



## **3D-koneohjausjärjestelmä kaivinkoneissa**

Ville Piironen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2012  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

**TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
**Tampere University of Applied Sciences**

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infrarakentaminen

PIIRONEN VILLE:  
3D-koneohjausjärjestelmä kaivinkoneissa

Opinnäytetyö 41 sivua, josta liitteitä 1 sivua  
Huhtikuu 2012

---

3D-koneohjaus- ja paikannussovellukset ovat tulevaisuuden rakentamista. Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda toimihenkilöille suunnattu esitysmateriaali 3D-koneohjauksen mahdollisuuksista, hyödyistä, toiminnasta ja toimivuudesta. Työ tehtiin Skanska Infra Oy:n tilauksesta.

Lähtöaineisto opinnäytetyöhön kerättiin 3D-koneohjaukseen ja sen sovelluksiin erikoistuneilta yrityksiltä, aikaisemmista tutkimuksista, toimihenkilöiltä sekä urakan Kantvik-Strömsby tiiviillä seurannalla.

Opinnäytetyössä haastateltiin useita alan toimihenkilöitä, seurattiin 3D-koneohjausta ja sen sovelluksia käyttäviä maanrakennuskoneita. Haastattelujen perusteella pystyttiin toteamaan, että 3D-koneohjaus pelottaa vielä useita toimihenkilöitä, vaikka koneiden seurannalla pelko todettiin turhaksi.

Opinnäytetyön perusteella ei näytä olevan tarvetta 3D-koneohjauksen ja sen sovelluksien välttämiseen, vaan päinvastoin sen käytön, mahdollisuuksien ja tekniikan kehittämiseen.

## **ABSTRACT**

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

PIIRONEN VILLE  
3D-Machine Control Systems on Excavators

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 1 pages  
April 2012

---

3D-Machine control and tracker applications are the future of building. The purpose of these theses was to create representation material directed to clerical workers by opportunities, benefits, operation and functionality of 3D-machine control and tracker applications. The work was made by requisition by Skanska infra Oy.

Starting material of this theses was collected from specialized 3D-machine control and tracker applications firms, previous studies of machine control, clerical workers and tightly following up the contract of Kantvik-Strömsby.

In thesis there was interviewed various clerical workers and were followed excavation machines that use 3D-machine control and tracker applications. Based on the interviewes it could found that the 3D-machine control frightens several clerical workers even by monitoring the machines fear was proved pointless.

Based by thesis there don't seem to be any reason to avoid 3D-machine controls, contrary there is need to increase it use and technique development.

---

Key words: 3D-machine control, civil engineering

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Tausta.....	7
1.2	Työn rajaus .....	8
1.3	Opinnäytetyön toteutus .....	8
2	3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ TEORIASSA .....	10
2.1	3D-koneohjausjärjestelmä yleisesti .....	10
2.1.1	Takymetriapaikannus kaivinkoneissa .....	12
2.1.2	Satelliittipaikannus kaivinkoneissa .....	13
2.2	3D-koneohjausjärjestelmän toiminta .....	14
3	3D-KONEOHJAUKSELLA SAAVUTETTAVAT HYÖDYT.....	17
3.1	Hyödyt 3D-koneohjausjärjestelmällä .....	17
3.1.1	Tikuton työmaa .....	18
3.1.2	Työmaasuunnitelma suoraan näytöltä.....	19
3.1.3	Säästöjä ajassa ja mittauskustannuksissa .....	20
3.1.4	Säästöjä polttoainekustannuksissa .....	22
3.1.5	Säästöjä materiaaleissa.....	23
3.1.6	Tehoja työntekoon.....	24
3.1.7	Parempaa työnjälkeä .....	25
3.1.8	Parempi työmotivaatio .....	26
4	3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ KANTVIK-STRÖMSBY .....	27
4.1	Kantvik-Strömsby .....	27
4.2	Valmisteltavat työt.....	28
4.3	Toiminta.....	30
4.3.1	Pintamaan poisto ja pohjan leikkuu .....	30
4.3.2	Kaapelien suojaputkien, kunnallistekniikan sekä kaivojen asennus .....	31
4.3.3	Tiekerrosten rakentaminen.....	32
4.4	Työnjohdon näkemykset.....	34
5	TULOKSET KANTVIK-STRÖMSBY .....	35
5.1	Kustannukset.....	35
5.2	Toimintavarmuus .....	35
5.3	Ongelmat.....	36
6	PÄÄTELMÄT .....	37
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET .....	40
	Liite 1. Konekuljettajien seurantalomake.....	40
	KUVALUETTELO .....	41

**TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT**

3D-koneohjaus	Koneohjausjärjestelmään ladattu digitaalinen malli, joka koneen sensoreiden avulla opastaa kuljettajan oikeisiin korkeihin ja kallistuksiin.
Digitaalinen malli	Sähköisessä muodossa kirjoitettu koordinaatisto, joka sisältää pisteitä X,Y ja Z muodossa mallin mukaisesti.
Mittatikku	Maastomerkinnässä käytettävä merkki, jolla ilmoitetaan tietyn kohteen sijainti.
Paikannussovellus	Sovellus jolla ilmoitetaan tietyn kohteen sijainti.
Toimihenkilö	Työntekijä, johon yritys soveltaa toimihenkilöiden työehtosopimusta.
Analysointi	Systemaattista havaintojen tekemistä ja tulkintaa, joka perustuu vuorovaikutuksen havainnointiin.
RTK-mittaus	Etenkin maanmittauksessa käytettävä GPS-satelliittipaikannuksen mittausmenetelmä, jolla paikannussatelliitteja ja mittausasemia hyväksi käyttäen tehdään tarkkuusmittauksia.
GPS-mittaus	Satelliittipaikannusjärjestelmää hyväksi käytettävä mittausmenetelmä.
Tarkemittaus	Mittaus, jolla tallennetaan mitattavan kohteen sijainti ja varmistetaan sen oikeellisuus suunnitelmiin nähden.
Takymetri	Mittalaite, jolla mitataan pisteiden sijaintia kojeeseen nähden.

Takymetriojtaus	3D-koneohjauksen mittausmenetelmä, jossa takymetrin avulla paikannetaan koneohjausta käyttävä koneyksikkö.
Orientointi	Takymetrin sijainnin paikannus.
Vapaa asemapaikka	Takymetrin sijainti kolmen tunnetun pisteen mukaan mitattuna.
Havaintoprisma	Työkoneeseen kiinnitetty prisma, jonka sijaintia maastokoordinaatistossa takymetrin avulla mitataan.
Maastokoordinaatisto	Maaston mukaan luotu kaksi tai kolmiulotteinen koordinaatisto.
Tukiasema	Asema joka lähettää koneohjausyksikölle korjaussignaalia tarkemman tuloksen saavuttamiseksi.
Korjaussignaali	Signaali jonka avulla GPS-paikannuksessa päästään parempaan tarkkuuteen.
Maastomalli	Mittaamalla saatua tietoa maaston pinnan muodoista avaruuskoordinaatistossa.
GLONASS	Venäjän puolustusvoimien hallinnoima siviili- ja militaari-käytössä oleva satelliittinavigointijärjestelmä.
Ylisyvä	Leikkaustasosta liian syväälle kaivamista.
Laserkeilaus	Mittaustapa, jolla kohteesta saadaan mallinnettua kolmiulotteista tietoa.
Perehdytys	Nopea koulutus uudesta asiasta.
Kalibrointi	Kohteen asentaminen käyttäkuuntoon.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

3D-koneohjaus ja sen paikannussovellukset eivät vielä ole tehneet läpimurtoa Suomessa. Perinteiseen tapaan työmaata suunniteltaessa mittaaja siirtää digitaalisen mallin maastoon merkkien avulla. Operaatio on työläs ja siihen kuluu aikaa. Ensimmäiseksi mittamies joutuu siirtämään suunnittelijoilta saamansa mallin omalle koneelleen, minkä jälkeen hän vasta voi mennä maastoon merkitsemään tarvittavat mitat ja linjat. Lisäksi mittamiehen merkkien pitää olla koneenkuljettajien ymmärrettävissä. Tästä syntyy monia riskitekijöitä työmaan onnistumiselle.

Jokainen rakennustyömaa on tuotantoprosessi, jossa on monia eri työvaiheita, jotka liittyvät tiiviisti toisiinsa ja vaikuttavat onnistumiseen. Rakennustyömaan onnistumisen kannalta on tärkeää, että laitteet toimivat ja ovat luotettavia. Työvaiheita tehostamalla ja kehittämällä saadaan leikattua kustannuksia, nopeutettua työtä sekä lisättyä työn tarkkuutta ja paranneltua sen laatua.

3D-koneohjaus ja -paikannus tarkoittavat yksinkertaisuudessaan sitä, että suunnittelijalta saatava digitaalinen malli ladataan mittamiehen koneen sijasta suoraan työkoneessa sijaitsevaan ohjausjärjestelmään, jolloin koneen hytissä olevalta näytöltä voidaan nähdä työssä tarvittavat korot, kallistukset, sijainnit ja tiedot, jotka normaalisti mittamies merkitsee kepein maastoon.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kerätä tietoa 3D-koneohjauksesta sekä sen paikannussovelluksista ja kuvata kyseisen tekniikan tämän hetkinen tilanne toimivuuden ja luotettavuuden kannalta. Tarkoituksena oli myös luoda toimihenkilöille suunnattu esitysmateriaali 3D-koneohjauksesta ja paikannussovelluksista työmaan näkökulmasta. Työ tehtiin Skanska infra Oy:n tilauksesta.

## 1.2 Työn rajaus

Opinnäytetyössä kerrottiin laajapiirteisesti 3D-koneohjauksen ja sen paikannusovelluksien toiminnasta, käytöstä sekä mahdollisuuksista. Opinnäytetyön tulokset ja havainnot tehtiin työmaan mt1191 Kantvik - Strömsby laajuudessa kiinnittäen erityisesti huomiota

- kustannuksiin
- toimintavarmuuteen
- ongelmiin
- työnjohdollisiin asioihin.

Työn ulkopuolelle jätettiin laitetoimittajat, laitemallit sekä laitetekniikka, sillä niistä lisätietoja tahtovan on mahdollista saada ne niitä valmistavilta yrityksiltä. Myös laitevalmistajien välinen vertailu jätettiin opinnäytetyön ulkopuolelle.

## 1.3 Opinnäytetyön toteutus

Opinnäytetyö jaettiin seuraaviin osavaiheisiin

- kirjallisuuskatsaus 3D-koneohjauksen toiminnasta teoriassa
- 3D-koneohjausjärjestelmän hyödyt
- 3D-järjestelmän toiminta Kantvik-Strömsby työmaalla
- 3D-koneohjauksen tulosten analysointi Kantvik-Strömsby
- teorian ja käytännön vertailu ja analysointi.

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli luoda yleiskatsaus 3D-koneohjauksen toiminnasta, kehityksestä ja mahdollisuuksista. Tiedon hankinta tapahtui pääasiassa laitetoimittajien materiaaleista ja aikaisemmista aiheeseen liittyvistä tutkimuksista. Lisäksi selvitettiin, miten 3D-koneohjaus käytännössä toimii työmailla.

Laitetoimittajien haastattelut suoritettiin puhelimitse ja sähköpostitse sekä kerättiin lähtöaineistoksi. Kyseisistä lähtötiedoista analysoitiin 3D-koneohjauksen todellista toimintaa ja luotettavuutta Suomen oloissa ja sitä myös verrattiin teoreettiseen toimintaan etsien epäkohtia ja toimintaa ongelmatilanteissa.

Työmaajohtajien ja työmaamestareiden jotka käyttävät 3D-koneohjausta haastattelut suoritettiin henkilökohtaisesti. Näiden haastattelujen tuloksia pidettiin erittäin oleellisi-



na opinnäytetyön kannalta, koska heillä on paras kokemus järjestelmän todellisesta toiminnasta ja luotettavuudesta. Tulokset olivat myös todella tärkeitä opinnäytetyön luotettavuuden todentamiseksi.

3D-järjestelmän toimintaa seurattiin tiiviisti työmaalla Kantvik-Strömsby, sekä analysoitiin 3D-järjestelmää käyttävien kuljettajien täyttämiä lomakkeita. Tällä tavoin luotiin työnjohtajille esitysmateriaali järjestelmästä.

Teorian ja käytännön vertailulla haluttiin näyttää epäkohtia ja asioita, joita pitää ottaa huomioon järjestelmää käyttäessä.

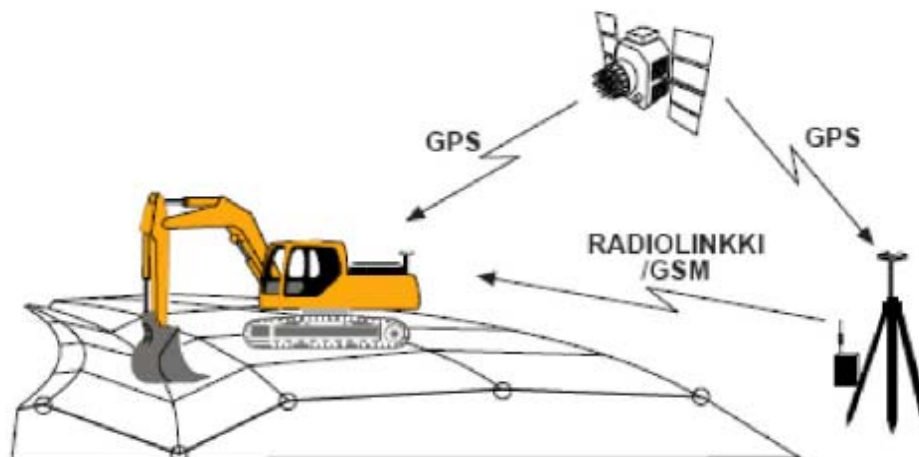
## 2 3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ TEORIASSA

### 2.1 3D-koneohjausjärjestelmä yleisesti

Rakennustyömaa on kuin mikä tahansa tuotantoprosessi. Työvaiheita jotka liittyvät tiiviisti toisiinsa on paljon ja niiden onnistuminen vaatii edellisen toteutumista. Koko toimintakokonaisuuden optimoimiseksi on tärkeää, että laitteet toimivat ja ovat luotettavia. Toimivilla laitteilla sekä tehokkaalla käytöllä saadaan leikattua kustannuksia, nopeutettua työtä ja lisättyä tarkkuutta. (Topgeo: perinteisistä korkeusjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin 2012).

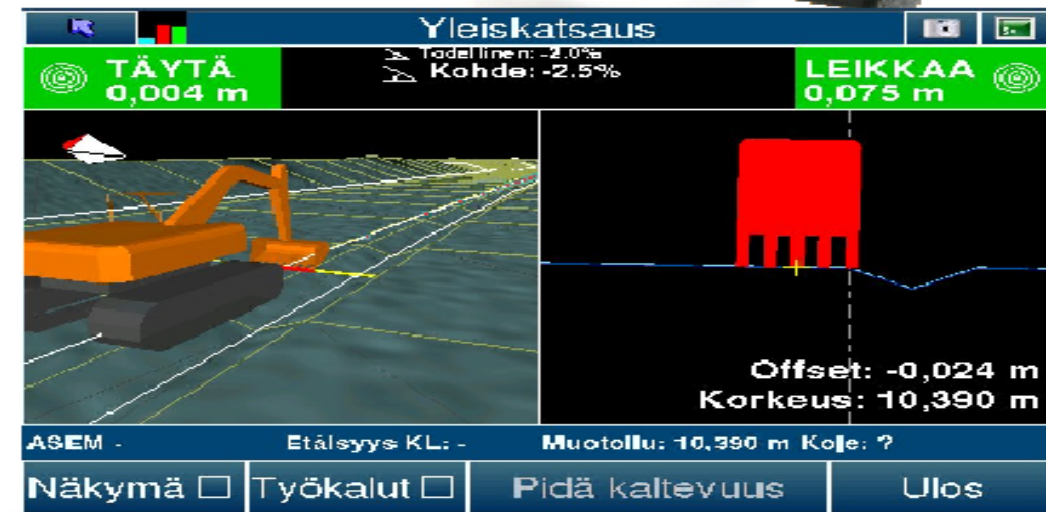
Kuten jo johdannossa mainittiin, perinteisellä tavalla suunnitellussa työmaassa digitaalinen malli siirretään mittamiehen toimesta maastoon merkkien avulla. Operaatio on työläs ja siihen kuluu aikaa. 3D-koneohjausjärjestelmää käyttäessä digitaalinen malli siirretään suoraan työkoneeseen, jolloin yksi työvaihe jää kokonaan pois ja mittamiehen tarve vähenee. Työkoneesta tulee mittamiehen välineisiin verrattava mittalaite. Tämä toimenpide säästää aikaa ja vaivaa, sekä vähentää inhimillisten erehdysten mahdollisuutta.

(Topgeo: Perinteisistä korkeusjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin 2012).



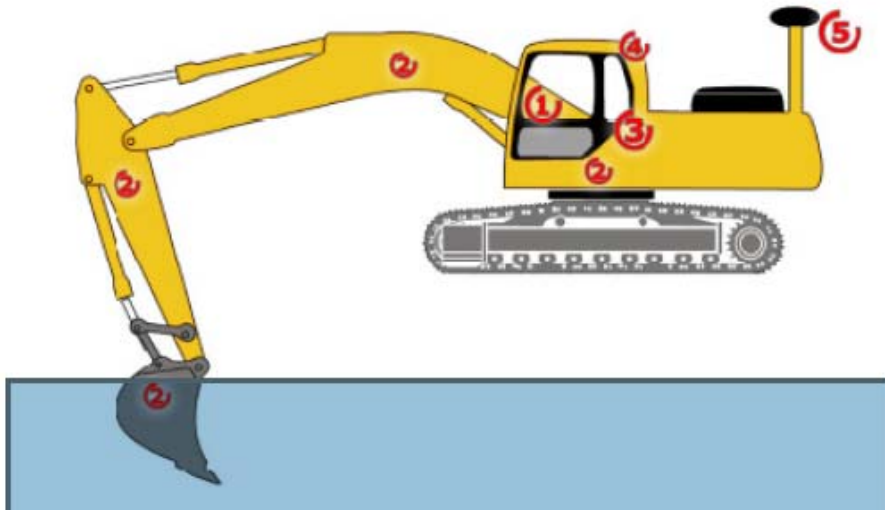
KUVA 1. RTK-GPS-mittaus (Nieminen 2011, 15).

Yksinkertaisuudessaan 3D-koneohjausjärjestelmällä tarkoitetaan sitä, että suunnittelijalta saatava digitaalinen malli ladataan työkonessa sijaitsevaan tietokoneeseen, jolloin työkonen hytissä sijaitseva näyttö opastaa kuljettajaa suorittamaan työn oikeilla mitoilla suunniteltuihin korkoihin ja kallistuksiin, sekä mahdollistaa tarkemittauksen (kuva 2). (Topgeo: Perinteisistä korkeusjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin 2012).



KUVA 2. Kuljettajan näkymä näytöltä (Topgeo: Perinteisistä korkeusjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin 2012).

3D-koneohjausjärjestelmää käyttävät kaivinkoneet on varustettu erikoisvahvoilla sensoreilla, jotka on sijoitettu turvallisiin paikkoihin niin, että kaivinkoneen jokaisen liikkuvan osan tiedot havaitaan (kuva 3). 3D-koneohjausjärjestelmässä koneen sijainti saadaan selville joko satelliittipaikannusta tai takymetriohjausta apuna käyttäen (kuva 1). (Topgeo: Perinteisistä korkeusjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin 2012).



KUVA 3. Sensoreiden sijainteja (Nieminen 2011, 8).

### 2.1.1 Takymetripaikannus kaivinkoneissa

Takymetri on kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia, sekä etäisyyksiä koneen sijaintipisteen ja havaintopisteen välillä. Takymetripaikannusta käytettäessä kaivinkoneissa takymetri on ensiksi orientoitava joko tunnetun pisteen mukaan, tai käyttämällä ns. vapaan asemapisteen menetelmää. Koneohjaussovelluksissa havaintoprisma on kiinnitetty työkoneeseen ja sitä mitataan maastokoordinaatistossa takymetrillä. Takymetri lähettää koneohjausjärjestelmälle reaaliaikaista tietoa prisman sijainnista kolmiulotteisessa maastokoordinaatistossa ja erikoisvahvat sensorit mittaavat kauhan terän sijainnin. Kun koneen terän sijainti tunnetaan, pystytään koneohjausjärjestelmän näytöllä osoittamaan kuljettajalle etäisyyksiä suunnitelman mukaisista linjoista ja koroista. (Nieminen 2011, 10).

Takymetrimittausta käytettäessä on takymetrin ja koneen välillä oltava esteetön näköyhteys, (kuva 4) mutta työkoneen nopeus ja työolosuhteiden vaihtelevaisuus voi aiheuttaa siinä ongelmia. Takymetrimittaus on tällä hetkellä GPS-järjestelmää tarkempi korkeuden määrittämisessä, mutta mittauksen vaatima esteetön näköyhteys asettaa suuria rajoituksia. (Nieminen 2011, 11).



KUVA 4. Takymetri ohjattu tiehöylä (Nieminen 2011, 14).

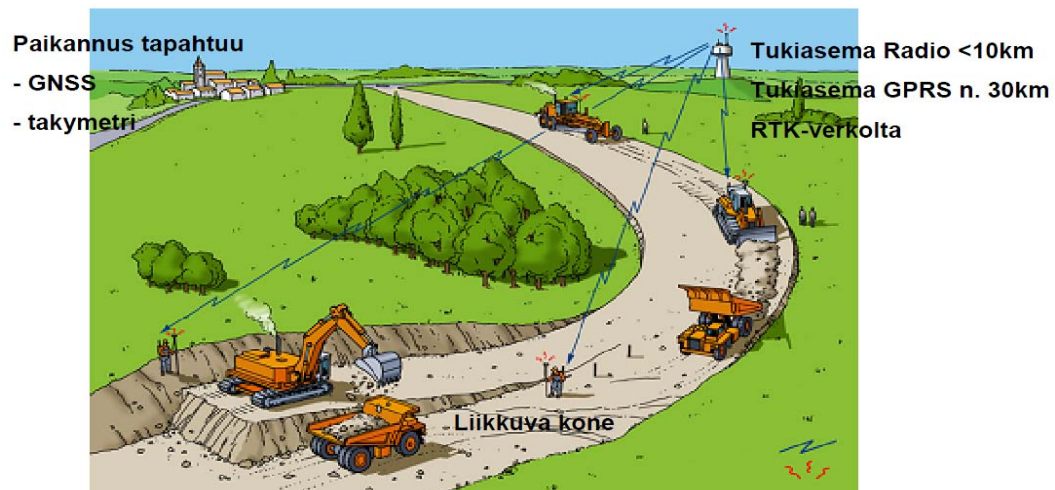
### 2.1.2 Satelliittipaikannus kaivinkoneissa

Yhä useammalla työmaalla Suomessa hyödynnetään 3D-koneohjausjärjestelmän tuomia etuuksia. Tuottavuuden kasvu paranee kymmenillä prosenteilla, koska maastoon tehtävät merkinnät jäävät pois ja työ voidaan tehdä kerralla loppuun. Eritoten tämä korostuu tehtäessä moneen suuntaan kallistuvia pintoja. (Autokanta: 3D-koneautomaatiolla kustannukset ja aikataulut pysyvät kurissa 2012).

Paikannussatelliitit kiertävät maata noin 21 000 km:n korkeudessa. Signaalin kulkumatka on pitkä ja altis häiriötekijöille. Nykyajan satelliittipaikannuksen häiriötekijät voidaan kuitenkin minimoida erittäin tehokkaasti hyväksikäyttäen tukiasemia. 3D-koneohjausjärjestelmän edellyttämää paikkatietoa voidaan tuottaa maapalloa kiertävien satelliittien avulla. (Nieminen 2011, 15 ).

Satelliittipaikannuksella tarkoitetaan kohteen sijainnin määrittämistä maapalloa kiertävien satelliittien avulla. Työkoneessa sijaitseva kartoitusyksikkö määrittää sijaintinsa kolmiulotteisessa koordinaatistossa ja koneohjausjärjestelmä yhdistää kartoitusyksikön, sekä sensoreiden tuottaman datan, jolloin kauhankaavan tarkka sijainti määrittyy. Satelliittisignaalin pitkän kulkumatkan vuoksi ilmenee kuitenkin mittavirheitä, joita pystytään pienentämään tunnetulle pisteelle sijoitetun tukiaseman korjaussignaalin avulla (kuva 5). Korjaussignaali voidaan lähettää myös radioteitse, Internetin välityksellä tai GSM-

verkkoa hyväksi käyttäen. Nykyajan satelliittitekniikalla voidaan päästä tukiasemien ansiosta jopa  $\pm 1\text{cm}$ :n tarkkuuteen. (Nieminen, J-M. 2011. 15).



KUVA 5. Tukiaseman toimintaa (Salonen 2011).

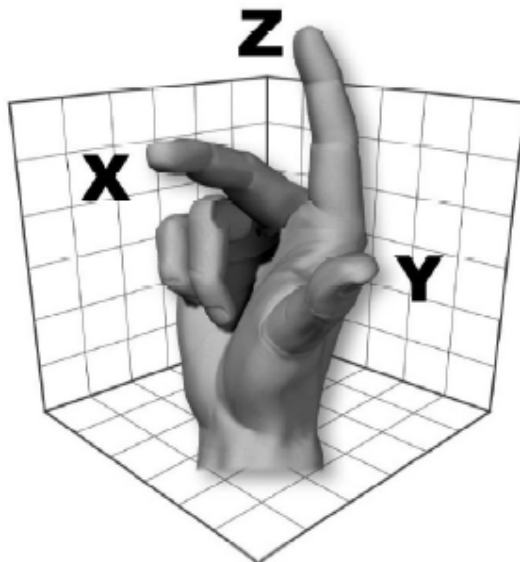
## 2.2 3D-koneohjausjärjestelmän toiminta

3D-koneohjausjärjestelmän toiminta perustuu takymetrin tai satelliittipaikannuksen tuottamaan sijaintidataan sekä kaivinkoneessa sijaitsevien sensoreiden toimintaan. 3D-koneohjausjärjestelmässä paikkatieto ja suunnitelmat yhdistetään, jolloin kuljettaja pysyy rakentamaan tarkasti mallin mukaisesti. Koneen toimintoja ohjaa siis edelleen kuljettaja, mutta hän pystyy hytissään sijaitsevan näytön avulla näkemään suunnitelmat ja oman koneensa paikan suhteessa suunnitelmiin ja maastoon (kuva 6).



KUVA 6. 3D-ohjausjärjestelmän näkymä kuljettajalle (Kuva: Ville Piironen)

3D-koneohjauksessa terän tai kauhan sijainti voidaan osoittaa yksiselitteisesti. Tällöin puhutaan koordinaateista X, Y ja Z. 3D-järjestelmissä yhdistetään koneohjaus ja paikkatieto. Koneeseen sijoitettu anturijärjestelmä määrittää tietoa puomien asennosta jonkun koneessa olevan pisteen suhteen. Tuntemalla koneen sijainnin kolmiulotteisessa koordinaatistossa voidaan kauhalle määrittää yksiselitteinen sijainti XYZ-avaruudessa. (Nieminen 2011, 11).

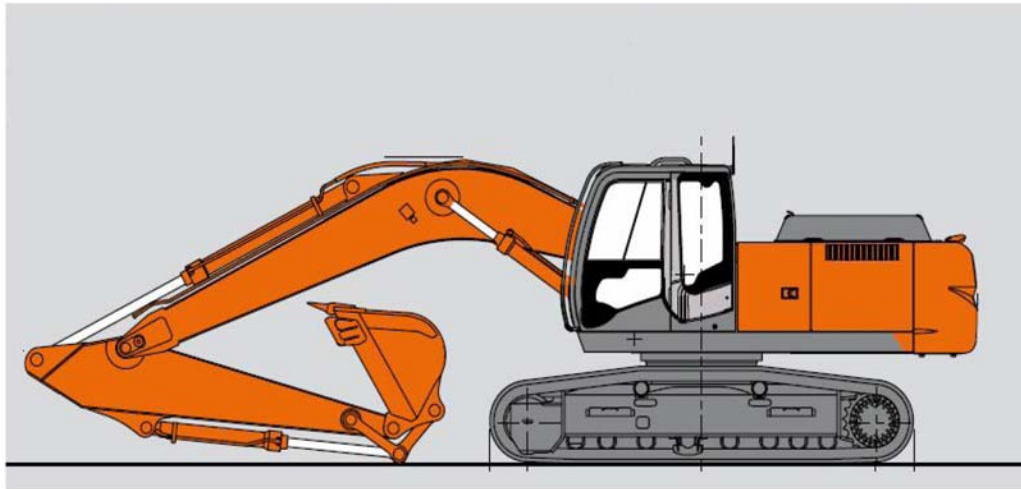


KUVA 7. Kolmiulotteinen koordinaatisto (Nieminen 2011, 11).



Rakennussuunnitelmissa esitetyt kohteet on sidottu maastokoordinaatistoon. Tuomalla sähköinen suunnitelma-aineisto koneohjausjärjestelmän tietokoneelle, voidaan kauhan sijaintia verrata suunnitelman osoittamiin tietoihin. Kuljettajan näytölle saadaan reaaliaikainen kuva rakennussuunnitelmasta ja koneen sijainnista suunnitelmakartalla. Kun suunnitelmista luodaan kolmiulotteinen maastomalli, jossa kaikilla pisteillä on sijainti XY-tasossa ja korkeussuunnassa Z. Kuljettaja näkee valmiin pinnan muodon ja kauhan etäisyyden pinnasta ja valitusta linjasta.(kuva 7). (Nieminen 2011, 12).

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <p><b><u>1. Koneen sisäinen paikannus</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kaltevuusanturit</li> <li>• laskentayksikkö</li> </ul> <p>→ terän sijainti<br/>(koneen sis. koordinaatisto)</p> | <p><b><u>2. Ulkoinen paikannus</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• RTK-GPS/Glonass -vastaanotin</li> <li>• laskentayksikkö</li> </ul> <p>→ terän sijainti<br/>(ulkoinen koordinaatisto)</p> | <p><b><u>3. Ohjausjärjestelmä</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tietokone ja sovellus</li> <li>• näyttö</li> <li>• 3D-totutusmalli</li> </ul> <p>→ terän sijainti<br/>suunnitelmaan nähden</p> |
|--|--|---|



KUVA 8. Järjestelmäkokonaisuus kaivinkoneessa (Meriläinen 2010, 17).

3D-koneohjausjärjestelmää käyttävän työkoneen sisäinen paikannusjärjestelmä (anturi-järjestelmä tai kaltevuusautomaatiikka) sisältää kaltevuusanturit sekä laskentayksikön, jotka kertovat terän reaaliaikaisen sijainnin koneen sisäisessä koordinaatistossa (kuva 8).

Ulkoinen paikannusjärjestelmä kertoo sijainnin ulkoisessa koordinaatistossa laskentayksikön, RTK-GPS/GLONASS-vastaanottimen ja antennin tai vaihtoehtoisesti takymetrin avulla. Ohjausjärjestelmä käsittää näytön ja tietokoneen, jonka sovelluksessa 3D-koneohjausmalli toimii. Ohjausjärjestelmä näyttää koneen kuljettajalle terän sijainnin suunnitelmaan nähden. (Meriläinen 2010, 17).

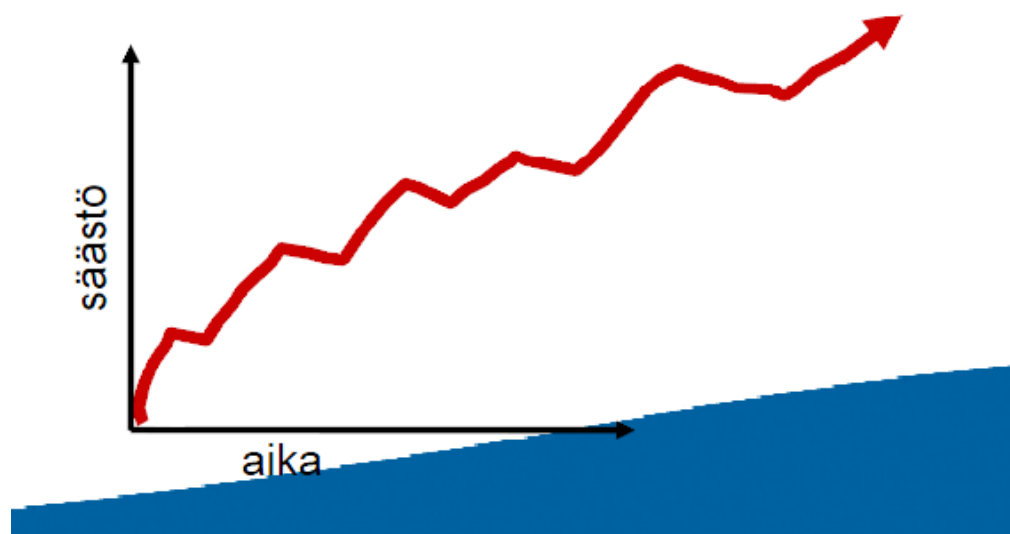


### 3 3D-KONEOHJAUKSELLA SAAVUTETTAVAT HYÖDYT

#### 3.1 Hyödyt 3D-koneohjausjärjestelmällä

3D-koneohjauksen avulla saavutettavat hyödyt ovat huomattavia verrattaessa normaalin kaivinkoneen toimintaan (kuva 9). Työn tarkkuus paranee ja töitä voidaan tehdä olosuhteista riippumatta esimerkiksi yöllä, kovassa sumussa tai veden alla. Työturvallisuus paranee myös huomattavasti, koska koneen lähettyvillä ei tarvita mitta- tai apumiestä osoittamaan korkoja työkoneen kuljettajalle. Lisäksi 3D-koneohjausjärjestelmällä saavutettavia hyötyjä ovat (Salonen 2011).

- tikuton työmaa
- työmaasuunnitelma suoraan näytöltä
- merkittävät säästöt ajassa ja mittauskustannuksissa
- säästöjä polttoainekustannuksissa
- säästöjä materiaaleissa
- kuljettajan motivaation kasvu
- laadunvalvonnan tehostuminen
  - tarkkeet suoraan työkoneesta
  - tehdyn työsuorituksen tallennus.



KUVA 9. Kustannussuhde (Salonen 2011).

### 3.1.1 Tikuton työmaa

Tikuton työmaa on 3D-koneohjauksen tuoma hyöty, josta saadaan merkittävät säästöt mittauskustannuksissa. Niin sanottu normaali rakennuskäytäntö on, että mittamies käy merkitsemässä maastoon työstettävien alueiden pääpisteet sekä mittaamassa tarvittavat korot ja kallistukset merkkeihin. Merkkien asennuksen jälkeen mittamiehen pitää vielä selvittää työkoneen kuljettajalle mitä merkit osoittavat käyttäen hyväksi paperisia suunnitelmakuvia. Tämän jälkeen työkoneen kuljettaja voi merkkien avulla aloittaa työnsä. Tässä työvaiheessa on huomattavasti riskitekijöitä ja asioita, jotka monimutkaistavat työmaata. Normaalista tikkumittauksesta johtuvia riskitekijöitä ovat:

- mittamiehen ja työkoneen kuljettajan välinen kommunikointi
- merkkitikkujen liikkuminen
- mittamiehen mittavirheet
- merkkien havainnoitavuus
- merkkien edessä oleminen

3D-koneohjausjärjestelmää käyttämällä nämä riskitekijät saadaan poistettua kokonaan. 3D-koneohjausjärjestelmän avulla työkoneenkuljettajan tarvitsemat mitat näkyvät suoraan hänen työkoneensa sisällä sijaitsevalta näytöltä, jolloin saadaan poistettua monta työmaata hidastavaa ja riskejä aiheuttavaa tekijää (kuva 10). Lisäksi päästään huomattavasti tarkempaan lopputulokseen.



KUVA 10. Työskentely 3D-monitorilta (Kuva: Ville Piironen)

### 3.1.2 Työmaasuunnitelma suoraan näytöltä

Työmaasuunnitelman tuominen suoraan työkoneen näytölle on merkittävä edistysaskel työn tehon parannuksen kannalta. Normaalisissa työsuorituksissa kaivinkoneen kuljettajan on seurattava työtään paperisilta suunnitelmakuvilta, jotka ovat erittäin alttiita vaurioitumiselle ja hitaita lukea. Lisäksi hänen on osattava yhdistää mielessään mittamiehen merkitsemät merkit (kuva 11) suunnitelmakuviin. Kaivaessaankin hänen on pyydetävä aika ajoin mitta- tai perämiestä tarkistamaan työnsä jälkeä erinäisillä mittauslaitteilla. Kaivinkoneen maksimitehon kannalta nämä toiminnot aiheuttavat virheitä ja hidastavat merkittävästi työtä.



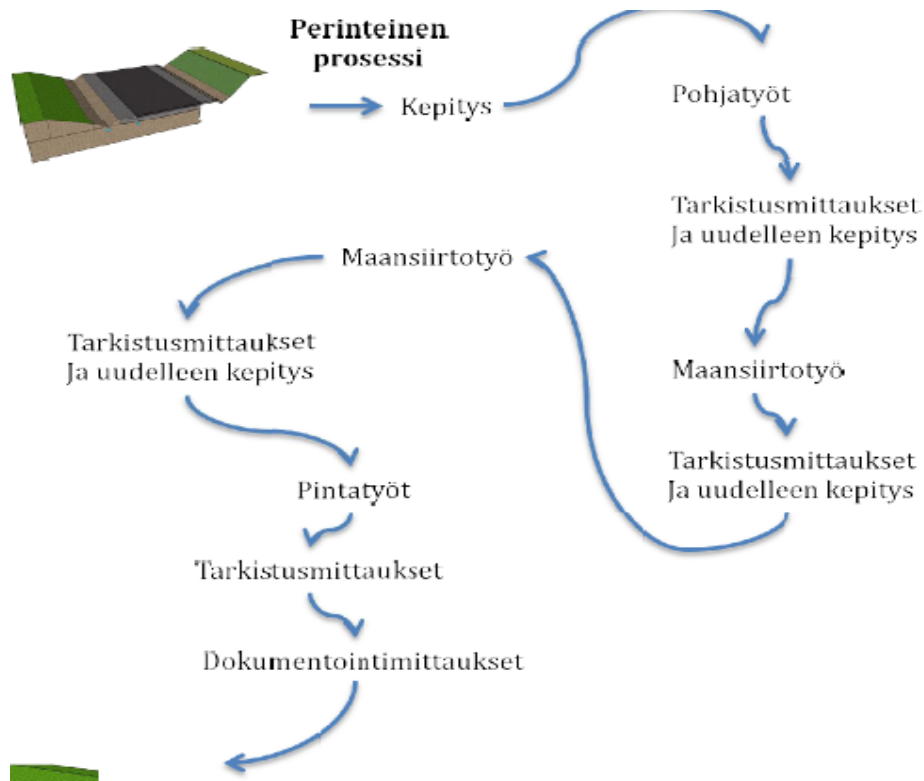
KUVA 11. Mittatikuilla merkittyä tielinjaa (Kuva: Ville Piironen)

3D-koneohjausjärjestelmällä rakentaessa kaivinkoneen kuljettaja pystyy reaaliajassa seuraamaan työtään näytöltä, tarkemmittamaan työnsä ja rakentamaan kerralla suunnitelmien mukaisesti. Kaivinkoneen kuljettajan työn mielekkyys kasvaa huomattavasti, kun ei ole riippuvainen muiden työntekijöiden työstä, työn oikeellisuuden saavuttamiseksi, eikä hänen tarvitse selata paperisia suunnitelmakuvia. Kun työmaasuunnitelma näkyy suoraan työkonene näytöllä, vähennetään perämiehen ja mittamiehen tarvetta ja pystytään toimimaan tehokkaammin olematta muista riippuvaisia. Lisäksi voidaan itse tarkistaa todelliset korot, kaadot, täytöt ja leikkaukset.

### 3.1.3 Säästöjä ajassa ja mittauskustannuksissa

Säästöjen saavuttaminen ajassa ja mittauskustannuksissa on 3D-koneohjausjärjestelmän avulla todella yksinkertaista. Kun ajatellaan perinteistä tietyö prosessia, (kuva 12) on se pääpiirteissään seuraavanlainen: suunnittelija tekee piirustukset tietokoneella, mutta suunnitelmat välitetään eteenpäin paperitulosteina. Mittamies lähtee työmaalle suunnitelmat ja mittalaite mukanaan ja merkitsee puutikuilla ensimmäisen vaiheen linja- ja korkomerkinnät. Seuraavaksi maansiirtokoneet valtaavat alueen ja yrittävät parhaansa mukaan noudattaa korko- ja linjamerkintöjä sekä visualisoida merkkien välisiä matkoja. Merkkeihin ei voi luottaa, koska ne ovat erittäin alttiita ulkoisille häirtatekijöille ja jou-

tuvat usein yliajatuksi. Koneiden seassa mittamiehet tekevät tarkistusmittauksia ja seuraavan vaiheen korko- ja linjamerkintöjä. Merkinnästä, maansiirrosta, tarkistusmittauksista ja korjauksista muodostuvaa ketjua toistetaan kunnes työ on valmis.



KUVA 12. Perinteinen maanrakennusprosessi (Kauppinen 2010, 2).

Modernissa maanrakennusprosessissa (kuva 13) suunnittelijalta saatavat kuvat ovat digitaalisia ja ne ladataan suoraan maansiirtokoneen 3D-koneohjausjärjestelmään, jolloin koneen hytissä oleva näyttö ilmoittaa reaaliajassa oikeat korot ja linjat sekä mahdollistaa työn oikeellisuuden ja laadun reaaliaikaisen seurannan. Modernilla maanrakennusprosessilla saavutetaan jopa 30–50% säästöjä ajassa ja mittauskustannuksissa, koska maansiirtokone toimii itse mittaajana. (Kauppinen 2010, 3).



KUVA 13. Moderni maanrakennusprosessi (Kauppinen 2010, 2).

### 3.1.4 Säästöjä polttoainekustannuksissa

Polttoainekustannuksissa syntyvät säästöt ovat 3D-koneohjausjärjestelmällä helppo saavuttaa. Perinteisessä kaivamisessa kaivinkone joutuu useasti kaivamaan samaa kohtaa, korjailemaan töitään sekä odottamaan muita varmistuakseen työn oikeellisuudesta. Pienimmänkin putkikaivannon arinan kaivaminen voi kestää useita tunteja perinteisellä kaivutekniikalla, koska mitat ovat epäselviä, eikä oikeellisuutta voida todentaa muuten kuin mittamiehen toimesta. (Mitta: Novanet GNSS-tukiasemapalvelu 2012).

3D-koneohjausjärjestelmää käyttämällä työn oikeellisuus havaitaan heti, jolloin kaikki turha korjaaminen ja odottelu jäävät prosessista pois (kuva 14). Näin työn tuottavuus paranee ja työtunnit vähenevät, jolloin polttoainekustannuksista aiheutuvat kulut saadaan minimoitua, koska ei tule turhaa työtä. Lisäksi polttoainekustannuksissa syntyviä säästöjä luovat henkilöstön tarpeen väheneminen ja mittatarkkuuden paraneminen.



KUVA 14. Putkikanaalin näkyminen 3D-monitorilta (Kuva: Ville Piironen)

### 3.1.5 Säästöjä materiaaleissa

Perinteiseen tapaan rakentaessa kaivinkone seuraa mittamiehen asentamien mittatikkujen mukaisia korkoja ja linjoja. Merkit ovat yleisesti asennettu 10–20 metrin välimitalla ja niihin on laitettu monta eri korkomerkinä. Merkkien seuraaminen on haastavaa työtä ja yleensä apuna käytetään erinäisiä mittalinjureita, joiden avulla yritetään silmämääräisesti seurata korkolappujen välistä korkoa. Mikäli pinta-alaltaan hehtaarin kokoiselta tialueelta kaivetaan 20 senttimetriä liikaa maa-ainesta pois, niin on tontilta turhaan siirretty noin 2000 kuutiometriä maa-ainesta, mikä vastaa noin 150:tä kolmiakselillista kuorma-auton hyötykuormaa.

3D-koneohjausjärjestelmällä kaivaessa kaivinkone kuljettaja näkee korot ja linjat hyttisään sijaitsevalta näytöltä kokoajan yhden senttimetrin tarkkuudella eikä ylisyvän kuopan kaivamista pääse syntymään. Materiaalisäästöt ovat huomattavia 3D-koneohjausjärjestelmän avulla, koska päästään lähemmäksi todenmukaisia leikkaus-, täyttö- ja arinakorkoja. (Kauppinen 2010, 2).

### 3.1.6 Tehoja työntekoon

Vain muutos on pysyvää, etenkin työelämässä. Voimakkaat muutokset, kasvavat tulosvaatimukset ja uudet tehtävät kasaavat esimiehille ja työntekijöille päivä päivältä enemmän paineita. Kiihtyvä työtahti edellyttää jatkuvasti uusia taitoja joihin vastaaminen on menestyksen ehto. (Introspekt: Työnohjaus antaa tukea muutokseen ja kehitykseen 2012).

Asennettaessa betonista rumpuputkea perinteiseen tapaan, työ alkaa kun mittamies menee maastoon merkitsemään rumpulinjan sekä leikkauskoron. Tämän jälkeen kaivinkone pääsee kaivamaan linjan auki ja apumiehen avustuksella asentamaan arinan. Kun arina on tehty ja tarkistettu voi kaivinkone ryhtyä asentamaan betonista rumpuputkea. Betonisen rumpuputken asennuksen jälkeen mittamies käy vielä tarkemittaamassa putken, jonka jälkeen kaivinkone voi alkaa täyttämään kaivantoa.

Prosessi on yksinkertainen mutta aikaa vievä, koska joudutaan odottamaan mittaryhmää ja tulkitsemaan merkittyjä korkoja. Lisäksi prosessiin vaikuttaa voimakkaasti sääolosuhteet ja mittamerkkien kaatuminen.

3D-koneohjausjärjestelmällä rakentaessa voidaan työt suorittaa ilman mittaryhmää, jolloin sen odottamiseen ei kulu aikaa. Vaikeissa sääolosuhteissa työskentelykin onnistuu hyvin, koska 3D-koneohjausjärjestelmällä työskennellessä kaivinkone ei tarvitse erillisiä mittamerkkejä, vaan näkee rakennettavat linjat ja korot suoraan hytissä sijaitsevalta näytöltä. Näyttö myös mahdollistaa vapaamman työskentelyn, koska ei tarvitse varoa erillisiä mittamerkintöjä ja voidaan rakentaa kerralla oikein (kuva 15). Lisäksi 3D-koneohjausjärjestelmällä voidaan tarkemmitata tarvittavat asiat viemällä kauhan huulen keskipiste mitattavan asian päällä ja tallentamalla koordinaatit järjestelmään. Työnteon tehot kasvavat siis huomattavasti 3D-koneohjausjärjestelmällä ja koneen kuljettaja voi keskittyä omaan työsuoritukseensa olemalla riippumaton muista.





KUVA 15. 3D-järjestelmällä tehtyä luiskaa (Kuva: Ville Piironen)

### 3.1.7 Parempaa työnjälkeä

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. (Mäntykivi 2011, 5).

Satelliittipaikannuksen käyttö koneohjauksessa on yleistynyt ja varmasti yleistyy edelleen. Tekniikkaa voidaan soveltaa lähes mihin tahansa koneeseen. Satelliittipaikannuksen avulla koneen sijainti maastossa voidaan määrittää olosuhteista riippumatta työlaitteisiin asennettujen sensoreiden avulla. 3D-koneohjauksella saavutettavat työnjäljen parannukset muodostuvat seuraavista tekijöistä

- kauhan sijainnin näkyvyys suunnitelmapohjalla
- koneen sijainnin näkyvyys suunnitelmapohjalla
- reaaliaikainen tieto sijainnista
- mahdollisuus kaivaa paikoista joihin muuten ei näkisi
- työnjäljen näkyminen reaaliajassa.

### 3.1.8 Parempi työmotivaatio

3D-koneohjauksella saavutettava parempi työmotivaatio syntyy tavoitteiden luomisella ja selkeillä tuloksilla. Perinteisellä maanrakennustyömaalla kaivinkoneenkuljettaja kaivaa mittatikkujen mukaan, pystymättä itse tarkistamaan kaivettujen alueiden tuloksia tai vaikuttamaan työhön (kuva 16). Siirtyessä käyttämään 3D-koneohjausta pystyy hän itse tarkistamaan työnsä jäljen ja suunnittelemaan töitään eteenpäin. Nämä asiat luovat kaivinkoneenkuljettajaan välittömästi tärkeyden tunnetta ja innostavat häntä työskentelemään paremmin.

Paremmalla työmotivaatiolla saavutetaan tehokkaampaa, nopeampaa ja tarkempaa työskentelyä, jotka vaikuttavat työn tulokseen. (Magneettimedia: Näin parannat työmotivaatiota 2012).



KUVA16. 3D-järjestelmällä rakennettua kevyen liikenteen väylää (Kuva: Ville Piironen)

## 4 3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ KANTVIK-STRÖMSBY

### 4.1 Kantvik-Strömsby

Urakka Kantvik-Strömsby KU mt 1191 käsitti kevyen liikenteen väylän (plv 3-2420) ja Sepänkankaan alikulkukäytävän rakentamisen, sekä mt 1191 parantamisen mukaan lukien edellä mainittujen alueiden pilaantuneiden maiden poiston siinä laajuudessa kuin se on rakennussuunnitelma-asiakirjoissa määritelty kaikkine töineen, materiaaleineen, varusteineen ja laitteineen sisältäen myös liikennejärjestelyt ja urakkasopimusluonnoksen.

Koneurakoitsijaksi urakkaan valittiin kuljetusliike Äijälä, joka on perheyritys ja jonka päätoimialue on maanrakennus. Kuljetusliike Äijälä valittiin heidän vankan kokemuksensa perusteella ja heidän valttina toimivan nykyaikaisen GPS-tekniikalla varustetun konekaluston takia. Kuljetusliike Äijälän tarkan työn mahdollistaa mittauksessa käytettävä Scanlaserin GPS-ohjattu 3D-kaivujärjestelmä, jonka avulla työ tahdottiin toteuttaa.

Scanlaser on luotettu koneohjaus- ja työmaan paikannusratkaisujen toimittaja Suomen rakennus- ja vesirakennusmarkkinoilla. Scanlaser on vuodesta 2006 lähtien kuulunut Hexagon ryhmään, joka on johtava, maailmanlaajuinen 3D-ratkaisujen toimittaja kohteiden suunnitteluun, mittaukseen ja paikannukseen sekä tietojen käsittelyyn ja mallintamiseen. Scanlaser tarjoaa kokonaisratkaisuja asiakkaille heidän tarpeidensa mukaan.

- konsultointi
- asennus
- huolto
- jatkuva tuki
- ”luokkansa paras palvelu”

(Scanlaser 2012).

Urakan Kantvik-Strömsby työmaapäällikköinä toimivat henkilöt, joilla ei ollut omakohtaista kokemusta 3D-koneohjaus- ja paikannussovelluksista, joten näkökohdat 3D-koneohjausjärjestelmien toiminnasta urakassa ovat tuoreita ja puolueettomia. Lisäksi

lähtökohdat 3D-koneohjausjärjestelmän käyttöönottoon kerrotaan näkökulmasta, missä mestarilla ei ole aikaisempaa kokemusta järjestelmästä.

## 4.2 Valmisteltavat työt

Urakkaa aloittaessa työmaapäällikön vähäisen 3D-koneohjaus kokemuksen johdosta koneurakoitsija, sekä Scanlaser tarjosivat työmaapäällikölle tarvittavan perehdytyksen 3D-koneohjausjärjestelmästä, jotta toimenkuvat ja järjestelmän käytäntö olisi selvä. Perehdytys oli muutaman tunnin mittainen ja siinä sovittiin, että kysymyksiä ilmaantuessa työmaapäällikkö voi ottaa yhteyttä Scanlaseriin tai koneurakoitsijaan, jotka antavat jatkuvaa tukea 3D-järjestelmään liittyen.

Jotta työt voitiin aloittaa, täytyi koneurakoitsijan toimittaa työmaalle tukiasema, (kuva 17) joka lähettää korjaussignaalia 3D-koneohjausjärjestelmillä varustettuihin kaivinkoneisiin, jotta kaivinkoneiden tarkkuudessa päästäisiin mahdollisimman tarkaksi (+-1-3cm).



KUVA 17. Tukiasema (Kuva:Ville Piironen)

Lisäksi koneurakoitsijan täytyi toimittaa 3D-koneohjausjärjestelmillä varustetut kaivinkoneet työmaalle ja kalibroida ne yhdessä Scanlaserin henkilökunnan kanssa, jotta järjestelmä saatiin koneurakoitsijan kannalta toimintakuntoon.

Työmaamestarin toimenkuvaan työn aloittamiseksi kuului käydä DWG-suunnitelmat läpi ja selvittää onko mittalinjat piirretty 3D-mallinnuksen mukaisesti niin, että niitä voidaan käyttää 3D-koneohjauksessa. Työmaamestarin ottaessa yhteyttä suunnittelijaan tuli kumminkin vastaan ongelma, että kuvat eivät olleet oikeassa muodossa. Jotta DWG-suunnitelmakuvat saataisiin liitettyä 3D-järjestelmään, pitivät ne muokata oikeaan mallinnusmuotoon, jonka hoitivat yhteistyössä tilaajan suunnittelijat, Scanlaserin henkilökunta ja koneurakoitsijan omat mallintajat.

Kuvien tarkistuksen lisäksi työmaamestarin toimenkuvaan kuului tilata työmaalle kaapelinäytöt ja mittauttaa kaapelit, jotta ne näkyisivät myöhemmin suoraan 3D-järjestelmän suunnitelmakuvissa, jolloin kaivinkoneenkuljettajat näkisivät ne koneissa sijaitsevilta näytöiltä, missä reaaliaikainen seuranta tapahtuu. ( kuva 19)

Kuvien muokkauksen, kaapeloinnin mittauksen ja koneiden kalibroinnin jälkeen työt voitiin aloittaa poistamalla pintamaat ja leikkaamalla pohja oikeaan tasoon (kuva 18).



KUVA 18. Leikattua pohjaa (Kuva: Ville Piironen)





KUVA 19. Työskentely 3D-monitorilta (Kuva: Ville Piironen)

### 4.3 Toiminta

#### 4.3.1 Pintamaan poisto ja pohjan leikkuu

3D-koneohjausjärjestelmän toiminta pintamaan poistossa ja pohjan leikkauksessa osoitautui erittäin käytännölliseksi. 3D-koneohjausjärjestelmää käyttävät koneen kuljettajat pystyivät poistamaan pintamaat ja leikkaamaan pohjan oikeaan korkoon, ilman minikäänlaisia mittamerkintöjä maastossa, mikä nopeutti työskentelyä huomattavasti.

Lisäksi mittamiehen tarve poistui sekä perämiesten tarve väheni huomattavasti. Näin pintamaan kaivuussa ja pohjan leikkauksessa säästettiin huomattavasti aikaa sekä rahaa.

Pois ajettavan maa-aineksen määrissä säästettiin myös, koska ylimääräinen massojen siirtely väheni tarkkojen mittojen ansiosta. Leikkaukset ja luiskat tarvittavineen kaatoineen ja kaltevuuksineen voitiin tehdä kerralla oikein. 3D-koneohjausjärjestelmän ansiosta kaivinkoneet pystyivät myös itse tarkemittaamaan työnsä jäljen, suunnittelemaan töitensä eteenpäin ja havaitsemaan aikaisemmin mitatut kaapelit maastossa etukäteen.

### 4.3.2 Kaapelien suojaputkien, kunnallistekniikan sekä kaivojen asennus

Suojaputkien, kunnallistekniikan sekä kaivon asennuksessa 3D koneohjausjärjestelmä osoittautui myös erittäin hyödylliseksi. Kaivinkoneet pystyivät tekemään pohjan leikkauksen yhteydessä tarvittavat putkikanaalien ja kaivojen leikkaukset sekä arinat ilman mittamiehen tarvetta. 3D-koneohjausjärjestelmän avulla työ oli myös huomattavasti tehokkaampaa, koska erillisiä mittatikkuja ei tarvittu, joten ne eivät olleet edessä hidastamassa työtä. (kuva 20)

Työteho nousi myös huomattavasti, koska kaivinkoneiden ei tarvinnut odotella mittamiestä antamaan tarvittavia mittoja tai ottamaan tarkkeita, sillä he pystyivät tekemään sen itse.

Putkikanaalien ja kaivojen arinoissa saavutettiin myös huomattavia materiaalisäästöjä, koska järjestelmän ansiosta ylisyvän kaivamista ei tapahtunut. Putkien ympärille tehtävissä täytöissä säästettiin myös parantuneen mittatarkkuuden ansiosta.



KUVA 20. Putkikanaali näytöllä (Kuva: Ville Piironen)

Perämiesten työtehtävät yksinkertaistuivat huomattavasti kaivinkoneen 3D koneohjausjärjestelmän ansiosta. Lisäksi perämiesten turvallisuus parani, koska heidän ei tarvinnut enää olla osoittamassa tasolaserin avulla kaivinkoneille oikeita korkoja (kuva 21).



KUVA 21. Perämiehen työskentelyä

### 4.3.3 Tiekerrosten rakentaminen

Tien rakennekerroksia rakennettaessa huomattiin myös 3D-koneohjausjärjestelmän tuomat hyödyt. Rakentaessa kerroksia ei tarvittu erillisiä merkintöjä, vaan kaivinkoneen kuljettaja pystyi hytissään sijaitsevan näytön avulla katsomaan oikeat korot, joka nopeutti huomattavasti työskentelyä. Rakennekerroksia tehtäessä säästöjä saatiin myös materiaaleissa hyvän mittatarkkuuden johdosta. (kuva 22)





KUVA 22. Suojaputkien asennusta sekä rakennekerroksia (Kuva: Ville Piironen)

3D-koneohjausjärjestelmällä rakennettaessa kerroksia huomattiin myös laadun huomattava paraneminen. Ennen niin vaikeiden luiskien ja kaarevien kohtien rakentaminen helpottui ja nopeutui (kuva 23).



KUVA 23. Työskentely 3D-monitorilta (Kuva: Ville Piironen)

#### 4.4 Työnjohdon näkemykset

Työnjohdon kannalta 3D-koneohjausjärjestelmä tuo mukanaan paljon uusia urakkaa helpottavia asioita, mutta myös paljon uutta muistettavaa ja opittavaa. Haastateltaessa työmaamestareita, jotka ovat käyttäneet, tai joilla on jo käytössä 3D koneohjausjärjestelmällä varustettuja kaivinkoneita, tuli ensimmäisenä esille, että järjestelmään ollaan todella tyytyväisiä ja sitä todella halutaan käyttää ja hyödyt ovat oikeita mitä sillä saavutetaan.

Tikuttomalla työmaalla työmaamestareiden mukaan nopeutetaan huomattavasti työtä, helpotetaan maansiirtoautojen ja muidenkin koneiden työskentelyä kun ei tarvitse enää varoa merkkien yliajtoa. Pienenä miinuksena tikuttomuudessa pidetään sitä, että ei itse voida hahmottaa niin helposti linjoja, kun ei ole mittoja maastossa, vaan joudutaan käymään tarkistamassa tilanne konekuljettajan näytöltä.

Työmaasuunnitelman näkyminen näytöltä työmaamestareiden mukaan auttaa koneen kuljettajia työskentelemään tehokkaasti ja suunnittelemaan töitensä itsenäisesti. Lisäksi työmaasuunnitelman näkymisellä vähennetään riskiä osua kaapeleihin tai vastaaviin, kun kaikki näkyvät suoraan näytöllä. Huonoja puolia työmaasuunnitelman näkymisessä ei havaittu tai se ei tullut haastatteluissa esiin.

Mittauskustannuksissa ja ajassa saavutettavat hyödyt tulevat mestareiden mukaan parhaiten esiin kun tehdään monimutkaisia leikkauksia tai teknillisiä asennuksia (kaapelien suojaputket, kaivot, salaojat jne.).

Muita saavutettavia hyötyjä, joita haastatteluissa tuli esiin, olivat laadun parantuminen, työmotivaation nousu ja mestareiden työn huomattava helpottuminen. Parannusehdotuksia tuli siihen, että koneiden tehtyä tietty rajattu alue, voisi mestari nähdä sen omalta koneeltaan niin, että voitaisiin suoraan todentaa mitat ja muut tarvittavat kynnyksarvot työn oikeudellisuuden varmistamiseksi. Lisäksi mestarit muistuttivat, että alkuperäis-suunnittelussa pitäisi jo ottaa 3D-järjestelmät huomioon niin, ettei suunnitelmakuvia tarvitsisi muokata ennen työnaloitusta koneille sopiviksi, niin kuin tällä hetkellä melkein aina tarvitsee.

## 5 TULOKSET KANTVIK-STRÖMSBY

### 5.1 Kustannukset

Urakassa Kantvik-Strömsby saavutettiin huomattavia kustannus säästöjä 3D-koneohjausjärjestelmällä. Merkittävimmät niistä syntyivät mittauskustannuksista sekä huomattavasti parantuneesta työtehosta.

Mittauskustannuksista syntyneet säästöt saavutettiin yksinkertaisesti siitä että mittamiestä ei työmaalla tarvittu, jonka ansioista mittamiehen palkkoihin kuuluva summa kirjattiin suoraan säästöksi. Lisäksi mittauskustannus säästöiksi kirjattiin useita ylimääräisiä konetunteja, koska työmaalla ei tarvittu myöskään normaalissa mittauksessa käytettäviä työmaata hidastavia maastomerkinöitä, jolloin työmaakuljetukset nopeutuivat sekä työmaaliikkuminen vauhdittui.

Parantuneesta työtehosta syntyneet säästöt olivat myös erittäin merkittäviä. Kaivinkoneet pystyivät työskentelemään täydellä teholla, koska työnseuranta omalta näytöltä on paljon tehokkaampaa kuin maastomerkinöistä. Lisäksi kaikki ylimääräinen odottaminen työn oikeellisuuden varmistukseksi jäi pois. Työtehoja syntyi myös perämiesten helpottuneesta työstä sekä mahdollisuudesta suunnitella töitä eteenpäin.

### 5.2 Toimintavarmuus

Työkoneautomaatio on Suomessa vasta aluillaan verrattuna Ruotsiin. Automaatiovarusteltujen työkoneiden määrä on vielä vähäinen ja siksi se onkin vielä keskisuurten ja suurten yritysten toimintaa. Työkoneautomaation avulla saavutetut tulokset ovat yrityksissä vielä salaista tietoa.

Urakassa Kantvik-Strömsby seurasimme kolmea 3D-koneohjausjärjestelmää käyttävää konetta aikavälillä 23.01.2012-22.03.2012. Seuranta tapahtui paikanpäällä seuraamisella ja koneen kuljettajille erikseen tehdyillä seurantalomakkeilla. Liite 1

Seurannassa ei havaittu mitään toimintavarmuutta heikentävää asiaa. Koneet työskentelivät vähintään 40 työtuntia viikossa. Kuljettajien täyttämistä lomakkeista kävi ilmi, että

3D-koneohjausjärjestelmän pelätty toimintavarmuus on täysi myytti, koska seurannassa ei ilmennyt yhtään tapausta, jossa koneisiin olisi tullut järjestelmän johdosta käyttökatko. Koneiden työt olivat todella monipuolisia aina maanleikkauksesta kaivojen ja kunnallistekniikan asennukseen. Lisäksi seurannassa tarkistettiin koneiden mittatarkkuus, jossa ei myöskään ollut mitään virhettä. Mittatarkkuus tarkistettiin joka viikko kuljettajien tekemän kalibroinnin yhteydessä.

### **5.3 Ongelmat**

3D-koneohjausjärjestelmässä havaittiin yksi suuri ongelma urakassa. Se oli suunnitelmien sopimattomuus. Työmaan alkaessa suunnittelijoilta saadut digitaaliset kuvat havaittiin sopimattomiksi 3D-koneohjausjärjestelmään. Tämä aiheutti muutaman viikon viivästyksen työn aloittamisessa, koska kuvat piti käytännössä piirtää uudelleen jotta ne saataisiin järjestelmässä toimiviksi. Kuvien uudelleen piirtämisen jälkeen työmaalla ei havaittu mitään 3D-koneohjausjärjestelmästä syntyneitä ongelmia, mutta työmaapäälliköiden mielestä mittatikkujen puuttuminen vaikeuttaa heidän oman havainnoinnin tekemistä.

Lisäksi kaivinkoneiden kuljettajat kertoivat että heidän vastuunsa työmaasta lisääntyivät huomattavasti ja se voidaan nähdä ongelmana.

## 6 PÄÄTELMÄT

Urakan Kantvik-Strömsby perusteella 3D-koneohjausjärjestelmä on tulevaisuuden rakentamista ja sen koulutusta sekä käyttöä pitää lisätä. 3D-koneohjausjärjestelmällä saavutetaan huomattavia säästöjä kustannuksissa ja parannetaan turvallisuutta. Sen avulla pystytään rakentamaan huomattavasti mittatarkempaa jälkeä sekä parantamaan laatua.

3D-koneohjausjärjestelmillä on mahdollisuus luoda aivan uudenlainen rakentamiskäytäntö, jossa inhimillisten virheiden määrä saadaan minimoitua ja rakennustyömaa onnettomuudet poistettua. 3D-koneohjausjärjestelmällä kehitetään myös ympäristöyställistä rakentamista ja vähennetään fossiilisten polttoaineiden kulutusta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda esitysmateriaali työnjohtajille 3D koneohjausjärjestelmästä, sen hyödyistä, sekä haitoista. Työssä asetettu lopputulos saavutettiin.

Viimeisenä päätelmänä 3D-koneohjausjärjestelmistä voi sanoa että se on rakentamistapa jolla tulevaisuudessa tullaan rakentamaan.

## LÄHTEET

Kauppinen, J. 2010. Kustannustehokas suuntima-anturi kaivinkoneen työnohjaukseen.  
Luettu 1.3.2012  
<http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6650/kauppinen.pdf?sequence=3>.

Koivisto, J. 2010. Satelliittipaikannus koneohjauksessa  
Luettu 11.2.2012  
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21020/Koivisto\\_Jukka.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/21020/Koivisto_Jukka.pdf?sequence=1).

Meriläinen, O. 2010. Työkoneautomaatio maanrakennustyömaalla.  
Luettu 02.02.2012  
<https://publications.theseus.fi/handle/10024/33678>.

Mäntykivi, J. 2011. 3D-koneohjauksen kannattavuus pienissä maanrakennuskohteissa.  
Luettu 13.2.2012  
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36209/Mantykivi\\_Jari.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36209/Mantykivi_Jari.pdf?sequence=1)

Nieminen, J-M. 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä.  
Luettu 11.01.2012.  
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27378/Nieminen\\_Juha-Matti.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27378/Nieminen_Juha-Matti.pdf?sequence=1)

Novanet GNSS-tukiasemapalvelu.  
Luettu 02.01.2012  
[http://www.mitta.fi/Services/machine\\_control.html](http://www.mitta.fi/Services/machine_control.html).

Magneettimedia: Näin parannat työmotivaatiota  
Luettu 11.02.2012  
<http://www.magneettimedia.com/?p=5569>.

Topgeo: Perinteisistä korkeusjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin.  
Luettu 2.1.2012  
[http://www.topgeo.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=121&Itemid=126](http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=121&Itemid=126)

Salonen, M. 2011. Kynnyskysymyksiä koneohjauslaitteiden hankinnassa.  
Luettu 19.01.2012

Tiehallinto 2008. Tienrakennuksen ekotehokkuuden parantaminen  
Luettu 05.02.2012  
[http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000637-v-tierakenn\\_ekotehokk\\_parant.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/4000637-v-tierakenn_ekotehokk_parant.pdf).

Introspekt: Työnohjaus antaa tukea muutokseen ja kehitykseen.  
Luettu 21.01.2012  
<http://www.introspekt.fi/tyonohjaus/>.

Autokanta: 3D-koneautomaatiolla kustannukset ja aikataulut pysyvät kurissa.

Luettu 02.01.2012

<http://www.autokanta.com/koneporssi/yritysuutisia/koneet/?x133234=1413364>.

## LIITTEET

### Liite 1. Konekuljettajien seurantalomake

Koneen Kuljettaja					
Päivätunnit	Järjestelmä päällä (3D)	Katkot ja syyt ?	Järjestelmä päällä tehdyt työt	Muut tehdyt työt ja tunnit	
					Maanantai
					Tiistai
					Keskiviikko
					Torstai
					Perjantai



**KUVALUETTELO**

- KUVA 1. RTK-GPS-MITTAUS s.11
- KUVA 2. KULJETTAJAN NÄKYMÄ NÄYTÖLTÄ s.12
- KUVA 3. SENSOREIDEN SIJAINTEJA s.13
- KUVA 4. TAKYMETRIOHJATTU TIEHÖYLÄ s.14
- KUVA 5. TUKIASEMAN TOIMINTAA s.15
- KUVA 6. 3D-OHJAUSJÄRJESTELMÄN NÄKYMÄ KULJETTAJALLE s.16
- KUVA 7. KOLMIULOTTEINEN KOORDINAATISTO s.16
- KUVA 8. JÄRJESTELMÄKOKONAISUUS KAIVINKONEESSA s.17
- KUVA 9. KUSTANNUSSUHDE s.19
- KUVA 10. TYÖSKENTELEY 3D-MONITORILTA s.21
- KUVA 11. MITTATIKUIILLA MERKITTYÄ TIELINJAA s.22
- KUVA 12. PERINTEINEN MAANRAKENNUSPROSESSI s.23
- KUVA 13. MODERNI MAANRAKENNUSPROSESSI s.23
- KUVA 14. PUTKIKANAALIN NÄKYMINEN 3D-MONITORILTA s.24
- KUVA 15. 3D-JÄRJESTELMÄLLÄ TEHTYÄ LUISKAA s.26
- KUVA 16. 3D-JÄRJESTELMÄLLÄ RAKENNETTUA KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLÄÄ s. 27
- KUVA 17. TUKIASEMA s.29
- KUVA 18. LEIKATTUA POHJAA s.30
- KUVA 19. TYÖSKENTELEY 3D-MONITORILTA s.31
- KUVA 20. PUTKIKANAALI NÄYTÖLLÄ s.32
- KUVA 21. PERÄMIEHEN TYÖSKENTELEYÄ s.33
- KUVA 22. SUOJAPUTKIEN ASENNUSTA SEKÄ RAKENNEKERROKSIA s.34
- KUVA 23. TYÖSKENTELEY 3D-MONITORILTA s.34