

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka lappeenranta
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Infratekniikka

Jari Mäntykivi

3D-koneohjauksen kannattavuus pienissä maarakennuskohteissa

Opinnäytetyö 2011

Tiivistelmä

Jari Mäntykivi

3D-koneohjauksen kannattavuus pienissä maanrakennuskohteissa, 33 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Infratekniikka

Opinnäytetyö 2011

Ohjaajat: yliopettaja Tuomo Tahvanainen Saimaan ammattikorkeakoulu, rakennusinsinööri Mika Arminen Insinööritoimisto Geocom Oy

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia 3D-koneautomaation kannattavuutta pienissä maarakennuskohteissa. Työssä verrattiin perinteistä maarakentamista koneohjaukseen. Perinteisessä menetelmässä kaivukoneen kuljettaja mittaa leikkauksen tai rakenteen sijainnin ja korkeusaseman mittaryhmän maastoon merkitsemästä mittarima/korkolappumerkistä. Puolestaan koneohjauksessa kuljettaja näkee sijainnin ja korkeusaseman kaivukoneessa olevasta tietokonenäytöstä.

Ajatuksena oli tutkia asiaa yksittäisen urakoitsijan näkökulmasta, jonka työkanta koostuu vuositasolla useista pienehköistä kohteista.

Tutkimuskohteina oli kaksi työkohdetta, jotka sijaitsivat Taavetissa. Molemmat kohteet urakoi Moniurakointi Heikkilä Oy. Koneohjausjärjestelmän toimitti Scanlaser Oy. Työmaalla tarvittavat mittaukset ja kaivuutyössä tarvittavat pintamallit toimitti Insinööritoimisto Geocom Oy.

Tutkimusta varten laskettiin koneohjausta käytettäessä säästyneitä mittauskustannuksia ja haastateltiin urakoitsijan työnjohtajaa, joka arvioi konetyön tehokkuuden nousua ja massataloutta.

Tämän tutkimuksen perusteella tultiin siihen tulokseen, että koneohjausjärjestelmän hankkiminen on pitkällä tähtäimellä taloudellisesti kannattavaa yksittäiselle koneurakoitsijalle.

Asiasanat: koneohjaus, GPS-mittaus, 3D-pintamalli

Abstract

Jari Mäntykivi

Profitability of 3D-machine control on small construction sites, 33 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree programme in construction site management

Infrastructural engineering

Bachelor`s Thesis 2011

Instructors: Senior lecturer Tuomo Tahvanainen Saimaa university of Applied Sciences, Civil engineer Mika Arminen Insinööritoimisto Geocom Oy

The aim of this study was to investigate the profitability of the 3D machine control on small construction sites. In this work traditional construction in which the excavator driver measures the location of the surveyors installing pile and the machine control where the driver can see the location and height on the computer screen were compared.

The idea was to investigate the individual contractor's point of view whose order book of smaller sites.

The research targets were two work sites, both located in Taavetti. In both locations the contractor was Moniurakointi Heikkilä Oy. The machine control system supplied Scanlaser Oy. On site, the necessary measurements and excavation work surface models were provided by Insinööritoimisto Geocom Oy.

For this study, cost savings were calculated when using machine controls. In addition, interviews with the contractor's supervisors, who estimates that the work efficiency and increases in the economy.

Based on this study it could be concluded that for an individual machine contractor purchasing of a machine control system will be profitable in the long run.

Keywords: Machine control, GPS-surveying, 3D-model

Sisältö

1 Johdanto	5
2 Työmaamittaukset maarakentamisessa.....	6
2.1 Mittaussuunnitelma.....	6
2.2 Koordinaattijärjestelmä	6
2.3 Suunnittelua varten tehtävät mittaukset.....	6
2.4 Rakentamisen aikaiset mittaukset	7
3 3D-työkoneohjaus	9
3.1 Työkoneet.....	9
3.2 Pintamalli.....	10
3.1 Koneohjaus kaivukoneessa.....	11
4 Tutkimuskohteet.....	14
4.1 Tukiaseman rakentaminen	14
4.2 Koneohjaus laitteiden asennus kaivukoneeseen.....	16
4.3 Taavetin jäteaseman kentän rakentaminen.....	20
4.4 Sähköaseman tie.....	22
5 Tulokset	24
5.1 Jätekeskuksen mittaustarve koneohjausjärjestelmällä	24
5.1.1 Jätekeskuksen lisämittaustarve perinteisellä menetelmällä	25
5.2 Sähköaseman tien mittaustarve koneohjauksella.....	26
5.2.1 Sähköaseman tien lisämittaustarve perinteisellä menetelmällä	26
5.3 Konetyön nopeutuminen ja massatalous.....	27
6 Päätelemät.....	29
7 Kuvat.....	31
8 Taulukot	32
9 Lähteet.....	33

1 Johdanto

Maanmittaustekniikka on kehittynyt huimasti viimeisen 15 vuoden aikana. GPS-paikannuksella päästään senttiluokan tarkkuuksiin ja robottitakymetri mahdollistaa yhden miehen mittaryhmän. Tämän lisäksi kartoitustekniikka on laserkeilauksen ansiosta kehittynyt erittäin tarkaksi ja nopeaksi.

Yhdessä sähköisten 3D-rakennussuunnitelmien kanssa on nykyaikainen mittaustekniikka mahdollistanut koneohjauksen käyttöönoton maarakennustyömailla. Isoilla työmailla koneohjaus on ollut käytössä jo jonkin aikaa, mutta järjestelmän hinta on monelle yksittäiselle koneurakoitsijalle vielä esteenä.

Esimerkiksi VT6:n perusparantamisen 2.vaihe Ahvenlampi-Mansikkala toteutettiin kokonaisuudessaan koneohjauksella, kepittömänä työmaana. Työmaalle pääsyn ehto oli, että urakoitsija hankkii koneohjausjärjestelmän.

Urakan kesto oli kaksi vuotta. Koska pääurakoitsija osallistui tukiaseman kustannuksiin, jäivät kustannukset urakoitsijalle pienemmiksi, kuin jos urakoitsija hankkisi kaluston pelkästään omiin urakoihinsa.

Opinnäytetyön tavoitteena on verrata pienehköissä maarakennuskohteissa koneohjauksen hyötyjä verrattuna perinteiseen mittarima/korkolappumaastoon merkintään ja löytää mahdollisesti raja, millä työmäärillä järjestelmä on taloudellisesti järkevä hankkia. Opinnäytetyössä tarkastellaan kustannushyötyjä vähentyneestä mittaustarpeesta, kaivutyön nopeutumisesta ja massataloudesta. Tarkastelun kohteena on kaivukonetyöskentely, muita konetöitä ei käsitellä.

Opinnäytetyön materiaalin keräsin työmailta joissa työskentelin mittaustyönjohtajana.

2 Työmaamittaukset maarakentamisessa

2.1 Mittaussuunnitelma

Hankkeen alussa tehdään työmaamittauksista mittaussuunnitelma. Siinä käy ilmi työmaalla käytettävä koordinaattijärjestelmä ja korkeusjärjestelmä. Myös työmaalla käytettävä monikulmiopisteistö on suunnitelmassa.

Mittaussuunnitelmassa on nimetty työmaan mittausvastaava, joka koordinoi mittausresurssit ja tarkastaa suunnitelmat. Mittausvastaava huolehtii monikulmiopisteistön kunnosta ja vastaa pisteistön ylläpidosta ja tihennyspisteiden teosta.

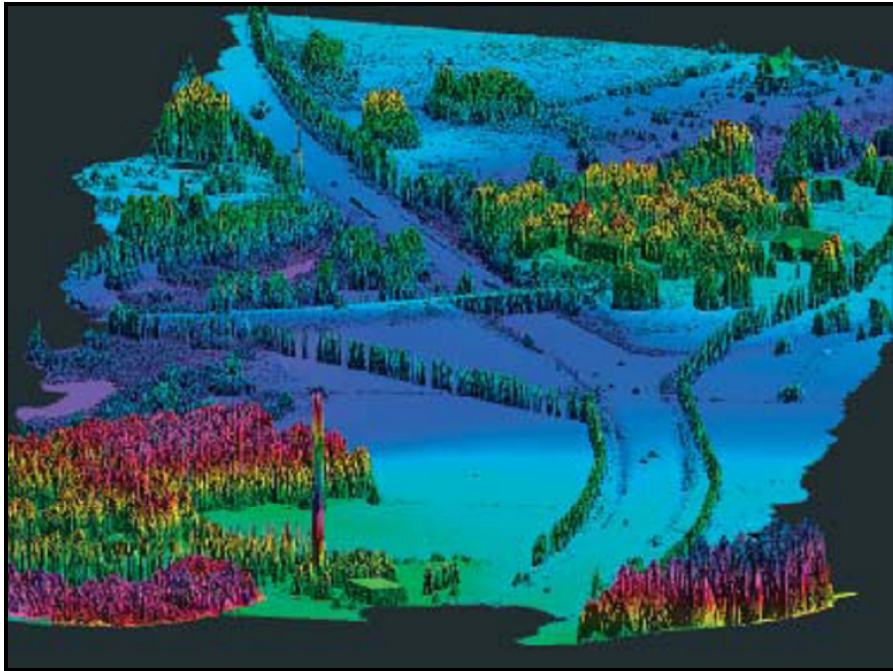
2.2 Koordinaattijärjestelmä

Hankkeessa käytettävä koordinaattijärjestelmä valitaan suunnittelun alkaessa ja samaa järjestelmää käytetään rakentamisen aikana. Koordinaattijärjestelmän valintaan vaikuttavat ympäröivän alueen vallitseva koordinaattijärjestelmä ja yleinen käytössä oleva järjestelmä. Käytössä voi olla myös työmaakohtainen erilliskoordinaatisto. Korkeusjärjestelmänä N60 on yleisesti käytössä.

2.3 Suunnittelua varten tehtävät mittaukset

Suunnittelunaikaiset mittaukset ovat suunnittelun perusta. Suunnitteluun tarvittava tieto saadaan maastomittauksin takymetrillä tai GPS-mittalaitteella, perinteisellä fotogrammetrisella mittauksella ja maaperätutkimuksin. Nykyisin on käytössä yleistynyt ilmasta käsin tehty laserkeilaus, jossa maanpinnasta mitataan pistepilvi ja se mallinnetaan (Kuva 1). Keskeisiä tietoja suunnittelulle ovat tieto maanpinnan muodoista, olemassa olevista rakennuksista ja rakenteista ja kasvillisuudesta sekä tieto eri maalajeista ja kalliopinnan korkeusasemasta

Maastomallimittausten tuloksena saadaan hajapisteitä. Tämä maanpinnan pisteiden muodostama tiedosto on numeerinen malli. Mallin sisältämä pisteistö ei kuitenkaan yksin riitä kuvaamaan maastoa, mikä johtuu maastossa olevista epäjatkuvuuskohdista. Tämän takia tarvitaan ns. taiteviivoja kuvaamaan pinnan kaltevuuden tai ominaisuuksien muutosta. (Laakkonen 2009, s. 13 - 16.)



Kuva 1. Väreillä havainnollistettu kuva ilmasta helikopterilla tehdystä laserkeilauksesta.

2.4 Rakentamisen aikaiset mittaukset

Rakentamisen aikaisia mittauksia ovat rakentamista varten tehtävät merkintämittaukset ja laadunvarmistusta varten tehtävät tarkemittaukset. Merkintämittauksin suunnitelmätieto viedään maastoon rakentamista varten.

Merkintämittauksia ovat tien tai rakennuksen sijainnin, kuivatuksen, leikkausten ja rakenteiden maastoon merkintä (Kuva 2). Tärkeä osa rakennusmittauksissa on myös louhittavien kalliomassojen ja leikattavien maamassojen määrittäminen. Työmaamittauksiin kuuluvat myös tilaajan vaatimat tarkemittaukset, joissa selvittää, miten toteutunut rakenne vastaa suunniteltua. Tarkemittaukset ovat käytännössä kartoitusmittausta.

Nykyisin eniten käytetty mittausväline työmaan merkintä- ja tarkemittauksissa on takymetri. Takymetrit ovat vuosien myötä kehittyneet pitkälle automatisoiduksi yhden käyttäjän mittausroboteiksi. Takymetrillä tehtävät merkintämittaukset perustuvat säteettävään mittaukseen. Mikäli mittaajalla on käytössään sähköinen mittausaineisto, se voidaan liittää takymetrin muistiin, ja mittaaja voi

työmaalla merkitä maastoon kulloinkin tarvittavat pisteet. Tämä helpottaa mitaajan työtä, koska erillistä koordinaattien laskentaa ei tarvita, kun käytössä on valmis mittausaineisto. Sähköinen mittausaineisto saadaan esimerkiksi Autocad muodossa olevasta suunnitelmakartasta, joka on työmaan koordinaatistossa. Jos kartassa olevissa viivoissa on vielä korkeustieto mukana, voidaan suunnitelma viedä suoraan takymetrin tallentimeen.

Tiemittauksissa käytetään yleensä tien omaa koordinaatistoa, vaakageometri-aa, joka perustuu paalulukemaan ja sivumittaan. Tien pystygeometria on samassa korkeusasemassa kuin tien tasausviiva eli TSV. Tien eri rakennekerros-ten tavoitekorkeusasema lasketaan poikkileikkauksista vähentämällä kerros-paksuudet tasausviivasta. Vaaka ja pystygeometria saadaan sähköiseen muo-toon, kun suunnittelijalta saadaan tien pääpistelaskelmat eli tien pääpisteiden koordinaatit. Pituusleikkauksesta saadaan paalukohtainen tasausviivan korke-usasema ja pituuspyöritys- ja kaarteiden säteet, ja näillä tiedoilla voidaan mit-tausohjelmilla esimerkiksi 3D-Win:llä, rakentaa geometriat muotoon, jotka voi syöttää takymetrin tallentimeen.

Joihinkin tierakentamisen mittausohjelmiin, esimerkiksi Tiemieheen, voidaan geometrioiden lisäksi liittää tien kaikki kerrokset ja taitteet, jolloin poikkileikkaus kuvia ei tarvita mitattaessa. Isoissa kohteissa suunnittelijat tekevät yleensä geo-metriat valmiiksi sähköiseen muotoon, ja ne saadaan mittauksen käyttöön projektipankista.



Kuva 2. Tielinjan merkintää mittarima/korkolappumenetelmällä, mittalaitteena robottitakymetri.

Mittalaitteiden laskentatehon myötä ei enää ole välttämätöntä tukeutua mittauksessa tunnettuun asemapisteeseen vaan mittaus voidaan suorittaa ns. vapaalta asemapisteeltä. Tunnetun pisteen koordinaatit tiedetään. Vapaan asemapisteen koordinaatteja ei aluksi tiedetä. Nykyiset takymetrit kykenevät laskemaan vapaan asemapisteen koordinaatit, kun laitteella mitataan matka sekä vaaka ja pystykulma havainnot vähintään kahdelle tunnetulle pisteelle, tai kulma havainnot kolmelle tunnetulle pisteelle.

Maarakentamisessa on yleisesti käytössä myös satelliittipaikannukseen perustuvia mittalaitteita. Ne ovat joko kiinteällä tukiasemalla varustettuja tai VRS-verkkoa tukiasemana käyttäviä laitteita. Näillä laitteilla päästään nykyään senttiluokan tarkkuuksiin. Nämä laitteet hyödyntävät samoja ohjelmistoja kuin takymetrit, ja niissä voi käyttää samoja mittausaineistoja, formaatit ovat muunnettavissa valmistajakohtaisiksi. (Laakkonen 2009, s. 13 - 16.)

3 3D-työkoneohjaus

3.1 Työkoneet

Maanrakennustyö on pitkälle koneellistettua ja mekanisoitua. Kehittyneet 3D-

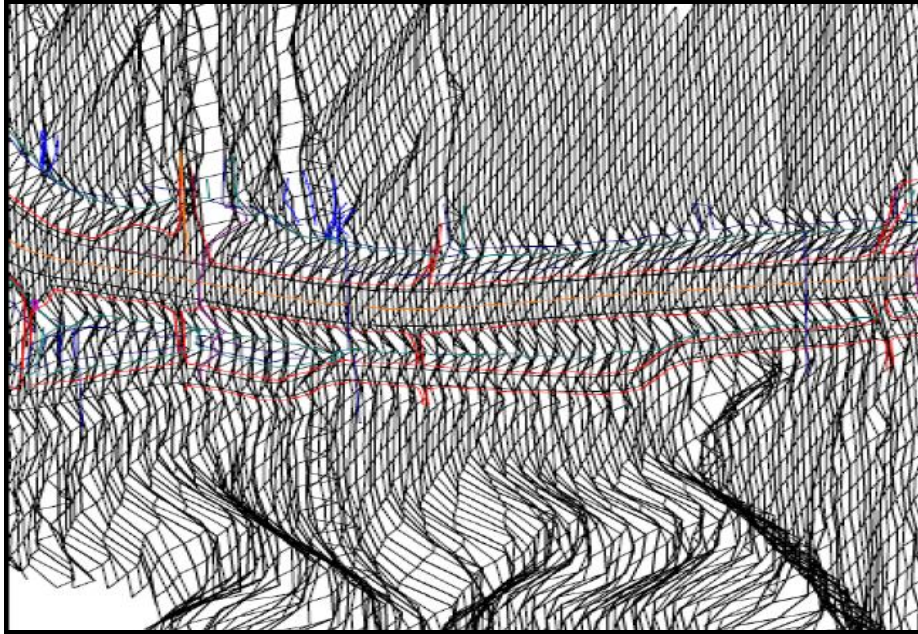
paikannustekniikat mahdollistavat nykyisin myös tarkan liikkuvien työkoneiden ohjauksen. Ihmisen suorituskyky ei yksistään riitä tarkkaan konetyön ohjaukseen. Maarakennuskoneisiin on kehitetty jo lukuisia erilaisia, tyypillisesti kuljettajia avustavia, automatisoituja koneohjausjärjestelmiä. Nykyiset työkoneiden ohjausjärjestelmät koostuvat tyypillisesti erillisestä työstöterän asentoa ja sijaintia osoittavasta perusjärjestelmästä ja sen päälle erikseen asennetusta paikkatietoa ja 3D-mallia hyödyntävästä järjestelmästä (Kuva 3). 3D-sovellus tuottaa poikkeamatietoa, jota välitetään tietoliikenneportin kautta terän kallistusautomaatikalle tai kuljettajaa ohjaavalle järjestelmälle.

Koneohjauslaitteita on käytössä ainakin pyöräkuormaajissa, puskuotraktoreissa, tiehöylissä, stabilointikoneissa, kaivukoneissa, asfaltinlevittimissä, lyöntipaalutuskoneissa ja kallio ja tunnelin porauskalustoissa. (Heikkilä, Jaakkola 2004, s. 28.)

3.2 Pintamalli

Suunnittelun tuloksena saatavat mallit sisältävät jo tällä hetkellä pääosan siitä tietosisällöstä, jota mittauksen suorittamiseen ja työkoneiden ohjaukseen tarvittaisiin. Useimpien suunnitteluohjelmien tuottamia malleja ei kuitenkaan voida vielä käyttää suoraan työkoneiden ohjauksessa.

Nykyisin suunnitelmista jalostetaan koneohjausjärjestelmiin tarvittavat koneohjausmallit erillisissä työmaan mittaus- ja koneohjaus-CAD -sovelluksissa. Tietyissä maarakennuskohteissa, kuten talojen pohjatöissä, on yleensä käytössä vain 2D-suunnitelmat, ja niistä joutuu koneohjausta käytettäessä rakentamaan mallin kokonaisuudessaan työmaalla.



Kuva 3. Digitaalinen 3D-maastomalli.

3.1 Koneohjaus kaivukoneessa

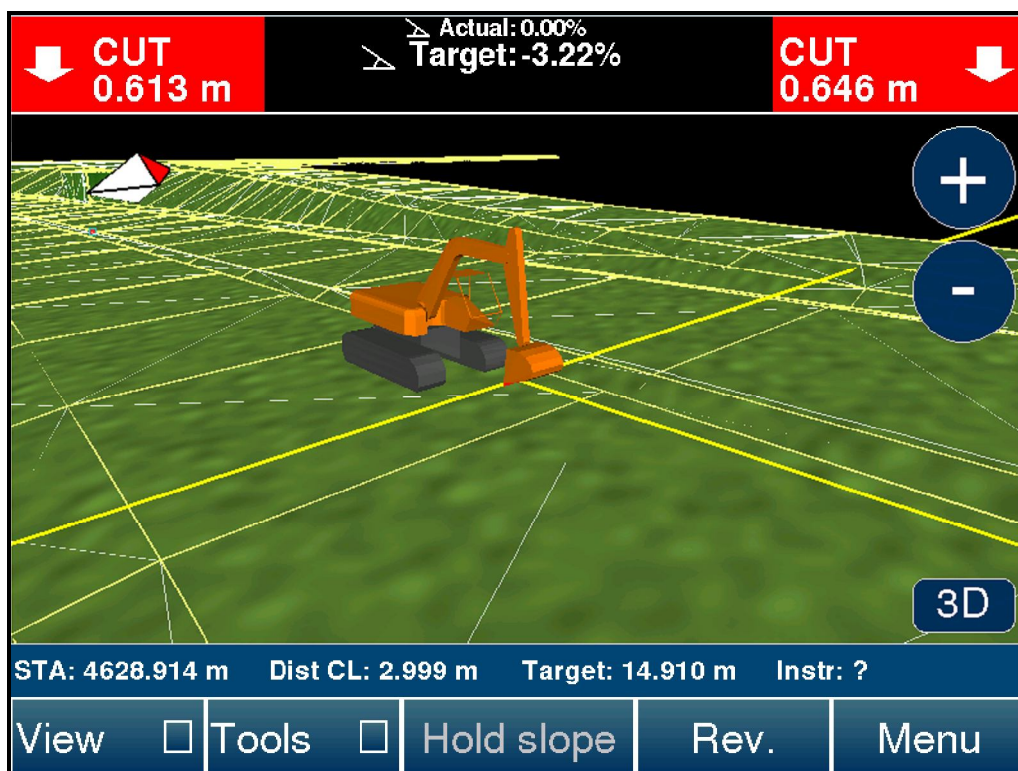
Kaivukone on maarakennustyömaan yleiskone, jolle tulee yleensä eniten käyttötunteja työmaalla. Kaivukoneeseen on laaja valikoima lisälaitteita, mutta pääasiallisina tehtävinä ovat edelleen kaivu- ja kuormaustyöt. Esimerkiksi materiaalinlastauksessa kaivukoneen käyttö on suositeltava, koska materiaalin lajittuminen on yleensä vähäisempää kuin pyöräkuormaimella lastattaessa.

Tela-alustainen kaivukone on hyvän kantavuutensa vuoksi käytetyin kone pohjatöissä. Pyörialustainen kaivukone tarvitsee kantavan työskentelyalustan, mutta siirtonopeus työmaiden välillä on parempi. Myös kuivatus-, leikkaus-, pengerys- ja materiaalinvastaanottotyötä voidaan tehdä kaivukoneella. Kuokkakauha on yleisimmin käytössä oleva kaivukoneiden työväline, jonka edullisin työskentelyalue on koneen ajotasossa tai alapuolella. Vaativimmissa luiskatöissä käytetään kääntyvää ja pyörivää kauhaa tai useita metrejä leveää luiskan muotoiluun kehitettyä erikoiskauhaa.

Kaivukoneissa on yleisesti käytössä suhteellista kaivussyvyyttä ja tasoa ohjaavia järjestelmiä koneen ohjaukseen. Myös muutamia kaivukoneen tietyissä olosuhteissa toimivia 3D-ohjausjärjestelmiä on markkinoilla. Kaivukoneen rakenteen ja

vaikeiden työskentelyolosuhteiden (esimerkiksi huonosti kantavat pohjamaat) vuoksi hyvin eri tilanteissa toimivaa 3D-ohjausjärjestelmää ei ole vielä kehitetty. Jos kone painuu ja kallistuu voimakkaasti työtä tehtäessä, järjestelmä saattaa laskea taso ja korkeussijainnin paikallisesti väärin.

Yleensä kaivukoneilla on melko matala tuntilaskutushinta, minkä vuoksi myös ohjausjärjestelmän kehittämisessä olisi aluksi pyrittävä edullisiin ja yksinkertaisiin ratkaisuihin. Kaivukoneen työmenetelmän vuoksi koneen ohjaukseen useimmissa kohteissa soveltuu kuljettajaa ohjaava koneohjaus- ja dokumentointijärjestelmä (Kuva 4), joka näyttää visuaalisesti tai numeroarvona kuljettajalle työkonen kauhan tai terän korkopoikkeaman rakenteen suunnitelmapinnasta.



Kuva 4. Havaintokuva kaivukoneeseen asennetun näytön näkymästä.

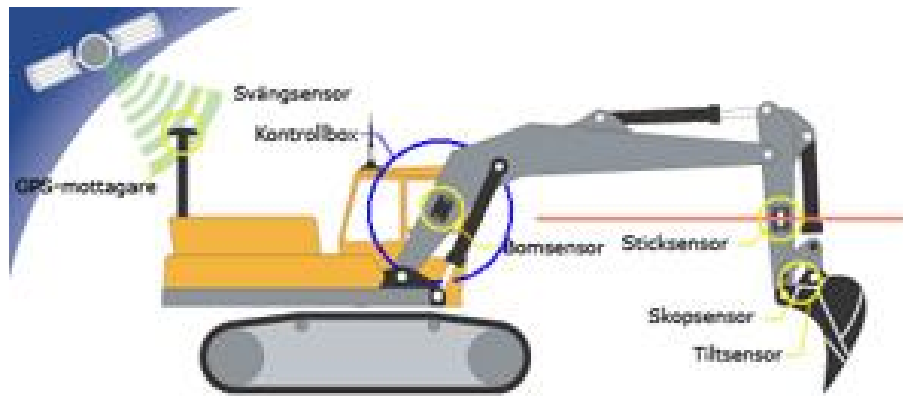
Järjestelmä sisältää myös valmiin rakenteen poikkeamien dokumentointiin tarvittavat toiminnot. Kehittämistavoitteeksi voidaan asettaa ominaisuus, jossa yhtä robottitakymetriä voidaan käyttää työvuoron aikana vuorotellen useamman

työkoneen ohjaukseen. Näin on mahdollista päästä työkonetta kohden pienempiin ohjausjärjestelmän hankintakustannuksiin.

Kaivinkoneen normaaliin työketjuun kuuluvat aloittavat työt, materiaalin otto kauhaan, kauhan kääntö ja purku sekä lopettavat työt. Yleisin työtekniikka on kuokkakaivuu. Koneen hetkittäisen asennon ja kaikkien eri liikevapausasteiden hallinta vaatii kuljettajalta perinpohjaista harjaantumista. Esimerkiksi koneen stabiliteetin säilyttäminen on hyvin hienovaraista ohjausta ja säätöä kuljettajalta vaativa tehtävä. Kokemattomalle kuljettajalle työ voi olla vahinkoaltista ja jopa vaarallista.

Pengerrystöissä kaivinkone muotoilee ja viimeistelee rakennekerroksia ja tie-luiskia täysin kolmiulotteisesti. Työskentelyssä tarvittavan kaivukoneen kääntökulman tulisi olla mahdollisimman pieni. Geometriset tarkkuusvaatimukset ovat leikkaus- ja pengerrystöissä yleensä $\pm 5 \dots \pm 10$ cm, viimeistelytyön vaatimukset voivat olla tiukempiakin. Siten 3D-ohjaus voi viimeistelytöissä olla välttämätön. Kaivukoneautomaation sovelluskehityksissä on jouduttu ratkaisemaan työkoneneen keskiakselin ympäri pyörivän eli kaivukonealustaisen koneen kinemaattinen malli, jonka perusteella 3D-ohjausjärjestelmä on voitu toteuttaa. 3D-malliin perustuvan ohjausjärjestelmän hyödyntäminen edellyttää koneen paikan ja asennon reaaliaikaista mittaamista. Kaivukoneen ohjauksessa paikannusjärjestelmäksi tarvitaan esimerkiksi kaksi GPS-antennia sekä kallistus- ja kulma-anturit rungon asennon mittaamiseen (Kuva 5). Tien rakennekerrosten rakentamisessa kaivukoneen 3D-ohjauksessa voidaan käyttää samantyyppistä koneohjausmallia kuin esimerkiksi tiehöylän 3D-ohjausjärjestelmässä.

Tierakentamisen kuivatustöissä pysyvät avo-ojat ja salaojat rakennetaan tie-suunnitelmien osoittamaan paikkaan ja korkeuteen. Työkoneohjauksen hyödyntämiseksi ojien pohjat ja ojaluiskien kantit suunnitellaan 3D-taiteviivoina tai -malleina. Tällöin ne on mahdollista edelleen mallintaa koneohjaustiedoston 3D-pinnoiksi ja -ohjauslinjoiksi. (Makkonen, T. & Nevala, K. & Heikkilä, R. 2004, s. 21 - 25; Heikkilä, Jaakkola 2004, s.40 - 44.)



Kuva 5. Havaintokuva koneohjausjärjestelmästä .

4 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteina käytettiin kahta maarakennuskohdetta, jotka sijaitsivat Taavetissa. Molemmissa kohteissa urakoitsijana toimi Moniurakointi Heikkilä Oy, ja kohteita varten hankittiin koneohjaus kalusto Scanlaser Oy:tä.

Kohteet olivat Etelä-Karjalan jätehuollon rakennuttama Taavetin jäteaseman loppusijoituskenttä ja Kymenlaakson sähköverkko Oy:n rakennuttama sähköaseman tie.

4.1 Tukiaseman rakentaminen

Kohteissa käytetyn kaivukoneen paikantamiseen käytettiin GPS-paikannusjärjestelmää, joka käytti kiinteää tukiasemaa. Tukiaseman antenni (Kuva 6) tarvitsi mahdollisimman korkean paikan, jotta sen kantavuus riittäisi työmaalle. Tässä tilanteessa päädyttiin asentamaan tukiasema Taavetin kunnantalolle (Kuva 7).



Kuva 6. Tukiaseman antenni kunnantalon katolla.

Tukiaseman sijainniksi harkittiin myös vesitornia, mutta sähkön saanti olisi ollut ongelmallista, ja tukiasemalle olisi jouduttu rakentamaan sääsuoja. Kun molemmat kohteet sijaitsivat alle 10 kilometrin säteellä tukiasemasta, ei hieman matalampi sijainti haitannut korjaus signaalin kantavuutta.



Kuva 7. Leican kiinteä tukiasema.

Tukiaseman rakentamisen jälkeen mitattiin tukiaseman GPS-antennin sijainti ja korkeusasema VRS-GPS-laitteella. Laite on yhteydessä GSM-verkon välityksellä laskentakeskukseen, joka laskee laitteelle oman, paikallisen virtuaalitukiaseman mittausalueelle ja sillä pääsee tarkkuudessa senttiluokkaan hyvissä olosuhteissa. Antennin sijainti oli aukealla paikalla, joten mittaaminen onnistui hyvin. Työmaiden suunnitelmat olivat KKJ3-koordinaatistossa ja N60-korkeusjärjestelmässä, ja antennille mitattiin arvot kyseisiin järjestelmiin.

4.2 Koneohjaus laitteiden asennus kaivukoneeseen.

Työmailla käytettävä kaivukone oli merkiltään ja malliltaan Caterpillar 328 D. Scanlaser Oy asensi koneeseen koneohjausjärjestelmän.

Järjestelmän hinta on n. 30 000 euroa toimitetun paketin laajuuden mukaan. Kokonaisuus sisältää kaivusvyömittarin, GPS-antennit (Kuva 8) ja kaivukoneeseen tulevat laitteet asennuksineen sekä käyttäjätuen. Tukiasema on hankittava erikseen, hankintahinta on n. 15 000 euroa, yhtä tukiasemaa voi käyttää

useampi laite. Kaivukoneen hankintahintaan nähden, n. 200 000 euroa, ei järjestelmä ole kohtuuttoman kallis. Hankintahintaa on mahdollisuus pienentää ottamalla tukiasema ja GPS-antennit vuokralle, jos järjestelmää ei tarvitse koko ajan. Kaivukoneeseen kiinteästi tulevat laitteet on järkevä ostaa omaksi, silloin koneohjausvalmius on heti olemassa ja kaivussyvyysmittaria voi hyödyntää myös ilman GPS-paikannusta.

Tässä tapauksessa GPS-antennit ja tukiasema otettiin vuokralle ja koneeseen kiinteästi tuleva laitteisto oli ostettu omaksi. Laitteisto piti sisällään koneen liikkuviin niveliin tulevat anturit, jotka lukevat puomien liikkeitä kaivussyvyysmittarille ja kaivussyvyysmittarin näytön. Kaivukoneen sijainnin määrittämiseksi koneen peräpuntiin kiinnitettiin kaksi antennia, joista toinen määrittää GPS-signaalin avulla koneen sijainnin ja toinen kompassisuunnan.

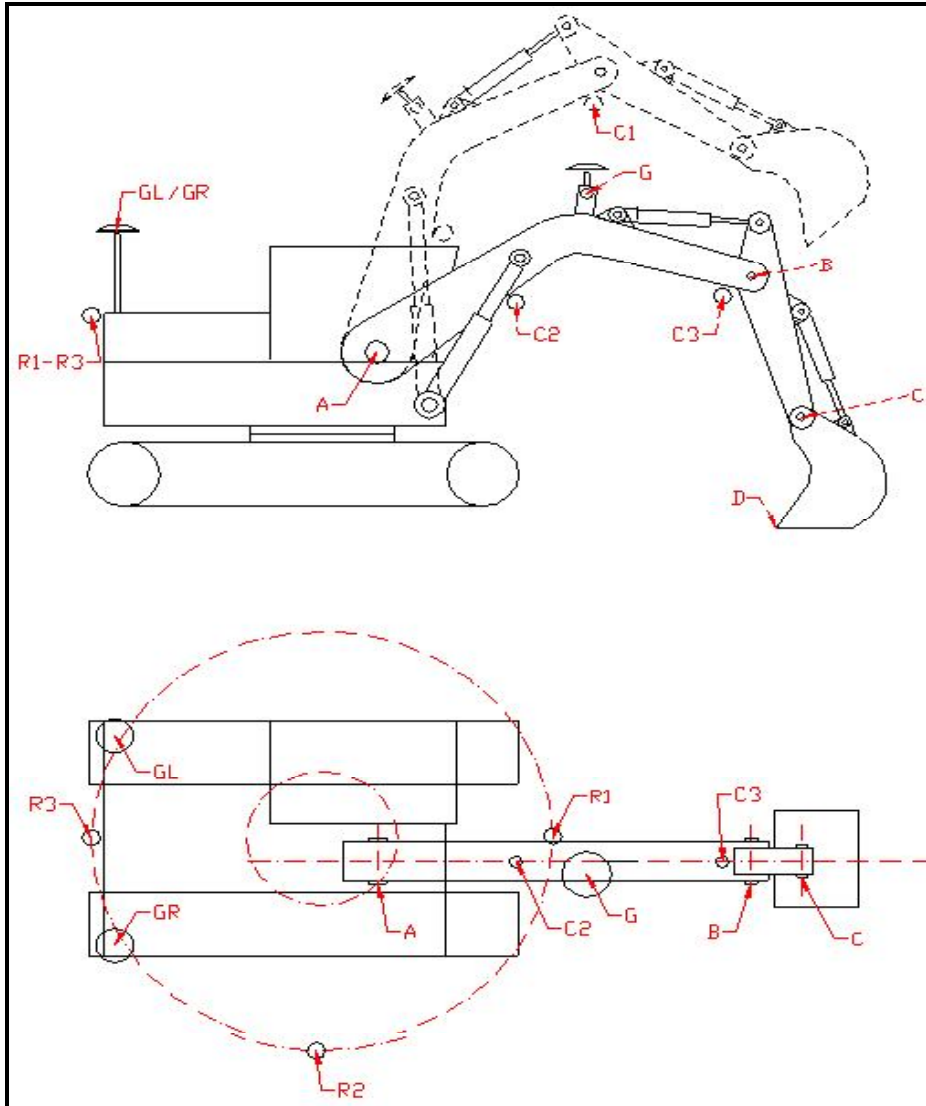


kuva 8. GPS-antenni kaivukoneen peräpuntissa

Koneen ohjaamoon asennettiin tietokonenäyttö, josta kuljettaja näkee koneen sijainnin mittausaineistosta tehdyllä pintamallilla sekä kauhan tasosijainti- ja korkeusasemapoikkeaman verrattuna rakennussuunnitelmaan. Tietokoneeseen on mahdollisuus myös saada internetyhteys, jolloin kuljettajan on helppo hakea pintamalliaineisto sähköpostista tai projektipankista. Myös koneella otettavat tarkemittaukset voi lähettää projektipankkiin suoraan koneesta.

Antureiden ja antennien asennuksen jälkeen suoritettiin kaivukoneen mittaus tarkasti määrättyihin mittapisteisiin (Kuva 9), jotta saatiin tehtyä korjaukset puomiston ja antennien linjapoikkeaman takia. Sijaintia ja suuntaa mittaavat antennit on käytännössä hankala asentaa suoraan kulmaan puomistoa kohden.

Antennit asennetaan kaivukonekohtaisesti peräpuntin takaosaan tyhjään tilaan, ja sijainti korjataan laskennallisesti. Lisäksi mittaamalla saadaan määritettyä kauhan ja puomiston korkeusero antenneihin nähden, ja näin saadaan korkeusasemakorjaukset kauhalle.



Kuva 9. Mittapisteet kaivukoneessa.

Mittaus tehtiin Leican robottitakymetrillä ja linjausta varten suunnitellulla ohjelmalla (Kuva 10).

Mittausta varten asennettiin tähykset mittapisteesiin jokaiseen niveleen puomin keskilinjalle, kauhan huulilevyn keskikohtaan sekä antennien päihin. Tämän jälkeen mitattiin tähykset, ja tulokset syötettiin ohjelmaan, joka laski korjausarvot.

Lasketut arvot siirrettiin kaivukoneessa olevaan tietokoneeseen, joka otti ne korjausarvoiksi koneen puomistoon ja kauhaan.

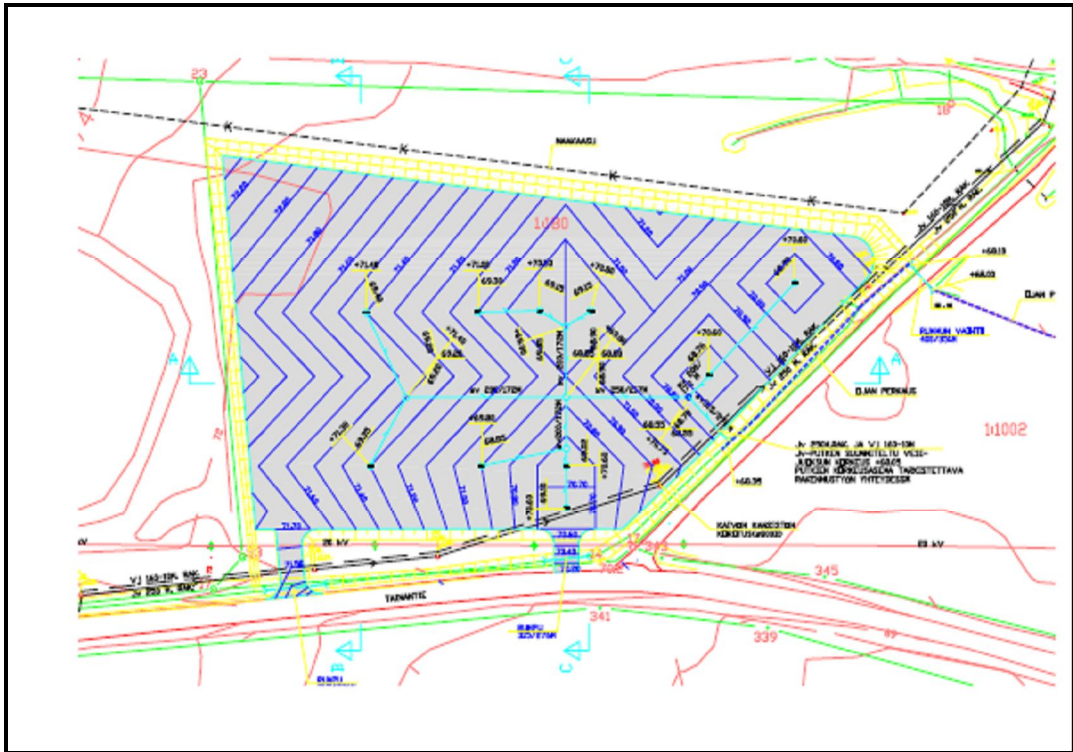
Työmaalle mitattiin referenssipisteet VRS-GPS-laitteella, joihin kaivukone vertasi sijaintia ja korkeusasemaa. Korkeusasemaa korjattiin vielä paikallisesti 20 mm. GPS-mittauksella päästään hyvissä olosuhteissa tasotarkkuudessa +15...-15 mm:n tasotarkkuuteen ja +25...-25 mm:n korkeustarkkuuteen.



Kuva 10. Puomiston ja antennien linjausmittaus robottitakymetrillä.

4.3 Taavetin jäteaseman kentän rakentaminen

Ensimmäisenä työkohteena oli Etelä-Karjalan jätehuollon Taavettiin rakennuttaman jäteaseman rakentaminen. Kyseessä oli 10 500 m² kokoisen asfaltoivan kentän maarakennustyöt.



Kuva 11. Kentän tasauspiirustus.

Urakka sisälsi raivausta 10 500 m²tr ja maaleikkausta n:6000 m³tr. Lisäksi rakennekerrosten suodatinkerros HK 5250 m³tr, jakavan kerros KaM 0..150 5250 m³tr ja kantavan kerros KaM 0..32 1575 m³tr rakentamisen (Kuva 12).

Urakkaan kuului myös kuivatusrakenteiden, putkilinjojen ja kaivojen rakentaminen. Urakkaraja oli asfaltin 20/120 alapinta.



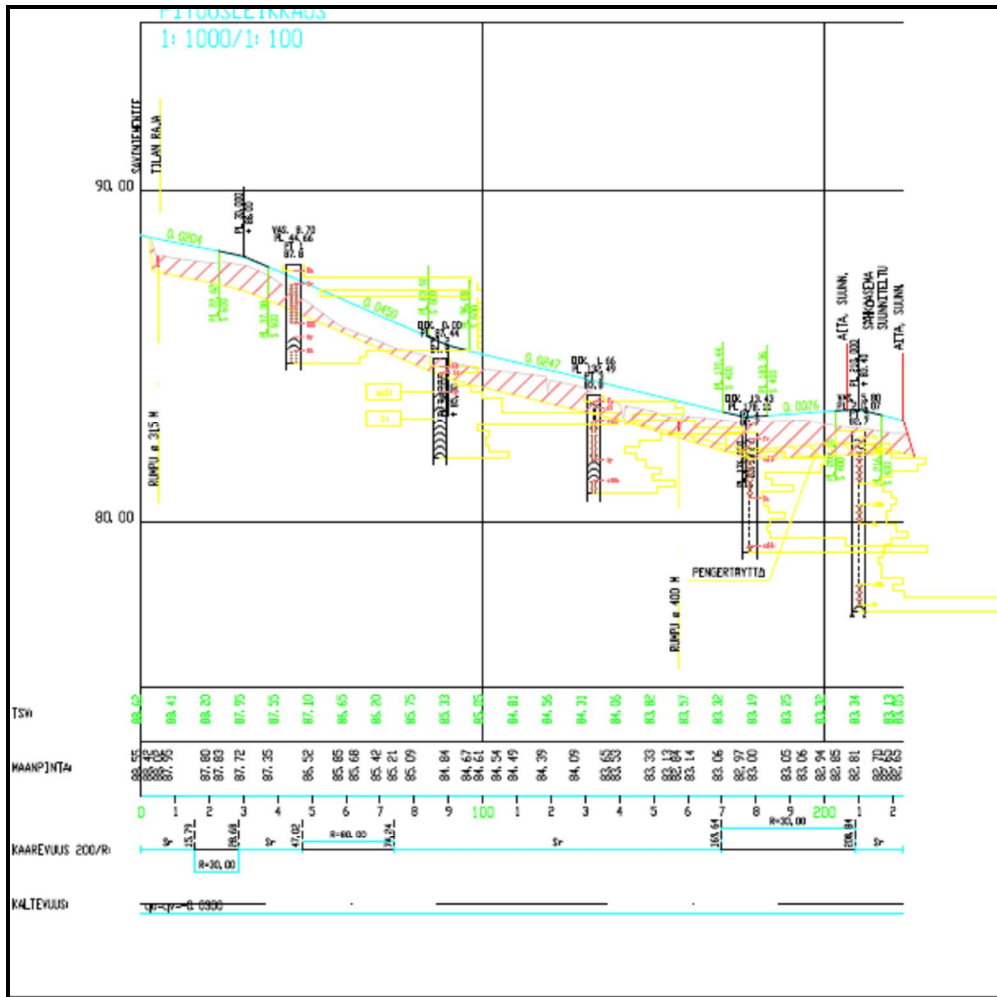
Kuva 12. Kentän rakennekerrokset.

Mittaryhmä kävi paikalla mittaamassa lähtöpinnan massalaskentaa varten ja merkitsemässä kaivojen paikat maaleikkauksen jälkeen. Lisäksi työn valmistuttua mittaryhmä tarkemittasi kaivojen toteutuneet korkeusasemat sekä toteutuneen kantavan pinnan. Muu rakentaminen toteutettiin koneohjauksella.

4.4 Sähköaseman tie

Toinen kohde oli Kymenlaakson sähköverkko Oy:n rakennuttama tie, joka johdtaa tulevaisuudessa rakennettavalle sähköasemalle. Urakka sisälsi tien rakentamista 220 m (Kuva 13).

Koneohjausta käytettiin tienrakentamisessa plv 0-220, joka sisälsi raivausta ja pintamaan poistoa 2000 m²tr ja maaleikkausta 1010 m³tr.

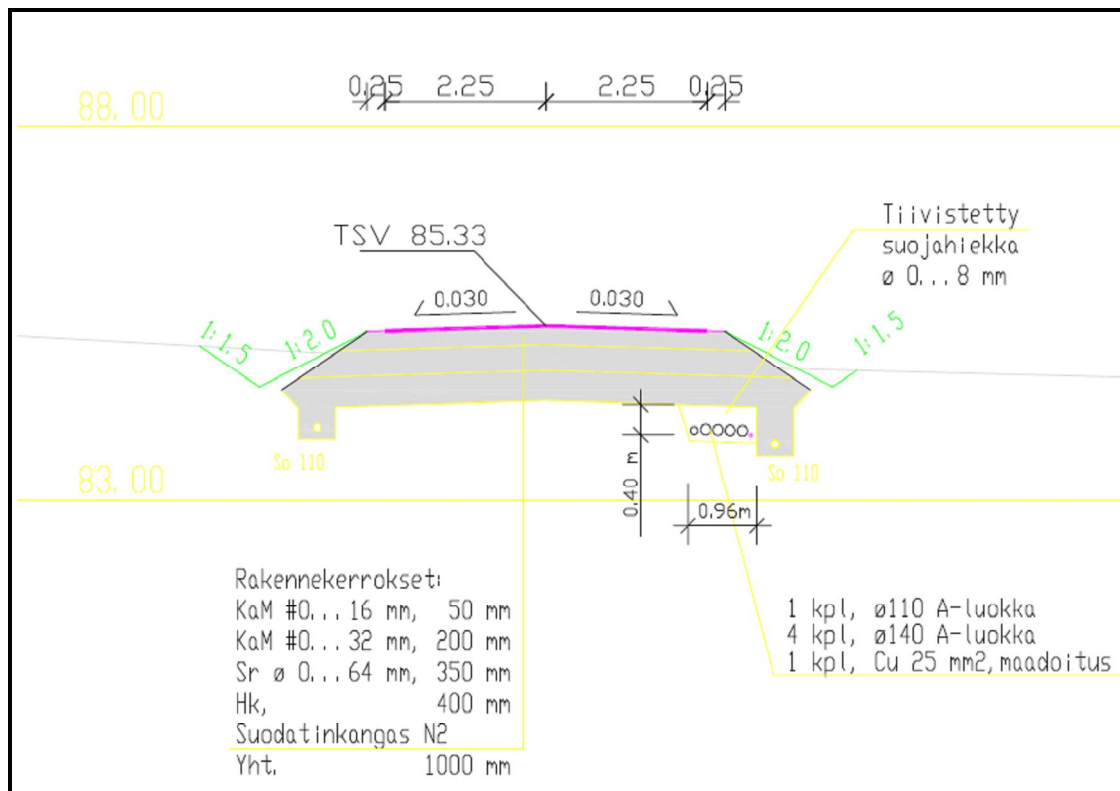


Kuva 13. Sähköaseman tien pituusleikkaus.

Tien rakentamiseen kuului lisäksi rakennekerrosten, suodatinkerros H, 560 m³trr, jakavakerros Sr 0...64, 441 m³trr, kantavakerros Kam 0...32, 214 m³trr ja tasauskerroksen Kam 0...16, 50 m³trr rakentaminen (Kuva 14).

Mittaryhmä kävi paikalla merkitsemässä maastoon raivausalueenrajoiksi leikkausluiskien yläreunat kantojen ja pintamaan poistoa varten.

Muu rakentaminen toteutettiin koneohjauksella.



Kuva 14. Sähköaseman tien poikkileikkaus.

5 Tulokset

Koneohjauksella saatuja taloudellisia hyötyjä verrattiin perinteiseen mittari-ma/korkolappumenetelmään laskemalla normaalisti tarvittavien mittaryhmätun-tien määrä.

Lisäksi haastateltiin urakoitsijan työnjohtajaa, joka arvioi työn nopeutumista ja massataloutta verrattuna perinteiseen menetelmään. Tiedolla saatiin laskettua kaivutyön tehokkuuden kasvu .

5.1 Jätekeskuksen mittausstarve koneohjausjärjestelmällä

Jätekeskustyömaalla mittauskonsultti teki pintamallin leikkauspohjasta kaivuko-neelle, josta koneenkuljettaja itse laski eri kerrosten korkeusasemat.

Lisäksi mittaryhmä kävi paikalla kaksi kertaa, merkitsemässä kaivot ja tarkemittaamassa lopuksi valmiin pinnan urakkarajasta ja rakennetut kaivot. Mittaryh-mältä meni aikaa kaivojen maastoon merkintään 4 tuntia ja tarkemittauksiin 6

tuntia. Pintamallintekoon suunnitelmista tarvittiin 3 tuntia ATK-työtä. Lisäksi mittausaineiston tekoon kaivojen maastoon merkintää varten ja työmaan luovutusta varten tehtävään tarkekuvaan mittauskonsultilta meni aikaa yhteensä 6 tuntia. Mittauskonsultin tarve yhteensä 10 tuntia maastotyötä ja 9 tuntia ATK-työtä (Taulukko 1).

Työvaihe	Mittaryhmä	ATK-työ
Pintamallin teko		3 tuntia
Mittausaineiston teko		6 tuntia
Maastoon merkintä	4 tuntia	
Tarkemittaus	6 tuntia	
Yhteensä	10 tuntia	9 tuntia

Taulukko 1. Jätekeskuksen mittaustarve koneohjauksella.

5.1.1 Jätekeskuksen lisämittaustarve perinteisellä menetelmällä

Ilman koneohjausta mittaryhmän olisi pitänyt käydä paikalla edellisten lisäksi kolme kertaa. Työn alkaessa olisi raivausrajat pintamaan poistoa varten merkitty maastoon, työssä olisi mennyt 2 tuntia. Raivauksen jälkeen mittaryhmä olisi maastoon merkinnyt leikkauskorot ja linjat. Samalla käynnillä olisi merkitty kaivojen paikat, joten ainoastaan aikaa olisi mennyt enemmän, arviolta 6 tuntia. Rakennekerroksista pitäisi tässä tapauksessa maastoon merkitä ainakin jakavakerros ja kantavakerros, koska kepitys tuskin kestäisi pystyssä kaikkien kolmen kerroksen rakentamisen ajan. Kahden rakennekerroksen maastoon merkinnässä menisi mittaryhmällä aikaa yhteensä arviolta 12 tuntia. Mittauskustannuksissa säästettiin siten 20 tuntia. Mittaryhmän hintakeskiarvo on noin 70 euroa tunti, jolloin säästöä tuli 1400 euroa (Taulukko 2).

Työvaihe	Mittaryhmä	Hinta 70€/h
Raivausalueen maastoon merkintä	2 tuntia	140 €
Leikkauskorkojen maastoon merkintä	6 tuntia	420 €
Jakavan kerroksen maastoon merkintä	6 tuntia	420 €
Kantavan kerroksen maastoon merkintä	6 tuntia	420 €
Mittauskustannusten säästö	20 tuntia	1 400 €

Taulukko 2. Jätekeskuksen mittauskustannusten säästö.

5.2 Sähköaseman tien mittaustarve koneohjauksella

Tietyömaalla mittauskonsultti teki kaivukoneelle maaleikkausta varten mallin, josta kuljettaja itse laski eri kerrosten korkeusasemat. Maaleikkaukselle oli tehtävä oma pintamalli, se helpotti luiskien ja sivuojien tekemistä.

Mittaryhmä kävi paikalla yhden kerran, merkitsemällä raivausrajat kantojen poistoa varten, kannot poistettiin koneella, jossa ei ollut koneohjauslaitteita. Mittaryhmältä meni työhön aikaa 6 tuntia. Pintamallin tekoon suunnitelmista tarvittiin 3 tuntia ATK-työtä (Taulukko 3).

Työvaihe	Mittaryhmä	ATK-työ
Pintamallin teko maaleikkausta varten		3 tuntia
Raivausrajojen maastoon merkintä	6 tuntia	
Yhteensä	6 tuntia	3 tuntia

Taulukko 3. Sähköaseman tien mittaustarve koneohjauksella.

5.2.1 Sähköaseman tien lisämittaustarve perinteisellä menetelmällä

Ilman koneohjausta mittaryhmän olisi pitänyt käydä paikalla edellisten lisäksi kolme kertaa. Raivauksen jälkeen maastoon olisi merkitty tielinja leikkauskoroilla. Työhön olisi kulunut aikaa arviolta 6 tuntia. Rakennekerrosten tekoa varten olisi pitänyt merkitä ainakin kaksi kerrosta, kepitys ei olisi kestänyt pystyssä

kaikkien kolmen kerroksen rakentamista. Järkevää olisi ollut merkitä jakava ja kantava kerros. Kantavan kerroksen keppeihin olisi pitänyt laittaa ns, ristilaputus korkeuden mittaamista varten, koska tiessä oli harja, ja kallistus molempiin suuntiin. Ristilaputuksella tarkoitetaan sitä, että tien molemmilla puolilla oleviin mittarimoihin laitetaan kaksi korkolappua, toinen tässä tapauksessa TSV-3 % ja toinen TSV+3 %. Näin saadaan tien reuna ja harja oikeaan korkoon. Näissä maastoon merkinnöissä olisi mittaryhmältä mennyt arviolta 12 tuntia. Mittauskustannuksissa säästettiin siten 18 tuntia. Koska mittaryhmän hintakeskiarvo on 70 €/tunti , säästettiin 1260 euroa (Taulukko 4).

Työvaihe	Mittaryhmä	Hinta 70€/tunti
Leikkauskorkojen maastoon merkintä	6 tuntia	420 €
Jakavan kerroksen maastoon merkintä	6 tuntia	420 €
Kantavan kerroksen maastoon merkintä	6 tuntia	420 €
Mittauskustannusten säästö	18 tuntia	1260 €

Taulukko 4. Sähköaseman tien mittauskustannusten säästö.

5.3 Konetyön nopeutuminen ja massatalous.

Konetyön tehokkuuden ja massatalouden arviointiin saatiin tietoa haastattele-malla Moniurakointi Heikkilä Oy:n työpäällikköä Kati Ajoksenmäkeä. Ajoksenmäki arvio, että konetyön tehokkuus nousi koneohjauksella 25 %. Kyseinen te-hon nousu tulee pelkästään siitä, ettei koneen kuljettajan tarvitse keskeyttää kaivutyötä ja nousta koneesta aika ajoin tähtäämään ajokepillä mittarimojen korkolappuihin. Jos kaivukoneen lisäksi työmaalla on ammattitaitoinen perä-mies, ei kuljettajan tarvitse keskeyttää työtä korkeusaseman tarkistusta varten, vaan perämies hoitaa tähtäämisen. Perämies nostaa kuitenkin huomattavasti kaivutyön kustannuksia.

Kaivutyössä yleensä tapahtuva tahaton ryöstö jää Ajoksenmäen mielestä pois. Näissä kyseisissä kohteissa varsinkin kaatopaikan rakentamisessa massatasa-paino onnistui hyvin. Maaleikkaus saatiin kerralla oikein ja kerrokset oikean paksuisiksi, jolloin lasketut määrät vastasivat toteutuneita. Jätekeskuksen ken-

tän maaleikkaukseen käytetyt konetunnit olisivat olleet ilman koneohjausta arviolta 100 tuntia. Kaivukone leikkaa ja lastaa normaalisti keskimäärin neljä autokuormaa tunnissa, 50-60 m³tr. Jos koneohjauksella saatiin konetyön tehokkuutta nostettua 25 % , kasvaa kapasiteetti yhdellä kuormalla tunnissa. Tällöin työn nopeutuminen toi n. 1600 euron säästön konetyöhön.

Maaleikkaustyössä tulee aina tahatonta ryöstöä, kun pyritään leikkaamaan pohja vähintään tavoitetasoon. Olen huomannut tarkemittauksia tehdessäni että perinteisellä mittarima/korkolappu menetelmällä toteutetuilla tietyömailla leikkauspohjan korkotoleranssin ollessa +0mm...-100mm, leikkauspohjan olleen leikkattu keskimäärin 80mm ylisyväksi. Kuljettaja leikkaa pohjan varmuuden vuoksi korkolappuihin nähden syväksi, ettei pohja jää kovaksi, eikä tarvitse sitä myöhemmin korjata. Koneohjauksella kuljettaja näkee näytöllä reaaliajassa, mikä on kauhan etäisyys tavoitekorkeudesta. Koneohjauksellakin tulee 30 - 50 mm:n ryöstö mikä johtuu GPS-laitteen mittausepävarmuudesta. Hyöty on kuitenkin keskimäärin 40 mm verrattuna perinteiseen menetelmään. Tässä tapauksessa oli leikattavaa pinta-alaa yhteensä 12 000 m²tr. Kun ryöstö saatiin pienemmäksi, säästettiin teoriassa 480 m³tr turha kaivutyö ja 37:n autokuorman poisajo (Taulukko 5).

Ylimääräinen kaivu	Työ perinteisellä tavalla	Työ koneohjauksella	Säästö
Ryöstö mm	k/a 75mm	k/a 35mm	k/a 40mm
Ryöstö m ³ / 12000m ³ tr	k/a 900 m ³ tr	k/a 420m ³ tr	k/a480m³tr

Taulukko 5. Koneohjauksella saavutettu ryöstön väheneminen.

Rakennekerroksia tehtäessä säästetään materiaalissa jo siinä, kun leikkauspohja on oikeassa korkeusasemassa. Rakennekerrosten tekemisessä konetyön teho nousee samoin kuin kaivutyössä. Jätekeskuksen kaltaisessa kenttärakentamisessa, missä on paljon jirejä ja kallistuksia, tehon nousu lähelle 25 %:a voi olla realistista. Ilman koneohjausta kaikki taitteet olisi pitänyt merkitä rimalla ja korkolapulla. Kuljettaja olisi joutunut keskeyttämään työn jatkuvasti seuratakseen ajokeapistä kerrosrakenteen korkeusasemaa. Vaihtoehtona olisi ollut pitää perämiestä kaivukoneen mukana.

Sähköaseman tie oli helpompi kohde, ja siinä kerroksia rakennettaessa koneen työteho nousi vähemmän. Tässä tapauksessa 10-15 % tehon nousu on lähempänä todellisuutta.

Lisäksi kokonaistyöajan lyhentyessä tulee säästöä työmaan yhteisiin kustannuksiin, lähinnä työajoituskustannuksista.

Molemmissa kohteissa pohjamaa oli helposti häiriintyvää savea. Koneohjauksen avulla leikkaukset saatiin kerralla oikeaan korkoon, ja ylimääräinen ajelu leikkauspohjan päällä jäi kokonaan pois. Kaatopaikkakohteeseen saatiin myös rakennettua kuorma-autoille kulkureitit kerralla kentän tasausta vastaavaan korkeusasemaan ja kaltevuuteen.

6 Päätelmät

Tutkiessani koneohjauksen hyötyjä pienissä maarakennuskohteissa tulini siihen tulokseen, että kyseisillä työmäärillä järjestelmä kannattaa hankkia. Urakoiden yhteenlaskettu ajallinen kesto oli noin kaksi kuukautta ja mittaustarve väheni 38 tuntia. Vuositasolla vastaavilla työmäärillä huhtikuun ja lokakuun välisenä maarakennuskesäkaudella mittaustarve vähenisi arviolta 133 tuntia ja säästö olisi n. 9500 euroa, jolloin 30 000 euron järjestelmä maksaisi itsensä takaisin reilussa kolmessa vuodessa pelkillä mittauskustannusten säästöillä.

Kun mukaan otetaan vielä kaivukonetyön nopeutuminen ja parantunut massatalous, ovat taloudelliset hyödyt kiistattomat. Konetyön tehon nousu 25 % ei ehkä joka tilanteessa pidä paikkaansa, keskimäärin 13 % voisi olla lähempänä todellista. Maarakentamisessa kustannukset koostuvat suurimmalta osin kuljetuskustannuksista ja konetyöstä. Tämän takia koneohjauksella päästään vaikuttamaan molempiin vähentämällä turhaa maansiirtoa ja tekemällä konetyöstä entistä tehokkaampaa. Samalla säästyy myös rakennusmateriaalia.

Huomion arvoista oli myös koneohjauksen merkitys käyttäjän kannalta. Kuljettajan hyppiminen koneesta edestakaisin vaikuttaa työssä viihtyvyyteen. Kun vielä järjestelmää on helppo oppia käyttämään, ei monikaan järjestelmää kokeile-

maan päässyt koneenkuljettaja ole valmis palaamaan takaisin perinteiseen mit-
tarima/korkolapputapaan.

7 Kuvat

Kuva 1. Väreillä havainnollistettu kuva ilmasta helikopterilla tehdystä laserkeilauksesta. Johdatus tien rakentamisen automaatioon, s.7

Kuva 2. Tielinjan merkintää mittarima/korkolappu menetelmällä , mittalaitteena robottitakymetri, s. 9

kuva 3. Digitaalinen 3D-maastomalli, Johdatus tienrakentamisen automaatioon, s. 11

kuva 4. Havaintokuva kaivukoneeseen asennetun näytön näkymästä, www.koneohjaus.fi, s. 12

kuva 5. Havaintokuva koneohjausjärjestelmästä, www.koneohjaus.fi, s. 14

kuva 6. Tukiaseman antenni kunnantalon katolla, s. 15

kuva 7. Leican tukiasema, s. 16

kuva 8. Gps-antenni kaivukoneen peräpuntissa, s. 18

kuva 9. Mittapisteet kaivukoneessa, Scanlaser Oy, application manual, s. 19

kuva 10. Puomiston ja antennien linjausmittaus robottitakymetrillä, s. 20

kuva 11. Kentän tasaus piirustus, s. 21

kuva 12. Kentän rakennekerrokset, s. 22

kuva 13. Sähköaseman tien pituusleikkaus, s. 23

kuva 14. Sähköaseman tien poikkileikkaus, s. 24

8 Taulukot

Taulukko 1. Jätekeskuksen mittaustarve koneohjauksella, s. 25

Taulukko 2. Jätekeskuksen mittauskustannusten säästö, s. 26

Taulukko 3. Sähköaseman tien mittaustarve koneohjauksella, s. 26

Taulukko 4. Sähköaseman tien mittauskustannusten säästö, s. 27

Taulukko 5. Koneohjauksella saavutettu ryöstön väheneminen, s.28

9 Lähteet

Makkonen, T. & Nevala, K. & Heikkilä, R. 2004. Automation of an Excavator-based on a 3-D CAD Model and GPS Measurement, s. 21 - 25

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. 2004. Tiehallinnon selvityksiä, johdatus tienrakentamisen automaatioon, s. 28, 40 - 45

Laakkonen, M. 2009. Tiemittauksen asettamat vaatimukset suunnittelulle. <https://puplications.theuseus.fi>, s. 13 - 16