluksia kuin koneohjausohjelmisto. Mainittuja ominaisuuksia voi käyttää ainoastaan laitteen asetusten etähallintaan ja mahdollisesti ohjelmassa tapahtuvaan tiedonsiirtoon. Koneessa ei myöskään tarvita kiintolevyä vaan sovellus voi toimia flash-muistilta. Tällaisen muistin käyttö mahdollistaa laitteiston päivityksen pelkällä kortin vaihdolla ja samalla uutta tietoa lisättäessä voidaan tarkastella toimistossa koko kiintolevyn sisältöä. /4./

Kaikki mittausdatan käsittely tapahtuu atk-yksikössä. Siihen on asennettu ohjelmisto, joka hoitaa eri lähteistä tulevan datan muuntamisen mittaustiedoksi, sekä sen vertaamisen 3D-malliin. Jos tietoja tarvitsee lisätä, sen voi tehdä esimerkiksi käyttämällä muistikortin toimistossa tai tuomalla tiedot USB-muistitikulla työkoneelle.

4.3 Paikannusmenetelmät

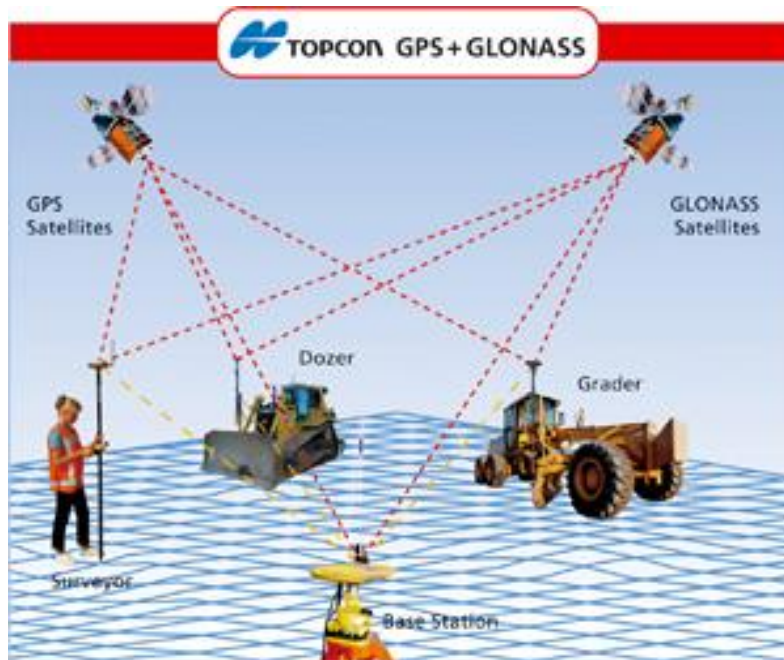
Satelliittipaikannuksen avulla koneen sijainti maastossa voidaan määrittää olosuhteista riippumatta. Globaaleja satelliittipaikannusjärjestelmiä on kaksi, amerikkalainen GPS eli Global Positioning System ja venäläinen GLONASS. Tulevaisuudessa saadaan kolmas paikannusjärjestelmä, eurooppalainen GALILEO. Järjestelmät muistuttavat pääpiirteittäin toisiaan. /7, s.287-290./

GPS-järjestelmä (Kuva 9) koostuu 24 satelliitista, jotka kiertävät maapalloa noin 20 200 kilometrin korkeudessa. Sijainnin määrittämiseksi tarvitaan signaalia vähintään kolmesta eri satelliitista. Tietämällä etäisyydet satelliitteihin sekä niiden sijainnit havaintokehällä tietynä ajanhetkenä pystytään määrittämään havaitsijan paikka. Paikannustarkkuus lisääntyy, kun tietoja vastaanotetaan useammasta satelliitista. Muut satelliittipaikannusjärjestelmät ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia ja ne voidaan ajatella paikannusta tukeviksi järjestelmiksi. /8./



Kuva 9. GPS-paikannus /8/

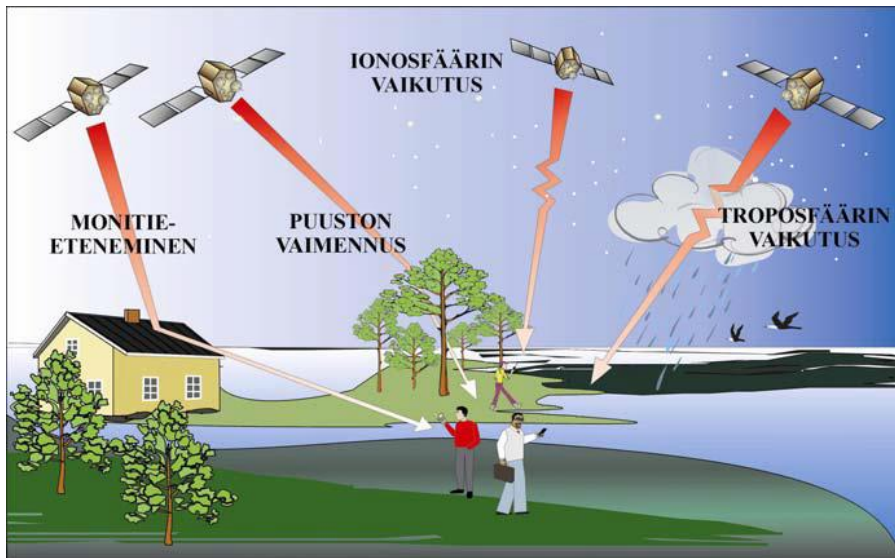
Satelliittimittauksessa signaalin kulkumatka on erittäin pitkä ja altis erilaisille häiriötekijöille, jotka vähentävät mittauksen tarkkuutta. Virheet voidaan minimoida käyttämällä tukiasemaa apuna. Tukiasema sijoitetaan tunnetulle pisteelle jolla havaitaan tunnettujen ja havaittujen koordinaattien välistä eroa. Mittaus-tarkkuutta voidaan parantaa myös lisäämällä käytettäviä satelliitteja esimerkiksi GPS+GLONASS-järjestelmää (Kuva 10). Tämä järjestelmä käyttää 24:ää GPS-satelliittia ja 13:a GLONASS-satelliittia.



Kuva 10. GPS+GLONASS-paikannus /8/

Satelliittimittauksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat (Kuva 11)

- ilmakehän ionosfääri ja troposfääri (vaikuttavat satelliitin signaalin etenmisnopeuteen)
 - auringon aktiivisuus (vaikuttaa ilmakehän ionosfääriin)
 - satelliitin radan määritykset ja kellon virheet
 - vastaanotettu signaali voi olla heijastunutta ympäristön rakennuksesta tai kasvillisuudesta
 - laitteissa tai ohjelmissa olevat häiriöt
- /7, s.311-312/.



Kuva 11. Satelliittipaikannukseen virheitä aiheuttavia tekijöitä /6, s.18/

Suomessa on käytössä virtuaalinen VRS-menetelmä (Virtual Reference Station) (Kuva 12). Menetelmässä kartoitusvastaanottimen lähelle luodaan virtuaalinen tukiasema, joka määrittyy kiinteän tukiasemaverkon havaintojen ja erilaisten virhelähteiden mallinnuksen avulla. /9, s.11./

Reaaliaikainen ilmakehän ja GNSS-signaalien virheenmallinnus



Kuva 12. VRS-järjestelmän toimintaperiaate /9, s.10/

Verkon laskentakeskus luo virtuaalisen tukiaseman (Kuva 13). Kartoitusvastaanotin lähettää sijaintinsa VRS-laskentakeskukseen GSM/GPRS-yhteyttä käyttäen. Laskentakeskus muodostaa virtuaalisen tukiaseman mittaajan paikkaan. Laskentakeskus sijoittaa virtuaaliseen tukiasemaan lähimmän todellisen tukiaseman havaintodatan sekä määrittää ja interpoloi havaintoihin virtuaalitusiaseman paikassa vaikuttavat virhelähteet. Tämän jälkeen laskentakeskus aloittaa RTK-korjauksen lähettämisen kartoitusvastaanottimelle ikään kuin se tulisi tukiasemalta, joka sijaitisi aivan mittauspaikan vieressä. /9, s.11./

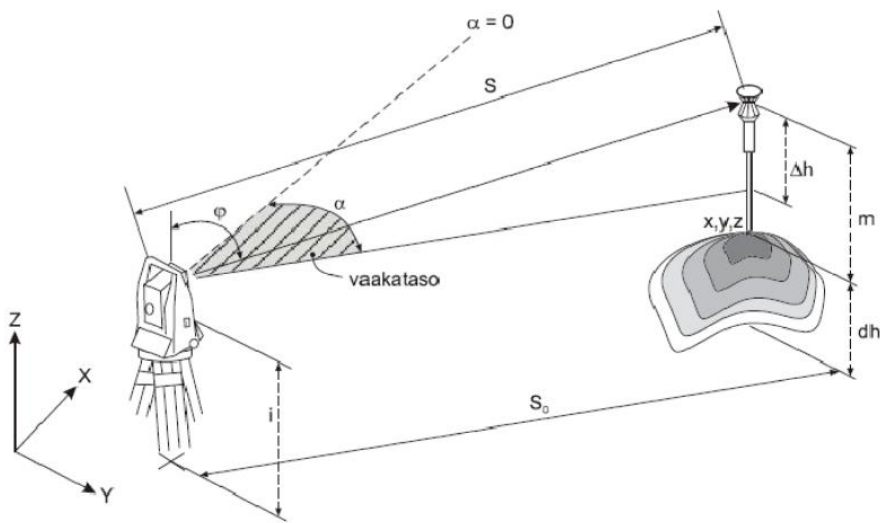


Kuva 13. VRS-verkko ja laskentakeskus Suomessa /9, s.10/

Takymetrimittaus

Paikannusta voidaan suorittaa myös takymetrin avulla. Takymetri on kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä koneen sijaintipisteen ja havaintokohteen välillä. Ennen mittauksen aloittamista takymetrille täytyy määrittää sijainti ja korkeusasema. Sijainnin ja korkeuden

määrittäminen tehdään suorittamalla mittaus kahdelle sijainniltaan tunnetulle pisteelle ja syöttämällä pisteiden koordinaatit takymetriin, joiden perusteella koje laskee sijaintinsa. Takymetri käyttää lasersäteitä jotka heijastuvat takaisin kohteeseen viedystä prismasta (Kuva 14). Näiden avulla määritetään etäisyys kohteesta ja samalla takymetri tallentaa pysty- ja vaaka-akselien asennot kohteelle tähdätessä. Mittaushavaintojen perusteella voidaan laskea kohteen sijaintikoordinaatit trigonometriaan perustuen. Takymetrissä on itsessään havaintojen tallentamiseen ja käsittelyyn soveltuva tietokone. /6, s. 11-12./



Kuva 14. Takymetrimittaus /6, s.12/

Työkoneohjuksessa takymetrin lähettämää lasersädettä vastaanottava prisma on kiinnitetty työkoneeseen. Koneohjausjärjestelmän tietokone yhdistää takymetrillä mitatun paikkatiedon ja antureiden tuottamat tiedot koneen ja puomin asennosta ja pystyy näin määrittämään kauhan sijainnin kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Kun koneen terän sijainti tunnetaan, pystytään koneohjausjärjestelmän näytöllä osoittamaan kuljettajalle etäisyyksiä suunnitelman mukaisista linjoista ja korkeuksista. /6, s.12-13./

4.4 Kuljettajien osaamistarpeet

Kuljettajien mittausosaamisen tieto ja taito vaihtelee työkokemuksen mukaan. Rakennusalalla pidempään olleet ja aikaisemmin putki- ja viemäritöitä kaivinkoneen perämiehenä tehneet kaivinkoneenkuljettajat ymmärtävät rakentamisen mittauksista yleensä enemmän.

Kaivinkoneenkuljettajat yleisesti hallitsevat koneen käytön eri tilanteissa. Kuljettaja hallitsee perinteiset kaivinkoneen työt, kuten maanleikkauksen, pinnan tasauksen, luiskien muotoilun ja täyttötöyt. Lisäksi kuljettaja hallitsee koneen päivittäisen huoltamisen ja pienemmät korjaukset, kuten letkujen ja suodattimien vaihdon.

Kaivinkoneen kuljettajan tulee hallita perustiedot laitteiden toiminnasta ja mittaustekniikasta. Hänen pitää ymmärtää kaivinkoneessa olevien antureiden ja mittalaitteiden merkitys järjestelmän toiminnassa. Lisäksi kuljettajan tulee osata käyttää ja huoltaa joiltain osin GPS-vastaanottimia.

Kuljettajan on myös tarpeen tietää, mistä virheet mittauksessa muodostuvat ja kuinka nämä havaitaan. Tuntemalla maastomallinnuksen ja lähtötietojen tuottamisen perusteet kuljettajan on helpompi työskennellä 3D-mallin pohjalta.

4.5 Taloudelliset vaikutukset

Koneohjausjärjestelmän kulut koostuvat laitteiston ja järjestelmän hankintakuluista sekä ylläpidon aikaisista huolto- ja lisenssisopimuksista. Lisäksi, jos käytetään omaa tukiasemaa, täytyy huomioida myös tukiasemalaitteiston hankinta- ja ylläpitokulut. VRS-tukiasemapalvelun käyttö edellyttää lisenssisopimusta tai vastaavaa käyttö lupaa.

Koneohjausjärjestelmällä halutaan saavuttaa niin taloudellista kuin laadullista hyötyä työmailla. Järjestelmän avulla saavutetaan parempi työmaan kannattavuus ja sitä kautta parempi tuotto. Koneohjausjärjestelmän avulla mittausryhmän käyttö vähenee. Mittaustyö ei poistu työmaalta, vaan sen luonne muuttuu enemmän kontrollimitaamiseksi sekä siirtyy osittain työkoneisiin. Lisäksi kone-

ohjausjärjestelmällä varustettu kaivinkone ei tarvitse apumiestä esimerkiksi maanleikkaustöihin katsomaan korkoa.

Koneohjausjärjestelmällä pystytään optimoimaan maa-ainesten käyttöä. Lisäku-
luja aiheuttavat ylimääräiset kaivumassat vähenevät massanvaihdossa ja putki-
kanaalien kaivussa. Lisäksi ylimääräisen täytön tarve vähenee. Maa-ainesten
kuljetukset muodostavat suuren osan työmaan kustannuksista, joten ylimääräis-
ten massojen vähentyessä myös kuljetuskulut vähenevät.

Kahden antennin koneohjausjärjestelmät maksavat noin 30 000 euroa ja yhden
antennin jonkin verran vähemmän. Kuitenkin laitteiston kokonaishinta riippuu
siitä, minkälainen laitteisto hankitaan ja miten tuotetaan RTK-mittaukseen tarvit-
tava korjaussignaali. Korjaussignaaliin tarvittavan tukiasemapaalvelun lisenssiku-
lut vuosittain on 1500 – 2000 euroa. Jos käytetään omaa tukiasemalaitteistoa,
jonka hankintakustannukset ovat noin 10 000 - 15 000 euroa, tällöin ei tarvita
tukiasemapaalvelua. /10, s.50-51./

5 Koneohjausjärjestelmän käyttöönottosuunnitelma Fin-Seula Oy:ssä

Etsiessäni itselleni sopivaa koneohjaukseen liittyvää opinnäytetyön aihetta sain
kuulla Fin-Seula Oy:n työpäälliköltä Jarmo Tammiselta, että Fin-Seula Oy:ssä
suunnitellaan koneohjausjärjestelmän käyttöönottoa. Koneohjauksesta on kirjoit-
tettu kohtalaisen paljon, mutta sen käyttöönotto on aina tapauskohtainen kehi-
tyshanke ja suunniteltava kunkin yrityksen lähtökohdista. Käyttöönotossa on
kuitenkin yrityksestä riippumattomiakin piirteitä, joista muut koneurakoitsijat voi-
vat hyötyä harkitessaan järjestelmään investointia. Tässä opinnäytetyössäni
perehdyn työmaaesimerkin avulla siihen, miten koneenohjausjärjestelmä vaikut-
taisi yritykseen sekä toiminnallisesti että taloudellisesti. Vertaamalla yrityksen
nykymallilla suoritettua rakentamista kuvitteelliseen tilanteeseen, jossa työ-
koneilla on käytössään koneenohjausjärjestelmä, saadaan käsitys järjestelmän
käyttöönoton hyödyistä.

5.1 Nykytila

Fin-Seula Oy hankki syksyllä 2012 kolme uutta kaivinkonetta Komatsulta. Kaksi ovat malliltaan PC290LC-10 ja yksi PC228USLC-8. Kaivinkoneissa on jo valmius koneohjaukselle laitteiston puolesta. Fin-Seula Oy ei ole kuitenkaan vielä päättänyt koneohjausjärjestelmän käyttöönotosta.

Yrityksellä on käytössään kaikkiaan kahdeksan omaa kaivinkonetta. Kaivinkoneenkuljettajat ovat ammattilaisia, joilla on monen vuoden kokemus koneenkuljettajina erilaisista rakennuskohteista. Koneohjausjärjestelmistä tai niiden toiminnasta heillä ei ole paljoa aikaisempaa kokemusta.

5.2 Ruskeasannan hankkeen toteutus ilman koneohjausjärjestelmää

Fin-Seula Oy rakentaa Vantaan Ruskeasantaan tulevan sorttiaseman esikuormituspengertä. Tilaajana hankkeelle on HSY eli Helsingin seudun ympäristöpalvelut-kuntayhtymät. Työt kohteessa aloitettiin marraskuussa 2012. Työmaa valmistuu 2014 kesäkuun loppuun mennessä.

Kyseessä on louhe esikuormituspenkereen rakentaminen neitseelliseen maastoon Vantaan Ruskeasantaan. Hanke pitää sisällään kasvillisuuden raivauksen, kevennyskaivun, luiskien muotoilun sekä penkereen rakentamisen. Lisäksi hankkeeseen kuuluu toimenpidealueen muotoilu ja tasaus. Esikuormituspengeralueen pinta-ala on noin 13 000 m² ja louhetta siihen tarvitaan noin 100 000 tn. Lisäksi toimenpidealueen pinta-ala on noin 9 000 m². Seuraavassa kuvaan työkohteen jokaisen työvaiheen, jossa kaivinkoneella ja mittauksella on suuri merkitys, siten, kuin ne todellisuudessa nykymallilla on suoritettu tai suoritetaan ilman koneenohjausjärjestelmää.

5.2.1 Kasvillisuuden poisto

Kasvillisuuden poisto pitää sisällään puiden hakkuun sekä kantojen, pensaiden ja lahopuiden poiston konetyötarkkuudella. Kasvillisuuden poisto aloitettiin katselmuksella. Sen jälkeen mittaryhmä kävi merkitsemässä raivattavan alueen

maastoon. Raivattavan alueen pinta-ala oli noin 22 000 m². Puiden kaataminen suoritettiin metsäkoneella ja kantojen poisto kaivinkoneella.

5.2.2 Pintamaan poisto

Kasvillisuuden poiston jälkeen alkoi pintamaan poisto. Pintamaa poistettiin tulevan esikuormituspenkereen alueelta. Pintamaan poisto aloitettiin alueen merkitsemisellä. Mittaryhmä kävi merkitsemässä maastoon tulevan esikuormituspenkereen kulmapisteet. Lisäksi mittaryhmä kartoitti alueen pinnat ennen pintamaan poistoa. Kartoitus suoritettiin, koska havaittiin, että pintamaata, tässä tapauksessa turvetta, oli alueella paksumpi kerros kuin 0,2 m. Koska urakka on yksikköhintaurakka ja pintamaan poistosta käytetään yksikköä m², oli olennaista laskea poistettavan pintamaan todellinen määrä m³td. Pintamaan poiston jälkeen mittaryhmä kävi kartoittamassa jälleen esikuormituspengeralueen pohjan, jotta todelliset pintamaan poiston määrät saatiin selville.

Sateisen syksyn takia kantavuus savisella alueella oli erittäin huono. Pintamaa jouduttiin ensin kasaamaan aumoiksi alueelle, jotta alueelle saatiin rakennettua kantavammat tiet pintamaan poiskuljetusta varten. Pintamaa kuljetettiin viereiselle toimenpidealueelle dumppereilla.

5.2.3 Kevennyskaivu

Maan on tarkoitus painua 0,2 m vuoden sisällä esikuormituspenkereen valmistumisesta. Kevennyskaivu suoritettiin jatkorakentamista ajatellen jo tässä urakassa. Kevennyskaivussa huomioitiin tuleva painuma ja kaivu suoritettiin tasoon kaivutaso + 0,2 m.

Kaivutaso vaihteli alueella suuresti välillä + 33.8 - + 36.4. Kaivupohjan oikeaan tasoon saamiseksi mittaryhmän suorittamalla työllä oli suuri merkitys. Mittaryhmä asetti alueelle korolla ”kaivutaso + 1 metri” merkityt mittakepit. Mittaryhmä työskenteli työmaalla kevennyskaivun aikaan päivittäin.

Kevennyskaivu suoritettiin 35 tonnin kaivinkoneella. Maamassat, jotka suurimmaksi osaksi olivat löysää savea, kuljetettiin viereiselle toimenpidealueelle kah-

della dumperilla. Koneenkuljettaja joutui itse seuraamaan ajokepillä leikkauspohjan korkoa, jolloin maankaivu keskeytyi hetkellisesti.

5.2.4 Luiskien muotoilu

Esikuormituspengeralue sijaitsee notkelmassa keskimäärin tasossa +35. Eteläpuolella oleva toimenpidealue nousee aina tasoon +51. Rakennushankkeeseen kuului myös alueen eteläluiskan muotoilu luiskamuotoon 1:3. Luiskan leveys on noin 160 metriä ja yläreunan taso vaihtelee välillä + 50 – 54.

Kevennyskaivusta kaivetuilla massoilla luiska muotoiltiin vaadittuun luiskamuotoon (Kuva 15). Mittaryhmä rakensi luiskamallit mittarimoista luiskan ala- ja yläreunoihin 20 metrin välein. Luiska muotoiltiin kaivinkoneella. Kaivinkoneenkuljettaja seurasi luiskan mallia mittaryhmän rakentamien luiskamallien avulla, jolloin työ keskeytyi hetkellisesti. Poikkeamia luiskan lopulliseen muotoon tuli vähän.



Kuva 15. Luiskan muotoilu

5.2.5 Esikuormituspenkereen rakentaminen louheesta

Louhepenkereen rakentaminen aloitettiin heti kevennyskaivun jälkeen. Louhetta saatiin muilta työmailta. Louhepengeri on paksuimmasta kohdasta neljä metriä paksu. Louheen vastaanottokoneena työmaalla oli kaivinkone. Kaivinkoneella oli käytössään rammerointilaitteet kiven hajottamista varten. Louheen piti olla kooltaan alle 600 mm myöhempää murskaamista varten.

Ennen louheen vastaanottoa kaivupohjalle levitettiin N4 luokan suodatinkangas. Suodatinkankaan päälle levitettiin 200 – 300 mm paksu moreenikerros jatkoraikentamista varten (Kuva 16). Lisäksi alueelle sijoitettiin kuusi kappaletta painumalevyjä suodatinkankaan päälle painumisen tarkkailua varten. Mittamies merkitsi painumalevyjen paikat maastoon ja asentamisen jälkeen mittasi lähtötiedot tappien päistä.

Tämän jälkeen alueelle ajettiin kasa kasaan kiinni louhetta. Kun alue oli täynnä, aloitettiin louheen pengertäminen kasojaan päälle. Mittaryhmä merkitsi mittarimoilla penkereen yläreunat, yläpinnan korot ja korkojen muutoskohdat maastoon. Esikuormituspenkereen taso vaihtelee välillä + 36.10 - + 38.10 alueen pohjoisosassa sijaitsevan Kylmäojan takia. Siellä esikuormituspengeri porrastettiin.



Kuva 16. Esikuormituspenkereen rakentaminen

5.3 Ruskeasannan hankkeen toteutus koneohjausjärjestelmän avulla

Monipuolisten rakentamishankkeidenkin kannalta koneohjausjärjestelmä olisi Fin-Seula Oy:lle tarpeellinen lisä nykyaikaisen kaluston tueksi. Yrityksellä on muun muassa työmaita, joissa on paljon maanleikkausta ja täyttööä oikeaan korpsoon. Koneohjausjärjestelmä helpottaisi näitä työvaiheita merkittävästi. Työmailla, joissa putkitöitä on paljon, koneohjausjärjestelmä auttaisi putkikanaalin kaivussa sekä tarkkeiden ottamisessa. Seuraavassa hahmottelen toimintatavan tilanteessa, jossa edellisessä luvussa kuvatussa työkohteessa Ruskeasannassa olisi käytössä koneohjausjärjestelmä.

5.3.1 Kasvillisuuden poisto

Kasvillisuuden poiston yhteydessä mittaryhmää työmaalla ei tarvita. Koneen kuljettaja näkee koneohjausjärjestelmän avulla koneen sijainnin maastossa ja tontin rajat. Suunnitelmakarttaa lukien kuljettaja tietää, miltä alueelta kasvillisuus poistetaan.

5.3.2 Pintamaan poisto

Kustannusten laskemiseksi poistettavan pintamaan todellisen määrän selvittäminen on tärkeää. Koneohjausjärjestelmän avulla koneenkuljettaja itse pystyy pintamaan poiston yhteydessä kartoittamaan pintamaan paksuuden. Lisäksi mittaryhmän ei tarvitse merkitä esikuormituspenkereen kulmia maastoon, vaan koneenkuljettaja näkee järjestelmän avulla koneen sijainnin maastossa.

5.3.3 Kevennyskaivu

Kevennyskaivu alkaa ilman mittaryhmää. Kaivinkone aloittaa kevennyskaivun ja siirtyy ilman katkoksia eteenpäin. Koneenkuljettaja näkee ohjaamossa olevasta näyttöpäätteestä koneensa sijainnin suunnitelmakartalla. Suunnitelmakartalla näkyvät kaivutasot ja kaivualan reunat. Kaivutyö edistyy keskeytyksittä, sillä koneen kuljettajan ei tarvitse välillä poistua ohjaamosta katsomaan korkoa. Liika kaivu vähenee ja kaivutyö suoritetaan nopeammin valmiiksi.

5.3.4 Luiskien muotoilu

Kaivinkone aloittaa luiskan muotoilun luiskan alareunasta siirtyen eteenpäin luiskan leveyssuunnassa tehden ensin luiskan alareunan valmiiksi niiltä osin kuin ylettyy. Luiskamalleja ei maastossa tarvita, koska kuljettajalla on luiskamalli koneohjausjärjestelmässä. Kuljettajan ei tarvitse keskeyttää työtään sen ajaksi, että tarkistaa luiskan oikean muodon.

5.3.5 Esikuormituspenkereen rakentaminen louheesta

Kevennyskaivun pohjalle levitetään N4-luokan suodatinkangas. Suodatinkankaan päälle kaivinkone tekee moreenista 200 – 300 mm paksun kerroksen jatkorakentamista varten. Koneohjausjärjestelmän ansiosta moreenitäytön paksuus ei nouse yli 300 mm, jolloin penkereen poiston yhteydessä ei moreenia tarvitse poistaa ollenkaan. Painumalevyjen paikat kuljettaja näkee järjestelmästä, jolloin mittaryhmän ei tarvitse tulla työmaalle merkitsemään levyjen paikkoja maastoon. Mittaryhmän on kuitenkin otettava tarkkeet painumalevyjen tappien päistä lähtötiedoiksi tulevaa painuman tarkkailua varten.

Moreenikerroksen jälkeen kaivinkone aloittaa esikuormituspenkereen rakentamisen alueen pohjoisosasta Kylmäojan reunasta. Penger nostetaan luiskalla oikeaan korkoon ja louhetta lähdetään pengertämään valmiin penkereen päältä. Koneenkuljettaja näkee koneohjausjärjestelmän avulla, missä esikuormituspenkereen rajat menevät, penkereen valmiin pinnan tason sekä penkereen pinnan koron muutoskohdat. Mittarimoja esikuormituspenkereen rakennusvaiheessa ei tarvita. Lisäksi louhepenger saadaan kerralla oikeaan korkoon ja paikkaan, mikä vähentää liikätäytön mahdollisuutta ja tästä aiheutuvia lisäkuluja, sillä louheeseen ollessa lähellä 600 mm, pinnan tasoon jälkeinpäin tehtävät korjaukset ovat kalliita.

5.4 Yhteenveto hankkeen suorittamisesta ilman koneohjausjärjestelmää ja koneohjausjärjestelmän avulla

Seuraavassa on esitetty vertailu hankkeen työvaiheiden eroista kahdessa edellä kuvatussa tilanteessa: nykymallilla suoritetusta työstä ilman koneohjausjärjestelmää ja työstä, jossa apuna käytetään koneohjausjärjestelmää. (Taulukko 1).

Työvaihe	Ilman koneohjausta	Koneohjauksen avulla
1. Kasvillisuuden poisto	- mittaryhmän tarve kohtalainen	- ei mittaryhmän tarvetta
2. Pintamaan poisto	- mittaryhmän tarve suuri - liika kaivua	- ei mittaryhmän tarvetta - työ suoritettu nopeammin
3. Kevennyskaivu	- mittaryhmän tarve suuri - liika kaivua - keskeytyksiä työhön	- ei mittaryhmän tarvetta - ei liika kaivua - työn suoritus nopeampaa
4. Luiskien muotoilu	- mittaryhmän tarve kohtalainen - keskeytyksiä työhön - laatu poikkeamat todennäköisiä	- ei mittaryhmän tarvetta - ei keskeytyksiä - laatu parempi - työ suoritettu nopeammin
5. Esikuormituspengeri	- mittaryhmän tarve suuri - työn suoritus hitaampaa - laatu poikkeamia - liikatyttöä	- mittaryhmän tarve pieni - työ nopeampaa - laatu parempaa - pengeri varmemmin suunnitelmien mukainen

Taulukko 1. Hankkeen työvaiheiden erot ilman koneohjausta ja koneohjauksen avulla

Kuten taulukosta on luettavissa, koneohjausjärjestelmää käytettäessä mittaryhmän tarve vähenee merkittävästi. Lisäksi työ nopeutuu ja sen laatu paranee. Massojen hallinta tarkentuu ja menekki pysyy lasketuissa määrissä. Järjestelmää käytettäessä yrityksellä kuitenkin pitää olla CAD-/3D-maastomallin tekemiseen soveltuva henkilö käytettävissä.

5.5 Hankintakustannukset ja niiden kuoletus

Seuraavassa tarkastelen koneenohjausjärjestelmästä aiheutuvia kustannuksia käyttäen esimerkkinä kaivinkonetta. Riippuen konekannasta ja hankkeista kustannusarvioita voidaan tältä pohjalta soveltaa.

Yksittäisen kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän hinta on noin 14 - 20 tuhatta euroa. Tämän lisäksi tarvitaan vielä tukiasema, joka voi palvella useita koneita. Paikoin koneohjausjärjestelmästä maksetaan noin neljä euroa tunti. Näin voi-

daan todeta, että koneohjaus maksaa itsensä takaisin koneen omistajalle noin 4000 tunnissa. Samalla koneen vuokrannut yritys varmistelelee sitä, että juuri tämä kone on jatkossakin käytössä saman tilaajan töissä. Tilaaajan saama taloudellinen hyöty on taas noin 20 % kustannussäästö ajasta johtuvista kustannuksista.

Putkityöryhmässä on kaksi henkilöä, joiden palkat sivukuluineen muodostavat tunnissa noin 70 euron kustannuserän. Kun tähän lisätään koneen vuokra ja polttoainekulut, päästään noin 150 euron tietämille. Kun mukaan lisätään vähäisempi mittaustarve ja parantunut työturvallisuus sekä materiaalin säästö murskeessa, päästään noin 160 - 170 euroon tunnilta. Kahdenkymmenen prosentin parannus työtehossa tarkoittaa käytännössä sitä, että 40 tunnin työviikon aikana ryhmä saa tehtyä samat työt kuin nykymallilla kuuden päivän aikana. Tällöin viikossa syntyvä kustannussäästö on noin 1320 euroa.

Kiinteitä kuluja järjestelmän käytöstä ei synny. Käytännössä järjestelmä maksaa esimerkiksi putkitustöissä itsensä ja tukiaseman takaisin noin vuodessa. Työskentelyä kuitenkin hidastavat tietyt olosuhteet, esimerkiksi routa, jolloin vain 10 - 11 kuukautta kaivutyötä voidaan tehdä tehokkaasti. Tehokkaita työviikkoja koneella tulee näin noin 46. Silloinkin investointi palauttaa itsensä säästöinä alle kahdessa vuodessa. Järjestelmän tehokas käyttö edellyttää yritykseltä panostusta myös henkilöstöön: kuljettajien koulutukseen sekä CAD-/3D-maastomallinnuksen osaavaan henkilöön kuten mittausinsinööriin tai tekniikkoon. Pienemmissä yrityksissä saavutetaan osa koneohjauksen hyödyistä pelkällä laser-koneohjauksella. Nykyantennien ROVER-käyttömahdollisuuden ansiosta voidaan myös uusien GNSS-mittalaitteiden, joille ei ole jatkuvaa käyttöä, kustannuksissa säästää hankkimalla ne koneohjausjärjestelmän rinnalla.

Laser-koneohjausjärjestelmän, jolla saavutetaan osa hyödyistä, saa nykyään 5000 - 8000 eurolla. Kokemuksen perusteella hyöty on 50 % - 70 % 3D-koneohjausjärjestelmän hyödyistä. Tämä antaa nopeamman tuoton kuin 3D-koneohjaus, ja samalla hyvän tilaisuuden tutustua menetelmään, jolloin muun muassa 3D-järjestelmän opetteluun kuluu vähemmän aikaa. Takymetrimittauk-

sen tarvetta se ei kuitenkaan vähennä, joskin eräissä yksinkertaisemmissa töissä, kuten putkituksissa, sen osuus on suhteellisesti pieni.

5.6 Haastattelut

Saadakseni näkemyksiä tärkeimmästä käyttöönoton osa-alueesta eli osaamisesta kartoitin potentiaalisten käyttäjien näkemyksiä muutamilla haastattelukysymyksillä (Liite 1). Niissä selvitin taustaa, mittausvalmiutta, näkemystä koneohjausjärjestelmän vaikutuksista (tuottavuus, työturvallisuus, mittaustyön ja muun työn tarkkuus) sekä koulutushalukkuutta. Haastattelu on tehty Fin-Seula Oy:ssä laitetta tulevaisuudessa käytäville koneenkuljettajille, työnjohdolle sekä työpäällikölle.

Haastattelun tulokset

Fin-Seula Oy:n kaivinkoneenkuljettajat ovat sitä mieltä, että koneohjausjärjestelmä on kehityskelpoinen idea ja he olivat kuulleet järjestelmää käyttäviltä muilta kuljettajilta positiivista palautetta. Koneenkuljettajien näkemys on, että koneohjausjärjestelmä nopeuttaa ja helpottaa suurinta osaa kaivinkoneen töistä. Lisäksi kuljettajien näkemys on, että työturvallisuus paranee, kun tietyissä työvaiheissa ei tarvita apumiestä. Negatiivisena kaivinkoneenkuljettajat näkevät järjestelmän toimivuuden erilaisissa kohteissa, esimerkiksi lentokentän tai voimalinjojen läheisyydessä. Koulutushalukkuutta nuoremmilta kuljettajilta löytyy, jos järjestelmät koneisiin hankitaan ja järjestetään riittävä koulutus. Vanhemmilla kuljettajilla koulutushalukkuutta ei ole.

Työnjohtajien näkemykset ja kokemukset koneohjausjärjestelmän käytöstä ovat olleet positiivisia. Heidän kokemustensa mukaan työn teho paranee, mittaustyön tarve vähenee ja laadullisesti pystytään rakentamaan parempia rakenteita. Työturvallisuus paranee, kun työskennellään vaativissa ja ahtaissa paikoissa eikä perinteisiä korkomerkkejä tarvitse kierrellä. Ongelmaksi työnjohtajat näkevät laitteiden yhteysongelmat, laitteiden rikkoutumisen tai koulutetun henkilöstön sairastumisen, mikä voi joissakin tapauksissa pysäyttää koko rakentamisen hetkellisesti. Työnjohtajien näkemyksen mukaan nuoremmilla koneenkuljettajilla

on koulutushalukkuutta, mutta vanhemmat kuljettajat on vaikeampi saada koulutautumaan. Fin-Seula Oy:n koneohjausjärjestelmän käyttöönoton valmius paranisi huomattavasti, jos palkkalistoilla olisi oma mittamies.

Fin-Seula Oy:n työpäällikön näkemys koneohjauksesta oli, että se tulee olemaan kaivinkoneiden vakiovaruste 5 - 10 vuoden päästä. Koneohjauksen haitoista hän oli sitä mieltä, että koneohjausta ei osata vielä täysin hyödyntää, tukiasemien ja verkkojen saatavuus on heikko ja koulutettuja henkilöitä on mittaus- ja suunnittelupuolella liian vähän. Koneohjauksen käyttö tulee parantumaan, kun asenteet ja ikärakenne koneenkuljettajissa muuttuu. Koneohjauksen käyttöönoton valmiudesta työpäällikkö kertoi, että Fin-Seula Oy:llä on vain yksi oma mittamies, jota koulutetaan asiaan parhaillaan. Muutamassa koneessa on laitteet ja käytännössä Fin-Seula Oy on ulkopuolisten palveluntuottajien varassa. Laitteita pitäisi saada lisää ja koulutusta useammalle henkilölle.

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Fin-Seula Oy:lle työkoneohjauksen hyödyntämisen ja käyttöönoton vaikutuksia sekä arvioida järjestelmän hankinnan taloudellisia vaikutuksia. Tavoitteena oli myös tehdä koneohjausjärjestelmän käyttöönottosuunnitelma Fin-Seula Oy:lle (Liite 2). Työn yhteydessä vertailin rakennustyön suorittamista perinteisellä tavalla sekä koneohjauksen avulla. Lisäksi haastattelin Fin-Seula Oy:n henkilöstöä.

Koneohjausjärjestelmä on arkipäivää useimmilla työmailla ja sen kysyntä tulee tulevaisuudessa kasvamaan. Ruskeasannan sorttiaseman esikuormituspenkeen rakentamishankkeeseen tekemäni vertailun perusteella järjestelmä kasvattaa työskentelyn tehoa ja laatua. Lisäksi työkoneohjaus vähentää merkittävästi mittaryhmän tarvetta työmaalla.

Opinnäytetyöni perusteella erityisesti kaivinkoneohjaukselle on sekä taloudelliset että toiminnalliset perusteet. Myös yksi nykyisistä haasteista eli suunnitelmien saatavuus koneohjausformaattissa väistyy pikkuhiljaa. Näin ollen työni koh-

deyritys Fin-Seula Oy on harkinnut lähitulevaisuudessa järjestelmän käyttööntoa omiin koneisiinsa.

Haastattelujen perusteella Fin-Seula Oy:n henkilöstöllä on positiivinen näkemys koneohjauksesta ja sen tärkeydestä tulevaisuuden rakentamisessa. Koneohjausjärjestelmä olisi hyödyllinen täydennys nytkin muuten nykyaikaisen kaluston ominaisuuksiin. Henkilöstön koulutukseen pitää panostaa, varsinkin koulutushalukkaiden nuorempien koneenkuljettajien koulutukseen. Arvio koneohjauksen käyttöönoton ajankohdasta on syksy 2013.

Kuvat

- Kuva 1. Fin-Seula Oy:n pääkonttori Tuusulassa, s. 6
- Kuva 2. Tienrakentamisen teknologian kehitysaskelaita Suomessa, s. 8
- Kuva 3. Kaivinkone Komatsu PC290LC, s. 9
- Kuva 4. Koneohjausjärjestelmän osien sijoittelu kaivinkoneeseen, s. 11
- Kuva 5. Kuljettajaa opastava käyttöliittymä, s. 12
- Kuva 6. Käyttöliittymän näyttö koneessa, s. 14
- Kuva 7. Kaksi GNSS antennia, s. 15
- Kuva 8. Tukiasemapaikannus, s. 16
- Kuva 9. GPS-paikannus, s. 18
- Kuva 10. GPS+GLONASS – paikannus, s. 19
- Kuva 11. Satelliittipaikannukseen virheitä aiheuttavia tekijöitä, s. 20
- Kuva 12. VRS-järjestelmän toimintaperiaate, s. 20
- Kuva 13. VRS-verkko ja laskentakeskus Suomessa, s. 21
- Kuva 14. Takymetrimittaus, s. 22
- Kuva 15. Luiskan muotoilu, s. 27
- Kuva 16. Esikuormituspenkereen rakentaminen, s. 28

Taulukot

Taulukko 1. Hankkeen työvaiheiden erot ilman koneohjausta ja koneohjauksen avulla, s. 31

Lähteet

1. Heikkilä, R & Jaakkola, M. 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Tiehallinnon selvityksiä 61/2004. Tiehallinto. Helsinki 2005.
2. Paitsola, J. Luento Työkoneiden 3D-ohjaus – nykytilanne ja seuraavia haasteita. Urakointipäivät 5.-6.2.2009.
3. Hartikainen, O. 2002. Maarakennustekniikka. Helsinki: Otatieto Oy.
4. Saikko, Pekka, opettaja, Saimaan ammattikorkeakoulu. Lappeenranta. Suullinen tiedonanto 16.1.2013
5. Nygrén, J. Scanlaser Oy. Esitys Infra Urakointipäivät 4.2.2010.
6. Nieminen, J. 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
7. Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
8. Topgeo Oy. Koneohjausjärjestelmät.
http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126. Luettu 5.2.2013.
9. Tötterström, S. 2010. Katsaus VRS-tekniikan nykytilaan ja tulevaisuuteen. Maankäyttö 3/2010.
10. Pelkonen, J. 2012. Koneohjausjärjestelmän käyttö ja hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikka. Opinnäytetyö.

Liite 1. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän käyttöönotto maanrakennus yrityksessä

Haastattelukysymykset:

1. Minkälainen näkemys sinulla on kaivinkoneen koneohjausjärjestelmästä?
2. Onko sinulla kokemusta koneohjausjärjestelmästä?
3. Minkälainen näkemys sinulla on koneohjausjärjestelmän vaikutuksista (tuottavuus, työturvallisuus, mittaus- ja muun työn tarkkuus)?
4. Minkälainen näkemys sinulla on koneohjausjärjestelmän haitoista ja ongelmista?
5. Koulutushalukkuus?
6. Mikä on mielestäsi Fin-Seula Oy:n työmaiden mittausvalmius koneohjausjärjestelmän käyttöönotolle? (mittamies, maastomallin tekeminen, CAD/3D-osaaminen)

Liite 2. Koneohjausjärjestelmän käyttöönottosuunnitelma Fin-Seula Oy:ssä

A. Yleissuunnitelma

1. Koneenohjausjärjestelmän hankintaa valmistelevalta henkilöstä päättäminen
 - 1.1 Laitteistojen ja ohjelmistojen kartoitus ja ominaisuuksien selvitys
 - 1.2 Yrityksen palvelut ja työkohteet nyt ja tulevaisuudessa
 - 1.3 Hankinnan kokonaiskustannukset
 - 1.4 Tukiaseman tarveselvitys
2. Tarkoituksenmukaisimman järjestelmän valinta ja hankinta
 - 2.1 Tarjouspyynnöt ja referenssien selvitys sekä hankinta
 - 2.2 Järjestelmän toimittajan käyttöönoton aikaiset palvelut
3. Koneenkuljettajien ja työnjohdon kouluttaminen
 - 3.1 Käyttökoulutus ja pilottihankkeet, joissa järjestelmätoimittaja mukana
 - 3.2 Kuljettajien täydennyskoulutusvaihtoehtojen selvitys
 - 3.3 Koulutussuunnitelma ja koulutuksen ajankohtien päättäminen
4. CAD/3D-maastomallin ja koneohjausmallin tekemisestä vastaavan mittausinsinöörin (tai –tekniikan) rekrytointi, vaihtoehtoisesti ulkopuolisen konsultin käyttö
 - 4.1 Tehtäviin perehdyttäminen / täydennyskoulutus työnjohdolle ja kuljettajille sekä mittaustekniikan perusteiden koulutus
 - 4.2 Erialaisten koneohjausjärjestelmän käyttöön soveltuvien työmaiden hakeminen tai tutustuminen sellaisiin, joissa järjestelmä jo käytössä
 - 4.3 Omien työmaiden käytäntöjen dokumentoiminen ja käyttöohjeiden täydentäminen
 - 4.3.1 Kohdetyömaasta maastomallin ja koneohjausmallin tekeminen eri työvaiheita varten ja tiedonsiirto
 - 4.3.2 Järjestelmän käyttö työmaalla
 - 4.3.3 Järjestelmän seuranta ja henkilöstön perehdyttäminen
5. Järjestelmän käytön kehittäminen jatkuvana työn kehittämisenä
 - 5.1 Mittausvastaavan ja työnjohtajien sekä koneenkuljettajien yhteistyö
 - 5.2 Kustannuksien ja työtehon seuranta
 - 5.3 Täydennyskoulutus

B. Tehtävien sisältö

1 Koneohjausjärjestelmän valinta, 2D/3D ?

- Yksinkertaisin koneohjausjärjestelmä sisältää laserin ja konevastaanottimen, mutta kokoonpanossa ei ole mahdollisuutta automaattiseen koneen hallintaan.
- 2D-järjestelmässä työskentelytason signaalia lähettää pyörivä laser ja työkoneessa on vastaanotin, jonka lisäksi esimerkiksi kaivinkoneeseen asennetaan kolme kaltevuusmittarianturaa: yksi puomiin, toinen varteen ja kolmas kauhanvarteen. Antureista saadaan tieto kauhan terän paikasta suhteessa koneeseen ja näytöstä kuljettaja näkee kauhan ja varren asennon.
- 3D-järjestelmässä digitaalinen malli ladataan työkoneessa sijaitsevaan laitteistoon ja koneen sensorit ohjaavat näytön avulla oikeaan korkoon ja kallistukseen oikeassa paikassa automaattisesti tai kuljettajaa avustaen. Koneen sijainti saadaan selville satelliittipaikannusta tai takymetriohjausta apuna käyttäen.
- Tarjouspyyntö koneohjausjärjestelmästä asennettuna sekä työmaahallinta- ja kommunikointiohjelmasta. Hankintaan liittyen käyttökoulutus sekä laitteiston ja ohjelmiston tuki-, huolto- ja ylläpitopalvelut ainakin takuuajalle.
- Koneohjausjärjestelmä koostuu antureista, tietokoneyksiköstä, näyttöpäätelaitteesta, radiomodeemista, satelliittivastaanotinantenneista ja virtalähteestä. Laitetoimittajien järjestelmät eroavat toisistaan laitemoduulitasolla.

2 Järjestelmän asennus ja kalibrointi

- Johtojen ja antureiden kiinnitys sekä antennien, tietokoneen ja näytön asennus
- Järjestelmän kalibrointi käyttäen apuna esim. 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 tallennetaan kaivinkoneen luiska- ja kynsikauhasta.
- Työmaakalibrointi kiintopisteen suhteen, jonka X-, Y- ja Z-koordinaatit tarkasti tiedossa.

3 Koneohjausmallin hankkiminen pilottityömaalle

- Kun lähtöaineisto tallennettu, ohjelma muodostaa maanpinnan muotoja kuvaavan kolmiulotteisen verkon. Mallien tarkastelu 3D-ympäristönä katseluohjelman avulla ja lopuksi koneohjausaineiston muuntaminen järjestelmälle sopivaan formaattiin.
- Koneohjausjärjestelmä paikantaa esimerkiksi kaivinkoneen suunnittelu- tai kohdealueelle ja havainnollistaa kuljettajalle ohjaamossa näyttöpäätteellä työterän eli kauhan sijainnin suhteessa suunnitelmaan. Lukeman taustaväri esimerkiksi punainen, kun kauhan mittapiste suunnitelman alapuolella ja vihreällä tarkoitetaan korkeussijaintia asetetuissa toleransseissa sekä sininen tarkoittaa kauhan sijaintia mallin yläpuolella.
- Toiminnan kannalta koneohjausjärjestelmä vaatii kaivinkoneen ja satelliittien geometrian eli mittojen määrittämistä suhteessa ympäristöön. Lisäksi tarvitaan laitteisto yhdistämään suunnitelma-aineisto tai toteutusaineisto suhteessa paikannukseen.

4 Koulutus

- Koneohjausjärjestelmän käytön vaikutukset kohdistuvat sekä työmaahenkilöstöön että työtapoihin ja käyttöönotto vaatii uuden opettelua ja perehtymistä, johon on varattava sopeutumis- ja tutustumisaikaa sekä järjestettävä koulutusta.
- Koneohjausjärjestelmällä varustettu kaivinkone soveltuu hyvin työhön, joka kohdistuu jonkin tason tai rakennekerroksen muotoiluun tai kaivamiseen. Kaivinkoneenkuljettajien perusosaaminen käsittää koneen käytön ja sen ylläpidon toimenpiteet. Kuljettajien mittausosaamisen tieto ja taito on vaihtelevaa. Osaaminen vaihtelee työkokemuksen mukaan. Kokeneet kuljettajat ymmärtävät rakentamisen mittauksista yleensä enemmän ja vaihteleva kokemus ja osaaminen vaikuttaa myös valmiuteen käyttää koneohjausjärjestelmää ja täten myös koulutustarpeeseen.