

Ilkka Grönberg

## **3D-KONEOHJAUKSEN HYÖDYT**

## **3D-KONEOHJAUKSEN HYÖDYT**

Ilkka Grönberg  
Opinnäytetyö  
Lukukausi kevät 2018  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka, yhdyskuntatekniikka

---

Tekijä(t): Ilkka Grönberg  
Opinnäytetyön nimi: 3D-koneohjauksen hyödyt  
Työn ohjaaja(t): Jarmo Erho  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018 Sivumäärä: 24

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä 3D-koneohjaukseen sekä selvittää siitä saatavat kustannukselliset hyödyt. Lisäksi tarkkailtiin minkälaisiin töihin laitteisto soveltuu parhaiten talojen pohja-, viemärointi- sekä pihatöissä.

Opinnäytetyössä seurattiin As Oy Lucquesin pohjarakennustöitä, joissa käytössä oli 3D-koneohjaus. Työtä varten tehtiin laskelmat ilman laitteistoa tehtävistä mittauskuluista. Lisäksi työtä varten haastateltiin Tampereen maanrakennuksen yhtä omistajista, aliurakoitsijaa, joilla laitteisto oli käytössä, sekä Iiro Villmania 3D-koppi-nimisestä firmasta.

Kustannuslaskennan ja työmaaseurannan perusteella havaittiin, että 3D-koneohjausta käyttämällä saatiin säästöjä niin mittaus- kuin apumieskuluissa. Tämän lisäksi työmaaseurannassa havaittiin, että kaivutarkkuus parani. Kaivutarkkuuden parantumien ilmenee materiaali säästöinä.

---

Asiasanat: 3D-koneohjaus, työkonemaatio, pohjarakennus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme in Civil Engineering, option of Municipal Engineering

---

Author(s): Ilkka Grönberg

Title of thesis: Benefits of 3D-Machine Control System

Supervisor(s): Jarmo Erho

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018 Pages: 24

---

The purpose of this thesis was to examine the 3D-machine control system generally. The goal of this thesis work is to find out where the machine control system is useful.

Calculations were made for surveying costs without and with the machine control system. The views about 3-D system were researched by interviewing a subcontractor who used the system, Iiro Villman from company where the system was rented and one of the owners of soil construction company Tampereen maanrakennus. The research where the machine control system was useful, was done by monitoring excavation work at a condominium company named Tampereen Luqques. At this worksite the our subcontractor used a machine control system first time.

Calculation of costs and worksite monitoring showed that 3D-machine control system save money. The biggest savings came from surveying and gravel materials.

---

Keywords: 3-D machine control system, excavation, worksite  
(List 3–7 keywords that describe your thesis. Use for example keywords from the following controlled vocabulary thesauri:

MeSH <http://www.yso.fi/onto/mesh/conceptscheme>

Agriforest [http://www-db.helsinki.fi/agri/agrisanasto/Welcome\\_eng.html](http://www-db.helsinki.fi/agri/agrisanasto/Welcome_eng.html)

Helecon <http://helecon3.hkkk.fi/helevoc/?lang=eng&dbname=MIX>)

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	6
2 3-D KONEOHJAUS	7
2.1 3D-koneohjauksen hyödyt sekä kustannukset	8
3 SATELLIITTIMITTAUS	9
3.1 GNNS-järjestelmä	9
3.2 Satelliittipaikannus	10
3.3 RTK-mittaus	11
3.4 Verkko-RTK	13
4 KONEOHJAUSMALLI	15
5 3D-KONEOHJAUS MÄNNISTÖNKADUN-KOHITEESSA	16
6 YHTEENVETO	21
LÄHTEET	22

# 1 JOHDANTO

Viime vuosina 3D-koneohjaus on yleistynyt huomattavasti kaivinkoneissa. On olemassa jo urakoita, joissa tilaaja vaatii sen käyttöä.

Oppinäytetyön tavoitteena on tutustua yleisesti 3D-koneohjaukseen, tutkia laitteiston hyviä ja huonoja puolia sekä selvittää, minkälaisissa töissä laitteistosta olisi eniten hyötyä. Työkohde, jossa koneohjausta seurataan, sijaitsee Tampereen Lentävänniemessä. Seurattavan kohteen maatyöt sisältävät sekä isoja massan leikkauksia sekä monitasoiset anturapohjat.

Oppinäytetyö tehdään yhteistyössä Tampereen maanrakennus TAMARA Oy:n kanssa. Tamaran päätoimialana ovat rakennusten pohjatyöt, pihat, kadut, tiet sekä muut kunnallistekniset työt.

## 2 3-D KONEOHJAUS

Talonrakennusurakoissa tehdään ensimmäisenä pohjatyöt, tavallisesti ennen kaivutöiden aloittamista mittaaja on suunnitteluaineiston pohjalta merkinnyt työmaalle kepeillä sekä korkolapuilla korot ja linjat. Kyseinen menettelytapa pitää sisällään myös ongelmia. Selkeän ja yksiselitteisen maastomerkin­nän tekeminen on haastavaa. Töiden edetessä joudutaan kohteita mittaamaan käsin mitalla. Kun toimitaan edellä mainitulla tavalla, virheiden mahdollisuus mittauksissa kasvaa. Lisäksi maastomerkin­nät voivat hävitä työtä suorittaessa tai ilki­vallen seurauksena. (1, s. 19.)

Koneohjauksen käytöllä pyritään välttämään edellä mainittuja ongelmia. Työkoneeseen voidaan asentaa antureita, satelliittipaikantimia sekä tietokone, jolloin sitä pystytään käyttämään mittalaitteena. Suunnitelma-aineisto on tällöin mahdollista siirtää suoraan työkoneeseen. Koneohjausjärjestelmää käyttämällä työ on mahdollista toteuttaa ilman mittaryhmän käyttöä. (1, s. 19.)

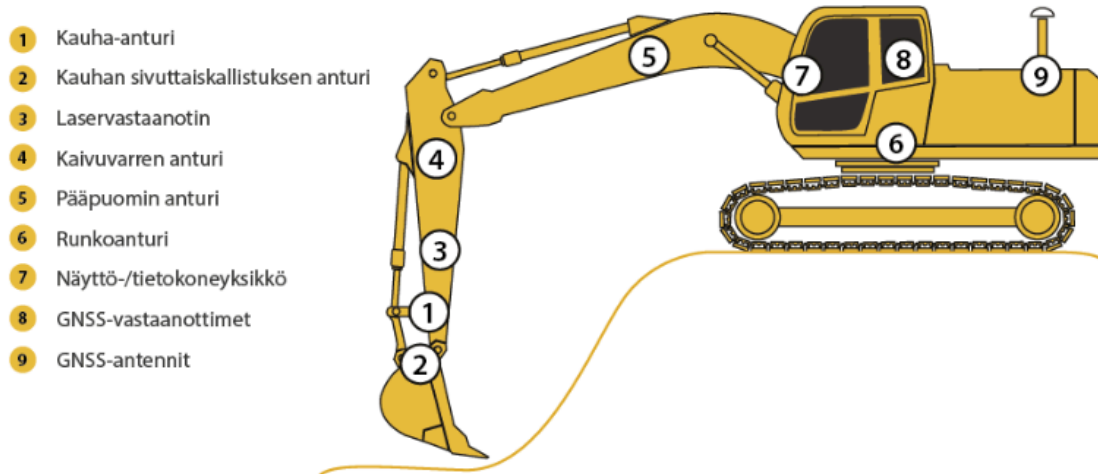
Kaivinkoneeseen asennettava mittausjärjestelmä ohjaa kuljettajan kaivua, jolloin haluttu taso saavutetaan nopeasti ja helposti. Koneohjauksen avulla on mahdollista säästää materiaaleissa, polttoaineessa sekä ajassa. Edellä mainitut säästöt mahdollistavat kilpailukykyisen rakentamisen. (2.)

Tavallisissa tilanteissa mittaaja siirtää työmaasta suunnitellun digitaalisen mallin maastoon merkkien avulla. Merkitsemiseen kuluu huomattavasti aikaa, työtä sekä rahaa. 3D-koneohjaus mahdollistaa digitaalisen mallin siirtämisen suoraan työkoneeseen, malli ladataan työkoneen ohjausjärjestelmään. Koneen sensorit opastavat hytissä sijaitsevan näytön avulla kaivamaan haluttuun korkoon, kallistukseen sekä sijaintiin. (3.)

Koneeseen sijoitetaan GPS-antennit, jolloin koneen sijainti saadaan selville satelliittipaikannuksella. Järjestelmä on mahdollista asentaa ohjaamaan koneen hydraulikkaa, tällöin järjestelmä on täysin automaattinen. Toinen vaihtoehto on käyttää järjestelmää vain opastinjärjestelmänä kuljettajalle. (3.)

Kaivinkoneeseen asennettava järjestelmä koostuu useista eri komponenteista. Komponentteja ovat anturit, kaksi GNSS-antennia, GNSS-vastaanotin, näyttö sekä tietokone. Antureiden paikat on esitetty kuvassa 1. Kaivinkoneen hytin sisäpuolelle asennetaan satelliittivastaanotin, tietokone sekä näyttö. Näytöstä kuljettaja seuraa ohjeita, joiden mukaan kaivu tapahtuu. (4, s. 7.)

### Koneohjausjärjestelmän komponentit



KUVA 1. Koneohjausjärjestelmän komponentit (2)

### 2.1 3D-koneohjauksen hyödyt sekä kustannukset

Kun käytetään koneohjausta, on mahdollista, että tiettyjen työvaiheiden työteho kasvaa jopa kymmenillä prosenteilla vanhoihin työtapoihin verrattuna. Koneohjausta käytettäessä materiaalihukka pienenee, työn tarkkuus paranee sekä työteho kasvaa, jolloin urakan kustannukset on helpompi ennustaa. Apumiehen ei myöskään tarvitse olla koneen välittömässä läheisyydessä katsomassa korkoa, jolloin työturvallisuus paranee huomattavasti. (5, s. 7.)

Hankintahinta koneohjausjärjestelmällä on melko korkea, kustannukset nousevat vielä korkeammiksi, kun otetaan huomioon laitteiston kalibrointi- ja huoltokulut sekä ohjelmistojen lisenssimaksut. Laitteiston hankinnasta ja ylläpidosta koostuvat kulut ovat siis korkeat, pienille toimijoille laitteen hankinta voi olla tästä syystä hankalaa. (5, s. 7-8.)



### 3 SATELLIITTIMITTAUS

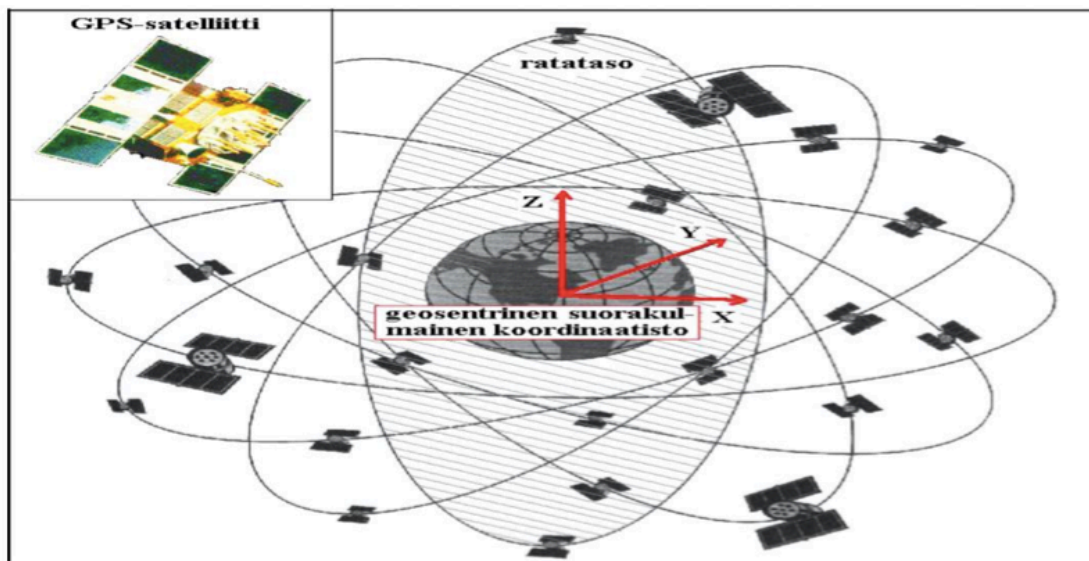
Satelliittipaikannuksessa kohteen sijainti pystytään selvittämään mittaamalla maata kiertävien satelliittien ja vastaanottimen välinen etäisyys (7, s. 2.). Luvuissa 3.1-3.4 esitellään eri satelliittijärjestelmiä sekä mittauksia.

#### 3.1 GNSS-järjestelmä

GNSS-järjestelmä eli Global Navigation Satellite System pitää sisällään Amerikkalaisten GPS-paikannusjärjestelmän (Global positioning System), Venäläisten Glonass-järjestelmän sekä Euroopan Unionin Galileo järjestelmän. Tavoitteena GNSS-järjestelmässä on eri järjestelmien yhteiskäyttö. GPS- ja Glonass-järjestelmät toimivat tällä hetkellä yhdessä. (6, s. 8–9.)

GPS-järjestelmän (Global Positioning System) on kehittänyt Yhdysvaltojen puolustushallinto. Kyseinen järjestelmä on kehitetty sotilaskäyttöä varten, silti sen kehityksessä on otettu huomioon myös siviilien tarpeet. (6, s. 8.)

GPS-järjestelmä voidaan jakaa kolmeen osaan. Avaruusosaan (space segment) kuuluu 24 aktiivisessa toiminnassa olevaa satelliittia sekä neljä vara-satelliittia. Satelliitit ilmenevät kuvasta 2. Valvontaosa (control segment) sijaitsee maassa, se valvoo ja ohjaa järjestelmää. Viimeinen osa on GPS-paikantimet, joihin löytyy useita erilaisia sovelluksia käyttäjien tarpeisiin. Neljä peräkkäistä satelliittia kiertää maapalloa kuudella eri ratatasolla. Maapallon pinnalta satelliittien kiitoradoille on matkaa noin 20 183 kilometriä. Vuorokauden aikana satelliitit kiertävät maapallon kaksi kertaa. (8, s. 32-33.)



KUVA 2. GPS - satelliitit (4, s. 8)

Glonass-järjestelmän kattavuus sekä satelliittien määrä on miltei GPS-järjestelmän tasoinen. Järjestelmän luotettavuus sekä satelliittien kestävyys ovat huomattavasti GPS-järjestelmää heikompia, tästä syystä GPS-järjestelmä pitää karkisijaa satelliittipaikannuksessa. Heikkouksista huolimatta Glonass-järjestelmä täydentää hyvin GPS-järjestelmää. (6. s. 9-10.)

Eurooppalainen Galileo-järjestelmä on otettu käyttöön 15.12.2016. Se koostuu tällä hetkellä 18 satelliitista. Vuoteen 2020 mennessä järjestelmän tulisi olla täysin valmis, jolloin satelliitteja on käytössä 24 kappaletta. Galileo on pelkästään siviilien ylläpitämä järjestelmä toisin kuin Venäjän ja Amerikan järjestelmät. Galileon uskotaan tarjoavan siviileille parempia palveluja kuin GPS:n tai Glonassin. (9.)

### 3.2 Satelliittipaikannus

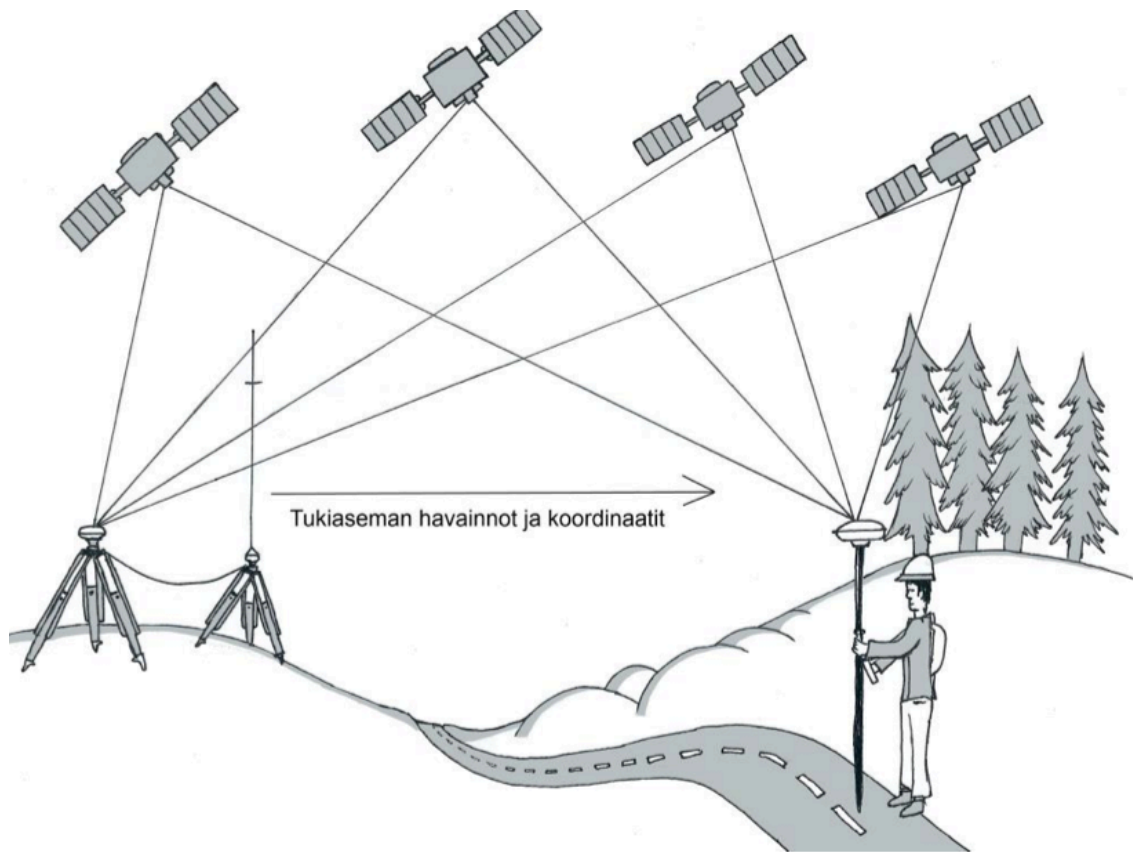
Kiertoradoillaan kiertävät satelliitit lähettävät signaaleja, joiden havaitsemiseen satelliittipaikannus perustuu. Havaittajan paikka lasketaan satelliittien paikkatiedon perusteella havaintohetkellä. Mittatarkkuuden ylläpitämiseksi tulee etäisyydet mitata vähintään neljään satelliittiin. Satelliittipaikannuksessa on kyse etäisyyksien sekä etäisyyserojen mittaamisesta. Käytössä on kolme eri mittausta.

Epätarkin mittaustapa on absoluuttinen mittaus eli navigointi, jolloin paikannustarkkuus on alle 10 metriä. Differentiaalinen paikannus antaa alle puolen metrin tarkkuuden. Tällöin käytössä on tunnetussa pisteessä sijaitseva tukiasema, joka korjaa mittauksesta systemaattiset virheet. Suhteellinen mittaus on tarkin mittaustapa ja sillä päästään muutamien millien tarkkuuteen. Suhteellisessa mittauksessa on käytössä kaksi havainnointilaitetta, jolloin toinen laitteista sijaitsee tunnetulla pisteellä. Kantoaallon avulla mitataan laitteiden välinen etäisyys. Suhteellinen mittaus on käytössä koneohjauksessa. (4, s. 8.)

### **3.3 RTK-mittaus**

RTK-mittaus, eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus (Real Time Kinematic) on satelliittimittauksissa laajalti käytetty menetelmä. Menetelmää käytetään merkin-tämittauksissa sekä maastomalli- ja kartoitusmittauksiin. Satelliittisignaalin vai-hehavainnointia käytetään hyväksi RTK-mittauksessa. Tällöin havaintosuureena on kantoaallon vaiheen mittaus. Menetelmässä selvitetään havaintojakson alussa kokonaiset kantoaallon aallonpituudet, jotka jäävät satelliitin ja antennin väliin. Edellä mainittuja aallonpituuksia nimitetään alkutuntemattomiksi, ne rat-kaistaan RTK-mittauksissa lennosta (on the fly), jolloin saavutetaan senttimetri-en paikannustarkkuus.

RTK-mittauksissa on käytössä tunnetulla pisteellä sijaitseva tukiasema. Tu-kiasema lähettää mittaamansa vaihehavainnot liikkuvalla vastaanottimelle, joka yhdistää saamansa vaihehavainnot omiin havaintoihinsa erotushavainnoiksi. Erotushavainnoilla on mahdollista minimoida monia virheitä, jotka liittyvät satel-liittimittauksiin. Mittauksen tarkoituksena on selvittää liikkuvan vastaanottimen sekä tukiaseman välinen vektori. Vektori ratkaistaan samalla tavalla kuin nor-maaleissa staattisissa mittauksissa, nyt vain reaaliajassa. Reaaliaikaisen mittauksen periaate selviää kuvassa 3. (7, s. 6-7.)

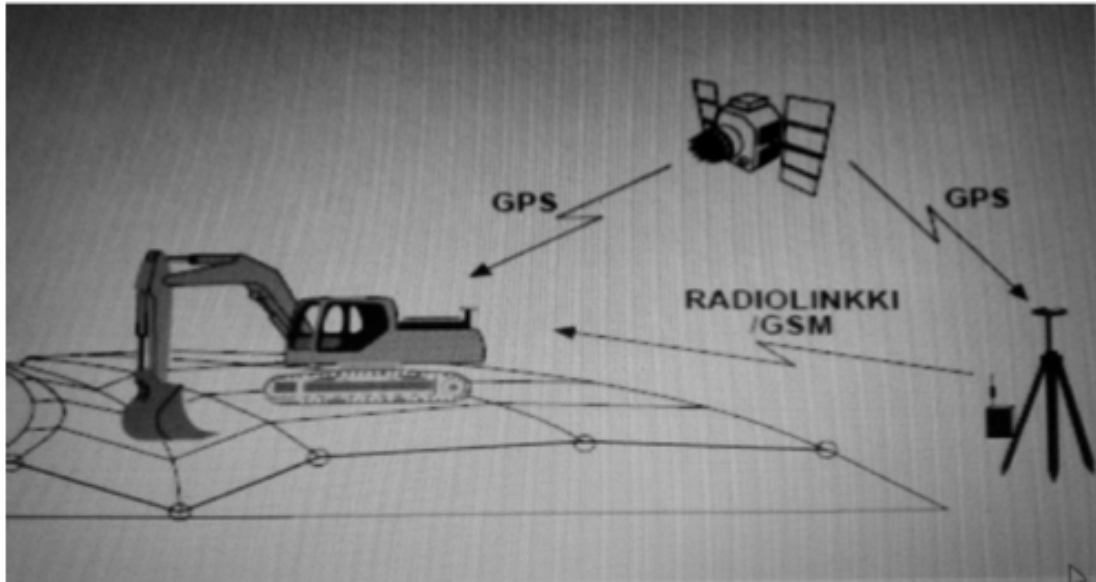


*KUVA 3. Reaaliaikainen mittaus (7, s. 7)*

RTK-menetelmässä mittausalue on 10-30 kilometrin säteellä tukiasemasta, mutta harvoin etäisyydet tukiasemasta ylittävät 20 kilometrin matkan. Tukiasemalta RTK-data lähetetään liikkuvalla vastaanottimella radiomodeemilla tai GSM-yhteyttä käyttäen. Hyviä puolia radioteitse lähetetyssä datassa on käytön ilmaisuus sekä useiden käyttäjien yhtäaikaisen mittauksen mahdollisuus. Huonona puolena taas on radiosignaalin heikko kantavuus. GSM-yhteyttä käytettäessä välimatkalla ei ole merkitystä, mutta se lisää käyttökustannuksia.

RTK-mittauksissa tukiasemalla sekä liikkuvalla vastaanottimella tulee olla vähimmillään viisi satelliittia seurannassa, satelliittien tulisi olla molemmilla myös samoja. Jotta mittaustuloksesta saadaan riittävän luotettava, tulisi yhteisiä satelliitteja olla 6 - 7 kappaletta. (7, s. 7-8.)

Koneohjauksessa hyödynnetään RTK-mittausta. Tällöin tunnetulla pisteellä sijaitseva vastaanotin on paikallaan kaivinkoneessa sijaitsevan vastaanottimen liikkuesssa. Toimintaperiaate selviää kuvasta 4.



KUVA 4. Koneohjauksen mittaus periaate (4, s. 9)

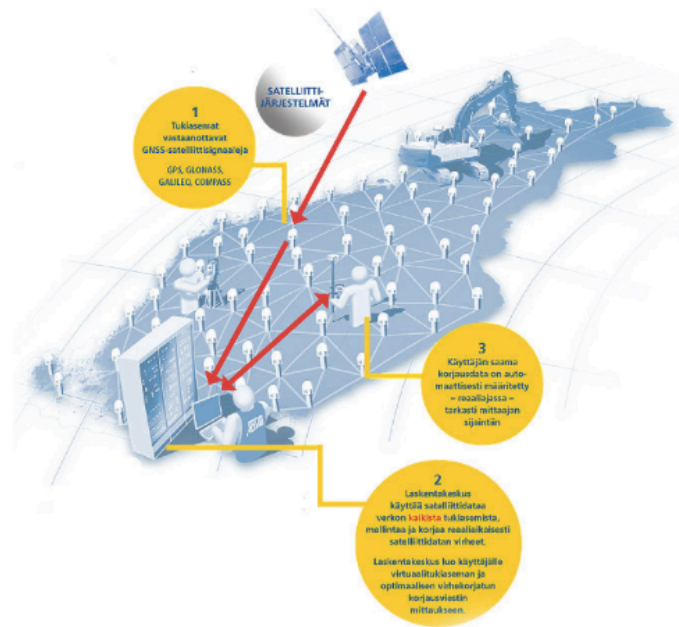
### 3.4 Verkko-RTK

RTK-mittauksen puutteista johtuen on 1990-luvun lopusta alkaen kehitetty uudenlaisia menetelmiä. Yhdessä kehitetyssä menetelmässä linkitetään useita tukiasemia yhtenäiseksi tukiasemaverkoksi, jonka avulla lasketaan verkkoratkaisu. Kyseistä mallia kutsutaan verkko-RTK-menetelmäksi. Ilmakehän virheet saadaan mallinnettua kyseisellä menetelmällä normaalia RTK-mittausta paremmin. (7, s. 9)

Normaaliin RTK-mittaukseen verrattuna verkkoratkaisussa on mittausalue huomattavasti laajempi. Verkkoratkaisua käytettäessä ei mitaajan tarvitse miettiä etäisyyksiä tukiasemaan, koska tukiasemat muodostavat kattavan verkon. Mitataajalle riittää verkko-RTK-menetelmää käytettäessä pelkkä liikkuva vastaanotin, erillistä tukiasemaa ei siis tarvita. (7, s. 9.)

Verkko-RTK-mittausta pystytään hyödyntämään myös koneohjauksessa. Suomessa verkko-RTK palveluja tarjoavat Geotrim Oy, joka ylläpitää Trimble VRS-

verkkoa, sekä Leica Geosystems joka hallinnoi SmartNet-verkkoa. Molemmilla palveluntuottajilla on noin sata tukiasemaa, joiden avulla ne pystyvät kattamaan palvelut koko Suomeen. Verkko-RTK-mittauksen periaate on esitetty kuvassa 5. (4, s. 9.)



KUVA 5. Verkko RTK-mittaus (10)

## 4 KONEOHJAUSMALLI

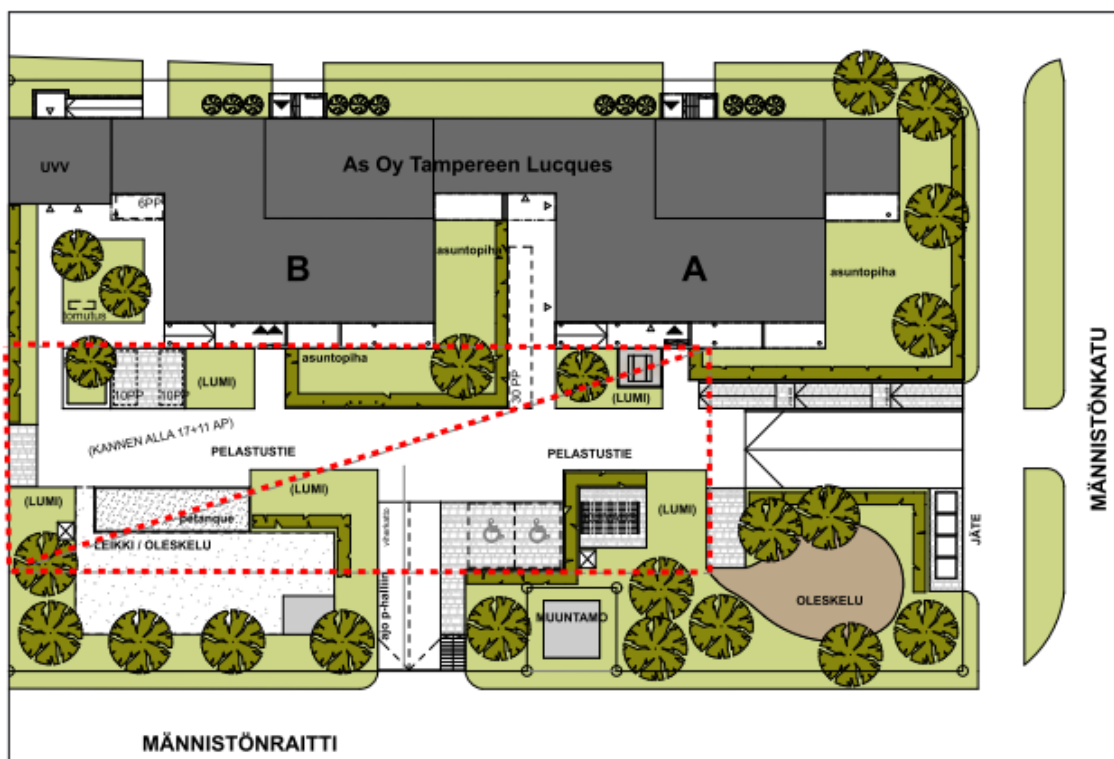
Toteutusmalli ja koneohjausmalli tarkoittavat samaa asiaa ja ovat suunnitelma- mallista jatkettu rakennuskohteen malli. Koneohjausmalli muodostuu 3D- taiteviivoista ja kolmioverkkomalleista. Työssä on mahdollista käyttää kol- mioverkkomalleja, taiteviiva-aineistoa tai tarpeen mukaan molempia. (11, s. 31.)

Kaivinkoneissa käytettävät mallit kuvaavat kerralla vain yhtä rakenneosaa. Kohde voi olla kuvattu viivamaisesti, pisteinä tai pintoina. Eri työvaiheita varten on luotava omat mallinsa, sillä yhteen malliin on turha mahduttaa liikaa. (12, s. 46.)

Koneohjausmallit siirretään kaivinkoneeseen USB-tikulla tai pilvisovellukseen, josta ne pystytään lataamaan kaivinkoneen järjestelmään. Kuljettajan on mah- dollista vaihtaa järjestelmään ladattuja malleja nopeasti. (12, s. 46.)

## 5 3D-KONEOHJAUS MÄNNISTÖNKADUN-KOhteessa

Opinnäytetyössä tarkasteltava kohde sijaitsee Tampereen Lentävänniemessä. Rakennuttajana työssä toimii Gradina Oy ja pääurakoitsijana Pirkanmaan mestarirakentajat. Tampereen maanrakennus suorittaa kohteessa maanrakennustyöt kokonaisuudessaan pohjien kaivusta pihojen viimeistelyyn. Tontin koko on 3 440 neliometriä, jolle rakennetaan kaksi kerrostaloa sekä parkkihalli. Kuvassa 6 näkyvät tontille rakennettavat talot sekä parkkihalli, joka kuvaan on hahmotettu punaisella katkoviivalla.

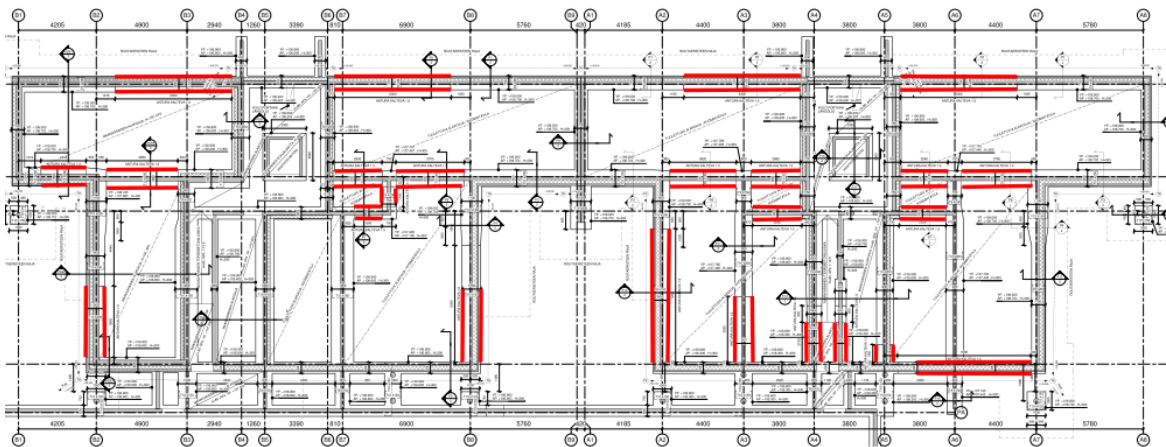


KUVA 6. Rakennettava kohde, Männistökatu 2



Maanpinta rakennusalueella vaihtelee tasovälillä +108,00 - +111,50. Rakennuspaikalla on 0 - 2,8 m:n humus- tai täytemaakerroksen alla 0 - 4,6 m:n hieka- tai moreenikerros, joka rajoittuu alapinnastaan tiiviiseen moreeniin tai kalliioon. Porakonekairauksin kalliopinnan on havaittu olevan 0 - 7,2 m:n syvyydessä maanpinnasta mitattuna ( taso +103,20 - +111.10). Rakennus perustetaan anturoilla luonnontilaisen tiiviin moreenin varaan, metrin paksuisen murskearinnan välityksellä.

Rakennuksen perustaminen vaatii noin 1 000 m<sup>3</sup> kallion louhintaa. Rakennuksen anturat ovat useassa tasossa välillä +108,700 - +106,100. Anturoiden tasoeroista johtuen joudutaan useaan kohtaan tekemään 1:3 luiskattuja anturoita, mikä luo haasteita lähinnä pohjankaivuvaiheeseen. Kuvassa 7 on esitetty rakennuksen perustuskuvaa, johon on punaisella merkitty luiskatut anturat. Luiskattuja anturoita on rakennuspohjalla yhteensä 24 kpl.



*KUVA7. Perustuskuvaa, luiskat punaisella*

Työ toteutetaan pääsääntöisesti 25 t:n tela-alustaisella kaivinkoneella, joka näkyy kuvassa 8. Koneen omistaa alirakoitsija Annala Infra. Kaivinkoneeseen on vuokrattu 3D-kopista Novatronin 3D-koneohjausjärjestelmä. Samainen firma toteuttaa myös koneohjausmallit. Järjestelmä on ensimmäistä kertaa käytössä kaivinkoneen kuljettajalla. Kyseisellä koneella suoritetaan maanleikkaus, anturapohjien, salaojien ja viemäreiden kaivutyöt sekä liikenne ja piha-alueiden täytöt. Viimeistelytyöt suoritetaan sopivammalla kalustolla. Koneohjausmallit toteutetaan perustuskuvista, viemärikuvista sekä pinnantasauskuvasta.



*KUVA 8. Työssä käytetty Doosan Dx235 kaivinkone, johon asennettu Novatronin koneohjaus*

Etenkin monitasoista anturapohjaa kaivettaessa sekä murskeella täytettäessä laitteisto todettiin työmaalla hyvin hyödylliseksi. Luiskien kohdat saatiin leikattua juuri oikeisiin kohtiin, jolloin ylikaivua ei päässyt tapahtumaan. Tämän kaltaisia pohjia kaivettaessa ylikaivu on hyvin yleistä.

Mursketäyttöä tehtäessä luiskat ja eritasoiset anturahyllyt oli helppo muotoilla oikeisiin kohtiin. Työtä tehtäessä ei jouduttu kertaakaan etsimään luiskien taitekohtia, tai anturoiden kulmia mitan kanssa. Pohjarakennusvaihe sisältää paljon käsin mittausta, mikäli se tehdään ilman koneohjausta. Lisäksi vaarana on mittamiehen merkkien häviäminen, jolloin työ hankaloituu entisestään. Eritasoihin tulevat anturapohjat näkyvät hyvin kuvassa 9.



*KUVA 9. Monitasoinen anturapohja*

Tavanomaisesti mittaja joutuu vierailemaan useaan otteeseen työmaalla maanrakennustöiden aikana. Yleensä aluksi merkitään tontinrajat sekä rakennuksen nurkat. Lisäksi merkittäviä kohteita työn edetessä ovat anturat, putkilinjat, kaivojenpaikat, liikennealueet sekä reunakivet. Kyseisellä työmaalla mittajaa käytettiin ainoastaan louhittavan kallion kartoituksessa.

Mittausten kustannusarviota tehtäessä tarkasteltiin aikaisempien työmaiden mittauskustannuksia. Lisäksi arvioitiin, mitä mittauksia tarvitsee tehdä ja kuinka useasti mittajan tarvitsee työmaan aikana käydä. Näin pystyttiin luomaan suhteellisen tarkka arvio mittauskuluista.

Työssä kävi ilmi, että 3D-koneohjausta käyttämällä säästetään mittauskuluissa työmaan aikana lähes niin paljon, että sillä summalla pystytään kattamaan laitteiston vuokra. Lisää säästöjä syntyy apumiehen tarpeen vähenemisestä. Pohjia kaivettaessa koneohjausta käyttäen apumiestä ei tarvita lainkaan, koska ko-

ron katsomisen tarvetta ei ole. Mursketäyttöä tehtäessä pärjätään vain yhdellä apumiehellä, joka suorittaa jyräämisen. Tällöin kenenkään ei tarvitse tarkkailla korkoa laserilla. Vuositasolla koneohjausta käyttämällä on mahdollista säästää mittaus-, apumies- sekä materiaalikuluissa kymmeniätuhansia euroja.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia koneohjauksen soveltuvuutta Tampereen maanrakennuksen käyttötarkoituksiin sekä kustannusvaikutuksia. Laskennallisesti todettiin, että koneohjauksen tuo säästöjä niin mittauskuluissa kuin apumiehen tarpeen vähentyessä palkkakuluissa.

Haastattelujen sekä työmaaseurannan perusteella havaittiin koneohjauksen soveltuvan parhaiten suuriin leikkauksiin sekä monimuotoisten anturapohjien tekoon. Kaivu- sekä täyttötarkkuus ovat parantuneet laitteiston käyttöönoton myötä. Työn tarkkuuden parantuessa myös materiaalisäästöjä syntyy. Työn suorittamisen todettiin tehostuneen, koska kaivinkoneen kuljettajan ei tarvitse poistua koneesta mittaamaan erinäisiä pisteitä apumiehen kanssa. Näin ollen myös työturvallisuus on parantunut.

Haastatteluja tehtäessä selvisi, että koneohjauksen suurimmat ongelmat esiintyvät katvealueilla, joita syntyy kaupungissa isojenrakennusten vierustoihin sekä metsäisille alueille. Katvealueella työskenneltäessä mittatarkkuus heikkenee tai laitteiston käyttö estyy kokonaan. Männistönkatu 2:n työmaalla tosin tätä ongelmaa ei ollut lainkaan.

3D-koneohjauksen todettiin soveltuvan hyvin isoihin massanleikkaustöihin sekä tarkkuutta vaativiin pohjiin. Laitteisto soveltuu hyvin yli 20 t:n kaivinkoneisiin, mutta tulevaisuudessa tullaan laitteistoja asentamaan myös pienempiin koneisiin.

## LÄHTEET

1. Saloniemi, Jani 2017. 3D- koneohjaus viherrakentamisen kohteissa. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, rekennustekniikka, infrarakentaminen. Opinnäytetyö.
2. Mitä on koneohjaus? Novatron. 3-D koneohjauksen esittely verkkosivuilla. Saatavissa: [www.novatron.fi/mita-on-koneohjaus](http://www.novatron.fi/mita-on-koneohjaus). Hakupäivä 27.11.2016.
3. Mitä koneohjaus on? Topgeo. Järjestelmien esittely verkkosivuilla. Saatavissa: [www.topgeo.fi/tuotteet/koneohjausjarjestelmat-ja-konevastaanottimet/mita-koneohjaus-on](http://www.topgeo.fi/tuotteet/koneohjausjarjestelmat-ja-konevastaanottimet/mita-koneohjaus-on). Hakupäivä 28.11.2016.
4. Liimatainen, Risto-Matti 2015. 3D-koneohjaus kadunrakentamisessa. Kupio: Savonia-ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö.
5. Ahonen, Toni 2015. Tietomallipohjainen koneohjaus infratyömaalla. Helsinki: Metropolia, Maanmittaustekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö.
6. Kokkonen, Josi 2013. Satelliittimittaus maanrakentamisessa ja maanmittauskaluston hankinnan suunnittelu. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö.
7. Toivonen, Tuomas - Ylikoski, Juho 2013, Verkko rtk-mittaus. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu, maanmittaustekniikka. Opinnäytetyö.
8. Miettinen, Samuli. GPS-käsikirja kolmas painos.
9. Galileo-satelliittipaikannus aloittaa Euroopassa-Eu odottaa yritysten ryntäystä. 2016 Helsingin Sanomat. Saatavissa: <http://www.hs.fi/tiede/art-2000005013899.html>. Hakupäivä 17.3.2017.
10. Uusimman satelliittitekniikan hyödyntäminen. Geotrim. Saatavissa: <http://www.geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs>. Haettu 8.5.2017.

11. Kivinen, Tommi 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Helsinki: Aalto-yliopisto, yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. Diplomityö.
12. Määttänen, Mattijaakko 2014. 3D-koneohjauksen käyttö pienissä ja keskisuurissa maanrakennushankkeissa. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikka, Infrarakentaminen. Opinnäytetyö.