



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **3D-Koneohjaus viherrakentamisen kohteissa**

Jani Saloniemi

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2017  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

SALONIEMI JANI:

3D-koneohjaus viherrakentamisen kohteissa

Opinnäytetyö 50 sivua, joista liitteitä 4 sivua  
Huhtikuu 2017

---

3D-koneohjaus on jo arkipäivää suurissa infrahankkeissa. Myös mallipohjainen suunnittelu tekee tuloaan alalle kehityshankkeiden ja pilottikohteiden avulla. Pääasiassa tie- ja katuhankkeissa tehdyissä tutkimuksissa on koneohjauksen käytöllä saatu hyviä tuloksia. Koneohjauksen käyttöä viherrakentamisen kohteissa tai muissa pienehköissä kohteissa on kuitenkin tutkittu tähän mennessä vähän. Hyvien kokemusten innoittamana koneohjaus päätettiin ottaa kokeiluun, kun toteutettavaksi saatiin normaalia suurempi viherrakentamisen kohde. Toinen syy koneohjauksen kokeilulle oli työn toimeksiantajan Destia Oy:n halu kehittää viherrakentamisen toimintaansa.

Työn teoriaosuudessa perehdytään ensin viherrakentamisen toimialaan. Selvitetään mitä viherrakentamisella tarkoitetaan ja minkälaiset ovat viherrakennusalan markkinat Suomessa. Teoriaosuudessa avataan myös koneohjausjärjestelmän toimintaperiaate ja paikannustekniikka.

Työssä tutkittiin koneohjauksen käyttöä lähiliikuntapaikan rakentamisessa Jyväskylän Tikkakoskelle. Tarkoituksena oli selvittää, soveltuuko koneohjaus viherrakentamisen kohteeseen ja voidaanko koneohjauksen avulla saavuttaa taloudellista hyötyä. Soveltuvuutta arvioitiin tutkimuksen tekijän sekä muiden työmaalla työskennelleiden havaintojen ja kokemusten perusteella. Koneohjauksen kustannusvaikutuksia arvioitiin vertaamalla tutkimuskohteen kustannuksia kahteen perinteisellä menetelmällä toteutettuun leikkipuisto-kohteeseen.

Tutkimuksessa ei havaittu esteitä koneohjauksen soveltumiselle myös viherrakentamisen kohteisiin. Tutkimuskohteessa käytössä ollut koneohjauksella varustettu kaivinkone olisi kuitenkin liian suuri tyypilliseen viherrakentamisen kohteeseen. Tutkimuskohteen ja vertailukohteiden erilaisuudesta johtuen, ei koneohjauksen kustannusvaikutuksia pystytty yksiselitteisesti toteamaan. Koneohjauksen kustannukset näyttävät kuitenkin kilpailukykyisiltä ja koneohjauksesta koettiin olleen hyötyä, joten sen käyttöä aiotaan jatkaa. Työ sisältää liitteitä, jotka on poistettu julkistettavasta versiosta kilpailullisista syistä.

## **ABSTRACT**

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

SALONIEMI JANI:  
3D-Machine Control System in Landscape Development

Bachelor's thesis 50 pages, appendices 4 pages  
April 2017

---

The purpose of this thesis was to study is a 3D-machine control system suitable for landscape development and sort out is it possible to get economic interests with it. This thesis describes problems and benefits of the machine control system in landscape development.

The research was done by monitoring the use of the machine control system in building a local sports facility in Jyväskylä's Tikkakoski. The assessment of suitability is based on observations made by foreman on the site. The economic interests were studied by comparing costs of machine control system to costs of two playground rebuild sites where traditional working technique were used.

Based on the study, the machine control system seems to be suitable also for the landscape development. The only issue at the moment seems to be that there is not right sized excavators equipped with the machine control system for a typical size landscape development projects. The economic interests cannot be unequivocally proved, because of the differences between the site with machine control system and the comparison sites. Anyway, the costs using the machine control system seems to be competitive and many benefits can be achieve with it. So the use of machine control system is going to continue.

---

Key words: machine control system, machine control model, landscape development

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Työn taustat.....	5
1.2	Destia Oy .....	6
2	Viherrakentaminen .....	8
2.1	Viheralan määritelmä.....	8
2.2	Viherrakentamisen osa-alueita.....	8
2.3	Viherrakennusalan toimijat .....	10
2.4	Viherrakentamisen arvo .....	13
3	3D Koneohjaus .....	15
3.1	Satelliittipaikannus.....	15
3.1.1	Suhteellinen paikanmääritys .....	15
3.1.2	RTK-mittaus.....	16
3.1.3	VRS-mittaus.....	16
3.1.4	Virhelähteet satelliittipaikannuksessa .....	17
3.2	Koneohjausjärjestelmä.....	19
3.2.1	Järjestelmän osat .....	19
3.2.2	Sovellukset .....	21
4	Aiempia tutkimuksia koneohjauksen käytöstä .....	23
5	Koneohjausmallit.....	24
5.1	Tietomallipohjainen suunnittelu .....	24
5.2	3D suunnitelmat ja koneohjausmallit.....	25
5.3	Kuvista mallintaminen .....	26
6	Koneohjauksen soveltuminen viherrakentamisen kohteeseen .....	28
6.1	Tutkimuskohde Tikkakosken lähiliikuntapaikka.....	28
6.1.1	Vertailukohteet .....	30
6.2	Koneohjauksen edut.....	33
6.3	Ongelmat koneohjauksessa .....	34
7	Kustannukset .....	37
7.1	Koneohjauksen kustannukset yleisesti.....	37
7.2	Tutkimuskohteiden kustannusrakenne.....	38
7.3	Koneohjauksen kustannukset tutkimuskohteessa .....	39
8	Tulosten tarkastelu .....	41
9	Pohdinta.....	43
	LÄHTEET.....	46
	LIITTEET .....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on tutustua 3D-koneohjauksen mahdollisuuksiin viherrakentamisen toiminnan kehittämisessä. Työn alussa tutustutaan viherrakentamiseen käsitteenä sekä siihen, millaista toimintaa viherrakentaminen pitää sisällään. Lisäksi selvitetään, minkälaisia toimijoita viherrakentamisen tilaajina ja tuottajina toimii sekä mitkä ovat viheralan markkinaa kuvaavat tunnusluvut. Viherrakentaminen on yksi työn toimeksiantajan Destia Oy:n toimialoista.

Työssä selvitetään 3D-koneohjausjärjestelmän toimintaperiaate sekä mitä asioita järjestelmän käyttöönotto ja käyttäminen edellyttää. Työssä tarkastellaan 3D-koneohjauksen soveltuvuutta viherrakentamisen kohteeseen, järjestelmän hyötyjä sekä vastaan tulleita ongelmia. Lopussa analysoidaan toteutuneita kustannuksia ja verrataan niitä ilman koneohjausta toteutettujen kohteiden kustannuksiin. Tarkoituksena on saada selville, voidaanko koneohjauksen avulla toteuttaa kohteita perinteistä menetelmää edullisemmin.

Kohde, jossa 3D-koneohjausta käytettiin, oli lähiliikuntapaikan rakentaminen Jyväskylän Tikkakoskelle. Kohde sisälsi erilaisten liikunta- ja urheilupaikkojen, kuntoilu- ja leikkivälineiden sekä peliareenan lisäksi pysäköintialueiden ja pihaliittymien rakentamisen. Työn tilaajana oli Jyväskylän kaupunki, jonka puolesta rakennuttamista ja valvontaa hoiti konsulttiyritys. Työssä käytettiin vertailukohteina kahta leikkipuiston kunnostuskohdetta, joissa toimittiin perinteisin menetelmin ilman koneohjausta. Nämä Jyväskylässä sijaitsevat kohteet olivat nimeltään Sääksmäenpolunpuiston kunnostus sekä Kotalammen toimintapuiston kunnostus. Kohteet toteutettiin kesän 2016 aikana lukuun ottamatta Tikkakosken lähiliikuntapaikan kolmatta vaihetta, joka toteutetaan kesän 2017 aikana. Itse olin työpanoksellani mukana kaikissa kolmessa kohteessa.

### 1.1 Työn taustat

Koneohjausjärjestelmät ovat yleistyneet merkittävästi viime vuosien aikana. Suurilla mallipohjaisesti suunnitelluilla maarakennustyömailla koneohjauksen käyttö on jo enemmän sääntö kuin poikkeus. Suuret maarakennusurakoitsijat hankkivat itse, sekä edellyttävät alihankkijoiltaan, koneohjauksella varustettuja koneita. Koneohjauksen hyödyt on

tiedostettu myös suurten infran rakennuttajien keskuudessa ja koneohjauksen käyttö on siirtymässä tilaajien vaatimuksiin. Koneohjauksen yleistyminen selittyy pitkälti sillä säävutettavilla hyödyillä. Koneohjauksen etuja ja kustannusvaikutuksia on tutkittu jo useissa tutkimuksissa. Suurin osa tutkimuksista on tehty tie- ja katuhankeissa. Koneohjauksen käyttöä viherrakentamisen kohteissa ei tiettävästi ole tutkittu ollenkaan ja muidenkin pienempien kohteiden osalta hyvin vähän.

Suuremmista koneohjauksella toteutetuista kohteista saatujen hyvien kokemusten myötä katsottiin ajankohtaiseksi selvittää koneohjauksen käyttökelpoisuutta myös pienipiirteisempiin viherrakentamisen kohteisiin. Kehittämismahdollisuuksien tutkiminen tukee myös Destia Oy:n tavoitetta olla edelläkävijä toimialoillaan.

## **1.2 Destia Oy**

Destia on suomalainen infra- ja rakennusalan palveluyhtiö, joka rakentaa, ylläpitää ja suunnittelee liikenneväyliä ja ratoja sekä liikenne- ja teollisuusympäristöjä. Destian palvelut ulottuvat maanalaisesta rakentamisesta kattavaan maanpäälliseen toimintaan sekä energia- ja insinöörirakentamiseen.

Destian historia ulottuu yli 200 vuoden päähän. Vuosina 1799–1809 Suomessa toimi Kustaa IV Adolfin perustama Kuninkaallinen Suomen Koskenperkausjohtokunta. Suomen itsenäistymisen myötä vuonna 1925 perustettiin Tie- ja vesirakennushallitus (TVH), joka jatkoi tieverkon kehittämistä ja rakentamista. TVH:ta seurasi TVL ja Tielaitos. Vuonna 1998 Tielaitoksen hallinnolliset viranomaistehtävät ja varsinainen tienpito erotettiin toisistaan hallinnoksi ja tuotannoksi. Tuotanto, suunnittelu, rakentaminen ja kunnossapito olivat kuitenkin edelleen osa viranomaistoimintaa. Vuosien 1998–2000 aikana Tielaitos valmistautui avoimeen kilpailuun.

Tielaitoskausi Suomen yleisten teiden historiassa päättyi vuonna 2001, jolloin tuotanto ja hallinto erotettiin lopullisesti kahdeksi erilliseksi organisaatioksi. Tielaitoksen tehtävää vastuullisena tienpitäjänä ja tienpidon tilaajana jatkoi Tiehallinto. Entinen Tielaitoksen tuotanto siirtyi Tielikelaitoksen nimellä kilpailemaan tiealan urakoista muiden maarakennusyrittäjien kanssa. Kilpailu avautui asteittain, kunnes 1.1.2005 Tielikelaitos astui täysin avoimeen kilpailuun.

Destia-nimi syntyi ystävänpäivänä 14.2.2007, kun Tieliikelaitos otti käyttöön sen markkinointinimenään. Vuoden 2008 alussa Destiasta tuli valtion kokonaan omistama osakeyhtiö, joka perustettiin jatkamaan Tieliikelaitoksen liiketoimintaa.

Destia siirtyi Ahlström Capitalin omistukseen 1.7.2014 Ahlström Capitalin ostettua Destia Oy:n koko osakekannan Suomen valtiolta. Destian asiakkaita ovat teollisuus- ja liikeyritykset, kunnat ja kaupungit sekä valtionhallinnon organisaatiot. (Destia)

## 2 Viherrakentaminen

Tässä luvussa perehdytään siihen, mitä viherrakentamisella tarkoitetaan, minkälaiset ta-  
hot toimivat viherrakentamisen alalla ja minkälaisia ovat viherrakentamisen alaa kuvaava-  
vat taloudelliset tunnusluvut. Tiedot perustuvat pääosin Hanna Tajakan sekä Konsultti-  
palvelu Viher-Arkin Viherympäristöliitolle tekemään selvitykseen Viheralan tunnusluvut  
2014-2015. Selvitys on julkaistu 2016. Selvityksen tiedot perustuvat verkkohakuihin, yri-  
tysrekistereiden tietoihin, alan yhdistysten tilastoihin sekä alan toimijoilla tehtyihin ky-  
selyihin. Ala on kuitenkin hyvin hajanainen ja kattavia tilastoja ei ole olemassa, joten  
esitettyjä lukuja voidaan pitää lähinnä suuntaa antavina. (Viherympäristöliitto)

### 2.1 Viheralan määritelmä

Viheralasta ja sen taloudellisista tunnusluvuista puhuttaessa keskeinen tekijä on viherala-  
-käsitteen määrittäminen. Viheralan tutkimus- ja kehittämistyö (Pehkonen & Jansson  
1996) määrittelee viheralaa seuraavasti:

Viheralaan kuuluvat viheralueiden suunnittelu, rakentaminen, ylläpito sekä  
niitä palveleva tutkimus. Viheralueita ovat puolestaan pihat ja taajaman tai  
taajamavyöhykkeen alueet, joiden tehtävänä on mahdollistaa ulkoilu-, leikki-  
, ja urheilutoiminnot sekä täyttää kulttuuriset, ekologiset (luonnonmukai-  
suutta edellyttävät), hygieeniset ja liikenteelliset sekä kaupunkirakenteen jä-  
sentämisen vaatimukset.

### 2.2 Viherrakentamisen osa-alueita

Viherrakentaminen on yksi viheralan osa-alue, johon voidaan katsoa kuuluvan edellä  
mainittujen viheralueiden uudis- ja korjausrakentaminen. Perinteisin ja ehkä helpoiten  
viherrakentamiseksi miellettyä osa-alue on puistojen, puutarhojen sekä piha- ja katualu-  
eiden istutettujen viheralueiden rakentaminen ja ylläpito. Näiden alueiden tehtävä on en-  
nen kaikkea viihtyvyyden lisääminen, mutta niillä voi olla muitakin tarkoituksia, esimer-  
kiksi hulevesien pidättäminen tai imeyttäminen. Erilaiset kiveykset, muurit ja aidat ovat  
myös merkittävä osa viherrakentamista. (Soini 1997, 14)



Toinen tyypillinen viherrakentamisen osa-alue on leikkipuistojen ja -paikkojen rakentaminen. Ne sijaitsevat usein asuinalueiden yhteydessä, taloyhtiöiden, koulujen ja päiväkotien pihoilla, sekä kaupallisten palveluiden lisänä esimerkiksi huoltoaseman pihalla. Leikkipuistoihin kuuluu useimmiten erilaisia välineitä ja rakenteita, joiden tarkoitus on mahdollistaa lasten turvallinen leikkiminen ja liikkuminen. (Soini 1997, 14)

Leikkipuistoja tuoreempi konsepti on lähiliikuntapaikka. Leikkipuistojen tapaan ne sijoituvat keskeisille paikoille käyttäjien helposti saavutettavaksi. Lähiliikuntapaikan on tarkoitus tarjota erilaisia matalan kynnyksen liikunta- ja kuntoilumahdollisuuksia kaikentikäisille. Lähiliikuntapaikka voi sisältää esimerkiksi palloilukentän tai -areenan, skeittipaikan, parkour-välineitä ja ulkokuntoilulaitteita. (Moisio 2012, 7)

”Perinteiseen” liikuntapaikkarakentamiseen lukeutuu esimerkiksi yleisurheilukenttien ja jalkapallokenttien tai vaikkapa golfkenttien rakentaminen. Uusien urheilukenttien rakentaminen on tiettävästi melko vähäistä. Sen sijaan hiekkakenttiä on viime vuosina muutettu tekonurmikentiksi. Kilpaurheilu voi asettaa liikuntapaikoille hyvinkin tiukkoja mitta- ja materiaalivaatimuksia. (Soini 1997, 15)

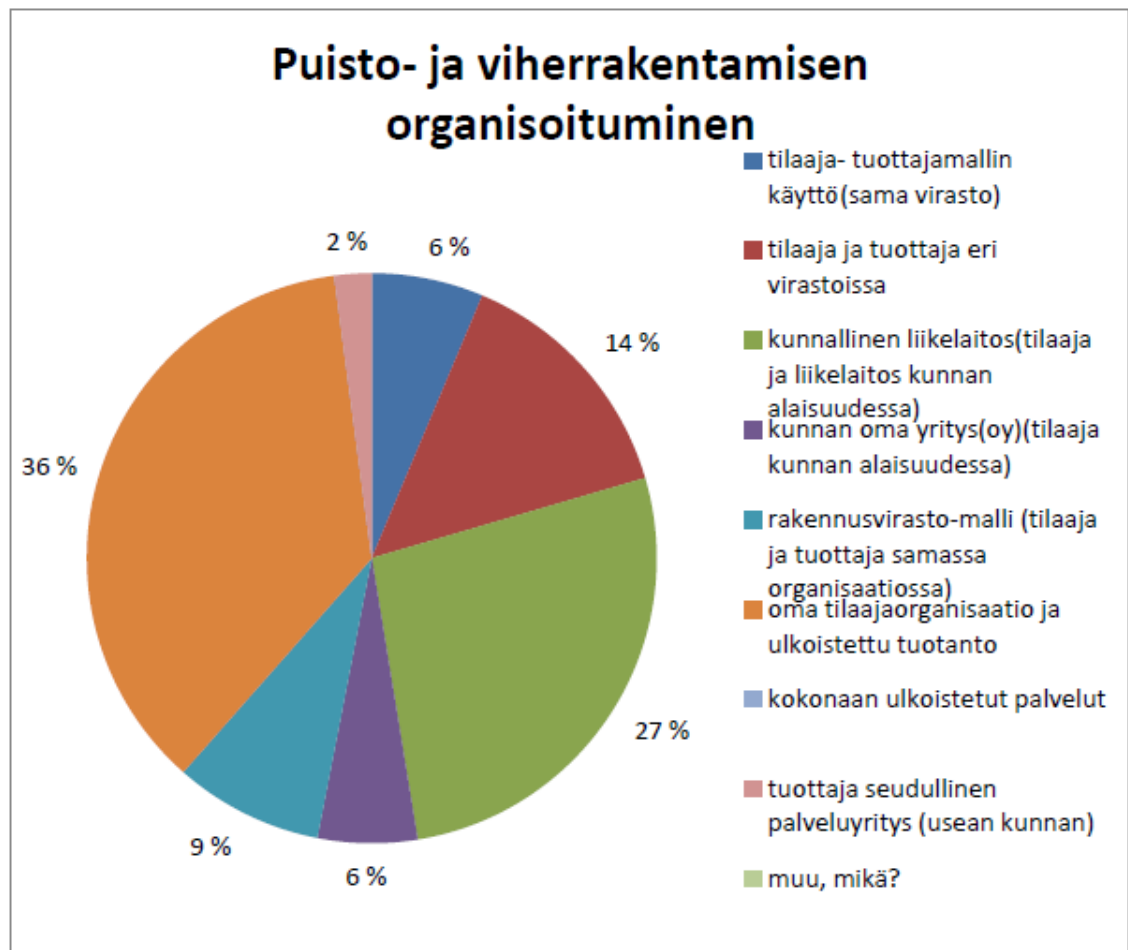
Tyypillistä viherrakennusalan hankkeelle kuitenkin on se, että siihen kuuluu istutuksia, nurmetuksia, kiveyksiä, varusteita ja laitteita, olipa kyseessä sitten puisto tai liikuntapaikka. (Soini 1997, 11)

### 2.3 Viherrakennusalan toimijat

Viheralalla toimivat julkiset organisaatiot ovat kuntien ja kaupunkien viherorganisaatioita, seurakuntien hautaustoimia sekä valtion organisaatioita, joiden vastuulle kuuluvat valtion omistuksessa olevat kiinteistöjen viheralueet.

Suomessa oli vuonna 2016 yhteensä 313 kuntaa, joista 107 käyttää itsestään kaupunki -nimitystä. Arvion mukaan viherorganisaatio on noin 100 kunnassa. Viheralueiden rakentamisesta, rakentamisesta ja ylläpidosta voi vastata myös jokin muu kunnan tekninen organisaatio. Kunnan viherorganisaation lisäksi myös muut kunnan organisaatiot, kuten kiinteistö- ja liikuntaorganisaatiot, teettävät viherrakentamisen töitä. Lisäksi ainakin 12 kunnalla on joko oma tai yksityistetty tuottajaorganisaatio eli liikelaitos, joka tuottaa viheralueiden rakentamis- ja ylläpitopalveluita. (Viherympäristöliitto)

Viime vuosina suuntaus on ollut, että kunnat ja kaupungit luopuvat vähitellen omista tuotannon resursseistaan ja siirtyvät kilpailuttamaan viherrakentamisen hankkeita. Myös alue- ja viherhoito avautuu vähitellen kilpailulle. Kilpailutukseen siirryttäessä ja oman tuotannon vähentyessä hankinnan ja rakennuttamisen osaamisen tärkeys korostuvat. Kuntien infratuotannon organisoitumista selvittäneen tutkimuksen tuloksia viherrakentamisen osalta on esitetty kuvassa 1. (Laakso, 2014)



KUVA 1. Puisto- ja vihertuotannon organisaatiomallit kunnissa 2013 (N-luku=29) (Laakso, 2014)

Evangelisluterilaisia seurakuntia oli Suomessa 412 vuonna 2016. Kaikissa niissä on oma hautaus toimi. Valtion organisaatioista Finavia Oy, Liikennevirasto, Metsähallitus, Puolustusvoimat ja Senaatti-Kiinteistöt vastaavat valtion omistuksessa olevista viheralueista. Tietävästi suurin osa valtion viheralueiden rakennus- ja ylläpitopalveluista hankitaan os-topalveluna ulkopuolisilta palveluntarjoajilta. (Viherympäristöliitto)

Pääasiassa viherrakentamisen palveluja tarjoavia yksityisiä yrityksiä on maassamme melko vähän. Sen sijaan muiden, usein maarakennusalan, töiden ohessa viherrakentamisen palveluja tarjoavia yrityksiä on runsaasti. Tästä syystä viheralalla toimivien yritysten kokonaismäärää on hyvin vaikea luotettavasti selvittää. Viherympäristöliiton selvityksessä selkeimmin viheralan yrityksiksi profiloituneiden yritysten lukumäärät on esitetty taulukossa 1. Yhteenveto viheralalla toimivien organisaatioiden määrästä on esitetty taulukossa 2. (Viherympäristöliitto)

TAULUKKO 1. Viheralan yritysten määrä 28.4.2016.

	Yritysten määrä (kpl)	Osuus koko yritysmäärästä (%)	Huomioitavaa
Viheralueiden suunnittelu	255	20	
Viheralueiden rakentaminen	340	26	
Viheralueiden ylläpitäminen	150	12	
Puutarhakauppa	90	7	
Taimituotanto	100	8	
Golfyhtiöt ja -seurat	130	10	
Monialainen	235	18	Yrityksissä yhdistelty eri viheralan toimintoja, kuten suunnittelua, rakentamista, ylläpitoa, puutarhakauppaa ja taimituotantoa. Suurin osa ilmoitti tarjoavansa palveluja 2-3 toimialalta.
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>1 300</b>		<b>Minimimäärä</b>

TAULUKKO 2. Yhteenvedo viheralalla toimivien organisaatioiden määrästä

Organisaatio	määrä (kpl)	Huomioitavaa
Yritykset	> 1 300	Minimimäärä, jakautuu toimialoittain: - viheralueiden suunnittelu 255 - viheralueiden rakentaminen 340 - viheralueiden ylläpitäminen 150 - puutarhakauppa 90 - taimituotanto 100 - golfyhtiöt ja -seurat 130 - monialaiset 235
Kuntien viherorganisaatiot	100	
Kuntien viherpalveluita tuottavat liikelaitokset	12	
Seurakuntien hautaustoimet	436	Mukana evankelishuterilaiset, ortodoksiset ja juutalaiset seurakunnat
Valtion organisaatiot	5	Vastaavat valtion omistamista viheralueista

Päätoimenaan viherrakennus- ja ylläpitopalveluja tuottavista yrityksistä kolme neljästä on pieniä, alle 10 henkilöä työllistäviä. Suurien, yli 50 henkilöä työllistävien yritysten osuus on vain 3 prosenttia. (Viherympäristöliitto)

Viherrakennus- ja ylläpitoyrityksistä alle 100 000 euron liikevaihdon yrityksiä on 30 prosenttia. Yli miljoonan euron liikevaihdon tekee 10 prosenttia yrityksistä. Viherrakennus- ja ylläpitoyritysten liikevaihto on keskimäärin 309 000 euroa. Viher- ja ympäristörakentajat ry:n kyselyn mukaan sen jäsenyritysten liikevaihdon keskiarvo oli 1,5 miljoonaa euroa. Noin 48 prosentilla liikevaihto jäi alle 500 000 euron. (Viherympäristöliitto)

350 yrityksen mukaan suhteutettuna ei järjestäytyneiden viherrakennus- ja ylläpitoyritysten liikevaihto on 108,15 miljoonaa euroa. Viher- ja ympäristörakentajat ry:n 140 jäsenyritysten yhteenlaskettu liikevaihto on 201 miljoonaa euroa. Kun nämä tiedot yhdistetään, saadaan viherrakennus- ja ylläpitoyritysten liikevaihdoksi yhteensä 309,15 miljoonaa eu-

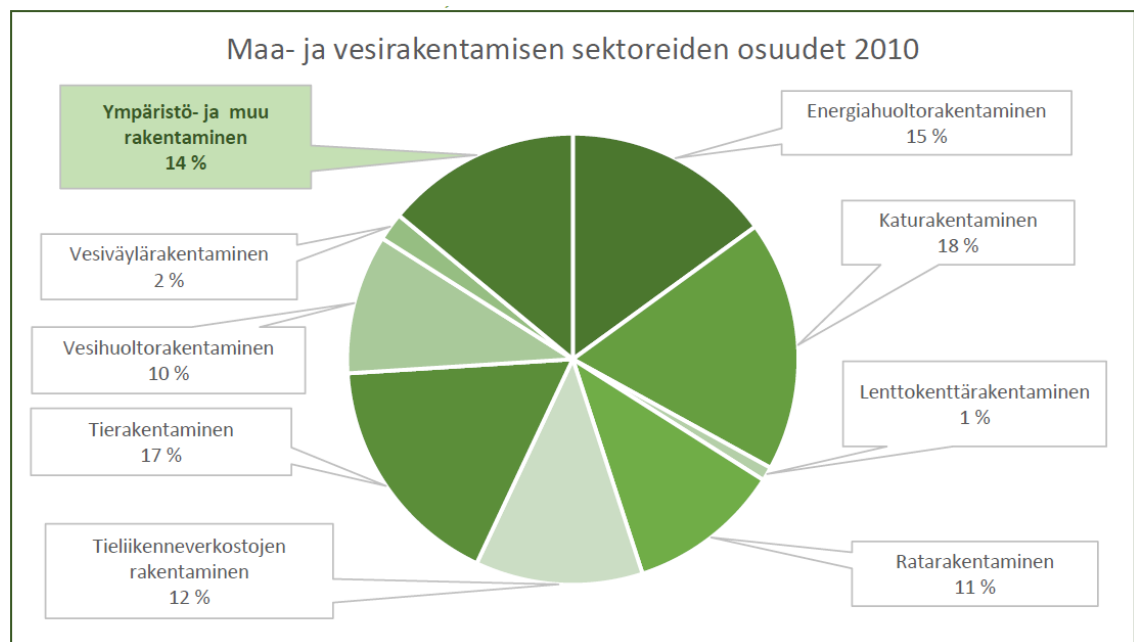
roa. Lisäksi kuntien tuottajaorganisaatioiden keskimääräinen liikevaihto on 10,25 miljoonaa euroa. 12 tuottajaorganisaation mukaan suhteutettuna niiden liikevaihto on yhteensä 123 miljoonaa euroa. (Viherympäristöliitto)

## **2.4 Viherrakentamisen arvo**

Kuntien puistojen ja yleisten alueiden nettokäyttökustannukset ovat keskimäärin 36 euroa / asukas. Nettokäyttökustannukset sisältävät rakentamisen ja kunnossapidon, istutusten hoidon, puistokalusteiden ja leikkivälineiden hankinnat ja kunnossapidon sekä torien rakentamisen ja kunnossapidon. Suhteutettuna väkilukuun (5 493 934) saadaan valtakunnalliseksi puistojen ja yleisten alueiden nettokäyttökustannukseksi 197 781 624 euroa. (Viherympäristöliitto)

Suomen kiinteistöliiton Korjausrakentamisbarometri 2015 mukaan piharakenteiden korjausta tehtiin vuonna 2015 reilussa 12 prosentissa kiinteistöjä. Lähes 35 prosenttia kiinteistöistä arvioi olevan piharakenteiden korjaustarpeita vuoteen 2019 mennessä. Piharakenteiden korjauskustannuksista ei ole luotettavaa arviota. Vuonna 2014 rakennettiin uusia rivi- ja kerrostalorakennuksia 1300. Viherympäristöliiton selvityksessä rakennusten ulkoalueiden rakentamiskustannusten keskiarvoksi on arvioitu 100 000 euroa / rakennus. Tämä summa sisältää rivi- ja kerrostalopihojen perusviherrakentamisen kustannukset liittyen päällyste-, kasvillisuus- ja kaluste- sekä varustetöihin. (Viherympäristöliitto)

Maa- ja vesirakentamisen sektoreiden arvo vuonna 2010 oli yhteensä 5,5 miljardia euroa. Siitä ympäristö- ja muun vastaavan rakentamisen osuus on 14 prosenttia eli noin 0,77 miljardia euroa. Maa- ja vesirakentamisen sektoreiden osuudet on esitetty kuvassa 2. (Viherympäristöliitto)



KUVA 2. Maa- ja vesirakentamisen sektoreiden osuudet 5,5 miljardista eurosta vuonna 2010. (VTT, MVR-suhdanteet syksy 2010)

### **3 3D Koneohjaus**

#### **3.1 Satelliittipaikannus**

Satelliittipaikannus- eli GNSS-järjestelmä (Global Navigation Satellite System) tarjoaa tarkkaa paikannuspalvelua, joka perustuu maata kiertävistä satelliiteista lähetettävien radiosignaalien rekisteröintiin maanpinnalla toimivien vastaanottimien avulla. GNSS -järjestelmä hyödyntää tällä hetkellä käytössä olevia USA:n GPS-, sekä Venäjän GLONASS -satelliittijärjestelmiä. Euroopalla ja Kiinalla on rakenteilla myös omat järjestelmät, joita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Paikannussatelliitit kiertävät maapalloa noin 20 000 km:n korkeudella omilla kiertoradoillaan. (Paikkatietokeskus)

Satelliittipaikannus perustuu tarkkaan ajanmäärittelyyn. Satelliitin lähettämän radiosignaalin lähetysajankohdan ja vastaanottoajankohdan erotuksesta saadaan signaalin kulku-aika, joka kertoo satelliitin ja vastaanottimen välisen etäisyyden. Neljällä etäisyysmittauksella määritetään vastaanottimen kolmiulotteiset paikkakoordinaatit maailmanlaajuisessa koordinaattijärjestelmässä ja aikaerotus vastaanottimen kellon ja satelliittijärjestelmän ajan välillä. (Paikkatietokeskus)

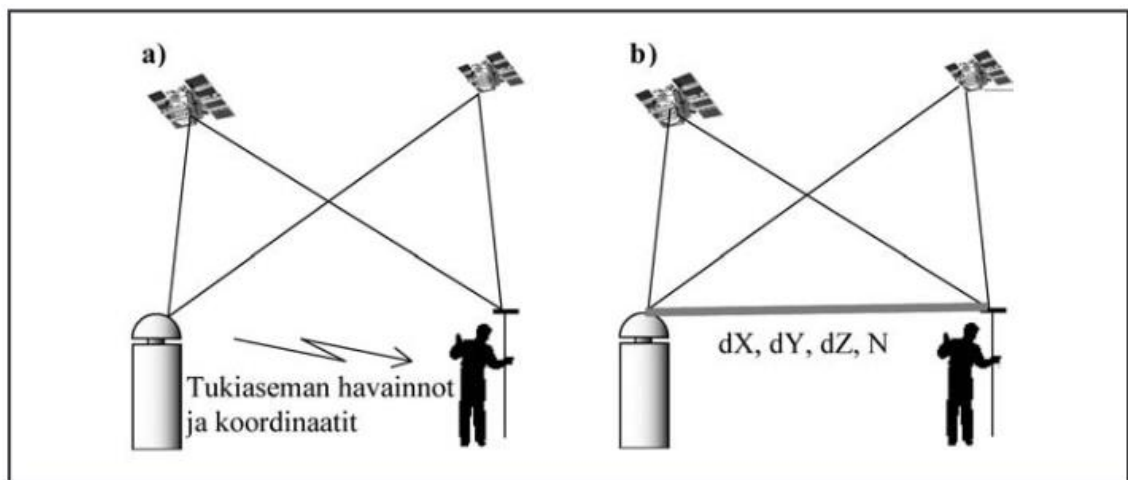
##### **3.1.1 Suhteellinen paikanmäärittäminen**

Suhteellinen paikanmäärittäminen perustuu satelliittien signaalien kantoaallon hyväksikäyttöön. Paikanmäärittelyyn tarvitaan vähintään kaksi vastaanotinta, joista toinen on koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä. Mittauksessa määritellään koordinaattieroja vastaanottimien välillä. (Maanmittauslaitos)

Vastaanottimen lukittuessa satelliitin signaaliin, vastaanotin mittaa sen hetkisen kantoaallon vaiheen. Tästä hetkestä eteenpäin vastaanotin alkaa laskea signaalin tulevien kokonaisten aallonpituuksien lukumäärää. Kun satelliitti liikkuu radallaan, sen etäisyyden muutos näkyy vastaanottimen laskemien saapuneiden aallonpituuksien lukumäärässä. Kun useampaa satelliittia on havaittu jonkin aikaa, aallonpituuksista voidaan laskea satelliitin etäisyys vastaanottimesta. Suhteellisen paikanmäärittelyksen tärkeimmät sovellukset ovat staattinen GPS-mittaus ja RTK-mittaus. (Maanmittauslaitos)

### 3.1.2 RTK-mittaus

RTK-mittauksessa, eli reaaliaikaisessa kinemaattisessa (Real Time Kinematic) mittauksessa, tarvitaan kaksi vastaanotinta ja niiden välille datayhteys. Toinen vastaanottimista on tunnetulla pisteellä sijaitseva tukiasema ja toinen liikkuva vastaanotin, esimerkiksi maastomittalaite tai koneohjausjärjestelmä. Tukiasema lähettää omat koordinaattinsa ja havaintodatansa liikkuvalla vastaanottimelle, joka suorittaa alustuksen. Data voidaan lähettää radioteitse, jolloin useampi liikkuva vastaanotin voi käyttää samaa tukiasemaa. Tukiasemahavainnot voidaan lähettää myös GSM- tai GPRS-datana. Tällöin mittaus voidaan suorittaa missä tahansa verkon kuuluvuusalueella. Alustuksen valmistuttua liikkuva vastaanotin osaa korjata sijaintiaan tukiaseman lähettämien havaintojen perusteella ja näin liikkuvalla vastaanottimella päästään senttimetriluokan tarkkuuksiin. RTK-menetelmässä mittausalue rajoittuu useimmiten ilmakehätekiöiden vuoksi noin 10–30 kilometrin säteelle tukiasemasta. RTK-menetelmän periaate on havainnollistettu kuvassa 3. (Häkli & Koivula, 2005, 6)



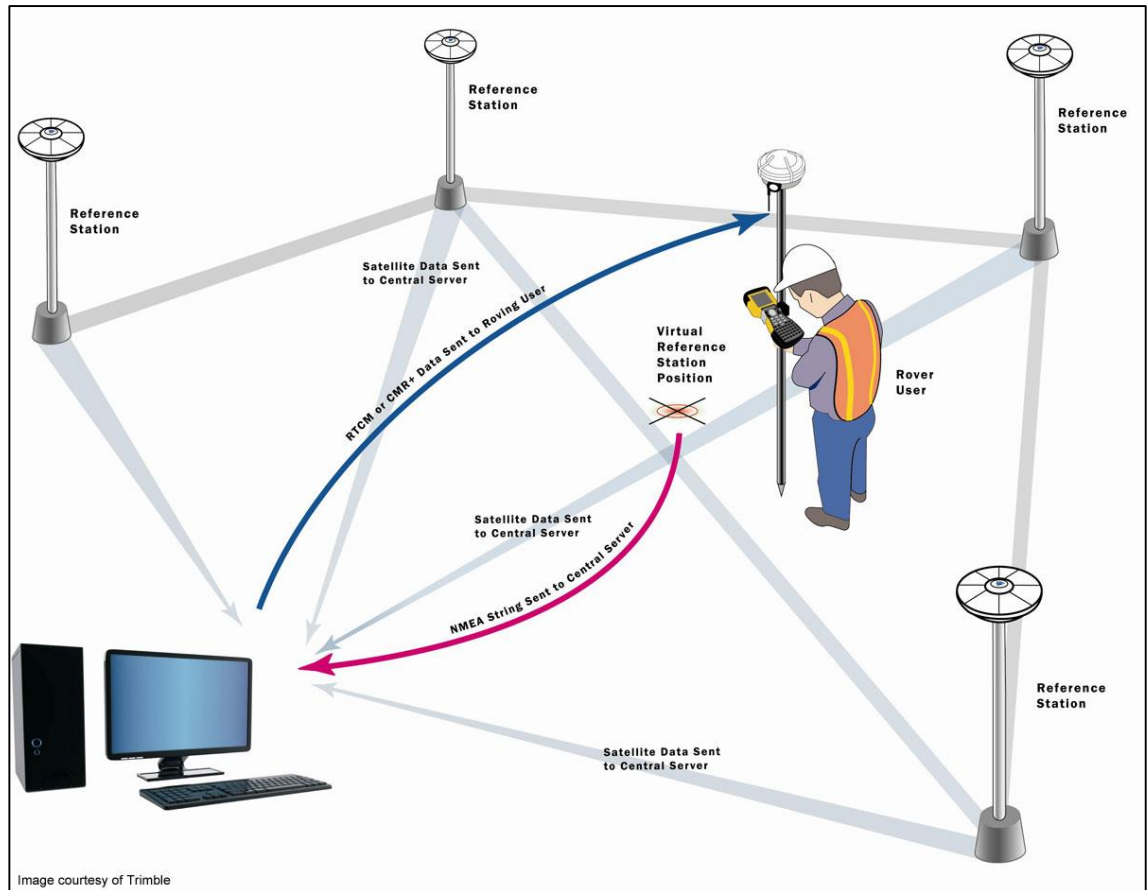
KUVA 3. RTK-mittauksen periaate. (Häkli & Koivula, 2005, 7)

### 3.1.3 VRS-mittaus

RTK-mittauksen rinnalle on tullut kiinteään tukiasemaverkkoon perustuva VRS-menetelmä (Virtual Reference Station). Siinä ei tarvita erillistä tunnetulla pisteellä sijaitsevaa tukiasemaa, vaan liikkuvan vastaanottimen lähelle luodaan virtuaalinen tukiasema. Virtuaalisen tukiaseman data generoidaan ympärillä olevien pysyvien GPS-asemien datasta. Virtuaalidatan lähtökohdaksi otetaan verkon lähimmän todellisen tukiaseman data, joka uudelleen sijoitetaan haluttuun virtuaalitukiaseman sijaintiin. Tämän geometrisen siirron



jälkeen dataan lisätään tukiasemaverkon asemien mallinnetuista virheistä interpoloimalla tai ekstrapoloimalla virheen suuruus virtuaalitukiaseman sijainnissa. Tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman samankaltaista dataa kuin samassa paikassa oleva todellinen tukiasema olisi tuottanut. VRS-järjestelmän avulla voidaan eliminoida tai minimoida monia normaaliin RTK-mittaukseen liittyviä rajoituksia. VRS-menetelmän periaate on havainnollistettu kuvassa 4. VRS tukiasemaverkkopalvelua tarjoaa Suomessa ainakin Geotrim Oy. (Häkli & Koivula, 2005, 8)



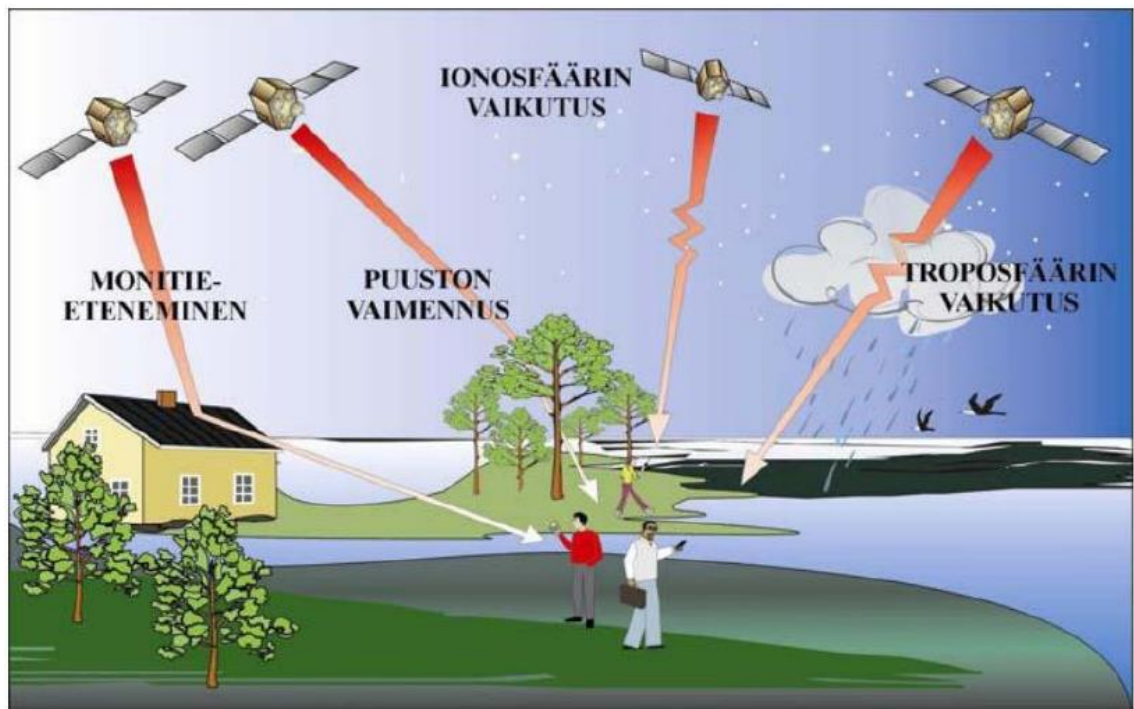
KUVA 4. VRS-menetelmän periaate. (U.S. Geological Survey)

### 3.1.4 Virhelähteet satelliittipaikannuksessa

Satelliittipaikannukseen vaikuttavat monet häiriötekijät, joita kutsutaan virhelähteiksi. Suurin virhelähde lienee ilmakehän ionosfääri ja troposfääri, jotka vaikuttavat satelliitin signaalin etenemisnopeuteen ja sitä kautta ilmenevät virheenä satelliittien etäisyydessä. Auringon aktiivisuus vaikuttaa myös ionosfääriin. Muita virheitä ovat mm. satelliittien radanmäärittymisen ja kellon virheet sekä vastaanottimista johtuvat virheet. Lisäksi tarkkuuteen vaikuttaa satelliittien keskinäinen sijainti taivaalla. Satelliittigeometrian hyvyys

ilmoitetaan DOP -luvulla (Dilution Of Precision). Mitä pienempi luku, sitä pienempi on satelliittigeometrian vaikutus paikannuksen tarkkuuteen. Satelliittigeometria on riittävän hyvä, kun yleisimmin käytetty PDOP-arvo (Position DOP) on alle 6. (Maanmittauslaitos)

Työmaalla ongelmia voivat aiheuttaa puista, rakennuksista tai muista esteistä muodostuvat katvealueet, joihin ei saada satelliittiyhteyttä. Satelliittien lähettämä signaali voi myös heijastua suurista heijastavista pinnoista, jolloin signaalit saapuvat vastaanottiin useaa eri reittiä aiheuttaen virheitä. Tätä kutsutaan monitie-etenemiseksi tai -heijastukseksi. Myös maanpäällisten langattomien verkkojen katveet ja häiriöt voivat aiheuttaa ongelmia näitä verkkoja hyödyntävien menetelmien yhteydessä. Langattomia verkkoja hyödynnetään mm. VRS -palveluissa sekä tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välillä RTK -menetelmissä. Satelliittipaikannuksen häiriöitä on havainnollistettu kuvassa 5. (Määttänen, M. 2014, 30)



KUVA 5. Satelliittipaikannuksen häiriötekijöitä. (Airos, Korhonen, Pulkkinen 2007, 16)

## 3.2 Koneohjausjärjestelmä

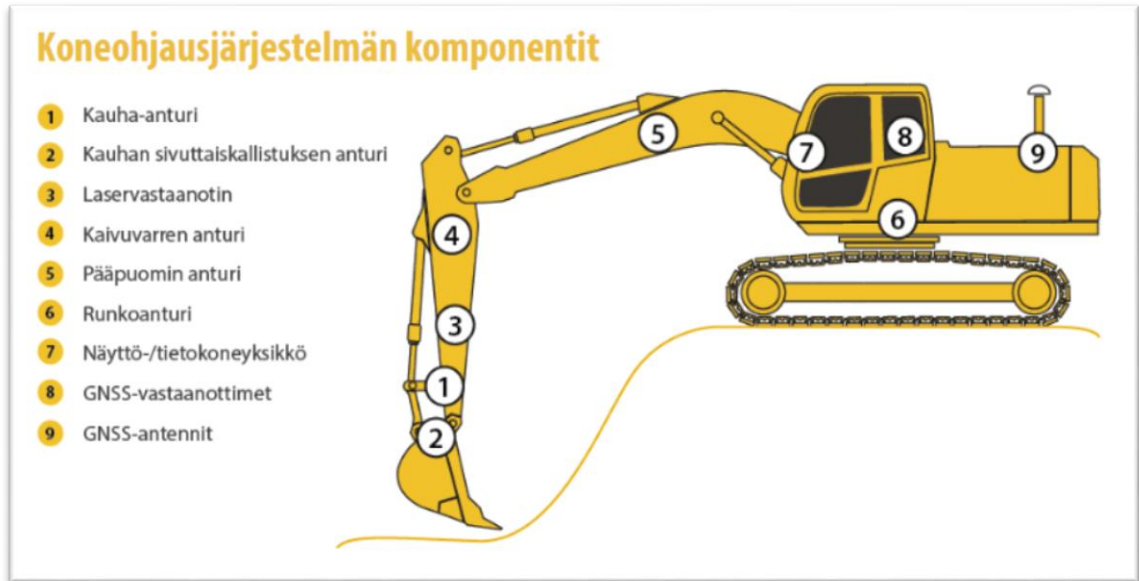
Perinteisesti mittaryhmä on suunnittelijalta saamiensa aineistojen perusteella merkinnyt työmaalle kepein ja korkolapuvin linjat, korot sekä muut työn suorittamiseksi tarvittavat merkinnät. Tähän tapaan liittyy kuitenkin useita ongelmia. Monesti yksiselitteisen maastonmerkinnän tekeminen on vaikeaa, ellei mahdotonta. Siksi työtä suoritettaessa joudutaan käyttämään ajokeppejä ja mittaamaan etäisyyksiä mittanauhalla. Tästä aiheutuu työajan hukkaa ja mittaus- ja tulkintavirheiden mahdollisuus. Muita ongelmia ovat esimerkiksi maastomerkintöjen tuhoutuminen yliajon tai ilkivallan seurauksena sekä työn suorittamisen riippuvuus mittaryhmän aikatauluista.

Koneohjausjärjestelmän avulla pystytään ratkaisemaan näitä ongelmia. Järjestelmän idea on siinä, että työkoneesta luodaan antureiden, satelliittipaikannuksen ja tietokoneen avulla mittalaite, johon suunnitelma-aineisto siirretään suoraan. Näin pystytään toteuttamaan suunnitelmien mukaisia rakenteita parhaimmillaan jopa ilman mittaryhmän käyttöä.

Koneohjausjärjestelmiä on sekä kuljettajaa opastavia, että itse työn suorittamiseen osallistuvia ratkaisuja. Kaivinkoneissa käytettävät järjestelmät ovat tyypiltään kuljettajaa opastavia, eli kuljettaja näkee ohjaamossa olevalta ruudulta kauhan huulilevyn sijainnin suhteessa suunnitelmiin. Työtä suorittavia järjestelmiä käytetään esimerkiksi puskukoneissa ja tiehöylissä, joissa terän liikkeet ovat yksinkertaisemmat. Näissä teräautomatiikaksikin kutsutuissa järjestelmissä koneohjausjärjestelmä ohjaa työterän hydraulikkaa ja pitää terän halutussa korossa tai ohjaa sitä suunnitelmapinnan mukaan. Kuljettaja hoitaa koneen ajolinjat sekä muut toiminnot.

### 3.2.1 Järjestelmän osat

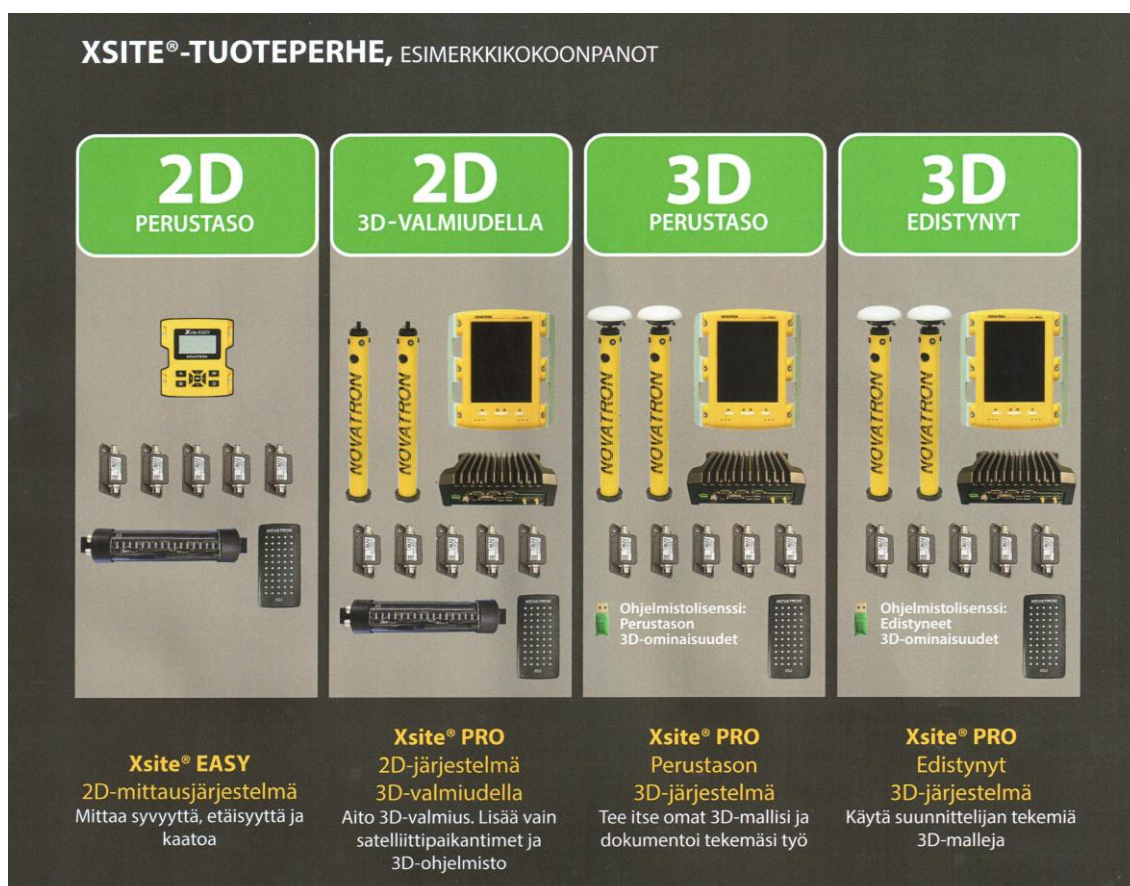
3D-koneohjausjärjestelmä koostuu kolmesta osakokonaisuudesta. Ensimmäinen kokonaisuus sisältää puomin anturoinnin, jonka avulla tiedetään huulilevyn sijainti koneen sisäisessä koordinaatistossa jonkin tietyn pisteen suhteen. Toinen osa on satelliittipaikannus, jolla tiedetään koneen sijainti valitussa koordinaattijärjestelmässä. Kolmas kokonaisuus on näyttö sekä tietokone, joka yhdistää ulkoisen ja sisäisen sijaintitiedon ja vertaa niitä tietokoneelle ladattuun suunnitelma-aineistoon. Koneohjausjärjestelmän osat on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Koneohjausjärjestelmän osat. (Novatron)

Useimmiten riittävän paikannustarkkuuden saavuttamiseksi tarvitaan työmaalle kiinteä RTK -tukiasema tai VRS -tukiasemaverkkopalvelu, joiden toimintaperiaatteet on esitelty aiemmin tässä työssä. RTK -tukiasema voi olla esimerkiksi pienessä siirrettävässä kon-  
tissa tai se voidaan sijoittaa jonkin rakennuksen katolle. VRS -tukiasemaverkkopalvelu ei vaadi fyysisiä laitteita työmaalle, mutta siihen täytyy hankkia lisenssi palveluntarjo-  
ajalta.

Järjestelmävalmistajilla on tarjolla myös edullisempia järjestelmäkokonaisuuksia, joista puuttuu edellä mainittuun verrattuna joitakin osia, esimerkiksi satelliittipaikannus tai 3D-  
suunnitelmien käytön vaatima ohjelmisto. Tällöin käyttöön saadaan joitakin koneohjaus-  
järjestelmän etuja, mutta mittauksesta ja maastoon merkinnästä ei voida kokonaan luo-  
pua. Kuvassa 7 on esitetty järjestelmävalmistaja Novatronin esimerkkikokoonpanoja.



KUVA 7. Esimerkki erilaisista järjestelmäkokonaisuuksista. (Novatron esite)

Kun 2D paperikuvista siirrytään sähköisiin 3D kuviin ja edelleen tietomalleihin, tarvitaan koneohjausjärjestelmän lisäksi mahdollisuus päästä työmaalla käsiksi suunnitelmiin. Tähän on jo olemassa ratkaisuja, kuten Infrakit -palvelu, jonka avulla työnjohto voi tarkastella suunnitelmia ja seurata työmaan toimintaa myös etänä. Palvelussa voi esimerkiksi seurata työkoiden sijaintia ja käyttöastetta sekä tarkastaa toteumapisteitä. Siihen voidaan antaa oikeudet myös tilaajalle. Infrakitistä on sekä selainversio, että mobiilisovellus.

### 3.2.2 Sovellukset

Tässä työssä käsitellään kaivinkoneen koneohjausjärjestelmiä, mutta koneohjausjärjestelmiä on käytössä muissakin konetyypeissä. Kaivinkoneiden ohella yleisin koneohjaussovellus lienee tiehöylien järjestelmä, josta koneohjausjärjestelmien kehitys on lähtenyt aikanaan liikkeelle. Muita maan siirtämiseen ja muotoiluun liittyviä sovelluksia ovat pus-kukoneisiin ja pyöräkuormaajiin asennetut järjestelmät.

Muita maarakennusalan koneohjaussovelluksia ovat asfaltinlevittimien, stabilointikoneiden ja uusimpana jyrrien järjestelmät. Asfaltinlevittimessä koneohjausjärjestelmä ohjaa suoraan koneen perää tai opastaa perämiestä ohjaamaan perää tavoitepinnan mukaisesti. Stabilointikoneissa, esimerkiksi pilaristabiloinnissa, järjestelmä osoittaa kuljettajalle kunkin pilarin sijainnin, mitat ja sideainemäärän. Jyrän järjestelmä näyttää kuljettajalle värein suunnitelmakartalla missä kohdissa vaadittu tiiveys tai yliajokerrat on saavutettu ja missä vaaditaan vielä tiivistystä.

Tarkemman korkeustietovaatimuksen takia tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä käytetään pääasiassa takymetriohtausta satelliittipaikanuksen sijasta. Takymetripaikannuksella paikannustarkkuus saadaan millimetriluokkaan, kun satelliittipaikannuksella se on parhaimmillaan muutamia senttejä. Takymetriohtauksessa koneessa on satelliittiantennien sijasta koneen työterään asennettu aktiiviprisma, johon robottitakymetrillä on oltava esteetön näköyhteys työn aikana.

#### 4 Aiempia tutkimuksia koneohjauksen käytöstä

Maarakennuskonevalmistaja Caterpillar teki vuonna 2006 testi- ja koulutuskeskuksessaan Malagassa tutkimuksen, jossa rakennettiin kaksi identtistä tietä, toinen perinteisellä menetelmällä maastoon merkiten ja toinen mallinnusta ja koneohjausta hyödyntäen. Kaivinkonetyössä saavutettiin noin 30 % kapasiteetin paraneminen ja tiehöylällä jopa 90 % parannus. Massojen siirtoa tehtiin koneohjauksella noin 20 % vähemmän, eli perinteisellä menetelmällä tapahtui siis ryöstöä tai turhaa siirtelyä. Mittamiehen työajasta koneohjaus säästi 95 % ja perinteisen menetelmän tarvitseman perämiehen sijasta koneohjauksella pärjättiin ilman. (Caterpillar)

Koneohjauksen käyttö paransi myös työn laatua. Tarkemittaukset osoittavat, että koneohjauksella toteutettu tie noudattaa tarkemmin suunniteltua. Alusrakenteen tarkkuusvaatimuksen ( $\pm 30$  mm) täytti perinteisessä toteutuksessa vain 35 % mittaustuloksista ja koneohjauksella toteutetun 86 %. Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset ( $\pm 20$  mm) täytti 45 % perinteisessä vaihtoehdossa ja koneohjauksella 98 %. (Caterpillar)

Vuonna 2013 koneohjausta tutkittiin kevyen liikenteen väylän rakentamisessa Keski-Suomessa tapauksessa, jossa urakoitsija hankki laitteiston kyseiselle työmaalle. Siitä huolimatta, että koneohjaus oli uutta koko työmaan organisaatiolle, saavutettiin sillä selviä etuja. Kyseisellä työmaalla kaivinkoneen työtehon havaittiin parantuneen noin 12 %, hie-man työvaiheesta riippuen. Mittaustarve työmaalla väheni noin 65 %. Näin ollen koneohjausjärjestelmä maksaisi itsensä takaisin kolmen noin 1 miljoonan suuruisen työmaan aikana. (Hyvärinen, 2014)

3D-koneohjauksen käyttöä on tutkittu useissa opinnäytetöissä eri puolilla Suomea. Tutkimusympäristöt ovat olleet enimmäkseen tien- ja kadunrakennuksen työmaita. Erinäisistä ongelmista ja uusien järjestelmien vaatimasta opettelusta huolimatta, saadut tulokset ja kokemukset ovat olleet positiivisia.



## 5 Koneohjausmallit

### 5.1 Tietomallipohjainen suunnittelu

Tietomallinnus on tiedon käsittelyn tapa, jossa tuotetta kuvataan tietokonesovelluksilla mallina ja sen muodostavina osina, ja sovellukset pystyvät automaattisesti tulkitsemaan mallin sisältämiä tuotetietoja. Tietomallin ajatus on, että se sisältää kolmiulotteisesti mallinnettujen rakenteiden lisäksi kaiken tarvittavan tiedon esimerkiksi materiaaleista ja varusteista. Näin päästään eroon 2D kuvista ja työselostuksista, joissa tietoja joutuu etsimään eri paikoista. Tämä vie aikaa ja tulkintavirheiden mahdollisuus on ilmeinen.

Tietomallin on tarkoitus palvella rakennusprosessin lisäksi koko rakenteen elinkaaren ajan. Alkuvaiheessa malliin tuodaan lähtötietoja suunnittelun perustaksi, suunnittelun tuloksena saatavia toteutusmalleja käytetään rakentamisessa ja toteumatiedolla täydennetyt mallit jäävät ylläpidon apuvälineeksi sekä tulevaisuudessa uudelleenrakennuksen lähtötiedoiksi. Tätä tietomallin elinkaarta on havainnollistettu kuvassa 8.



KUVA 8. Mallipohjaisen infrahankkeen elinkaari (buildingSMART Finland)



Infran tietomallinnukseen on laadittu ohjeistus Yleiset inframallivaatimukset YIV2015, sekä InfraBIM -nimikkeistö. Tarve vaatimuksille on syntynyt suurimpien infratilaajien tavoitteesta siirtyä tietomallintamisen käyttöön. Tilaaajilla ja palvelujen tarjoajilla on oltava yhteinen näkemys siitä, mitä ja miten mallinnetaan hankkeiden eri vaiheissa. Inframallivaatimukset on tarkoitettu käytettäväksi hankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina ja inframallintamisen ohjeina. InfraBIM -nimikkeistössä esitetään infrarakenteiden ja -mallien elinkaaren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Nimikkeistö perustuu Infra-rakennusosanimikkeistöön ja laajentaa sitä. Nimikkeistön mukaisella tiedon jäsentelyllä varmistetaan tiedon yhteensopivuus eri ohjelmistojen ja osapuolten kesken. Ohjeet ja nimikkeistön on laatinut Rakennustietosäätiön buildingSMART Finland -toimikunnan infratoimialaryhmä. (buildingSMART Finland 2016)

Kattavan tietomallin tietosisältö on valtava, eikä se sellaisenaan palvele rakentamisen tarpeita. Siksi siitä tuotetaan vain tarpeellisen tiedon sisältäviä toteutusmalleja työmaan tarpeisiin, näistä hyvä esimerkki on työkoneen koneohjausmalli. Niin kutsuttuun yhdistelmämalliin voidaan sisällyttää kaikki saman alueen rakenteet, jolloin voidaan todeta, että rakenteissa ei ole sellaisia törmäyksiä tai muita suunnittelun virheitä, jotka estäisivät rakenteiden toteuttamisen. Mallintamisen etuna on ylipäättään kokonaisvaltaisempi suunnittelu. Käytettävät ratkaisut ja esimerkiksi rakenteiden rajapinnat joudutaan miettimään jo suunnitteluvaiheessa, koska malli käsittää koko työmaan toisin kuin tasokuva ja muutama leikkaus. Näin riski työmaan seisahtumisesta puutteellisten suunnitelmien takia pienenee huomattavasti. (buildingSMART Finland 2015)

## **5.2 3D suunnitelmat ja koneohjausmallit**

Tietomallipohjainen suunnittelu on vasta tekemässä tuloaan infrarakentamiseen ja se onkin käytössä lähinnä vasta valtakunnan kärkihankkeissa ja erinäisissä pilottikohteissa. Tietomallista kevyempi versio on komiulotteisesti mallinnettu työmaan suunnitelma, joka mahdollistaa koneohjauksen hyödyntämisen, mutta työmaa nojaa muilta osin edelleen perinteisiin paperisiin työselostuksiin ja dokumentteihin. Tässä tapauksessa työmaata ei ole tarpeen mallintaa kauttaaltaan käsittämään kaikkia rakenteita, vaan vain ne rakenteet joissa koneohjausta on mahdollista hyödyntää.

Koneohjausmallissa tietoa esitetään pääasiassa pintoina, viivamaisina objekteina sekä pisteinä. Pintamalli tehdään tyypillisesti leikkauspohjasta ja rakennekerrosten yläpinoista. Viivana voidaan esittää esimerkiksi putkilinjoja ja pisteellä valaisimen jalustan paikkaa.

Tämän työn kolmeen tutkimuskohteeseen rakenne- ja kuivatussuunnitelmat oli laatinut FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy tilaajana toimineen Jyväskylän kaupungin toimeksiantajana. FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n aluepäälliköltä Jarmo Silvennoiselta tiedusteltiin, missä määrin mallintaminen on käytössä heidän suunnittelutyössään, vaikka tilaaja tilaisikin vain 2D -suunnittelua. Silvennoisen mukaan heillä kaikki suunnittelu tehdään jossain määrin 3D-pohjaisesti. Puistokohteissa väylät ja kaikki alueet, joista tehdään tasauspiirros sekä kaivot, putket ja vesihuoltokanaalit, suunnitellaan 3D -maailmassa. Suunnitelmapintamalleja käytetään itse suunnitteluun sekä leikkausten piirroksissa ja massalaskennassa. Samalla tiedusteltiin myös, paljonko lisäkustannuksia aiheuttaisi, jos suunnittelija tuottaisi suunnitelmat suoraan koneohjausmalliksi. Silvennoisen mukaan tästä aiheutuisi arviolta vain 10-20 % lisä suunnittelukustannuksiin. FCG:llä on kokemusta myös täysin tietomallipohjaisesta suunnittelusta, mutta ainakaan tämän tyyppisissä kohteissa Silvennoinen ei näe siitä koneohjausmallin lisäksi juurikaan lisäarvoa työmaalle. (Silvennoinen, sähköpostihaastattelu)

### **5.3 Kuvista mallintaminen**

Tämän työn tutkimuskohteena olevassa Tikkakosken lähiliikuntapaikan rakentamishankkeessa tarvittavat koneohjausmallit tuotettiin pääurakoitsijan toimesta tilaajan toimittamien 2D -kuvien perusteella. Tämä mahdollistaa koneohjauksen käytön silloinkin, kun kohteen suunnitelmat ovat saatavissa ainoastaan 2D -kuvina.

Koneohjausmallin tuottamisen prosessi riippuu käytettävissä olevista lähtötiedoista, sekä siitä, minkä tyyppinen kohde on kyseessä. Leikkipuistotyyppisen kohteen mallintaminen alkaa tarvittavien tietojen poimimisella asemapiirroksista. Tarvittavia tietoja ovat esimerkiksi alueiden rajat, tasausviivat ja asennettavat varusteet. Mallinnettavalle alueelle haetaan korkotiedot tasausviivoille, sekä riittävä määrä muuta viiva- tai pistemäistä korkotietoa. Korkotiedot saadaan tasausviivoista sekä pituus- ja poikkileikkauksista. Lisäksi usein joudutaan ottamaan yhteyttä suunnittelijaan. Kun korkotietoa on riittävästi, voidaan

suorittaa kolmiointi. Kolmioinnissa viiva- ja pistemäisten korkotietojen välille muodostetaan pinnat kolmioista. Kun pinta on kolmioitu, voidaan antaa korot varusteille, leik-  
kauspohjille ja täyttökerroksille. Tarkistuksen jälkeen malli alkaa olla valmis koneohjaus-  
järjestelmään siirrettäväksi. Formaattimuutos voidaan tarvita suunnitteluohjelmistosta ja  
koneohjausjärjestelmästä riippuen.

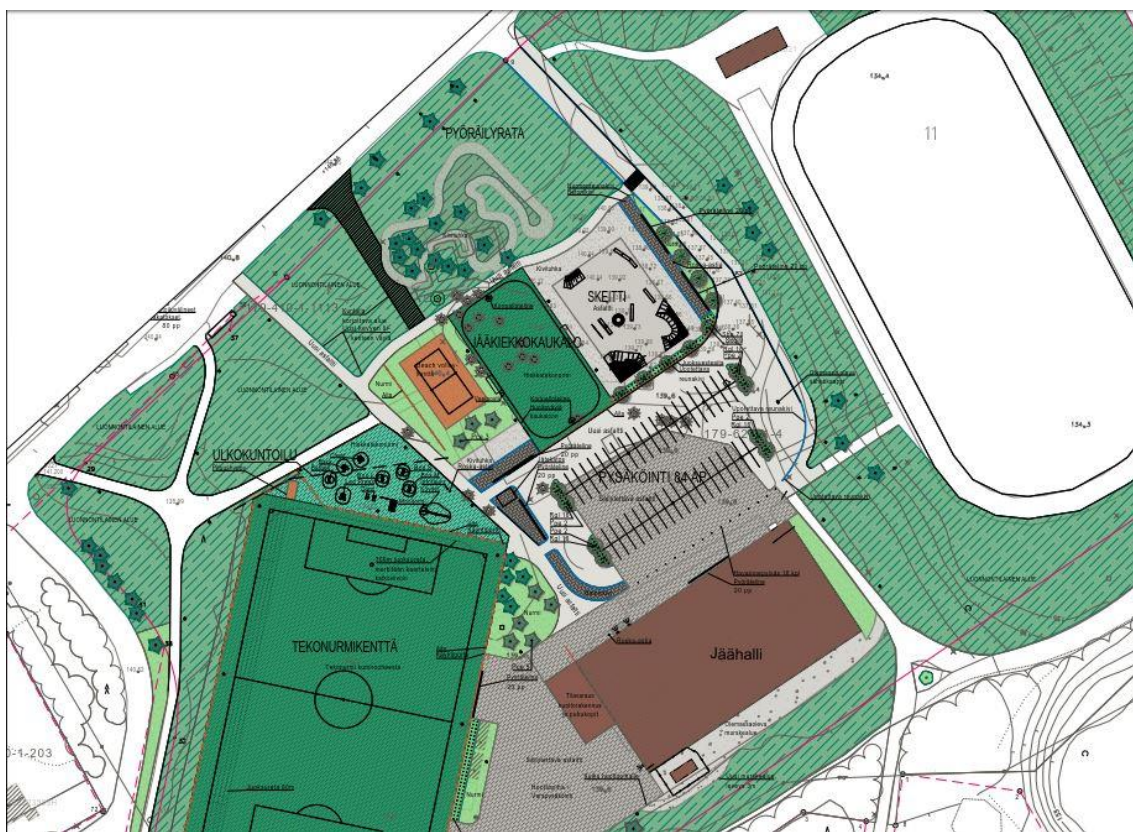
## 6 Koneohjauksen soveltuminen viherrakentamisen kohteeseen

### 6.1 Tutkimuskohde Tikkakosken lähiliikuntapaikka

Kohde sijaitsee Jyväskylän kaupungissa, Tikkakosken kaupunginosassa. Alue koostuu Luonetjärven koulun, Tikkakosken koulun (kuva 10) sekä liikuntapuiston (kuva 9) alueista. Tikkakosken koulun sekä liikuntapuiston alue toteutettiin kesällä 2016. Luonetjärven koulun pihan työt toteutetaan vasta kesällä 2017, joten ne eivät ehdi tähän tutkimukseen.

Lähtötilanteessa liikuntapuiston alue sisälsi jäähallin parkkipaikoineen, urheilukentän, hiekkakentän sekä luonnontilaisen metsäalueen. Tikkakosken koulun piha oli vähävirikkeen ja sisälsi koripallotelineet sekä pienen peliareenan.

Lähiliikuntapaikan rakennusurakassa liikuntapuiston alueelle rakennettiin beach volley -kenttä, jääkiekkokaukalo, skeittialue (kantavan yläpintaan), kuntoilulaitteita sisältävä alue, uusi pihaanajoväylä ja kevyen liikenteen väylä sekä parkkialueen laajennus.



KUVA 9. Tikkakosken lähiliikuntapaikan liikuntapuiston puoli.







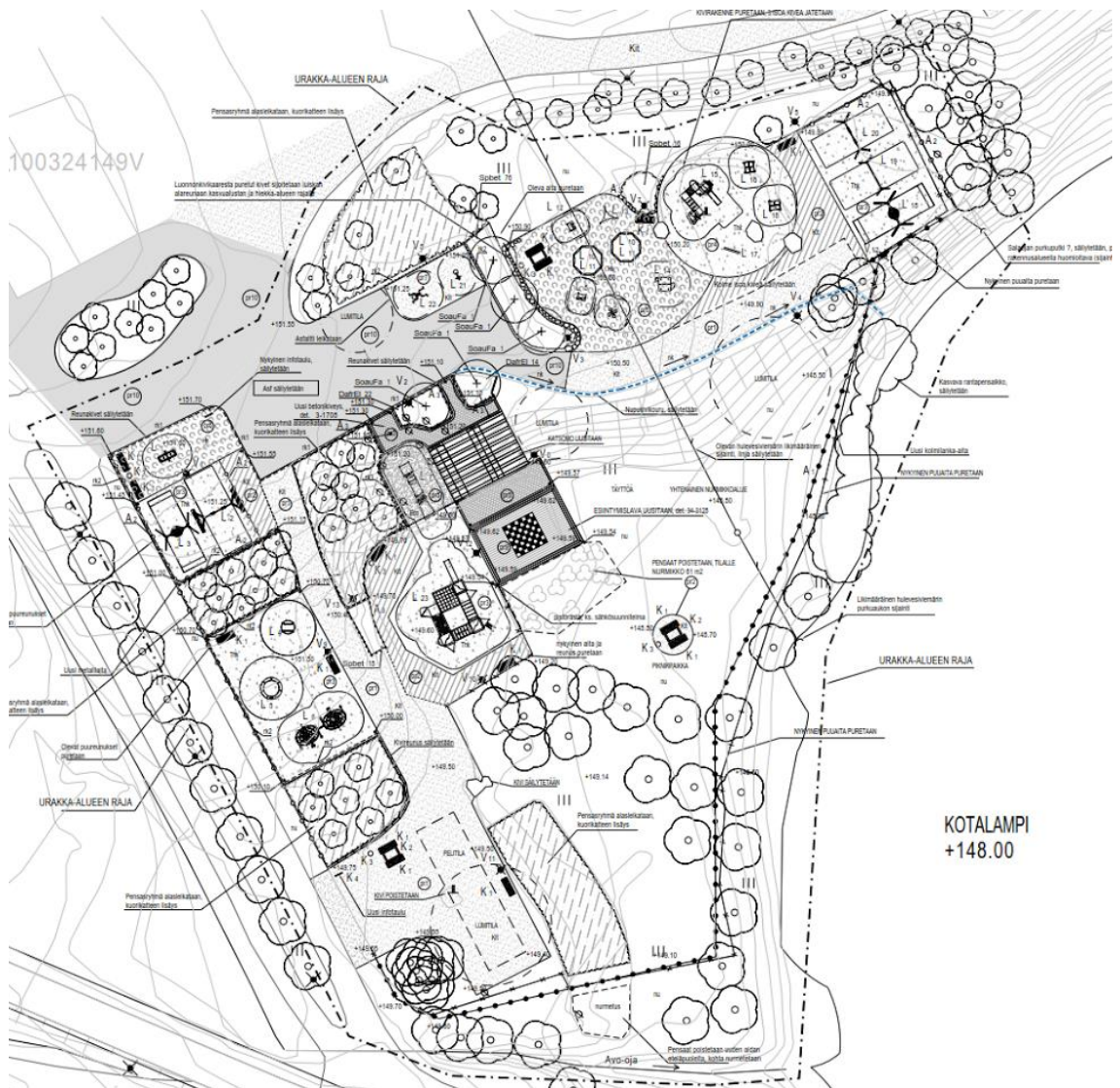
KUVA 11. Työmaalla käytössä ollut, koneohjauksella varustettu kaivinkone. (Kuva: Jonne Kurkinen)

### 6.1.1 Vertailukohteet

Vertailukohtana koneohjatuille työmaalle tässä työssä käytetään kahta samana kesänä toteutettua leikkipuiston kunnostuskohdetta, joissa toimittiin ilman koneohjausta. Nämä kohteet olivat Sääksmäenpolunpuiston kunnostus Jyväskylän Nenäinniemessä, sekä Kotalammen toimintapuiston kunnostus Jyväskylän Keltinmäessä. Näissä tilaajana oli Jyväskylän kaupunki, kaupunkirakennepalvelut, liikenne ja viheralueet.

Sääksmäenpolunpuisto (kuva 12) on pienehkö puuston ympäröimä korttelileikkipuisto kahden kevyen liikenteen väylän risteyksessä. Puiston kunnostuksessa uusittiin suurin osa leikkivälineistä niihin kuuluvine turva-alustoineen. Aluetta jäsenneltiin uudelleen ja lisättiin rajaavaa kasvillisuutta. Myös valaistus uusittiin ja valaisimien määrää lisättiin.





KUVA 13. Kotalammen toimintapuisto

Nämä kohteet edustavat ehkä paremmin keskivertoa viherrakentamisen kohdetta. Tikka-kosken lähiliikuntapaikka on poikkeuksellisen mittava viherrakentamisen kohde sisältäen ajoneuvoliikenteen rakenteita. Jokaisessa kolmessa kohteessa oli kuitenkin runsaasti väline- ja varusteasennuksia sekä muita monimuotoisia rakenteita, jotka ovat tyypillisiä viherrakentamisen kohteissa ja siksi keskeisessä asemassa tässä tutkimuksessa.

Vertailukohteissa mittaryhmä kävi muutaman kerran tekemässä tarvittavia mittauksia ja merkintöjä. Asennustyöryhmä teki varusteiden paikalleenmittaukset mittanauhalla ja tasolaseilla, mittaryhmän tekemiin merkintöihin tukeutuen. Molemmissa kohteissa kohteena oli noin 20 tonnin pyörä-alustainen kaivinkone. Lisäksi apuna käytettiin pientä Avant -pyöräkuormaajaa. Molemmat työmaat kestivät noin kaksi kuukautta.



## 6.2 Koneohjauksen edut

Viherrakentamisen kohteet ovat tyypillisesti melko pieniä, jolloin niissä myös työnjohdon ja mittauksen resurssit ovat rajalliset. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että työnjohto ei päivystä työmaalla jatkuvasti ja mittaryhmälle on voitu laskea vain muutama käynti työmaan aikana. Perinteisen työtavan yhteydessä tämä johtaa usein siihen, että konetyö keskeytyy suunnitelmien tai maastoon merkinnän tulkintavaikeuksien takia, ja työmaalla joudutaan odottamaan työnjohdon tai mittajaan saapumista. Koneohjatulla työmaalla työkone kykenee rakentamaan mallinnetut rakenteet lähes ilman työnjohdon tai mittajaan avustusta. Vertailutyömailla työnjohdon tarve oli päivittäistä. Tähän vaikuttavat mm. koneenkuljettajan kokemus, oma-aloitteisuus ja piirustustenlukutaito. Koneohjausjärjestelmän voidaan todeta auttavan suunnitelmien hahmottamisessa ja sen seurauksena edesauttavan työkoneen kuljettajan itsenäistä työskentelyä.

Yksi keskeinen ongelma perinteisessä mittaustavassa on maastoon merkintöjen tuhoutuminen työkoneiden työskentelyn, tai ilkkivallan, seurauksena. Ongelma korostuu ahtaissa kohteissa, kuten leikkipuistoissa, joissa alue itsessään on jo pieni ja se on tarkoitus rakentaa täyteen erilaisia leikkivälineitä ja varusteita. Leikkivälineiden ja niiden vaatimien turva-alueiden selkeä maaston merkitseminen voi aiheuttaa keppiviidakon, jonka seassa työskentely merkintöjä tuhoamatta on hankalaa, ellei mahdotonta. Toisaalta merkintöjen vähentäminen vaatii joko huomattavasti enemmän mittaryhmän käyttöä laitteiden kaivussa ja asennuksessa, tai työryhmän tekemää silmämääräistä asemointia mittanauhaa ja tasolaseria apuna käyttäen. Jälkimmäisessä tavassa on kuitenkin huomattava riski laatu- ja turvallisuuskriteerien täyttymättä jäämisestä. Tämän välttämiseksi esimerkiksi turva-alueet saatetaan kaivaa varmuuden vuoksi ylisuuriksi, jotta vaatimukset varmasti täyttyvät. Tällöin tehdään kuitenkin ylimääräistä massanvaihtoa, joka aiheuttaa turhia kustannuksia.

Tikkakosken lähiliikuntapaikan rakentamisessa ei päästy tutkimaan koneohjauksen käyttöä leikkivälineiden asennuksen kaivutöissä, koska niiden vaatimista kaivannoista ei ehditty teettää koneohjausmallia. Välineet mitattiin lopulta paikalle mittanauhan ja tasolaserin avulla. Koneohjauksen käytölle myös välineasennuksessa ei kuitenkaan nähdä esteitä, kunhan kaivinkoneen koko ja alustatyyppi ovat kohteeseen sopivat. Esimerkiksi valaisinpylväiden jalustoja sekä hulevesikaivoja asennettiin koneohjauksen avulla onnistuneesti.

Vertailukohteissa oli hieman ongelmia turva-alueiden mittojen ja varusteiden sijaintitarkkuuden saavuttamisessa. Turva-alueita ja välineiden asennusalustoja jouduttiin usein parantelemaan konetyön jäljiltä, jotta asennus voitiin suorittaa. Myös lopullisiin pintoihin jäi hieman korkopoikkeamia. Tikkakosken lähiliikuntapaikan rakentamisessa koneohjauksella toteutetut rakenteet onnistuivat pääosin vaaditulla tarkkuudella. Lisäksi koneen työskentely oli tehokasta, koska käsin mittaamista ei tarvittu.

Koneohjausjärjestelmään on mahdollista tuoda myös maanalaisten rakenteiden, kuten putkien ja kaapelien sijaintitiedot, mikäli ne ovat saatavilla. Järjestelmään voidaan ohjelmoida turvaetäisyys, jonka alittuessa järjestelmä varoittaa kuljettajaa kyseisistä rakenteista. Näin voidaan välttää putkien ja kaapelien vaurioittamista. Putki- ja kaapelivaurioiden välttäminen on tärkeää, koska niiden vaurioituminen voi aiheuttaa vaaratilanteita. Lisäksi vaurioista aiheutuu lähes aina työn seisahtuminen ja korjauskustannuksia.

Koneohjaus mahdollistaa myös toteumatiedon tallentamisen työn edetessä. Toteumatiedoista voidaan seurata työn etenemistä etänä ja toteumapisteitä voidaan käyttää laadunvarmistuksen työkaluna. Toteumatietoa on mahdollista hyödyntää myös jälkilaskennassa ja toteutuneiden määrien laskennassa yksikköhintaperusteisissa töissä. Käyttökelpoisen toteumatiedon tuottamiseksi toteumapisteitä on otettava säännöllisesti ja oikeista kohdista. Myös putkien ja kaapeleiden sijainti voidaan tallentaa heti asentamisen jälkeen, jolloin mittamiestä ei tarvitse odotella työmaalle ennen kuin peittäminen voidaan aloittaa. Riippuu kuitenkin tilaajasta tai kaapelin omistajasta, hyväksyvätkö he koneohjauksella tuotettua sijaintitietoa tarketiedoksi.

### **6.3 Ongelmat koneohjauksessa**

Koneohjauksen pilottikohteena toimineen Tikkakosken lähiliikuntapaikan rakentamisen yhteydessä törmättiin myös muutamiin ongelmiin koneohjaukseen liittyen. Työnjohdon vähäinen aiempi kokemus koneohjauksen käytöstä vaikutti osittain siihen, että näitä ongelmia pääsi syntymään. Myös päällekkäisten työmaiden aiheuttama kiire hankaloitti osaltaan perusteellisempaa työvaiheiden valmistelua ja valvomista. Alla on lueteltu työmaalla havaittuja ongelmia ja etsitty niihin ratkaisuja, joiden avulla samoja ongelmia voidaan tulevaisuudessa välttää.

Satelliittipaikannuksessa oli ajoittain ongelmia sekä työkoneessa, että mittaajien vastaanottimissakin. Laitteiden epätarkkuudet saattoivat olla enimmillään kymmeniä senttimetrejä. Läheinen puusto sekä rakennukset saattoivat vaikuttaa asiaan, vaikka työmaa kohtuullisen avoin alue olikin. Syyksi epäiltiin myös lähellä sijaitsevaa puolustusvoimien toimintaa. Mittauksien osalta ongelmaa pystyttiin välttämään takymetriä käyttämällä.

Alkuperäisissä suunnitelmissa oli jonkin verran puutteita ja virheitä esimerkiksi korkojen osalta. Huonojen lähtötietojen aiheuttamat korkovirheet tulivat ilmi olemassa oleviin rakenteisiin liityttäessä. Joidenkin rakenteiden kohdalta ei ollut leikkauskuvia ollenkaan, joten niitä ei oltu osattu myöskään mallintaa oikein. Virheiden selvittäminen työmaalla vei aikaa, eikä muutoksia ja korjauksia myöskään ehditty mallintaa. Tästä johtuen rakenteiden liittymäkohtia ja muutoskohtia jouduttiin tekemään niin sanotusti silmällä. Näitä ongelmia voidaan pyrkiä välttämään huolellisemmalla suunnittelulla ja perusteellisemmalla suunnitelmien tarkastamisella.

Työmaan koneohjauksella varustettu 26 tonnin kaivinkone soveltui tälle työmaalle kohtuullisesti, koska tilaa oli melko paljon ja varsinkin parkkialueiden rakentamisessa oli paljon massojen siirtoa. Se olisi ollut kuitenkin turhan suuri välineasennuksiin, eikä sillä myöskään olisi päässyt tela-alustaisuutensa takia kaikkiin välineasennuskohtiin, koska niiden ympärille oli aikataulusyistä jouduttu jo levittämään asfaltti. Useisiin viherrakentamisen kohteisiin tämän kokoinen kone olisi aivan liian suuri. Koneohjausjärjestelmien yleistyessä pienempiäkin koneohjauksella varustettuja koneita tulee todennäköisesti paremmin tarjolle.

Työmaan alkupuolella kaivinkonetta oli ajamassa kuljettajia, joilla ei ollut aiempaa kokemusta koneohjauslaitteiden käytöstä. Ennen töiden aloittamista kuljettajat täytyi perehdyttää laitteiden käyttöön ja antaa tukea käytön alkuvaiheessa. Työskentely koneohjauslaitteiden kanssa lähti kuitenkin sujumaan työteknisesti hyvin. Tämä toimii osoituksena siitä, että uusi työskentelytapa on helppo omaksua.

Niin kuin aiemmin jo mainittiin, oli koneohjaus käytössä vain yhdessä koneessa. Sen lisäksi työmaan eri vaiheissa jouduttiin käyttämään muita koneita, joita ei ollut varustettu koneohjausjärjestelmällä. Esimerkiksi osa rakennekerroksista levitettiin pyöräkuormajalla ja päällysteyrakoitsija teki asfalttipohjat pääosin tiehöylällä. Tästä aiheutui se, että

koneohjaukselle mallinnettuja rakenteita jouduttiin merkitsemään perinteisesti kepittämällä. Tällöin samasta rakenteesta aiheutuu sekä mallinnus, että merkitsemiskulut. Tämä voi olla ihan järkevääkin, mikäli kohtalaisen vähällä merkitsemisellä voidaan saavuttaa suurempi työteho. Näin voi olla esimerkiksi edellä mainitun kerrosten levittämisen kohdalla. Sen sijaan kerrosten pintojen tarkemmassa tasauksessa koneohjauksella saavutetaan parempi teho ja tarkkuus, joten siinä ainakin kannattaisi pyrkiä käyttämään koneohjattua kalustoa.

Parkkialueiden ja ajoväylien yläpinnan koneohjausmalli oli tehty suoraan päällysteen reunojen mukaan. Tämän vuoksi koneohjauksella tehdyt rakennekerrokset jäivät liian kaapeiksi, eikä tiehöylän ja päällystyksen vaatimia ylimää räisiä varoja jäänyt. Tilanne tuli ilmi vasta, kun reunojen merkitseminen oli aloitettu. Reunoja levitettiin kiireesti, jotta merkitseminen saatiin tehtyä ja asfalttipohjien tasaus pääsi käyntiin. Virheen havaitseminen ajoissa työmaalla olisi ollut hankalaa. Käytössä olleessa ylimmän yhdistelmäpinnan mallista saattoi saada sen käsityksen, että sillä osoitetaan kantavan yläpintaa, koska päällystetty ei ollut erikseen merkitty. Kokemuksen myötä osataan epäkohtia kyseenalaistaa herkemmin ja varmistaa mallin oikeellisuus ennen työvaiheen toteuttamista.

## 7 Kustannukset

### 7.1 Koneohjauksen kustannukset yleisesti

Koneohjaukseen liittyy työmaasta riippumatta tiettyjä kustannuksia. Koneohjausjärjestelmän hankintakustannus koneen omistajalle on suuruusluokkaa 30 000 €, hieman laitetointajasta riippuen. Urakoitsijan on myös mahdollista vuokrata laitteisto Destialta. Laitteiston kuukausivuokran lisäksi antureiden asennuksesta koneeseen tulee noin 3000 € kustannus. Nykytilanteessa koneohjausjärjestelmä nostaa työkoneen tuntihintaa noin 5-10 €.

Koneohjausjärjestelmän lisäksi tarvitaan tukiasema tai VRS verkkokorjauspalvelu, jotta koneohjauksen tarkkuus saadaan riittävälle tasolle. Destialla on omia tukiasemia, joita voi vuokrata projektille. VRS palvelusta maksetaan hankkimalla tietyn ajan kestävä lisenssi. Käynnissä on myös neuvottelut käytön mukaan laskutettavasta palvelusta. Koneohjauksen ja sijainninkorjauksen keskeiset kustannustekijät vaihtoehtoineen on esitetty taulukossa 3 (liite 1).

Edellä mainittujen kustannusten lisäksi työmaan alussa tarvitaan joitain tunteja automaatio-operaattorin palveluita. Automaatio-operaattoria tarvitaan mallien siirtämisessä koneohjausjärjestelmään, sekä varmistamaan laitteiston virheetön toiminta. Työmaalle täytyy myös mitata yksi tai useampi kontrollipiste johonkin kiinteään kohteeseen, jossa työkoneen koneohjausjärjestelmän tarkkuus tarkistetaan säännöllisesti. Näitä asioita voi tietysti hoitaa mittamiehet ja työnjohto osaamisensa mukaan.

Koneohjausmallien tekeminen on myös osa koneohjauksen kustannuksia, kun koneohjaukseen soveltuvia malleja ei saada suoraan tilaajalta. Mallintamisen kustannukset riippuvat suuresti työmaan koosta ja mallinnettavien rakenteiden monimutkaisuudesta. Näin ollen mallintamisen kustannuksista on vaikea antaa mitään yleisesti pätevää arviota.

## 7.2 Tutkimuskohteiden kustannusrakenne

Tikkakosken lähiliikuntapaikan ja vertailukohteina toimivien Sääksmäenpolunpuiston ja Kotalammen toimintapuiston kokoeron ja toisistaan poikkeavan sisällön vuoksi kustannusten esittäminen sellaisenaan ei juurikaan antaisi vertailukelpoista informaatiota. Sen sijaan kustannukset on ryhmitelty ja esitetty kuvaajassa prosentteina kokonaiskustannuksista.

Kuvissa 14, 15 ja 16 (liitteet 1-2) on esitetty tutkimuskohteiden toteutuneiden kustannusten jakautuminen eri kustannustekijöihin. Kuvien 14 ja 15 kohta ”Kkh + Ka”, sisältää kaivinkoneen ja kuorma-auton kustannukset. Kuvan 16 vastaava kohta ”Työkoneet + Ka”, sisältää työmaalla käytetyt kolme kaivinkonetta, jyrän, sekä kuorma-autojen tunti-hintaiset ajot.

Mittauksiin on sisällytetty varsinaisen mittamiehen tekemän mittauksen ja aineistojen valmistelun lisäksi perämiehen tekemät korko- ja etäisyysmittaukset kaivutyön yhteydessä, sekä leikkivälineiden paikalleenmittaus. Tikkakosken kuvaajassa mittaus sisältää myös koneohjausmallin tekemisen sekä automaatio-operaattorin kulut.

Miestöihin sisältyy kaikki muut kuin edellä mainitut mittauksiin liittyvät kulut. Esimerkiksi välinekaivantojen pohjien tasaus konetyön jäljiltä on osa miestöitä, johon koneohjauksella voidaan vaikuttaa. Muita miestöitä ovat esimerkiksi välineiden kasaaminen, istutukset sekä erilaisten aitojen ja reunusten rakentaminen.

Maa-aineksiin sisältyy ostettujen murskeiden, hiekkojen sekä multien kustannukset, mukaan lukien toimitettuna ostettujen lajikkeiden ajot. Myös pois ajettujen maiden vastaanottomaksut sisältyvä siinä määrin, kuin niitä jouduttiin maksulliseen läjitykseen ajamaan.

Sähkötöihin sisältyy sähköurakoitsijan suorittamat valaisimien ja muiden sähkölaitteiden asennukset ja kytkennät. Tikkakosken kuvaajasta puuttuvat sähkötyöt, koska siellä sähkötöistä vastasi sivu-urakoitsija. Sen sijaan kaapeleiden kaivun ja jalustojen asennuksen kone- ja miestyöt sisältyvät näiden nimikkeiden alle kaikissa kolmessa tapauksessa.

Henkilöstökulut koostuvat työnjohdon palkka- ja matkakuluista. Tikkakosken kuvaajassa näkyvä päällystystyöt sisältää päällystysten, sekä päällystysurakoitsijan suorittaman asfalttipohjien profiloinnin.

Kalusteet ja materiaalit koostuvat leikkivälineistä, varusteista, aidoista, taimista sekä muista tarvikkeista ja rakennusmateriaaleista. Kotalammen tapauksessa leikkivälineet oli hankkinut tilaaja, joten hinnastojen perusteella arvioitu leikkivälineiden hinta on lisätty kokonaiskustannuksiin, jotta osuudet olisivat kohteiden kesken vertailukelpoisia.

### **7.3 Koneohjauksen kustannukset tutkimuskohteessa**

Tikkakosken kohteessa käytetty koneohjausjärjestelmä oli urakoitsijan oma. Useasta käytetystä maksuperusteesta sekä koneiden puutteellisesta tuntikirjanpidosta johtuen koneohjausjärjestelmän kustannusvaikutusta työkonekustannuksiin ei pystytty selvittämään. Näin ollen koneohjaus sisältyy kuvassa 16 työkonekustannusten osuuteen.

Koneohjausmallit tehtiin Destialla tilaajan toimittamien suunnitelmien pohjalta. Työhön kului aikaa 51 tuntia. Automaatio-operaattoria tarvittiin 16 tunnin verran, painottuen työmaan alkuvaiheeseen. Koneohjauksen käyttöönotossa, suunnitelmien siirtämisessä ja kuljettajien perehdyttämisessä auttoi työnjohtaja, jolla oli aiempaa kokemusta koneohjauksesta. Hänen kulujaan ei kuitenkaan eritelty koneohjaukseen, vaan ne ovat kokonaisuudessaan henkilöstökuluissa.

Tukiasema oli työmaalla kokeilussa veloituksetta. Tukiaseman kustannus on kuitenkin lisätty koneohjauksen kustannuksiin normaalin Destian sisäisen vuokraushinnan mukaisesti, jotta kustannukset vastaisivat tavanomaista tilannetta. Työmaalla tarvittiin huomattavasti myös perinteistä mittausta ja maastoon merkintää, koska osa töistä tehtiin koneilla, joissa ei ollut koneohjausta. Kiveykset ja muut käsin tehtävät rakenteet vaativat myös merkitsemistä. Tikkakosken työmaan koneohjauksen kustannukset sekä perinteisen mittauksen kulut on esitetty taulukossa 4 (liite 3) sekä prosenttiosuuksina kokonaismittauskustannuksista kuvassa 17 (liite 3).

Taulukossa 5 (liite 4) on esitetty Sääksmäenpolunpuiston toteutuneita kustannuksia sekä teoreettinen arvio kustannuksista, mikäli kohde olisi toteutettu koneohjauksella. Koneohjauksen kustannusvaikutukset on laskettu toteutuneista kustannuksista arvioitujen tehostumisprosenttien perusteella. Kaivinkoneen sekä mittauksen työajan väheneminen on laskettu aiemmin työssä esitellyn Hyvärisen tutkimuksen tulosten perusteella. Caterpillarin tutkimuksessa vastaavat luvut olivat vielä edullisemmat koneohjauksen kannalta. Loput työn tehostumista kuvaavat prosentit ovat tutkimuksen tekijän omia arvioita, jotka perustuvat tutkimuskohteissa tehtyihin havaintoihin. Tehostumista kuvaavat prosentit on arvioitu varmuuden vuoksi alakanttiin. Mallintamisen kestosta arvion antoi Tikkakosken koneohjausmallit laatinut Destian mittaushenkilö.



## 8 Tulosten tarkastelu

Kuvista 14, 15 ja 16 nähdään, että Tikkakoskella mittauskulut olivat suhteessa pienemmät kuin vertailukohteissa. Näin siitäkin huolimatta, että Tikkakoskella koneohjauksen lisäksi tarvittiin huomattavasti perinteistä mittausta, joka käy ilmi kuvasta 17. Mittauskustannusten osuuden pienuuden ei voida katsoa yksinomaan johtuneen koneohjauksen käytöstä, vaan Tikkakosken suuret massojen siirrot ja siihen liittyvät konetyöt pienensivät suhteessa muiden kustannusten osuutta. Vaikka työmaalla tarvittiin koneohjauksen lisäksi melko paljon perinteistä mittausta, ovat mittauksen yhteiskustannukset silti suhteessa pienemmät kuin vertailukohteissa.

Koneohjauksen kustannusvaikutusta työkoneen kustannuksiin ei Tikkakosken tapauksessa pystytty varmuudella selvittämään. Tunnettujen koneohjauksen kustannusten osuus on kuitenkin varsin pieni. Mittauskustannuksista koneohjauksen osuus on alle neljäsosa.

Mittauskustannukset yleisesti ovat kuitenkin varsin pieni osuus urakan kustannuksista, joten pelkästään niiden pienentämisellä ei kovin mittavia säästöjä voida saavuttaa. Koneohjauksen mahdolliset säästöt muodostuvatkin useista pienemmistä säästöistä mittaus-, työkone-, miestyö-, maa-aines- ja henkilöstökuluissa.

Valitettavasti suurin yksittäinen kustannus leikkipuistokohteessa muodostuu leikkivälineistä ja muista kalusteista, johon ei koneohjauksella voi vaikuttaa. Muutenkin urakoitsijalla on rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa hankittavien kalusteiden hintaan.

Taulukossa 5 on arvioitu millaiset Sääksmäenpolunpuiston kustannukset olisivat saattaneet olla, mikäli kohde olisi toteutettu koneohjauksella. Taulukossa esitetyt säästöt ovat saatavilla olevien tietojen perusteella tehtyjä arvioita. Tutkimuksen tekijä kuitenkin uskoo, että vielä selvästi parempiinkin säästöihin on mahdollista päästä, esimerkiksi konetyön osalta. Varovaisista arvioista huolimatta, koneohjauksella toteutettuna kohde olisi tullut edullisemmaksi tämän laskelman perusteella.

Koneohjauksen vaikutus konetyön kustannuksiin riippuu tietysti siitä, minkälaisen lisän koneohjaus lopulta tuo työkoneen tuntihinnan päälle. Sitä on tässä vaiheessa kuitenkin

vaikea luotettavasti arvioida, koska leikkipuistokohteisiin soveltuvaa koneohjauksella varustettua kalustoa on toistaiseksi huonosti tarjolla. Asiaa voisi lähestyä myös Destialta vuokrattavan koneohjauslaitteiston näkökulmasta, mutta yksittäisen pienehkön puistokohteen tapauksessa anturien asentaminen urakoitsijan koneeseen aiheuttaa niin suuren kertakustannuksen, ettei se ole enää järkevää. Useiden tai suurempien kohteiden kohdalla tilanne kannattanee jo selvittää. Ainakin, mikäli sopivaa koneohjattua kalustoa ei muutoin ole saatavilla.

Taulukon 5 laskelma on tehty myös sillä oletuksella, että koneohjausmalli tehdään urakoitsijan kustannuksella. Koneohjauksen kilpailukyky paranisi edelleen, mikäli helposti koneohjaukseen sovellettavat 3D -mallit saisi suoraan tilaajalta. Toisaalta, ei mallintamisen kustannus ole kovin suuri, vaikka urakoitsija tekisi tai teettäisi sen. Suoraan alkupe-  
räisen suunnittelijan mallia käytettäessä on kuitenkin yksi virheille altistava välivaihe vähemmän.

## 9 Pohdinta

Työn tarkoituksena oli ensisijaisesti tutkia koneohjauksen soveltuvuutta sekä kustannusvaikutuksia viherrakentamisen kohteessa. Pääasiassa tutkimuskohteen ja vertailukohteiden erilaisuudesta johtuen, koneohjauksen kustannusvaikutuksia ei pystytty yksiselitteisesti toteamaan. Koneohjausta ei myöskään päästy hyödyntämään täysmääräisesti, koska kaikista rakenteista ei ollut koneohjausmallia ja osa töistä jouduttiin tekemään kalustolla, jossa ei ollut koneohjausjärjestelmiä. Myös ainoastaan yhden kohteen havaintojen perusteella ei voi tehdä pitkällisiä johtopäätöksiä kustannusvaikutuksista.

Koneohjausta aiotaan käyttää edelleen Tikkakosken lähiliikuntapaikan kolmannen vaiheen rakentamisessa. Mallintamisen kattavuutta ja koneohjauksella toteutettavien rakenteiden osuutta pyritään kasvattamaan. Myös tässä tutkimuksessa havaitut ongelmat tiedostetaan ja niihin pyritään löytämään ratkaisut ajoissa. Näin koneohjaus ja sen mahdolliset hyödyt saadaan paremmin käyttöön ja koneohjauksen kustannusvaikutukset selkeämmin näkyville. Tikkakosken kolmannen vaiheen jälkeen voidaan tehdä arvioita koneohjauksen kannattavuudesta kattavampien kustannustietojen perusteella.

Omasta mielestäni koneohjauksen merkittävin etu ja kustannussäästö viherrakentamisen kohteessa voidaan saavuttaa kaivinkonetyön tehostumisessa. Leikkipuistokohteissa kaivinkoneen toteutuneet kapasiteetit ovat todella pienet, johtuen pääasiassa suunnitelmien ja merkintöjen epäselvyydestä. Koneohjauksesta on sitä enemmän hyötyä, mitä monimutkaisempia ovat toteutettavat rakenteet. Jossakin hyvin yksinkertaisessa ja helposti maastoon merkittävässä kohteessa koneohjauksella ei välttämättä saavuteta kustannushyötyä. Yhtä lailla kohteissa, joissa sijaintivaatimukset ovat todella väljät ja silmällä tekeminen mahdollista, ei koneohjauksesta ole juuri hyötyä kustannusten näkökulmasta. Viherrakentamisen kohteista ainakin leikki- ja liikuntapaikat ovat usein monimutkaisia ja niiden tarkkuusvaatimukset tiukat.

Toinen merkittävä säästö voidaan saada miestöiden vähenemisellä. Kaikkeen miestyöhön koneohjauksella ei tietenkään voida vaikuttaa, mutta esimerkiksi mittauksia ja koneen kuljettajan opastusta tekevästä perämiehestä voidaan luopua suurilta osin. Myös välineiden asennustyöt nopeutuvat, kun asennuspohjat ovat tarkemmat ja välineiden paikkoja

voidaan osoittaa hankalien mittanauhamittausten sijaan kaivinkoneen kauhalla. Koneohjauksen ja havainnollistavien koneohjausmallien avulla työmaalla itsenäisempään työskentelyyn kykenevä työryhmä vapauttaa myös työnjohdon resursseja muihin töihin.

Yksi keskeinen ongelma tällä hetkellä on viherrakentamisen kohteisiin soveltuvan, koneohjauksella varustetun, kaivinkonekaluston puute Jyväskylän seudulla. Ongelma helpottuneee vähitellen koneohjausjärjestelmien yleistymisen myötä. Soveltuvan koneohjatun kaluston saatavuutta pitäisi pyrkiä edistämään, jotta koneohjauksen hyödyt saataisiin mahdollisimman pian kokeiluun ja käyttöön, myös pienempiin kohteisiin. Saatavuuden edistämisen keinoina voisivat olla esimerkiksi sopivaa kalustoa omistavan urakoitsijan avustaminen koneohjausjärjestelmän hankinnassa tai Destian omistaman järjestelmän käyttäminen urakoitsijan koneessa.

Koneohjauksen kilpailukyky, perinteiseen maastoonmerkintään verrattuna, paranisi edelleen, mikäli koneohjaukseen tarvittavat 3D-mallit saataisiin suoraan tilaajalta. Tällöin ei tarvitsisi tehdä mallintamista toiseen kertaan, koska suunnittelutoimistot suunnittelevat kuitenkin pääosin jo kolmiulotteisesti. Näin säästettäisiin mallintamiskustannukset ja mallit olisivat lähtökohtaisesti kattavammat ja virheettömämmät, koska tasokuvista mallintaminen vaatii aina oletuksia ja soveltamista. 3D-suunnittelun tilaaminen kustantaa tilaajalle FCG:n Silvennoisen mukaan noin 10-20 % tasokuvia enemmän. Tilaaajalle koneohjauksen hyödyt pitäisi näkyä ainakin laadukkaampana lopputuotteena ja lyhentyneenä työmaan kestonä, mahdollisesti myös alhaisempina tarjoushintoina.

Ennen kuin tilaajilta aletaan saada mallinnettuja suunnitelmia, kannattaisi ehkä selvittää, olisiko mallinnetut suunnitelmat mahdollista hankkia alkuperäiseltä suunnittelijalta, mikä olisi tilaajan ja suunnittelijan suhtautuminen asiaan ja olisiko ratkaisu kilpailukykyinen itse tehtyyn mallintamiseen verrattuna.

Itse uskon vahvasti koneohjauksen etuihin ja pidän tärkeänä, että sen käyttöä jatketaan. Lisääntyvän kokemuksen ja uuden työtavan omaksumisen myötä opetteluun aiheuttamista kustannuksista päästään eroon. Kun koneohjauksen käyttöaste saadaan korkeaksi ja toiminta eri osapuolten ja työvaiheiden välillä optimoitua, uskon koneohjauksen viimeistään silloin olevan huomattavasti taloudellisempi ratkaisu. Osapuolten välisellä toiminnan optimoinnilla tarkoitan sitä, että vastuut tehtävien hoidosta on jaettu projektin henkilöiden

kesken hyvissä ajoin, ja että tieto kulkee sujuvasti osapuolten välillä. Työvaiheiden optimoinnilla tarkoitan sitä, että kiireestä huolimatta työvaiheita sekä aikataulutusta olisi mietitty etukäteen ja edellytykset uuden työvaiheen aloittamiselle olisi varmistettu. Sama koskee tietysti kaikkia työmaita, käytettiin siellä koneohjausta tai ei. Kohtalaisen pienillä työnjohdon resursseilla vedetyissä viherrakentamisen kohteissa edellä mainitut asiat eivät kuitenkaan aina ole toteutuneet.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja innosti ottamaan asioista selvää. Olisin mielelläni tehnyt kattavampaakin kenttätutkimusta, mutta valitettavasti se ei aikataulullisista syistä ollut mahdollista. Uskon työstä olevan hyötyä sekä Destia Oy:lle, että itselleni. Koneohjaus- ja mallinnustietämyksen ohella viherrakennuskohteiden kustannusrakentamiseen perehtyminen oli mielestäni hyödyllistä tulevaisuuden kannalta. Jään mielenkiinnolla odottamaan koneohjauksen hyödyntämistä tulevissa kohteissa.

## LÄHTEET

- Building smart finland. 2015. Yleiset inframallivaatimukset. Verkkodokumentti. Luettu 30.4.2017. [https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA1\\_Tietomallipohjainen\\_hanke\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf)
- Building smart finland. 2016. InfraBIM -nimikkeistö. Verkkodokumentti. Luettu 30.4.2017. [https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/InfraBIM\\_nimikkeisto\\_v1\\_6.pdf](https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2016/11/InfraBIM_nimikkeisto_v1_6.pdf)
- Destia Oy. Destian historia. Luettu 22.1.2017. <http://www.destia.fi/yritys/historia.html>
- Hyvönen, A. 2014. Infrahankkeen kustannustehokkuuden kehittäminen 3D-koneohjausta hyödyntäen. Rakennustekniikan koulutusohjelma yamk. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Häkli, P. & Koivula H. 2005. Reaaliaikaisen GPS-mittauksen laatu. Maanmittauslaitos. Luettu 22.1.2017. <http://docplayer.fi/718260-Reaaliaikaisen-gps-mittauksen-laatu.html>
- Laakso, H. 2014. Suurten kuntien infratuotannon organisoituminen. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Maanmittauslaitos. Satelliittimittaus eli GPS-mittaus. Luettu 19.1.2017. <http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/satelliittimittaus-eli-gps-mittaus>
- Moisio, H. 2012. Lähiliikuntapaikan rakentaminen. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Määttänen, M. 2014. 3D-koneohjauksen käyttö pienissä ja keskisuurissa maanrakennushankkeissa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Paikkatietokeskus. Paikannussatelliittijärjestelmät. Luettu 19.1.2017. <http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/paikannussatelliittijärjestelmät>
- Pehkonen, P & Jansson, J. 1996. Viheralan tutkimus- ja kehittämistyö. Tilannekatsaus. Ympäristöministeriö, Alueidenkäytön osasto. Suomen ympäristö 61. Helsinki, Oy Edita Ab Kustannustoiminta. 64 s.
- Road Construction Production Study. 2006. Verkkodokumentti. Malaga Demonstration and learning Center, Caterpillar. Luettu 7.2.2017. <http://www.trimbleproductivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf>
- Silvennoinen, J. Aluepäällikkö, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy. 2017. Sähköposti-haastattelu. [jarmo.silvennoinen@fcg.fi](mailto:jarmo.silvennoinen@fcg.fi).
- Soini, T. 1997. Viherrakentajan käsikirja. Viherympäristöliitto ry.
- Viherympäristöliitto. Viheralan tunnusluvut 2014-2015 Selvitysraportti.