

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikan koulutusala Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotanto ja kunnossapito

Santtu Tahvanainen

TYÖKONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN HYÖDYNTÄMINEN KIVIAINESTUOTANTOALUEILLA

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

Santtu Tahvanainen

Työkoneohjausjärjestelmän hyödyntäminen kiviainestuantotoalueilla, 37 sivua,
1 liite

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikan yksikkö, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tuotanto ja kunnossapito

Opinnäytetyö 2011

Ohjaaja: Simo Sinkko

Tämän insinööriyön aiheena oli tutustua työkoneohjausjärjestelmään, asennukseen ja käyttöönottoon sekä laatia Rudus Oy:lle käyttöopas pyöräkuormajaan asennetusta Vision 3D dual -järjestelmästä. Työn tavoitteena oli tarkastella mahdollista automaatioprosessin kiviainestuantotoalueelle tuottamaa hyötyä sekä helpottaa oppaan myötä tulevaisuudessa seuraavilla alueilla järjestelmän käyttöönottoprosessia. Työkoneohjausjärjestelmän käyttöönottaminen kiviainestuantotoalueella on etenkin työkoneen kuljettajalle suuri muutos aikaisempaan työtapaan.

Tutkimusaineisto koostui pääosin koneohjausjärjestelmän valmistajan julkaisemiin tietoihin, käytännön asennuskokemuksiin sekä aiheesta julkaistuihin lehtiartikkeleihin. Insinööriyö toteutettiin yhteistyössä Rudus Oy:n kanssa.

Työn alkuosiossa käytiin läpi kiviainestuantotannolle keskeisimmät asiat, jonka jälkeen selvitettiin Vision 3D dual -työkoneohjausjärjestelmän tekniset yksityiskohdat, sekä kartta- aineiston laadinta jalostamalla se työkoneohjausjärjestelmän vaatimaan formaattiin. Työssä tarkasteltiin työkoneohjausjärjestelmän käyttöönoton edellytyksiä työmaalla sekä mahdollisia käyttökohteita.

Insinööriyön lopputuloksena saatiin käyttöopas Vision 3 D dual -työkoneohjausjärjestelmälle. Opas on avuksi ja hyödyksi tulevaisuudessa, mahdollistaen helpomman käyttöönottoprosessin muiden alueiden työkoneissa sekä ohjeistaen ohjelman käytössä.

Avainsanat: kiviainestuantoto, työkoneohjausjärjestelmä, käyttöopas

ABSTRACT

Santtu Tahvanainen

Machine control system profits in aggregate sites, 37 pages, 1 appendice

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Degree Programme in Mechanical Engineering and Production Technology

Production and maintenance

Bachelor's Thesis 2011

Instructor: Simo Sinkko

The purpose of this thesis was to explore machine control systems and formulate a manual for Rudus Ltd for a wheel loader installed on a Vision 3D dual system. The aim was to first examine the profits in aggregate production sites from a possible automation process, and also to make future adoption of the system in other areas easier. The adoption of machine control systems on aggregate sites is a considerable change, especially for the machine operator.

The study data consisted mainly of the machine control manufacturer's published data, practical installation experience and published journal articles. All engineering work was carried out in collaboration with Rudus Ltd.

The first section of this thesis considered the key issues in aggregate production. Then the technical details of the Vision 3D dual machine control system were run through and all cartographic materials were converted to the control system's required format. The thesis examined the on-site conditions required for the introduction of a machine control system, as well as possible applications.

As a final product, the thesis provided a user manual for the Vision 3D dual machine control system. The guide will be helpful in the future by simplifying system adoption in other areas' machines and by guiding users in the use of the program.

Keywords: aggregate production, machine control system, user manual

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	6
1.1 Opinnäytetyön taustaa	6
1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset	6
1.3 Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä ja lähteet.....	7
2 KIVIAINESTUOTANTO	7
2.1 Ottoalueen hankinta	8
2.2 Lupamenettelyt.....	9
2.3 Tuotantoprosessi.....	9
3 TYÖKONEOHJAUS	11
3.1 Työkoneohjauksen toimintaperiaatteet.....	11
3.2 Novatron.....	13
3.3 Työkoneohjauksen käyttöönotto pyöräkuormaajassa	13
3.4 Työkoneohjausjärjestelmä Vision 3D pyöräkuormaaja.....	13
3.5 Anturit.....	16
3.6 Työkoneohjauksen nykytilanne Suomessa	18
3.7 Työkoneohjauksen nykytilanne ulkomailla	18
3.8 Paikannusjärjestelmät	18
3.9 Kartta-aineisto ja mittausmenetelmät	20
4 TYÖKONEOHJAUKSEN HYÖDYNTÄMISKOHTEET	22
4.1 Ongelmakohdat.....	22
4.1.1 Varastohävikki.....	23
4.1.2 Ottotasojen hallinta.....	24
4.1.3 Ottoalueen rajojen hallinta.....	24
5 CASE - TALMA	26
5.1 Työkoneohjauksen käyttöönoton edellytykset	26
5.2 Työmaan mittaustyöt.....	27
5.3 Käyttökohteet työmaalla	27
5.3.1 Varastoalue	28
5.3.2 Ottamisalue ja ottoalue.....	31
5.3.3 Jälkihoito	31
5.4 Työkoneohjauksen hyödyt ja haasteet	32
6 PÄÄTELMÄT	33
6.1 Käyttöönotto ja käyttö.....	33
6.2 Koneohjauksen tulevaisuus Ruduksen työmailla	33
KUVAT	35
TAULUKOT	35
KAAVIOT	35
LÄHTEET.....	36

LIITTEET

Liite 1 Vision 3D dual -työkoneohjausjärjestelmän käyttöopas

LYHENTEET:

RTK	(Real Time Kinematic) = Reaaliaikainen kinemaattinen mitaus
GPS	(Global Positioning System) = Satelliittinavigointijärjestelmä
GLONASS	(Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema) = Venäjän valtion ylläpitämä satelliittinavigointijärjestelmä
GNSS	(Global Navigation Satellite System) = Satelliittijärjestelmä, joka käyttää GPS ja GLONASS – satelliittijärjestelmiä
CAN- väylä	(Controller Area Network) = automaatiöväylä, jota käytetään muun muassa koneiden ohjauksessa
MEMS	(Micro Electro Mechanical Systems) = Komponentteja, joissa yhdistyy esimerkiksi mekaanisen taipuman muuttaminen sähköiseksi signaaliksi
A/D-muunnin	(Analog to Digital Converter) = Analogia-digitaalimuunnin, joka muuntaa jatkuvan analogisen signaalin arvoja digitaalisiksi lukuarvoiksi
Mikrokontrolleri	Mikro-ohjain, jossa on mikroprosessori sekä muisti- ja liityntälohkoja
Ottamisalue	on alue, jolla maa- ainesten ottaminen ja ottamiseen liittyvät muut järjestelyt, kuten pintamaiden ja sivukivien käsittely ja jälkihoitotoimet tapahtuvat.
Ottoalue	on alue, jossa tapahtuu varsinainen maa- ainesten ottaminen eli kaivu ja louhinta.

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön taustaa

Kiviainesala huolehtii rakentamisessa ja kunnossapidossa tarvittavien kiviainesten toimittamisesta, ja on siten tärkeä osa rakennusmateriaaliteollisuutta. Kiviainesurakointia harjoittavat yritykset jalostavat kiviaineslajikkeet omilla tuotantolaitoksillaan. (Infra 2011.)

Rakennusala kehittyi vauhtia kokoajan monin eri osa-aluein. Yksi osa-alue on työkoneisiin asennettavat automaatiojärjestelmät. Rudus Oy ottaa työkoneohjausjärjestelmän pilottikäyttöön Sipoossa, Talman kiviainestuotantoalueella. Rudus Oy on betoni- ja kiviainesrakentamisen johtava yhtiö Suomessa. Rudus Oy:n toimialueisiin kuuluvat kiviainestuotannon lisäksi betonit, betonituotteet, murskausurakointi ja kierrätys. Rudus toimii Suomessa, Baltiassa ja Venäjällä. Ruduksen Etelä-Suomen kiviainestuotantomäärä oli vuonna 2010 noin 5 miljoonaa tonnia. Tuotanto jakaantui noin 25 eri ottoalueelle. (Rudus 2011.)

Työkoneohjauksella tarkoitetaan kolmiulotteisen maastosuunnitelman toteuttamista koneohjauksella apuna käyttäen. Järjestelmä perustuu työkoneissa oleviin anturijärjestelmiin, tietokoneisiin sekä paikannusjärjestelmiin. Tällä tavoin työkoneenkuljettaja näkee reaaliajassa näytöltä sijaintinsa kolmiulotteisessa maastosuunnitelmassa. (Novatron 2011.)

1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Päätavoitteena on toteuttaa koneohjausjärjestelmän avulla suunnitelman mukainen ottotoiminta, suunnitelman mukainen jälkihoito sekä minimoida varastohävikki.

Tavoitteena on myös luoda käyttöopas, joka helpottaa sekä toimii tukena uusien alueiden mahdollisten työkoneohjausjärjestelmien käyttöönotossa ja käytössä. Työn tavoitteena on myös selvittää työkoneohjausjärjestelmän tekniset yksityiskohdat sekä perehtyä kartta-aineiston laadintaprosessiin.

1.3 Opinnäytetyön tutkimusmenetelmä ja lähteet

Tutkimus kohdistuu työkoneohjausjärjestelmän käyttöönottoon ja käyttöön, koska Rudus Oy:llä ei ole aikaisempaa kokemusta järjestelmästä. Tutkimus toteutetaan järjestelmän asennuskokemuksia, alan asiantuntijahaastatteluita sekä kirjallisuutta hyväksi käyttäen. Koneohjausjärjestelmän tekniseen puoleen syvennytään tutkimalla kartta-aineiston laadintaa, anturijärjestelmää sekä mittaustekniikoita. Lähteinä käytetään työkoneohjausjärjestelmän valmistajaa Novatronia, yrityksen Internet-sivuja sekä aiheesta julkaistuja lehtiartikkeleita. Maanrakennuspuolelta käytössä on alan kirjallisuutta. Asiantuntijahaastattelu muodostaa myös osan opinnäytetyötä.

2 KIVIAINESTUOTANTO

Kiviaineksella tarkoitetaan soraa, hiekkaa ja kalliomurskettä. Kiviainesta käytetään joko jalostettuna tai sellaisenaan. Kiviaineksen vuosittainen tarve rakentamiseen ja olemassa olevien rakenteiden ylläpitoon on vuosittain Suomessa noin 100 miljoonaa tonnia. Taulukosta 1 käy ilmi, että tästä yli puolet on jalostettuja eli murskattua ja seulottua kiviainesta. (Laurila & Hakala 2010, 7.)

Suomi on kiviainesten suhteen omavarainen. Suurin osa kiviaineksista käytetään katujen, teiden ja rautateiden rakentamiseen. Esimerkiksi yhteen kilometriin moottoritietä kuluu noin 50 000 – 55 000 tonnia kiviaineksia.

(Laurila & Hakala 2010, 7.)

Taulukko 1. Kiviainesten käyttö Suomessa 2000–2008. (Laurila & Hakala 2010, 13)

Vuosi	Jalostettu kalliokiviaines (milj.t)	Jalostettu sora ja hiekka (milj.t)	Jalostamaton sora ja hiekka (milj.t)	Yhteensä (milj. t)	Jalostetun kiviaineksen osuus (%)
2000	37	23	32	92	65,2
2001	38	23	30	91	67,0
2002	39	22	29	90	67,8
2003	40	21	31	92	66,3
2004	43	24	33	100	67,0
2005	45	24	29	98	70,4
2006	49	24	32	105	69,5
2007	54	26	33	113	70,8
2008	60	25	28	113	75,2

2.1 Ottoalueen hankinta

Maa-ainesten ottoalueen hankinta lähtee liikkeelle alueen tarpeellisuudesta. Tarvekartoituksessa pyritään suunnitelmallisuuteen, ennakointiin ja riittävän pitkän ajanjakson tarkasteluun, koska varantoja päästään hyödyntämään usein vasta vuosien tai jopa vuosikymmenenkin kuluttua. Hankinnan apuvälineinä yritys voi käyttää muun muassa maa-ainesten tilinpitojärjestelmää, ympäristöhallinnon tietojärjestelmää, geologisia maa- ja kallioperäkartoja, maaperätutkimuksia, maakunta- ja yleiskaavoja, kiinteistötietojärjestelmää sekä muita yhteiskunnan tuottamia selvityksiä.

Kun maa-ainesten ottotoimintaan mahdollisesti soveltuva alue on paikallistettu, suoritetaan alueella ja sen lähiympäristössä maastokatselmus. Edellä mainitun jälkeen otetaan kontakti maanomistajaan ja tiedustellaan hänen halukkuuttaan sopimusneuvotteluihin, usein myös maanomistajat tarjoavat maa-alueitaan yrityksille. Mikäli osapuolilla on halukkuutta sopimusneuvotteluihin ja neuvottelut edistyvät, tehdään osapuolten välille sopimus. (Harold Nyberg 2011.)

2.2 Lupamenettelyt

Maa-ainelain mukainen maa-ainesten ottaminen tarvitsee pääsääntöisesti luvan. Ottamislupa voidaan myöntää enintään kymmeneksi vuodeksi. Erityisistä syistä lupa voidaan myöntää enintään 15 vuodeksi ja kalliokiven louhinnalle enintään 20 vuodeksi. Kiviainestuotantoa ohjaavat myös laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä, vesilaki sekä niihin liittyvät asetukset ja muut säädökset. (Maa-ainesten ottaminen ja ottamisalueiden jälkihoito 2001, 7.)

Yllä olevien lupien lisäksi ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttaville toimintoille tarvitaan ympäristönsuojelulain mukainen lupa. Esirakennuskohteissa edellä mainittujen lupien lisäksi tarvitaan rakennuslupa, josta käy ilmi tulevat korkotasot. (Rudus 2011.)

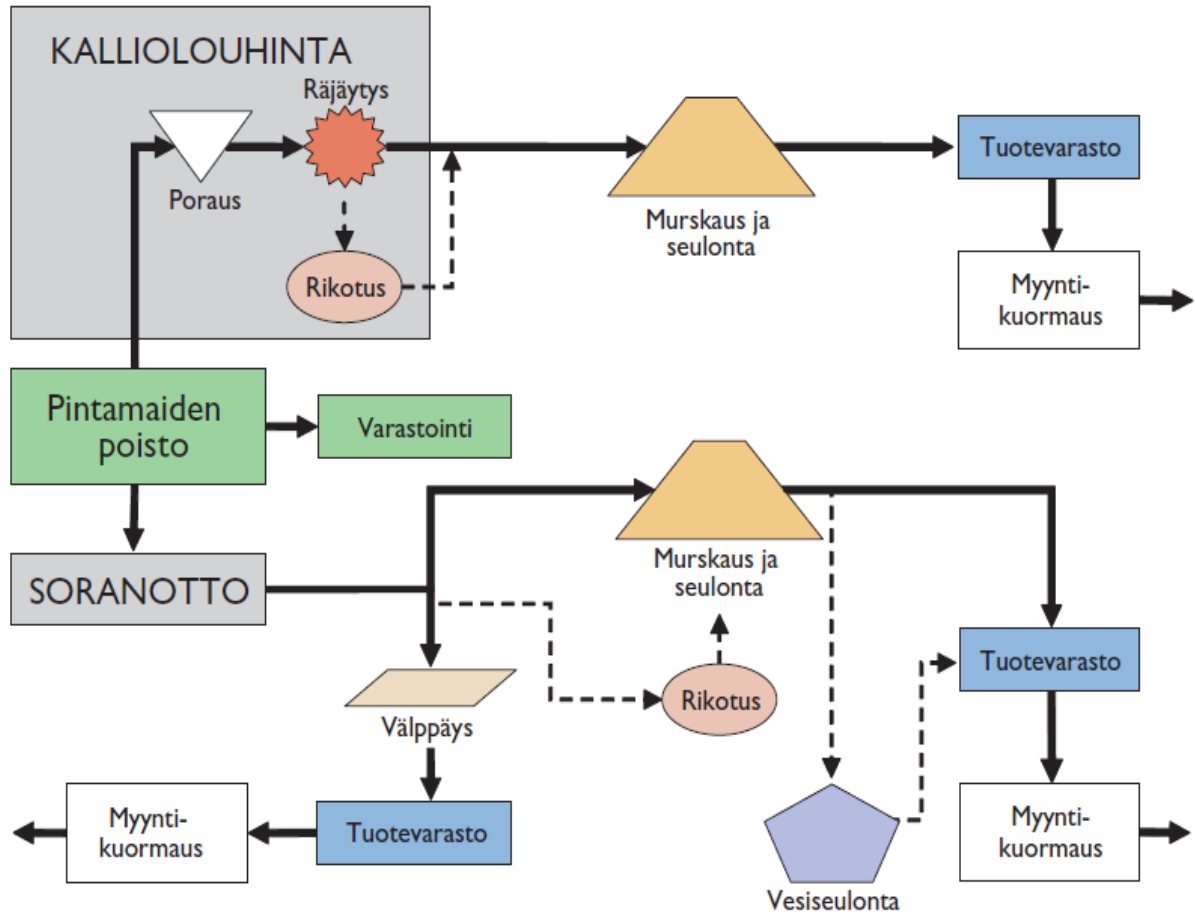
Kun hakijalle on myönnetty tarvittavat luvat, voi maa-ainesten ottamisen aloittaa. Ottamiseen kuuluu valvontaa ja seurantaa. Seurannalla tarkoitetaan, että toiminnanharjoittajan on seurattava alueen laajuutta ja kaivutason korkeutta. Lisäksi tulee seurata seuraamuksia ympäristölle lupamääräysten mukaisesti. Pohjaveden korkeuden- ja laaduntarkkailu on keskeinen maa-ainesten ottamiseen liittyvä asia. (Laurila & Hakala 2010, 8.)

2.3 Tuotantoprosessi

Tuotantoprosessi aloitetaan pintamaiden poistolla, riippumatta siitä, onko kyseessä kallioalue vai sora-alue.

Kallioalueilla louhintatyö koostuu porauksesta, kiven irrotuksesta /räjäytyksistä ja rikotuksesta. Rikotuksessa louheen lohkokokoa pienennetään murskauslaitokseen sopivaksi. Louhinnassa kiviaines irrotetaan poraamalla ja räjäyttämällä. Kun lohkokoko on saatu halutun kokoiseksi, se murskataan ja seulotaan oikeaan raekokoon. Tämän jälkeen tuote on valmis varastoitavaksi ja myytäväksi eteenpäin. Prosessin vaiheet kuvataan kaaviossa 1. (Laurila & Hakala 2010.)

Soranottoalueella kiviaines jalostetaan tuotteeksi välppäämällä, seulomalla tai murskaamalla. Välppäyksellä tarkoitetaan isokokoisten kivien poistamista maa-aineksesta. Tuote voidaan myös vesiseuloa, tarkoittaen että irroitettun maa-aineksen hienoaines (savi ja hiesu) poistetaan kiviaineksesta tuotevaatimusten täyttämiseksi. Tämän jälkeen tuote on valmis varastoitavaksi. (Laurila & Hakala 2010.)



Kaavio 1. Kiviaineksen tuotantoprosessi. (Laurila & Hakala 2010, 17)

Kun määräaikainen maa-ainesten otto on tehty, toiminnan harjoittajan on suoritettava ottamisalueen jälkihoito, kunnostus sekä jälkikäyttö.

Jälkihoitotoimet

- alueen siistiminen toiminnan päätyttyä
- alueen muotoilu ja pintamateriaalien levitys
- kasvillisuuden palauttaminen alueelle
- alueelle soveltumattoman käytön estäminen

Jälkikäyttömuodoista metsätalous on yleisin ja pohjaveden kannalta suositeltavin vaihtoehto ottamisalueilla. Ottamisalue voidaan kunnostaa myös uimakäyttöön, mikäli alueella on ollut pohjaveden pinnan alapuolista ottoa, jota havainnollistaa kuva 1. (Maa-ainesten kestävä käyttö 2009, 53.)



Kuva 1. Ottamisalue on kunnostettu uimakäyttöön (Maa-ainesten kestävä käyttö 2009, 53)

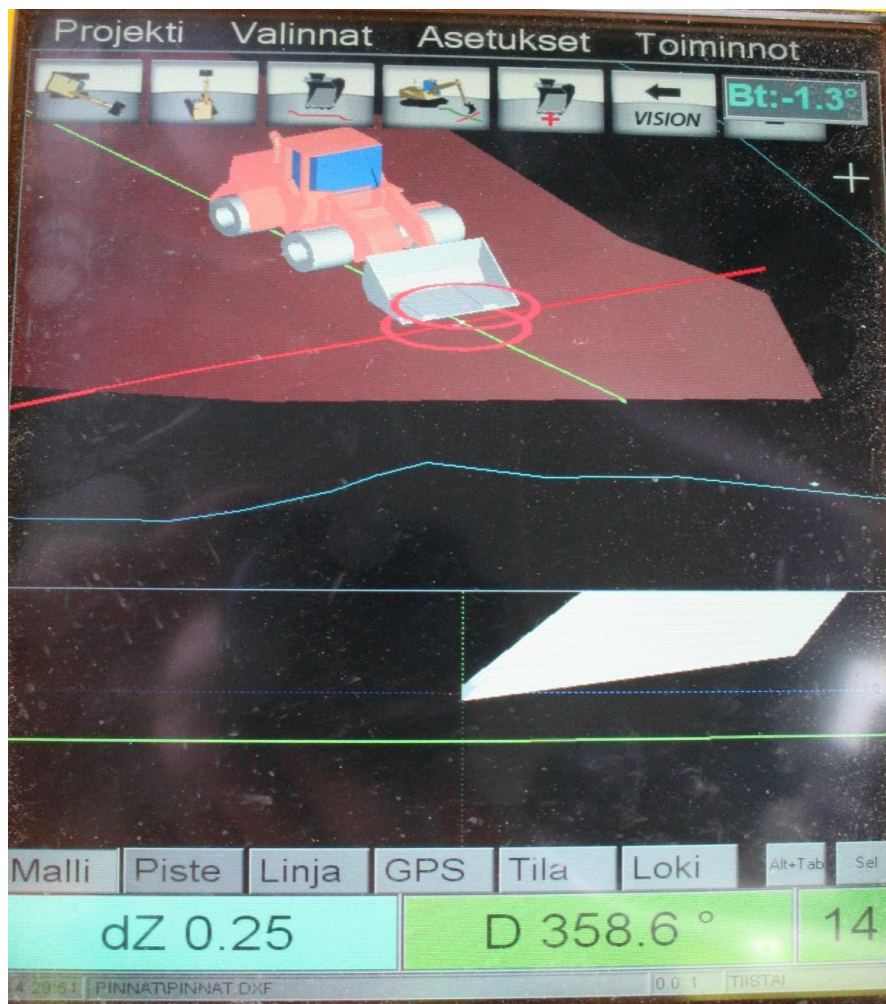
3 TYÖKONEOHJAUS

3.1 Työkoneohjauksen toimintaperiaatteet

Työkoneohjauksen ajatuksena on saada työstettävä maasto kolmiulotteisena, digitaalisessa tiedostomuodossa siirretyksi työkoneen työasemalle, mikä opastaa työkoneen kuljettajaa työtehtävissä. Työkoneohjauksessa käytettävä koneohjausmalli on jalostettu maastosuunnitelmasta. Työkone varustetaan paikannuslaitteilla, tietokoneella sekä anturijärjestelmällä. Kun laitteet on asennettu, suunnitelmätieto eli maaston pintamuodot tuodaan digitaalisena 3D-muodossa ohjausjärjestelmään, jossa työkoneenkuljettaja näkee ohjaamiseen tarvittavat tiedot näytöllä, jota havainnollistaa kuva 2. Työkoneen sijainti sekä asento seu-

raavat mallin päällä reaaliajassa koneen todellisia liikkeitä ja näin kuljettaja saa tarkkaa mittatietoa poikkeamista. (Novatron 2011.)

Korkeudenohjaus on esimerkiksi yksi automatisoitu toiminto koneohjauksen osa-alueella. Mittausten perustuesa olemassa oleviin tasoihin voidaan käyttää laser- tai sonic-sensoreita. Tieto sensoreista välittyy suoraan koneen hydraulikkajärjestelmään, joka ohjaa terän automaattisesti oikeaan asentoon. (TopGeo 2011) Tässä työssä käsiteltävässä koneohjausjärjestelmässä ei käytetä automaattista koneen hallintaa, vaan koneen kuljettaja tekee itse tarvittavat toimenpiteet.



Kuva 2. Näytön näkymä kuljettajalle.

Koneohjauslaitteita Suomessa markkinoivat monet yritykset, muiden muassa Scanlaser (Scanlaser 2011), GeoSam (GeoSam 2011) ja TopGeo Oy (TopGeo

2011). Järjestelmiä on tarjolla monia eri sovellutuksia riippuen käyttökohteesta ja tarpeesta. Talmassa käyttöönotettava koneohjausjärjestelmäjärjestelmä on Vision 3D dual, jonka valmistaja on suomalainen Novatron Oy.

3.2 Novatron

Suomalainen perheyrittäjä Novatron Oy on yksi Euroopan johtavista maanrakennuskoneisiin tarkoitettujen mittausjärjestelmien valmistajista ja toimittajista. Novatron on markkinajohtaja Suomessa ja merkittävä toimija kansainvälisesti. Päämarkkina-alueet ovat Pohjois- ja Keski-Eurooppa. Novatron on toiminut alalla vuodesta 1991 lähtien. Kaikki tuotteet on suunniteltu kestäväksi maanrakennuksen vaativat olosuhteet. Novatron-tuotteet suunnitellaan ja valmistetaan Suomessa. Novatron vastaa laitteiden huollosta ja tuotetuen toimivuudesta. Huoltoverkosto kattaa koko maan. (Novatron 2011.)

3.3 Työkoneohjauksen käyttöönotto pyöräkuormaajassa

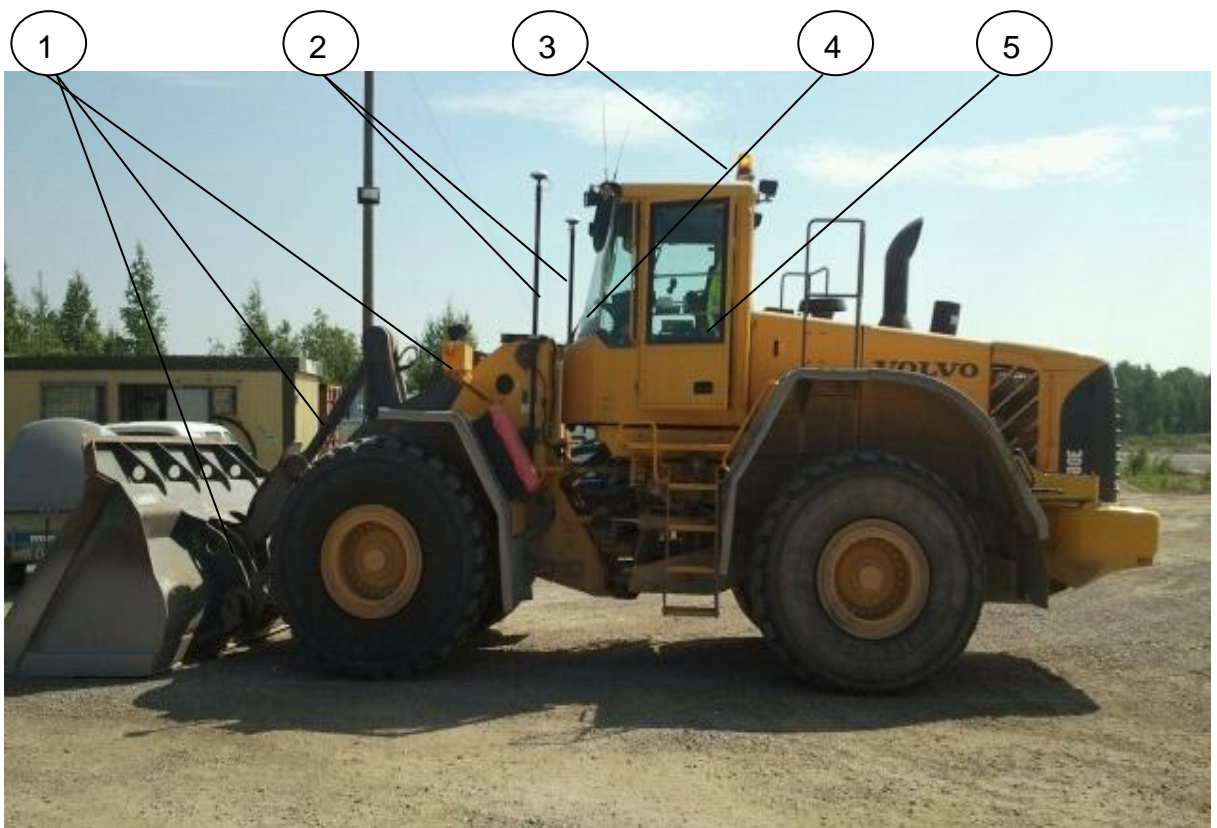
Ennen varsinaisen koneen asennusta työkoneohjausjärjestelmän valmistaja Novatron Oy toimittaa simulaatiojärjestelmän, jonka avulla järjestelmän valikoihin pääsee tutustumaan etukäteen. Työkoneohjausjärjestelmän käyttöönotto sekä opastus järjestelmän käyttöön tapahtuu toimittajan toimesta. Rudus on itse jalostanut kartta- aineiston koneohjausjärjestelmän vaatimaan formaattiin. Työkoneen koko ja malli ei aseta rajoituksia järjestelmän asennukseen.

3.4 Työkoneohjausjärjestelmä Vision 3D pyöräkuormaaja

Pyöräkuormaaja varustetaan CAN-väyläisillä kulma-antureilla (kuva 6), paikanninantennilla (kuva 5), radioantennilla, näytöllä sekä keskusyksiköllä. Laitteiden paikat käyvät ilmi kuvasta 3. Koneen anturoinnin ansiosta kauhan terä voidaan paikantaa senttimetrin tarkkuudella. Järjestelmä opastaa kuljettajaa pitämään kauhan oikeassa korkotasossa ja kallistuskulmassa, mikä nopeuttaa ja tehostaa työntekoa. Graafinen näyttö ohjaamossa puolestaan osoittaa koneen sijainnin ja koron suunnitelma-aineiston päällä, jota kuva 4 havainnollistaa. Työvaiheiden tehokkuutta lisäävät myös monipuoliset kuvakulma-asetukset, jotka mahdollis-

tavat työkoneen tarkastelun eri kuvakulmista. V3D-järjestelmä käyttää GNSS-paikannusta. (Novatron 2011.)

Järjestelmiä käytetään pääasiassa kaivukoneissa, puskukoneissa, pyöräkuormaajissa sekä tiehöylissä (Jaakkola 2010).



Kuva 3. Kauhakuormaaja varustettuna koneohjausjärjestelmällä.

1. Kulma-anturit
2. Paikanninantennit
3. Radioantenni
4. Näyttö (ohjaamossa)
5. Keskusyksikkö (ohjaamossa)

(Novatron 2011)



Kuva 4. Ohjaamoon asennettu graafinen näyttö.



Kuva 5. Paikanninantenni koneen etuosassa.

3.5 Anturit

Pyöräkuormaajaan asennetaan kolme anturia. Pyöräkoneen runkoon, puomiin (kuva 9) sekä kauhaan. Tekniikkana käytetään yleisesti MEMS-kiikkyvyysanturipiirejä, jotka kytketään analogia-asteeseen, jossa on muun muassa signaalin suodatusta. Analoginen signaali muunnetaan AD-muuntimella digitaaliseksi.

Digitaalinen signaali kytketään mikrokontrolleriin tai signaaliprosessoriin, jossa signaalille voidaan suorittaa digitaalista signaalinkäsittelyä. Stabiloitu signaali lähetetään CAN-väylätekniikkaa käyttäen päätelaitteelle. (Novatron 2011)

"CAN-väylän toimintaa voisi verrata ilmoitustauluun, johon kaikki voivat kiinnittää ilmoituksia ja jossa ne ovat kaikkien nähtävillä. Se joka jotain tietoa tarvitsee, näkee sen ilmoitustaululta." kuvailee Epec Oy CAN-väylän toimintaperiaatetta Internet sivuillaan. CAN-väylän toimintaperiaatteen mukaisesti kukin väylälle liitetty toimilaite siis lähettää tietoa broadcasting-tyyppisesti väylälle, jota kaikki "kuuntelevat". Toimilaite tai useammat toimilaitteet, jolle viesti on tarkoitettu ottaa viestin vastaan ja käsittelee sen. (Epec 2011.) Liittimet rakennetaan siten, että myös pikakiinnittimen irrottaminen on mahdollista ja työ voi jatkua suoraan kauhaa käyttäen. (Novatron 2011.)



Kuva 6. Kulma-anturi kiinnitettynä pyöräkuormaajaan. (Novatron)

3.6 Työkoneohjauksen nykytilanne Suomessa

Nykyisin infrarakennuskohteiden aineistoissa on paljon koneohjausta ja koneautomaatiota mahdollistavaa 3D-aineistoa. Lähtötietoja ja maastomalleja mitataan 3D-tietona ja laserkeilaamalla ilmasta käsin. Uudet asuinalueet ja suuret väylähankkeet on kustannustehokkainta mitata ilmasta. Tarkentavia mittauksia mitataan esimerkiksi takymetrillä tai RTK-GPS-laitteilla. Suunnittelun tarkkuus sekä laatu ovat parantuneet visuaalisten ohjelmistojen kehittymisen myötä. Ohjelmistot hyödyntävät 3D-lähtöaineistoja ja mahdollistavat suunniteltujen tietojen tarkastelun virtuaalimalleissa tai esimerkiksi eri tekniikka-alojen suunnitteluaineistojen yhteensovittamisen koordinoitumalleissa. 3D-koneohjausta on kokeiltu laajalti erilaisissa konetoteutuksissa, joissa yleensä opastetaan kuljettajaa tai ohjataan hydraulikka. Suomessa infrarakentamisen koneohjauslaitteita on käytössä arviolta muutama sata yksikköä ja niitä on hyödynnetty lähinnä hanke- tai pilottikohtaisesti. Laajempaa yleistä käytäntömallia Suomessa ei ole tällä hetkellä. Rakennettujen pintojen osalta toteutumatieta on mitattu esimerkiksi laserkeilaamalla tai maatumalla. (Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa 2010b, 8.)

3.7 Työkoneohjauksen nykytilanne ulkomailla

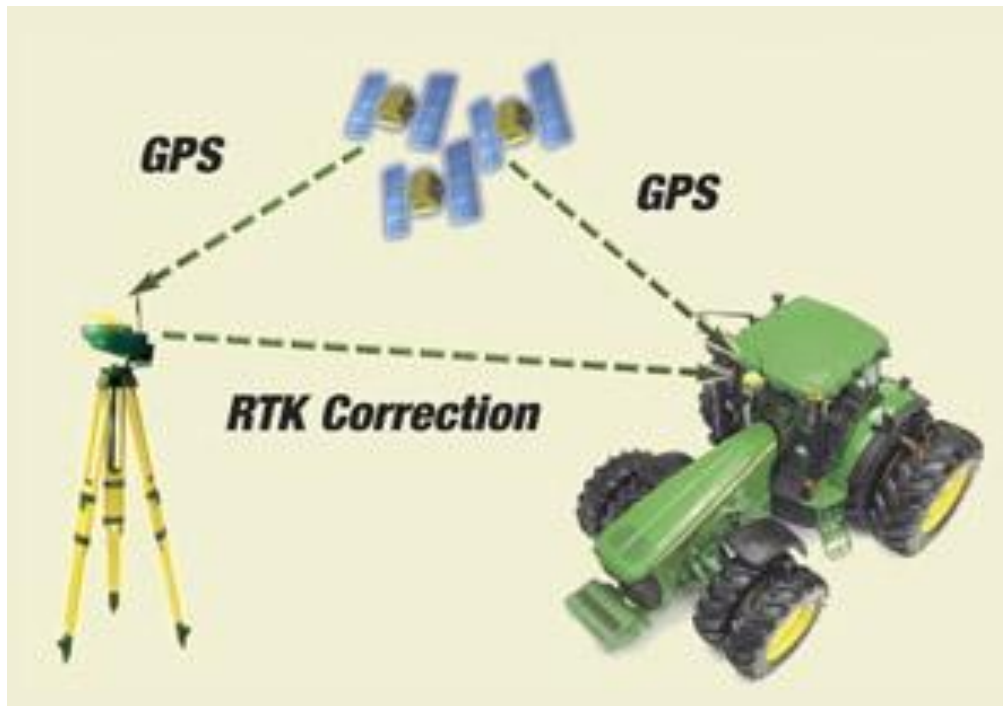
Norja, Ruotsi ja Hollanti ovat edelläkävijöitä koneautomaation hyödyntämisessä. Uudet väyläkohteet rakennetaan pääsääntöisesti koneohjausta hyödyntäen. Aasian alueella Kiina on aloittanut koneohjauksen hyödyntämisen louhostoiminnassa. Australiassa koneautomaatio on laajasti käytössä ja Yhdysvalloissa koneautomaatiota on testailtu eri kohteissa. (Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa 2010b, 8.)

3.8 Paikannusjärjestelmät

3D-koneohjauksessa työkoneen paikannus perustuu satelliittipaikannukseen. Pelkällä satelliiteista saatavalla sijaintitiedolla ei vielä päästä riittävään tarkkuuteen, vaan työkoneisiin lähetetään koordinaateiltaan tunnetulta tukiasemalta korjaustietoa radioteitse. Kuvassa 7 havainnollistetaan paikannusjärjestelmän

toimintaperiaate. Tätä kutsutaan RTK-tekniikaksi, joka perustuu reaaliaikaiseen korjausdataan. Korjausdatan avulla myös työkoneen korkeus on mahdollista määrittää senttimetrin tarkkuudella. (Engdahl 2009, 21.)

GPS on Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä, joka perustuu maata kiertäviin satelliitteihin. Satelliittien lähettämistä signaaleista voidaan laskea vastaanottimen sijainti. GPS-järjestelmä yhdessä venäläisten GLONASS-satelliittien kanssa muodostavat GNSS-järjestelmän. GNSS-järjestelmän etuna on suurempi satelliittien määrä, mikä tarkoittaa parempaa tarkkuutta varsinkin peitteisessä maastossa. Novatronin vastaanotin on GNSS-vastaanotin, eli se vastaanottaa signaaleja sekä GPS- että GLONASS-satelliiteilta. (Novatron 2011.)



Kuva 7. Paikannusjärjestelmän toimintaperiaate (John Deere)

Mittauksessa tarvitaan yksi tarkkaan tunnetussa pisteessä sijaitseva referenssimaa-asema. Näin mittauksissa saadaan reaaliajassa senttimetriluokan paikannustarkkuus. (Novatron 2011.)

Tukiasemalta saadun korjaussignaalin voi myös ulkoistaa oman tukiaseman perustamisen sijaan. Muun muassa Leica SmartNet 100:lla tukiasemallaan kattaa

koko Suomen ollen maamme tihein palvelun tarjoaja. RTK–mittaukseen on saatavilla esimerkiksi 3–6 kuukauden ja 1–3 vuoden rajoittamattomat lisenssit sekä alueellisesti tai ajallisesti rajoitetut lisenssit. (Leica Geosystems 2011.)

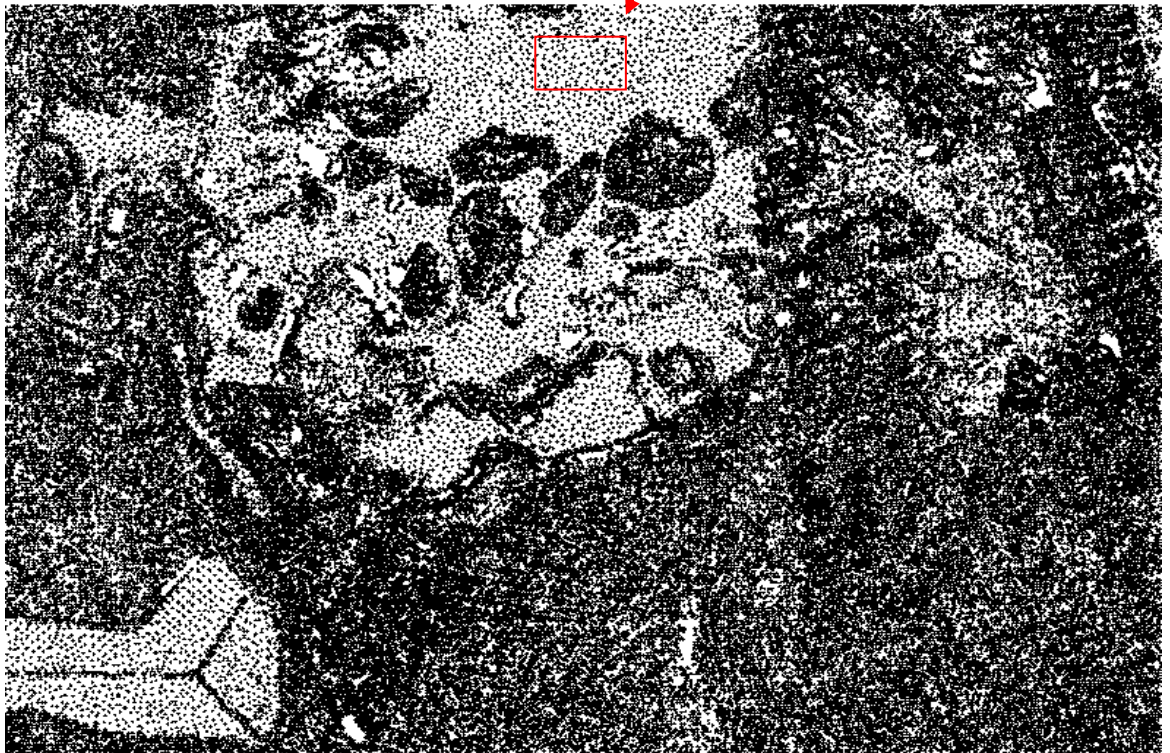
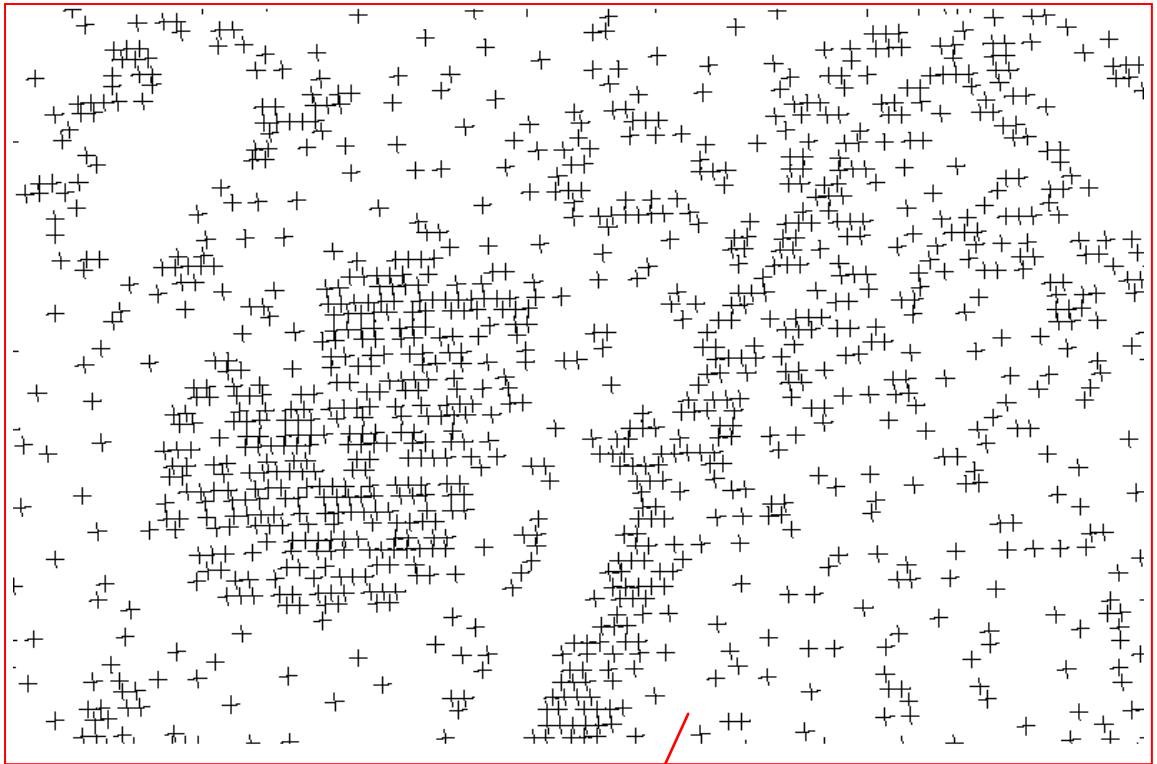
3.9 Kartta-aineisto ja mittausmenetelmät

Maastosuunnittelua varten tarvitaan ajan tasalla oleva tarkka maastoa kuvaava kartta. Tätä suunnittelun pohjakarttaa kutsutaan maastomalliksi. Maastomalli on maan pinnanmuotoja kuvaavien pisteiden joukosta muodostettu kolmiomalli, jonka sijainti ja korkeus tunnetaan. Mittaustapoina voidaan käyttää muun muassa laserkeilausta, GPS-mittausta tai takymetrimittausta.

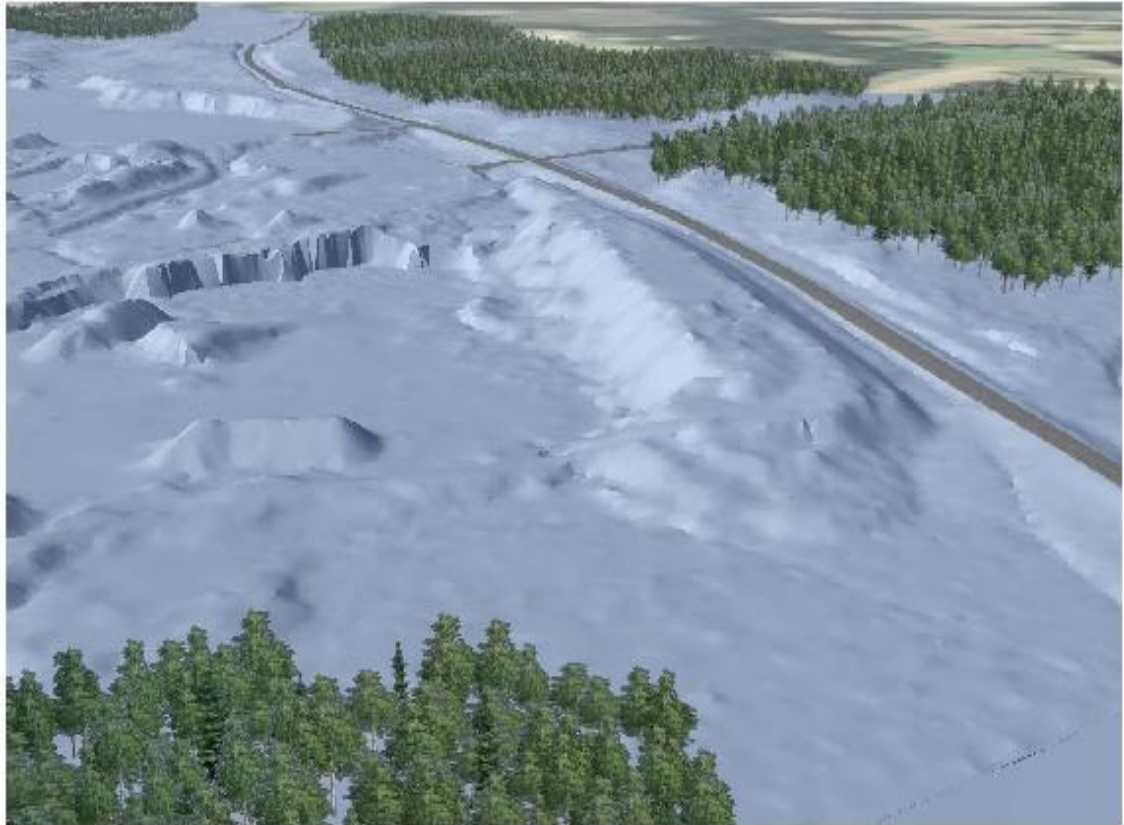
Talman kiviainestuotantoalue mitataan osaksi laserkeilauksella, jolla kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa. Laserkeilaus perustuu mittakeilan lähettämiin lasersäteisiin, joita lähetetään tiheänä rasterina 10 mm–10 cm. Säteen kimmotessa kohteesta voidaan etäisyys mittauspisteestä laskea. Myös säteen intensiteetti on tärkeä tieto. Lopputuloksena saadaan tiheä pistepilvi, jota havainnollistetaan kuvassa 8. Pistepilvi kiinnitetään koordinaattijärjestelmään, kun tiedetään mittausalueen yhden pisteen koordinaatit ja korkeus.

Pistepilveä ei kuitenkaan aina voida hyödyntää sellaisenaan, sillä se pitää sisällään myös puut. Pistepilveä karsitaan siten, että se pitää sisällään ainoastaan maanpinnan pisteet, lisäksi irrelevantit maanpinnan pisteen poistetaan. Näitä pisteitä ovat muun muassa lähekkäiset ja samanarvoiset pisteet. Karsinta perustuu kahteen eri tekniikkaan, pisteiden korkeuden nopeaan muutokseen tai ”pehmeään materiaaliin”. Esimerkiksi metrin sisällä on 10 metrin korkeusero, johtaen siihen, että ”korkeat pisteet poistetaan”. Toinen tapa erottaa maapisteet muista on tutkia säteiden intensiteettiä. Esimerkiksi puu on niin sanottu pehmeä materiaali, joten säde kimpoaa siitä eri tavalla kuin kovasta maanpinnasta. (Juha Laurila 2011.)

Mallinnus on valmis siirrettäväksi koneohjausjärjestelmään, kun mallin muokausprosessissa päästää kuvassa 9 esitettyyn 3D-vaiheeseen.



Kuva 8. Pistepilvissä näkyy korkeuseroja ennen tiedoston käsittelyä. (Rudus 2011)



Kuva 9. Pistepilvestä jalostettu malli.(Rudus 2011)

4 TYÖKONEOHJAUKSEN HYÖDYNTÄMISKOHTEET

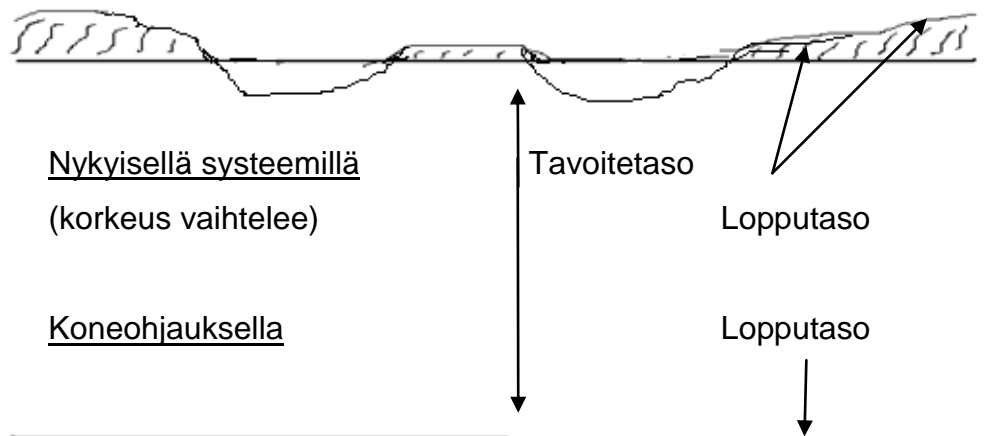
4.1 Ongelmakohdat

Kiviainestuotantoalueilla on havaittu useita ongelmakohtia, joiden poistamisen avuksi on hankittu työkoneohjausjärjestelmä. Ongelmaksi ovat muodostuneet:

- varastohävikki
- ottotoiminnan hallinta (Ottoalueen rajat ja ottotasot)
(Rudus)

4.1.1 Varastohävikki

Rudus Oy on havainnut kiviainestoimipisteissään systemaattista varastohävikkiä. Hävikki tekee ylimääräisen menoerän tulokseen eikä näin ollen ole toivottua. Hävikin epäillään johtuvan varastoalueiden pohjatasojen vähittäisestä noususta. Maan nousu tapahtuu pikkuhiljaa, ja kenttien ollessa pitkiä ja leveitä, pinnannousua on vaikea havaita ilman tarkkoja mittausvälineitä. Rudus Oy ottaa työkoneohjausjärjestelmän pilottikäyttöön Talman louhoksella. Tavoitteena on varastoalueiden hävikin vähentäminen. Muun muassa Rudus Oy:n Etelä-Suomen kiviainestoimipaikoissa hävikki oli vuonna 2010 yhteensä noin 140 000 tonnia, joka vastaa noin 460 000 euroa. Kuva 10. havainnollistaa, kuinka koneohjausjärjestelmä poistaisi pintatason korkeusvaihtelut. (Rudus, 2011.)



Kuva 10. Pintataso.

Esimerkki 1. Kun varastoalueen koko on 2,5 hehtaaria (25000 m²) ja ylimääräistä kiviainestuotteita on keskimäärin 50 cm koko alueella, niin hävikiksi muodostuu yhteensä 12500 m³.

$$25000 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m} = 12500 \text{ m}^3 \text{ (1.)}$$

4.1.2 Ottotasojen hallinta

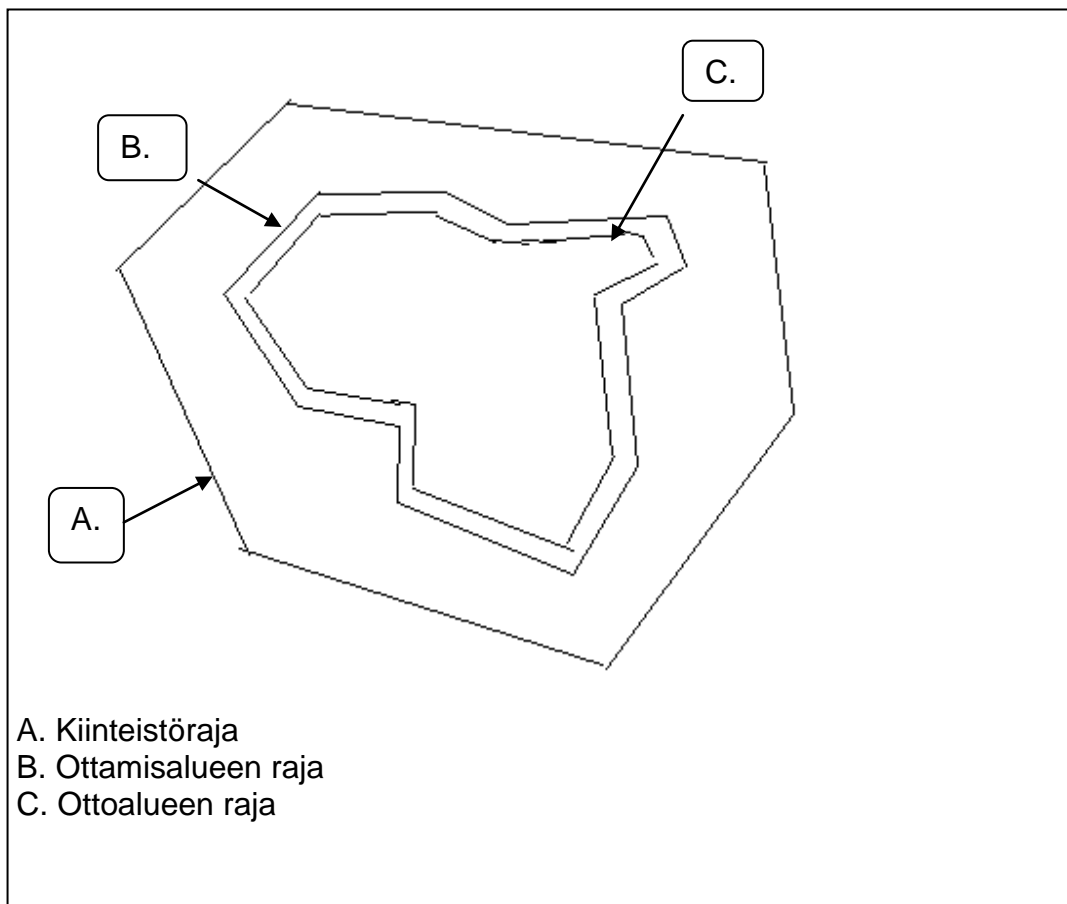
Ottoalueilla on ongelmana ylikaivu, eli kaivinkone kaivaa maa-ainesta luvanmukaista ottotasoa syvemmältä. Työmaalla kymmenien senttienkin ylikaivu aiheuttaa suuria kustannuksia, kun joudutaan tuomaan korvaava materiaali kaivetun maa-aineksen tilalle muualta. Kauhan anturoinnin ansiosta koneenkuljettaja näkee kauhan korkeuden ohjaamossa olevalta näytöltä. Koneohjausjärjestelmä kertoo tarkasti kauhan koron, jotta ottotason alitusta ei tapahdu.

Päinvastaisena ongelma on alikaivu, eli kaivinkone jättää sallitun kaivurajan yläpuolelle hyödynnettävää maa-ainesta. Koneohjausjärjestelmä avustaa koneen kuskia ilmoittamalla kaivurajan, jotta kaivu toteutetaan juuri oikeasta korosta. Tarkalla ottotoiminnalla varaudutaan hyvin tuleviin jälkihoitotoimenpiteisiin. (Rudus 2011.)

4.1.3 Ottoalueen rajojen hallinta

Ottoalue on rajattu ala, jonka sisäpuolelta kiviainesten otto tapahtuu (kuva 11). Rajojen seuraaminen voi olla haasteellista, varsinkin jos rintauksen raja muuttuu koko ajan. Mittamiehet käyvät säännöllisin väliajoin merkitsemässä ottoaluerajoja, jotta koneenkuljettaja tietää, kuinka pitkälle ottoalue rajoittuu. Kuskin työ tulee haasteelliseksi varsinkin toiminta-alueen rajalla, jos aluetta ei olla merkitty tarkasti.

Koneohjausjärjestelmä auttaa kuskia tiedostamaan aluerajat sekä vähentää mittamiesten mittausmerkintätyöt (Rudus 2011).



Kuva 11. Ottamisalue

Maa-ainesten ottamisalueen ympärille tarvitaan suojaetäisyyksiä häiriintyviin kohteisiin. Suojaetäisyyteen vaikuttaa ottamisalueen ympäristön herkkyys sekä ottamisen laajuus ja laatu. Häiriintyviä kohteita voivat olla esimerkiksi etäisyys asuttuun rakennukseen, järven, joen tai meren rantaan, naapuritilan rajaan, maantielle tai etäisyys suojelualueeseen. (Maa-ainesten kestävä käyttö 2009, 30.)

5 CASE - TALMA

Talma on yksi Rudus Oy:n kiviainesten tuotantoalueista, jossa murskataan louhittua kalliota. Talma sijaitsee Sipoon kunnassa, Martinkylässä, Bastukärin alueella. Alue on 54,2 hehtaarin suuruinen. Rudus Oy otti käyttöön työkoneohjausjärjestelmän alueella tarkoituksenaan vähentää varastojen hävikkiä sekä tehostaa kokonaisuuden hallintaa.

5.1 Työkoneohjauksen käyttöönoton edellytykset

Työkoneautomaatio soveltuu hyvin kaikkiin maanrakentamisen työvaiheisiin. Suurin hyöty työkoneautomaatiosta pyöräkuormaajassa saadaan ns. monimutkaisten kenttien toteuttamisessa. Kentillä, joissa ottorajan taso vaihtelee suuresti sekä ottotasossa on suuria syvyysmuutoksia. Tällaiset kohteet ovat yleensä esirakennuskohteita, joissa maa-alue valmistellaan tuleviin rakennustarpeisiin. (Rudus 2011.)

Työkoneohjauksen käyttöönotto rakennustyömaalla tai kiviainesten ottoalueilla tuo suuren muutoksen työkoneen kuljettajalle sekä työnjohdolle verrattuna perinteiseen toimintatapaan. Automaatio ei korvaa koneenkuljettajan tai työnjohdon perusammattitaitoa, mutta mahdollistaa entistä tehokkaamman ja tarkemman työtavan. Järjestelmiä voidaan asentaa moniin erityyppisiin koneisiin, kuten kaivinkoneisiin, ruoppaajiin, puskukoneisiin, pyöräkuormaajiin, stabilointikoneisiin ja kaatopaikkapakkaajiin. Työkoneen koko ei aseta rajoituksia asennukseen. Järjestelmän voi tarvittaessa siirtää koneesta toiseen. Ainoastaan anturit asennetaan jokaiseen koneeseen kiinteästi. Järjestelmän siirtäminen koneesta toiseen onnistuu päivässä. Kerran kalibroitu kone voidaan tallentaa järjestelmään, jonka jälkeen sitä voidaan käyttää, vaikka järjestelmä olisi käynyt toisessa koneikossa. (Novatron 2011.)

Käyttöönotto edellyttää työnjohdolta ammattitaitoa uusien työkalujen hyödyntämismahdollisuuksista. Kun työkoneautomaatio on otettu käyttöön, työnjohdon ei tarvitse käyttää niin paljon aikaa työkoneen kuljettajan ohjeistamiseen kuin ennen. Vastuun toteutuksesta kantaa aina työmaan johto. Uudessa toimintatavas-

sa työmaan johdonkin tulisi perehtyä kartta- aineistoista tehtyihin koneohjauksmalleihin ennen niiden siirtoa työkoneisiin. Alueen mallintamiseen on myös varattava riittävästi aikaa ja mallien oikeellisuus tulee täsmätä työmaan kanssa. Tässä on haastetta suunnittelijoille ja kartta-aineiston laatijoille. (Novatron 2011.)

5.2 Työmaan mittaustyöt

Talman työmaan mittaustyöt suoritetaan GPS- mittauksella, joita täydennetään keväisin laserkeilaustuloksien. Mittaustyöt suorittaa aliurakoitsija. Työkoneautomaation käyttö vähentää oleellisesti maaston merkinnän tarvetta ja vähentää siten mittaajalle kuuluneita työtehtäviä. Maanrakennuskoneen kuljettaja on ollut tähän asti täysin riippuvainen mittaajan laittamista paalutuksista ja korkomerkinnöistä. Korkeiden merkinnän ollessa puutteellisia tai puuttuessa kokonaan tulee aina ylimääräisiä kustannuksia koneen kaivaessa tai levittäessä materiaalia silmämääräisesti. Varsinkin suurien kiviainemäärien levittämisessä tulee helposti ylimääräisiä kustannuksia, eli liikaa ajettuja massoja höylätään tai kaivetaan irti ja siirretään uudelleen. Varsinkin soranottoalueella on ongelmana massojen liiallinen tai liian vähäinen otto, jolloin joudutaan tekemään ylimääräistä työtä. (Rudus 2011.)

Työkone voi siirtyä tarpeen tullen uuteen työkohteeseen ilman, että mittaaja ensin merkitsee kaivutason ja -rajat. Työkoneautomaatio mahdollistaa työkoneen tehokkaamman käytön sekä ajan säästön massojen siirtelyssä, jonka seurauksena työkoneen polttoainekustannukset pienenevät ja hiilidioksidin- sekä pienhiukkaspäästöt vähenevät. (Rudus 2011.)

5.3 Käyttökohteet työmaalla

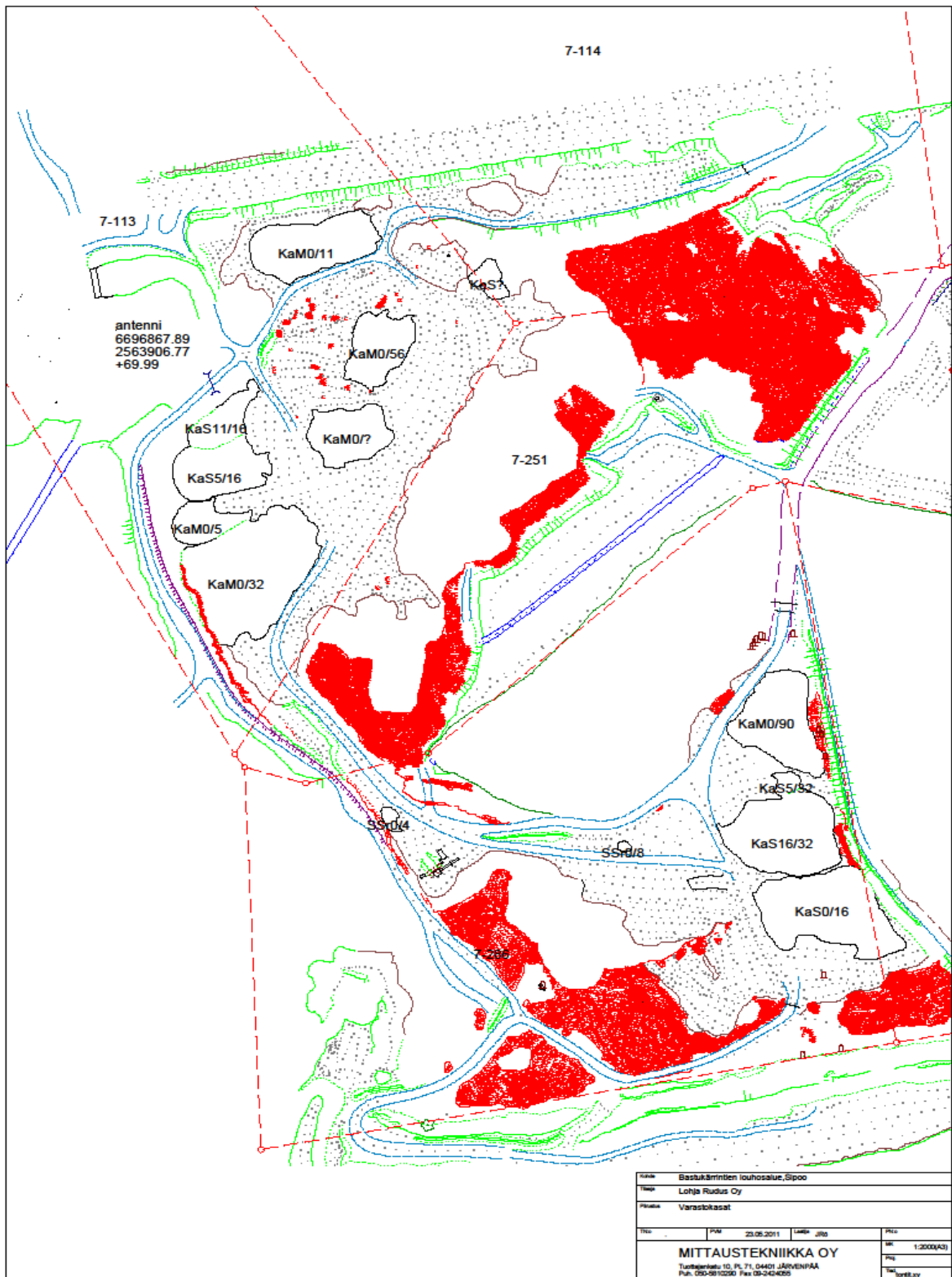
Työkoneautomaation käyttökohteena ovat varastoalueella oikeiden pinnantasojen ylläpito, jonka tavoitteena on vuosittaisten hävikkien vähentäminen. Lisäksi automaatiota käytetään teiden kunnossapitoon, kiviaineksen ottamiseen, muihin kaivutöihin sekä jälkihoitoon.

5.3.1 Varastoalue

Yksi materiaalihallinnon tärkeimmistä tehtävistä on varastotasojen eli varastojen kokojen määrittely. Varastojen täytyy olla riittävän suuret yrityksen toimituskyvyn turvaamiseksi. Toisaalta myös varastojen sitoma pääoma pyritään pitämään minimissään.

Lopputuotevarastojen suunnittelun lähtökohtana ovat varastojen palvelutaso sekä tuotteen menekkiennusteet. Varastot mitoitetaan siten, että eri menekkitilanteissa saavutetaan haluttu palvelutaso. Kausivaihteluiden tasaaminen otetaan huomioon varastojen suunnitteluissa. Hiljaisen menekin aikana tuotteita valmistetaan varastoon, joita puretaan sitten kiireisinä aikoina eli menekin huipukohdissa. (Haverila, M. & kumpp. 2009, 449.)

Talman varastoalueen koko on noin 5,5 hehtaaria (Kuva 12). Alue on suuri, joten kenttien pintojen oikea korkotaso sekä teiden kunnossapito pyöräkuormajalla on koneohjausjärjestelmän pääkäyttötarkoitus alueella. Koneenkuljettaja tallentaa pisteitä varastoalueelta paikasta, johon seuraava varastokasa on tarkoitus kasata. Kun pisteiden koordinaatit ovat tiedossa, ne toimitetaan suunnittelijoille, jotka laativat alueesta pintamallin. Pintamalli on tarpeen, kun kasa myydään pois. Tällä tavoin tiedetään se taso, mihin syvyyteen asti tuotteen laatu on tiedossa. Kuva 13 havainnollistaa varastohävikin syntyä ja tallennettujen pistekoordinaattien tarpeellisuutta. (Rudus 2011.)



Kuva 12. Talman varastoalue, nimetyt alueet ovat varastokasoja. (Rudus 2011)



1. Varastokasa kasataan epätasaiselle maastolle



2. Vuosien saatossa kasan ympäryys nousee, syynä voi olla viereen tehty tie tai toinen kasa.



3. Kasa myydään merkittyjen katkoviivojen kohdalta pois, jolloin pintataso on jo noussut.



4. Kasan myymisen jälkeen pintatason alapuolelle jää paljon jalostettua kiviainesta, joka kirjataan hävikiksi.



5. Alle jääneen kiviaineksen päälle kasataan uusi varastokasa, jolloin siirrytään taas vaiheeseen 1 ja sama kierto kulku jatkuu (Rudus 2011)

Kuva 13. Varastohävikin syntyminen

5.3.2 Ottamisalue ja ottoalue

Ottamisalue ja ottoalue merkitään maastoon. Maastomerkintöjen tulee olla oikein sijoitettuja ja kestäviä, jotta ne säilyvät koko ottamisen ajan. Turvallisuusnäkökohdat täytyy myös huomioida muun muassa varoittamalla jyrkistä luiskista sekä estämällä asiattomien pääsy alueelle. Ottamisalueen ympärille pitää jättää turva-alue, jossa ei saa harjoittaa mitään ottamiseen liittyvää toimintaa. (Maa-ainesten kestävä käyttö 2009, 32.)

Koneohjausjärjestelmä avustaa ottoalueilla kaivutöitä, jolloin kaivurajat voidaan nähdä suoraan pyöräkuormaajan näytöltä. Tällöin ei tule epäselvyyksiä kallioon tai sora-alueilla rintauksiin tehdyistä rajamerkinnoista. (Rudus 2011.)

5.3.3 Jälkihoito

Ottamisalueiden jälkihoidon tavoitteena on vähentää ottamistoiminnan haitallisia vaikutuksia pohjaveteen ja sopeuttaa ottamisalue ympäröivään maisemaan ja luontoon. Jälkihoito edistää myös ottamisalueen jälkikäyttömahdollisuuksia ja turvallisuutta. Jälkihoitotoimet esitetään ottamissuunnitelmassa ja lupamääräyksessä. Jälkihoito tehdään joko vaiheittain ottamisen aikana tai viimeistään ottamisen päätyttyä. Jälkihoito voidaan toteuttaa kunnolla vain, jos alueen jälkikäyttö on tiedossa. (Maa-ainesten kestävä käyttö 2009, 50-51.)

Koneohjausjärjestelmä helpottaa työkoneen kuljettajaa pintamaiden levityksessä niin, että pintataso saadaan haluttuun korkoon. Tällä tavoin saadaan myös halutut massamäärät ajettua kerralla haluttuihin paikkoihin ja vältetään ylimääräiseltä maa-aineksen siirtelyltä. (Rudus 2011.)

5.4 Työkoneohjauksen hyödyt ja haasteet

Koneohjausjärjestelmän hyödyt ja haasteet käsitellään plus- (+) sekä miinusmerkein (-) taulukossa 2.

<u>Hyödyt</u>	<u>Haasteet</u>
+ Maastoon merkinnät vähenevät	- Kenttien mallinnusten oltava ajan tasalla kaivu hetkillä
+ Tarkka mittatieto koko ajan saatavilla	- Uuden järjestelmän käyttöönotto ja käyttö
+ Pinnan korko aina tiedossa -> Yli- ja alikaivut vähenevät	
+ Aikaa, polttoainetta ja materiaalia säästyy -> Tuottavuus kasvaa	

Taulukko 2. Työkoneohjauksen hyödyt ja haasteet

6 PÄÄTELMÄT

6.1 Käyttöönotto ja käyttö

Vision 3D dual -koneohjausjärjestelmän käyttöönotto onnistui lähes suunnitelmien mukaan. Alkuperäiselle aikataululle aiheuttivat hieman viivästystä tukiaseman pystytykseen liittyvät tietotekniset ongelmat. Ongelmien selvittyä järjestelmä saatiin käyttöön. Pää tavoitteena oli toteuttaa koneohjausjärjestelmän avulla suunnitelman mukainen ottotoiminta, suunnitelman mukainen jälkihoito sekä minimoida varastohävikki. Edellä mainituista toiminnoista vain varastoalueen hävikin minimoimiseen tarkoitettu pinnankoronmittaus suoritettiin tämän työn tekemisen aikana. Mittaus toteutettiin onnistuneesti.

Insinööriyön tuloksena syntyi käyttöopas Vision 3D dual -koneohjausjärjestelmälle, joka on spesifioitu pyöräkuormaajakäyttöön. Oppaassa on eritelty järjestelmän soveltuvuus kiviainestuotantoalueen eri vaiheille. Kahden kuljettajan käyttökokemusten perusteella käyttöopas on ”selkeä, ymmärrettävä ja esimerkit ovat havainnollistavia”.

Koneohjausjärjestelmän tuomat mahdolliset taloudelliset hyödyt näkyvät vasta pidemmällä aikavälillä. Esimerkiksi varastoalueen pintatasojen noususta johtuvan hävikin minimointi on pitkä prosessi, jonka tulokset näkyvät vasta vuosien kuluttua.

6.2 Koneohjauksen tulevaisuus Ruduksen työmailla

Käyttökohteiden lisäämistä ajatellen koneohjausjärjestelmää voisi hyödyntää tulevaisuudessa myös poravaunuissa. Koneohjausjärjestelmän avulla poravaunun kuski näkisi koneen tarkan koron ja paikan, josta lähtisi poraamaan alaspäin. Epätasaisilla kalliopinnoilla porauksen syvyys voi vaihdella pahimmassa tapauksessa metrien heitoilla. Joskus reiät porataan liian lähellä toisiaan, jolloin räjähdysaine on kuutiolle liian suuri. Tämä vaikuttaa louhekokojakaumaan, josta

voi seurata vaarallisia kivenheittoja. Toisinaan porataan myös liian syväälle, jolloin räjähdysaine voi jäädä räjähtämättä päinvastaisesta syystä. Koneohjausjärjestelmän avulla porauksen lähtötiedot olisivat paremmin tiedossa ja näin poraus haluttuun syvyyteen helpottuisi.

Koneohjauksen toimialue on kiviainestuotantoalue, joten kerran mallinnettua pintamallia voidaan käyttää hyväksi pidempään kuin liikkuvissa projekteissa, esimerkiksi väylähankkeissa. Pintamallin laatijan työtehtävät eivät siis lisäänty merkittävästi järjestelmän vuoksi.

Koneohjauksen hyödynnettävyys on suurilta osin riippuvainen teknisten laitteiden oikein toimivuudesta. Pilottikohteessa koneohjausjärjestelmä toimi moitteettomasti tämän työn aikana. Jos järjestelmän avulla pystytään toteuttamaan suunnitelman mukaiset toimenpiteet, uskon vahvasti, että saavutetut hyödyt puoltavat koneohjausjärjestelmän käytön laajennusmahdollisuuksista.

KUVAT

- Kuva 1. Ottamisalue on kunnostettu uimakäyttöön (Maa-ainesten kestävä käyttö 2009), s.11
- Kuva 2. Näytön näkymä kuljettajalle, s.12
- Kuva 3. Kauhakuormaaja varustettuna koneohjausjärjestelmällä, s.14
- Kuva 4. Ohjaamoon asennettu graafinen näyttö, s.15
- Kuva 5. Paikanninantenni koneen etuosassa, s.16
- Kuva 6. Kulma-anturi kiinnitettynä pyöräkuormaajaan. (Novatron), s.17
- Kuva 7. Paikannusjärjestelmän toimintaperiaate. (John Deere), s.19
- Kuva 8. Pistepilvissä näkyy korkeuseroja ennen tiedoston käsittelyä.(Rudus 2011), s.21
- Kuva 9. Pistepilvestä jalostettu malli.(Rudus 2011), s.22
- Kuva 10. Pintataso, s.23
- Kuva 11. Ottamisalue, s.25
- Kuva 12. Talman varastoalue, nimetyt alueet ovat varastokasoja. (Rudus 2011), s.29
- Kuva 13. Varastohävikin syntyminen, s.30

TAULUKOT

- Taulukko 1. Kiviainesten käyttö Suomessa 2000–2008. (Laurila & Hakala 2010), s.8
- Taulukko 2. Työkoneohjauksen hyödyt ja haasteet, s.32

KAAVIOT

- Kaavio 1. Kiviaineksen tuotantoprosessi. (Laurila & Hakala 2010), s.10

LÄHTEET

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009 Teollisuustalous. 6.painos, Hämeen kirjapaino Oy, Tampere)

Laurila, J. & Hakala, I, 2010. Suomen Ympäristö 25/ 2010, paras käyttökelpoinen tekniikka, Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa, Suomen Ympäristökeskus, Edita Prima Oy, Helsinki.

Ympäristöministeriö 2009. Maa-ainesten kestävä käyttö. Edita Prima Oy 2009

Ympäristöministeriö 2001. Ympäristöopas 85. Maa-ainesten ottaminen ja ottamisalueiden jälkihoito. Oy Edita Ab 2001

Engdahl, 2009 Proessori 10

Jaakkola, M. 2010 Työkoneautomaatio hyötykäyttöön – haaste työjohdolle. Tie-Rakennusmestari 4

Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa
http://www.rts.fi/infrabim/InfraTM_pilotti_Tampere_Oulu_loppuraportti.pdf
(luettu 8.6.2011)

Laurila Juha, Ympäristöinsinööri, Rudus Oy, Haastattelu 20.4.2011

Nyberg Harold, Hankintainsinööri, Rudus Oy, Haastattelu 13.6.2011

Rudus Oy
Sisäinen materiaali

Epec Oy
www.epec.fi/61.html (luettu 6.6.2011)

GeoSam Oy
www.geosam.fi/ (luettu 15.6.2011)

Infra Ry
www.infra.fi/index.php?m=3&s=2&d=4&id=229 (luettu 5.6.2011)

John Deere Oy
www.deere.com/region_ii/media/images/equipment/agriculture/ams/starfire_itc/rtk%20signal/rtk_graphic_296x215.jpg, (luettu 16.5.2011)

Leica Geosystems Oy
www.leica-geosystems.fi/images/new/common/fi_SmartNet_Bro.pdf (luettu 2.7.2011)

Novatron Oy
www.novatron.fi (luettu 23.3.2011)

Rudus Oy
www.rudus.fi (luettu 4.4.2011)

Scanlaser Oy
www.scanlaser.fi/fi/index.htm (luettu 15.6.2011)

Topgeo Oy
www.topgeo.fi/ (luettu 15.6.2011)