

SELVITYSTYÖ KONEOHJAUKSESTA

Tapausesimerkki Oulun teknisestä liikelaitoksesta

Mokko Matias

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Matias Mokko	Vuosi	2018
Ohjaaja	Jaakko Lampinen		
Toimeksiantaja	Oulun tekninen liikelaitos		
Työn nimi	Selvitystyö koneohjauksesta – Tapausesimerkki Oulun teknisestä liikelaitoksesta		
Sivu- ja liitesivumäärä	42+0		

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa kokonaisvaltainen selvitys koneohjauksesta, siihen liittyvistä palveluntuottajista sekä käyttää Oulun teknistä liikelaitosta tapausesimerkkinä koneohjauksen työkäytöstä. Työtä pystytään käyttämään selaisenaan tietopakettina koneohjaukseen perehtymiseen ja hankintapäätöksen tukena yrityksille sekä kunnille.

Opinnäytetyö suoritettiin selvitystyönä. Tietoa kerättiin laajalla perehtymisellä muun muassa aihetta koskevaan kirjallisuuteen, asiantuntijoiden kirjoittamiin artikkeleihin sekä koneohjauspalveluita tuottaviin yrityksiin. Tiedonkeruumenetelmiin kuului myös työskentely koneohjausta hyödyntävän Oulun teknisen liikelaitoksen palveluksessa ja haastattelut laitoksen henkilöstön kanssa.

Työn tuloksena saatiin perehdyttämispaketti koneohjaukseen ja siihen kuuluviin osa-alueisiin. Työn tuloksissa pohditaan myös koneohjauksen käytön kannattavuutta sekä kustannusten ja rakentamisen kannalta tehokasta tapaa ottaa koneohjaus työkäyttöön. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Oulun kaupungin tekninen liikelaitos.

Technology, Communication and Transport
Degree Programme of Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Matias Mokko	Year	2018
Supervisor	Jaakko Lampinen		
Commissioned by	Oulu Technical Public Utility		
Subject of thesis	Research on Machine Control – a Case Study on the Oulu Technical Public Utility		
Number of pages	42 + 0		

The objective of the thesis was to produce an overall report about machine control, its service providers and to display machine control utilization using the Oulu technical public utility as an example. The thesis can be used to familiarize unacquainted personnel in to machine control and its different sectors. The thesis can also be used to support decision making regarding the acquisition of machine control systems. This thesis was commissioned by the Oulu Technical Public Utility department.

The thesis was completed in an investigative manner. The information was gathered by doing an extensive research on the literature about the subject, professional written articles and companies providing machine control services. The data collection was also done by working within the Oulu Technical Public Utility and by interviewing the staff of the company.

As a result, an overall report about the machine control and its different sections was done. The results include a deliberation regarding the feasibility of machine control systems. As a conclusion a cost-effective way to utilize machine control at large was considered.

Key words: Machine control, Oulu, Building information modelling

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 KONEOHJAUS	8
2.1 Koneohjauksen määrittely	8
2.2 Koneohjauksen toimintaperiaate	8
2.3 Erilaisia koneohjausjärjestelmiä	10
2.4 Takymetripaikannukseen perustuva koneohjaus	11
2.5 Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus	13
2.5.1 Paikannussatelliittijärjestelmät	13
2.5.2 Satelliittipaikantaminen koneohjauksessa	15
3 KONEOHJAUSPALVELUT SUOMESSA	18
3.1 Koneohjauslaitteiden toimittajat	18
3.2 Koneohjauksen pilvipalvelut	19
4 KONEOHJAUSMALLIT	21
5 KONEOHJAUKSEN HYÖDYT JA ONGELMAT	23
5.1 Koneohjauksen hyödyt	23
5.1.1 Työvaiheiden vähentyminen	24
5.1.2 Tutkimus koneohjauksen hyödyistä	25
5.2 Koneohjauksen ongelmat	27
6 KONEOHJAUS OULUN TEKNISESSÄ LIIKELAITOKSESSA	30
6.1 Koneohjauskalusto	31
6.1.1 Koneohjaus kaivinkoneessa	33
6.1.2 Koneohjaus tiehöylässä	35
6.2 Infrakit-pilvipalvelu	36
6.3 Koneohjausjärjestelmän käyttökohteita kaupungin työmailla	37
6.4 Työmaaesimerkki	38
6.5 Työpäällikön mietteitä koneohjauksesta	42
7 POHDINTA	43
LÄHTEET	45

ALKUSANAT

Tahdon kiittää opinnäytetyöni mahdollistamisesta Oulun kaupungin teknisen liikelaitoksen mittaus ja geotekniikan osaston henkilökuntaa. Erityisesti tahdon kiittää työpäällikkö Tapio Jussilaa tiedonannosta ja ammatillisesta omistautuneisuudesta. Iso kiitos työn oikoluvusta kuuluu äidinkielen ja kirjallisuuden opettaja Marjo Haikolalle.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

AMG	Automated Machine Guidance (TECHBRIEF 2013, 1)
BIM	Building Information Modelling (Laukkanen 2017b)
DTM	Digital Terrain Model (TECHBRIEF 2013, 5)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Laurila 2012, 281)
GPS	Global Positioning System (Laurila 2012, 280)
RTK	Real Time Kinematic (Laurila 2012, 315)
Tekli	Tekninen liikelaitos
UHF	Ultra High Frequency
VRS	Virtual Reference Station (Geotrim b)

1 JOHDANTO

Rakennustyömailla käytettävien perinteisten menetelmien rinnalle tullut koneohjaus on yleistynyt vuosituhanen vaihteen jälkeen kovaa vauhtia. Koneohjaus on tuonut mukanaan paljon hyötyjä työmaille, mutta myös uudenlaisia haasteita ja kehittämisen kohteita. Alati kehittyvän ja muuttuvan koneohjauksen merkitys rakennusallalla on myös kasvanut jatkuvasti. Yleistymisestä huolimatta tietotaitoa koneohjauksesta sekä siihen liittyvistä osa-alueista, kuten mallintamisesta, on vielä suhteellisen vähän erityisten asiantuntijaryhmien ulkopuolella.

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa kokonaisvaltainen selvitys koneohjauksesta ja esitellä koneohjauspalveluita sekä koneohjauksen työkäyttöä Oulun kaupungin teknisessä liikelaitoksessa. Työtä voidaan hyödyntää perehdyttävänä tietopakettina rakennusallalla toimivalle henkilöstölle. Opinnäytetyötä voi käyttää sellaisenaan myös koneohjausjärjestelmien tarpeen arvioimiseen sekä hankintapäätöksen tukena.

Työn alku koostuu perehtymisestä koneohjaukseen, siihen liittyviin osa-alueisiin, kuten palveluntuottajiin sekä koneohjauksesta saataviin hyötyihin ja ongelmiin. Koneohjauksen yleisen läpikäymisen jälkeen työssä esitellään koneohjauksen kokonaisvaltaista käyttöä ja laitevalintoja kunnallisessa toiminnassa Oulun kaupunkia esimerkkinä käyttäen. Tuloksena pohditaan kustannusten ja rakentamisen kannalta tehokasta ratkaisua koneohjauksen hyötykäyttöön sekä mahdollisia ratkaisuja alan asiantuntijoiden lisäämiseksi.

Opinnäytetyötä kirjoittaessa työskentelen Oulun kaupungin teknisessä liikelaitoksessa neljän kuukauden ajan. Työn kautta tavoitteena on kerätä materiaalia kaupungin työmaille toimivasta koneohjauksesta. Materiaalin keräämiseksi liikelaitoksen henkilöstön kanssa käydään läpi erinäisiä keskusteluita sekä haastatelluita koneohjauksen työkäytöstä. Työstä hankitun kokemuksen lisäksi opinnäytetyön kirjoittamista varten perehdytään perinpohjaisesti koneohjausta käsittelevään kirjallisuuteen, asiantuntijoiden artikkeleihin sekä alalla toimivien yritysten jakamaan informaatioon.

2 KONEOHJAUS

2.1 Koneohjauksen määrittely

Koneohjauksesta puhuttaessa tarkoitetaan työkoneeseen asennettua mittausjärjestelmää eli niin sanottua koneohjausjärjestelmää. Järjestelmän tehtävänä on opastamisen kautta helpottaa työkoneen kuljettajan työtä. Koneohjausjärjestelmän käytössä hyödynnetään työkoneeseen tuotuja työsuunnitelmakuvia eli koneohjausmalleja, joiden pohjalta järjestelmä kykenee opastamaan kuljettajaa. (Mitta 2018.) Järjestelmiä hyödyntäviä työkoneita ovat muun muassa puskukoneet, tiehöylät ja kaivinkoneet (Topgeo a). Koneohjausjärjestelmät voidaan jakaa kahteen luokkaan: opastaviin sekä automaattisiin järjestelmiin.

Opastavissa järjestelmissä työkoneen kuljettaja ohjaa konetta itse ja hyödyntää koneohjausjärjestelmän tuottamaa tietoa esimerkiksi tasojen ja korkeuden tarkistamisessa (Ostromap). Opastavia järjestelmiä käytetään vaativissa ja alati muuttuvissa työtehtävissä, joita esimerkiksi kaivinkoneet suorittavat. Järjestelmät mahdollistavat automatiikkaa paremman joustavuuden vaihtuvien työtehtävien suorittamiseen.

Automaattiset koneohjausjärjestelmät voivat poistaa kuljettajan tarpeen seurata esimerkiksi korkeutta tai kallistusta ja parantaa näin ollen materiaalinkäyttöä. Automaattinen järjestelmä asennetaan työkoneessa olevaan hydraulikkaan. Hydraulikassa toimiva järjestelmä hallitsee esimerkiksi jotain työkoneen osaa, kuten tiehöylän muotoiluterää. Järjestelmään kuuluvat sensorit välittävät tietoa koneen hydraulikkaan, joka ohjaa terän tai kauhan haluttuun asentoon ja korkeuteen. Automaattisesti toimivaa järjestelmää voidaan kuitenkin käyttää myös manuaalisesti. (Topgeo a.) Automaattista järjestelmää käytetään esimerkiksi tiehöylissä ja pusku-traktoreissa (Ostromap).

2.2 Koneohjauksen toimintaperiaate

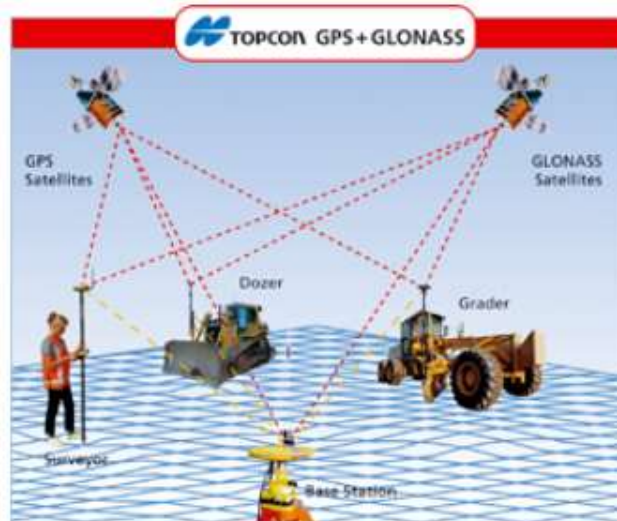
Koneohjausjärjestelmää hyödyntävässä työkoneessa on asennettuna useita komponentteja, jotka koostuvat antureista, vastaanottimista, näyttö- ja tietokone-

laitteista sekä satelliittipaikantimista (Kuvio 1). Komponentit hyödyntävät suunnittelijan luomia koneohjausmalleja, jotka tuodaan työkoneeseen joko pilvipalvelun tai muistitikun avulla. Mallit voivat muodostua esimerkiksi tien pohjasta, rakennusalueen vesihuollosta tai rakennuksen perustuksista. (Novatron a.)

KOMPONENTIT	Xsite® EASY	Xsite® PRO 3D-valmiudella	Xsite® PRO Perustason 3D	Xsite® PRO Edistynyt 3D
Kosketusnäyttö 8,4"	✗	✓	✓	✓
Kauhan, kaivuvarren ja pääpuomin anturit	✓	✓	✓	✓
Runkoanturi (pitch & roll)	✓	✓	✓	✓
Kauhan tilt-anturi	✓	✓	✓	✓
Lisäpuomin anturi	✓	✓	✓	✓
Laservastaanotin	✓	✓	✓	✓
LED-lisänäyttö	✓	✓	✓	✓
Kauhanpyörittäjän luku (1)	✗	✓	✓	✗
GNSS-kompassi	✗	✓	✗	✗
Novatron GNSS -vastaanotin	✗	✗	✓	✓
Kolmannen osapuolen GNSS -vastaanotin	✗	✗	✓	✓

Kuvio 1. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmien komponentit (Novatron a)

Komponenttiensa avulla useat koneohjausjärjestelmät ottavat vastaan paikkatietoa satelliiteilta sekä tukiasemalta (Kuvio 2) tai vaihtoehtoisesti takymetriltä. Reaaliaikaisen paikkatiedon sekä koneohjausmallin avulla työkoneen kuljettaja näkee hytissä sijaitsevasta näytöstä, kuinka kaukana tavoitetasosta tai reunalinjasta koneen kauha tai terä sijaitsee. Koneohjausjärjestelmän komponenttien sijainti määräytyy niitä hyödyntävän työkoneen mukaan. Kokonaisuutena koneohjaukseen kuuluvat rakennustyömaan läheisyydessä sijaitsevat tukiasemat, järjestelmiä tuottavien yritysten tukiasemaverkot, palvelimet tiedonsiirtoa varten sekä erilaiset järjestelmien ja tiedostokokonaisuuksien hallintaan suunnitellut ohjelmistot (Laukkanen & Sammatti 2017).



Kuvio 2. Satelliittipaikannusta hyödyntävän koneohjausjärjestelmän toimintaperiaate (Topgeo a)

2.3 Erilaisia koneohjausjärjestelmiä

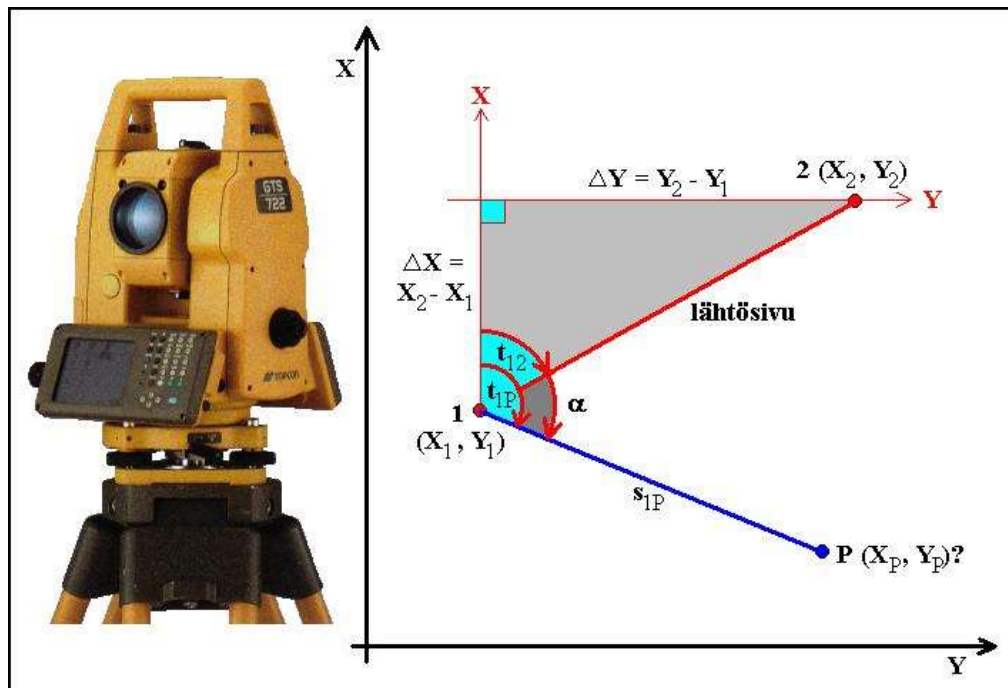
Koneohjausjärjestelmässä mukana olevista komponenteista riippuu järjestelmän kyky tuottaa 1D-, 2D- tai 3D-havaintoja. Järjestelmien eroavaisuudet määrittelevät suurelta osin niiden työkäyttötarkoitukset, toimimisen edellytykset sekä hinnan. Leica Geosystems (2018c) mukaan **1D-koneohjauksella** saadaan tietoa korkeudesta ja kaltevuudesta. Työkoneessa sijaitsevasta näytöstä käy ilmi leikkaus tai täyttö. Esimerkiksi Leican iCon iXE1-1D-järjestelmään kuuluvasta näytöstä voidaan nähdä myös koneen kauha, jos työmaalla on paljon näköesteitä ja kauhaa ei voida muuten havaita. (Leica Geosystems 2018c.) Koneohjauksen laitevalmistajat tarjoavat yleensä laitteistoa 1D-, 2D- ja 3D-järjestelminä.

2D-Koneohjausjärjestelmän avulla kyetään tekemään tasoja sekä kallistuksia. Erilaisia käyttökohteita järjestelmälle ovat esimerkiksi rakennuspohjat sekä pienet tietyömaat. 2D-järjestelmän toimiminen vaatii työmaan korkeustiedon, joka voidaan saada esimerkiksi laserilla tai sihtilapulla. (Laukkanen & Sammatti 2017.) 2D-järjestelmä kykenee mittaamaan kaivamisen syvyyttä, etäisyyksiä ja kaatoa (Novatron a). **3D-koneohjausjärjestelmät** lisäävät 2D-järjestelmän ominaisuuksiin myös paikkatiedon. Esimerkiksi työkoneen kauha sijainti voidaan havaita jopa senttimetrin tarkkuudella paikkatiedon avulla. (Laukkanen & Sammatti

2017.) 3D-Järjestelmä toimii erityisen hyvin työmailla, joilla käytetään kolmiulotteista mallia (Novatron a).

2.4 Takymetripaikannukseen perustuva koneohjaus

Takymetripaikannuksessa koje havaitsee vaakasuuntaa, korkeuskulmia sekä vinoetäisyyttä. Mittauskojeen tulee olla orientoitu ja sijaita tunnetulla asemapistellä (Kuvio 3). Orientointi tarkoittaa mittauskojeen koordinaattien eli sijainnin selvittämistä. Koje tekee havaintoja useita kertoja sekunnissa työkoneessa sijaitsevaan näkyvillä olevaan prismatähykseen. Havaintojen perusteella saadaan selville kojeen asemapisteen sekä tähyksen välinen koordinaattien ero, joiden avulla voidaan laskea myös paikannettavan työkoneen sijainti. (Salmenperä 2004, 29–30.)



Kuvio 3. Takymetrimittaukseen tarvitaan asemapiste (1) sekä liitospiste (2), jotta voidaan määrittää piste (P) (Laurila 2012, 60)

Takymetri paikantaa koneohjausta hyödyntävää työkonetta reaaliaikaisesti. Menetelmän toiminta perustuu robottitakymetrin kykyyn seurata ja tehdä havaintoja heijastinprismaan automaattisesti (Kuvio 4). Paikannustarkkuuden varmistamiseksi takymetri tulee kalibroida riittävän usein. Takymetrin kalibroinnilla tarkoitetaan kojeen toimintojen kuten etäisyydenmittauksen tarkkuuden selvittämistä,

seuranta ja tarvittaessa palauttamista mittanormaaliin (Salmenperä 2004, 34–35.)



Kuvio 4. Takymetrikoneohjattu tiehöylä (Karvonen 2014, 14)

Salmenperän (2004, 30–38) ”Paikannus ja työkonetohtaus” artikkelin mukaan takymetripaikannuksen tarkkuus keskiarvona oli 20 mm artikkelissa esitellyllä testiradalla. Samalla testiradalla satelliittipaikantamisen tarkkuus vaihteli 10–30 mm välillä. Parhaimmillaan takymetrinseurannan tarkkuus koneohjauksessa on parempi kuin satelliittipaikantamisessa. (Salmenperä 2004, 30–38.) Satelliittipaikantamisessa virhettä aiheuttaa esimerkiksi paikannukseen tarvittavan signaalin pitkä kulkemismatka. Takymetripaikantamisessa mitattava kohde sijaitsee aina näköetäisyydellä.

Takymetrimittauksen tarkkuus on riippuvainen prisman etäisyydestä mittauskohjeeseen. Hyviä käyttökohteita takymetripaikantamiselle ovat pienet työmaat, joissa etäisyydet eivät kasva liian suuriksi. Lisäksi tunnelit sekä muut kohteet, joihin satelliittien signaalit eivät pääse vaativat lähes yksinomaan takymetriohjausta. Myös erityisen hyvää tarkkuutta tavoitellessa takymetrimittaus on vaihtoehtona erinomainen. (SITECH.) Takymetrimittauksien sujuvuuden kannalta oleellista on myös esteetön näkyvyys työmaalla, sillä prisman ja kojeen välissä ei

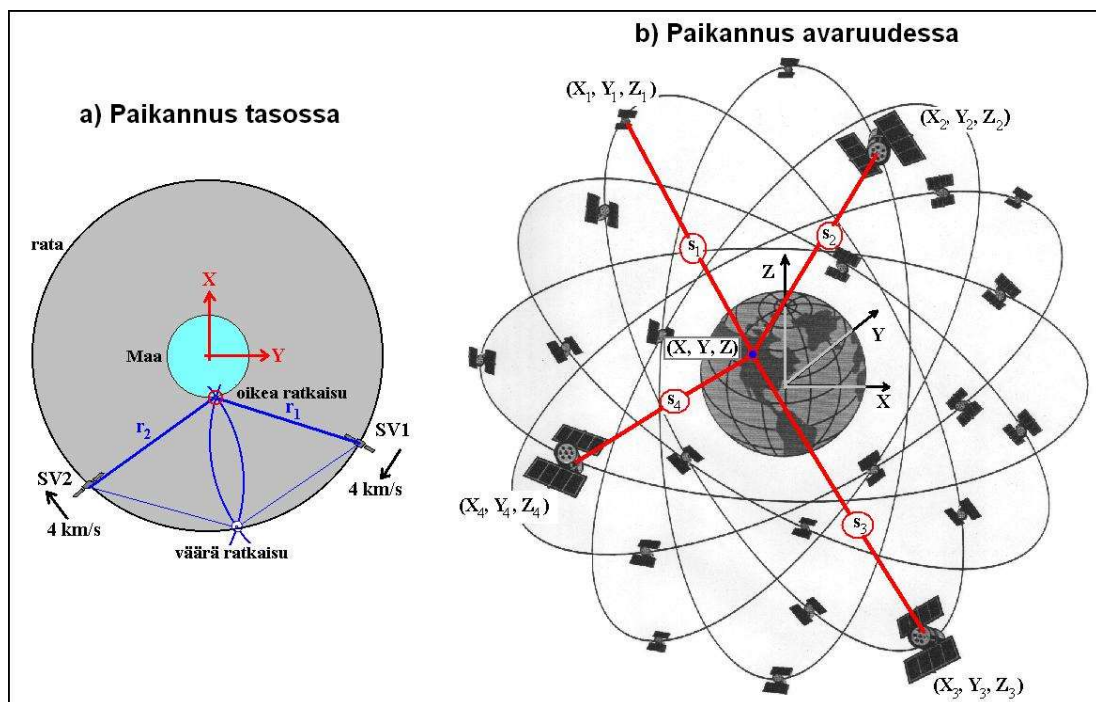
voi olla näköesteitä. Laajat peitteettömät alueet kuten urheilukentät sopivat hyvin takymetripaikannusta hyödyntäväksi työmaaksi.

2.5 Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus

2.5.1 Paikannussatelliittijärjestelmät

Pasi Laurilan teoksen ” Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet” (2012, 285) mukaan satelliitit kiertävät maata noin 20 200 kilometrin korkeudessa lähestulkoon ympyrän muotoisilla radoilla. Satelliitit kiertävät maan ympäri 11 tunnissa ja 58 minuutissa, eli noin kaksi kertaa vuorokaudessa. Satelliittipaikantaminen perustuu satelliittien lähettämien signaalien havainnointiin. (Laurila 2012, 285–291.)

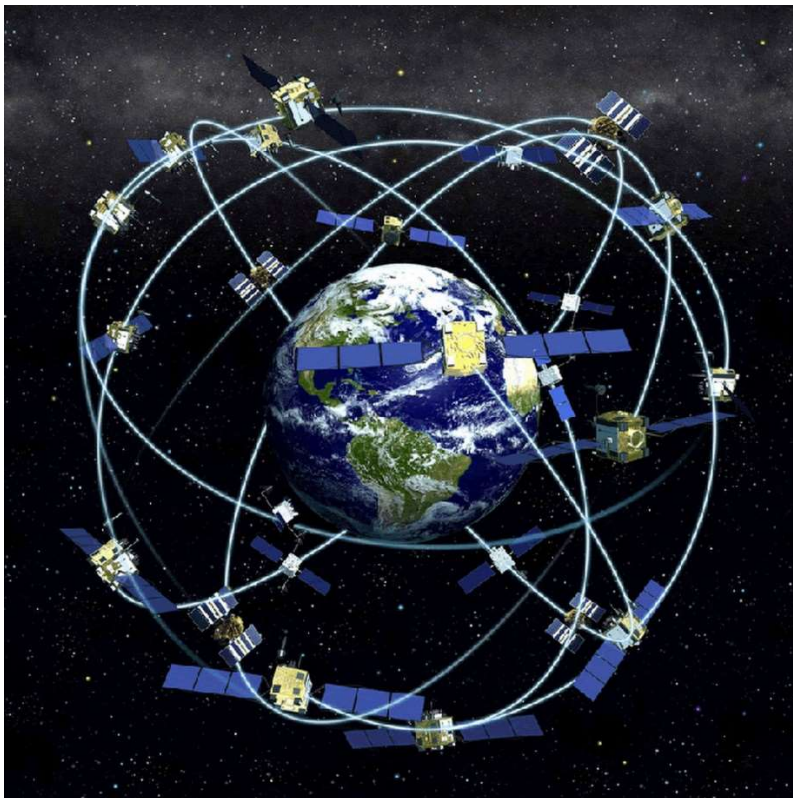
Signaaleista saatujen havaintojen avulla mitataan etäisyydet minimissään kolmeen satelliittiin. Satelliittien paikka kyetään laskemaan navigointiviestin sisältämien tietojen perusteella ja kun kyseisten satelliittien sijainti tunnetaan havaitsemisen hetkellä, kyetään myös havaitsijan olinpaikka laskemaan (Kuvio 5). Paikantaminen suoritetaan siis etäisyyksien ja etäisyyden erojen laskemisella. (Laurila 2012, 291.)



Kuvio 5. Satelliittipaikantamisen toimintaperiaate tasossa ja avaruudessa (Laurila 2012, 291)

Heidi Kuusniemen artikkelin ”Paikannussatelliittijärjestelmät” mukaan maata kiertävien satelliittien muodostamat paikantamiseen käytettävät järjestelmät ovat Yhdysvaltojen ylläpitämä GPS-järjestelmä, Venäjän GLONASS-järjestelmä, Euroopan unionin Galileo-järjestelmä ja Kiinan COMPASS-järjestelmä. **GPS-järjestelmä**, on alun perin Yhdysvaltojen puolustushallinnon kehittämä järjestelmä (Kuvio 6). Kehitystyö aloitettiin 1970-luvulla sotilaskäyttöä varten. Sotilaskäyttöön keskittymisestä huolimatta myös mahdollinen siviilikäyttö oli otettu huomioon jo kehitystyön alussa. GPS-järjestelmä koostuu kolmesta päälohkosta, joita ovat satelliittilohko, valvontalohko ja käyttäjälohko. (Laurila 2012, 282.)

GPS-järjestelmän satelliittilohkoon kuuluu minimissään 24 satelliittia, jotka kykenevät muodostamaan niin sanotun toiminnallisen kokonaisuuden. Toiminnallinen tila saavutettiin vuonna 1995, siitä lähtien taivaalla on ollut aina yli 24 toimintakuntoista satelliittia. (Laurila 2012, 282.) Elokuussa 2018 GPS-satelliittijärjestelmä piti sisällään yhteensä 31 toimintakuntoista modernia sekä vanhaa satelliittia (GPS.gov 2018).



Kuvio 6. Havainnekuva GPS-satelliiteista maan kiertoradalla (Howell 2018)

Venäläinen **GLONASS-järjestelmä** on GPS-järjestelmän ohella käytetyin satelliittipaikannusjärjestelmä. Järjestelmässä toimivia satelliitteja oli 24 vuonna 2018. GPS-järjestelmän tavoin myös GLONASS oli alun perin sotilaskäyttöön tarkoitettu ja myöhemmin myös siviilikäyttöön laajentunut systeemi. Järjestelmän erikoisuus on se, että satelliittisignaaleista jokainen lähetetään omalla taajuudellaan. Päivittämisen ja ylläpidon kautta tavoitteena tulevaisuudessa on yhtenäistää esimerkiksi satelliittien lähetystaajuus. (Kuusniemi.)

Euroopan unionin **Galileo-järjestelmä** koostuu tällä hetkellä 17 toimintakuntoisesta satelliitista. Toimintakuntoisten satelliittien lisäksi testattavana on kaksi satelliittia ja käyttöönottovaiheessa viisi satelliittia. (European Global Navigation Satellite Systems Agency 2018.) Galileo on siviilikäyttöön tarkoitettu ja pian jo vuosikymmenen ajan kehityksen kohteena ollut järjestelmä. Järjestelmän tavoitteena on muodostua kokonaisuudessaan noin kolmestakymmenestä satelliitista, jotka lähettävät signaaleja samoilla taajuuksilla, mutta eri kooditekniikoilla kuin GPS-satelliitit. Järjestelmän uskotaan olevan toimintakuntoinen vuosien 2018–2020 välillä. (Kuusniemi.)

Kiinan kehityksen alla oleva **COMPASS-järjestelmä** on arvioitu olevan toimintakuntoinen noin vuonna 2020. Kokonaisuutena järjestelmä on samantapainen GPS-järjestelmän kanssa. COMPASS-järjestelmän tavoitteena on koostua 35 satelliitista. Satelliiteista noin viiden on tarkoitus sijaita geostationäärisillä radoilla lähettämässä virhekorjausinformaatiota. (Kuusniemi.)

2.5.2 Satelliittipaikantaminen koneohjauksessa

Satelliittipaikantamiseen perustuvassa koneohjauksessa liikkeessä olevan kohteen, kuten työkoneen sijainti selvitetään tunnettujen ja havaittujen koordinaattien välistä eroa tarkastelemalla. Liikkeessä olevan antennin havaintoja verrataan yhteen tai useampaan tunnetulla pisteellä sijaitsevaan tukiasemaan (Kuvio 7). Tällaista mittaustapaa kutsutaan nimellä RTK-mittaus. Tukiasema voi olla yksittäinen liikuteltava asema tai alueellisesti pysyvä osa tukiasemaverkostoa. Koneeseen voidaan asentaa useampiakin vastaanottimia, jolloin paikannustarkkuus voi

parantua kallistuksesta ja suunnasta saatavan lisätiedon avulla. (Salmenperä 2004, 30.)



Kuvio 7. Siirrettävä tukiasema koneohjatun työmaan läheisyydessä

Paikantamista varten koneohjatussa työkoneessa on GPS-antennit näkyvällä paikalla mahdollisimman hyvän yhteyden saamiseksi (Kuvio 8). Järjestelmään kuuluvien sensorien sekä antennien tuottaman yhdistetyn tiedon avulla koneen terän tai kauhan sijainti kyetään selvittämään tarkasti. Työkoneessa on myös vastaanottimena toimiva kartoitusyksikkö, jolle tukiasema lähettää korjausdatansa esimerkiksi radiomodeemia käyttämällä. Järjestelmä pystyy toimimaan 15 kilometrin säteellä tukiasemasta ja korkotarkkuus voi olla jopa 1–3 cm. (Topgeo a.)

Työmaalla sijaitsevan yksittäisen tukiaseman sijaan voidaan käyttää myös esimerkiksi Trimnetin VRS-tukiasemaverkostoa. Kyseisessä tukiasemaverkostossa mukana on yli sata tukiasemaa. (Laukkanen & Sammatti 2017.) Satelliittipaikantamiseen perustuva järjestelmä on takymetripaikannusta joustavampi, sillä työkone voi liikkua vapaasti tukiaseman toimintasäteellä ilman tarvetta ainoastaan näköetäisyydellä toimivalle takymetrille.



Kuvio 8. Satelliittipaikannusta hyödyntävän tiehöylän GPS-antennit

3 KONEOHJAUSPALVELUT SUOMESSA

3.1 Koneohjauslaitteiden toimittajat

Suomessa on useita vuosikymmenten ajan mittauslaitteistoa asiakkaille toimittaneita yrityksiä. Kyseiset yritykset ovat lähtöisin sekä Suomesta, että ulkomailta ja tarjoavat useimmiten eksklusiivisesti tietyn laitevalmistajan mittauslaitteistoa. Toimitettavat laitteet koostuvat sekä yritysten omista, että yhteistyössä toimivien yrityksen tuottamista laitteista. Varsinaisten mittalaitteiden lisäksi monet yritykset tarjoavat myös erilaisia koulutus-, pilvi- ja asiantuntijapalveluita.

Novatron Oy on Tampereelta lähtöisin oleva ja 25 vuotta sitten perustettu suomalainen yritys, joka työllistää nykyään lähes sata henkilöä. Yritys on erikoistunut tuottamaan kaivinkoneiden mittaus- ja paikantamisjärjestelmiä sekä koneohjauksen työkäytön mahdollistavia ohjelmistoja ja palveluita. Yrityksen omiin tuotteisiin lukeutuvat muun muassa kaivinkoneille tarkoitetut Xsite® EASY- ja Xsite® PRO 3D -koneohjausjärjestelmät. Vuonna 2011 Novatron aloitti yhteistyön työkoneiden automatisointiin erikoistuneen saksalaisen MOBA AG -yrityksen kanssa. (Novatron 2018.)

Topgeo Oy on erikoistunut paikantamiseen sekä maa- ja rakennusmittauksiin. Yritys tarjoaa monipuolisesti mittauslaitteistoa, kuten erilaisia koneohjausjärjestelmiä. Laitteiden valmistajana toimii japanilainen Topcon Corporation. Topgeon toimintaan kuuluvat myös koulutukseen, tiedonsiirtoon sekä ohjelmistoon liittyvät palvelut. Topgeo Oy perustamisvuosi on 1987. (Topgeo c.)

Leica Geosystems sai alkunsa vuonna 1819 Sveitsissä. Yrityksen alkuperäinen nimi oli Kern & Co. Lukuisten yritysostojen sekä nimen muuttumisen jälkeen Leica Geosystems nykyisessä muodossaan on eräs maailman merkittävimmistä mittauslaitteiden toimittajista. (Leica Geosystems 2018a). Leica tuottaa itse valmistamiaan koneohjausjärjestelmiä esimerkiksi kaivinkoneille, puskutraktoreille ja tiehöylille. Myös tukiasemaverkko- ja pilvipalvelut kuuluvat yrityksen myymiin tuotteisiin. Koneohjausjärjestelmistä esimerkiksi tiehöylille tarjolla on Leica iCon iGG3-3D-järjestelmä (Leica Geosystems 2018b).

Geotrim Oy on suomalainen vuonna 2001 Vantaalla perustettu yritys. Yritys on erikoistunut muun muassa paikkatietoon sekä maa- ja rakennusmittauksiin. Geotrim tarjoaa Trimblen mittauslaitteistoa valtuutetun jälleenmyyjän roolissa. Mittauslaitteiden lisäksi Geotrim tarjoaa myös TRIMNET-tukiasemaverkkopalvelun, jota voidaan hyödyntää koneohjauksessa paikantamiseen. Muita yrityksen tuottamia palveluita ovat laitevuokraus-, tuki-, koulutus ja huoltopalvelut. Geotrimin palvelut ovat Trimblen valtuuttamia. (Geotrim a.)

3.2 Koneohjauksen pilvipalvelut

Koneohjauksen tehokasta hallinnointia varten on mahdollista ottaa käyttöön eri yhtiöiden tarjoamia pilvipalveluita. Pilvipalveluiden pääasiallinen tarkoitus on helpottaa projektiin liittyvien mallien, suunnitelmien sekä päivitysten ylläpitoa, jakamista ja tarkastelua. Eri valmistajien pilvipalveluiden ominaisuuksissa erot ovat suhteellisen pieniä. Eroavaisuudet tulevat paremmin ilmi esimerkiksi yhteensopivuudessa eri koneohjausjärjestelmien kanssa.

Suomessa kehitetty **Infrakit-pilvipalvelu** on ollut käytössä vuodesta 2014 lähtien. Infrakit on yhteensopiva sekä tietokoneiden että älypuhelimien kanssa. Palvelua voidaan hyödyntää kaikilla tietomalleja käyttävillä työmailla. Pilvipalvelun avulla voidaan seurata työmaan toteutumista, suunnittelua ja laadunvalvontaa reaaliajassa verkkoyhteyden välityksellä (Kuvio 9). Palvelussa olevien tarkasteluominaisuuksien lisäksi hankkeeseen liittyviä kuvia tai raportteja voidaan varastoida myöhempää käyttöä varten. (Infrakit 2018b.)



Kuvio 9. Infrakitin toimintaperiaate (Infrakit 2018a)

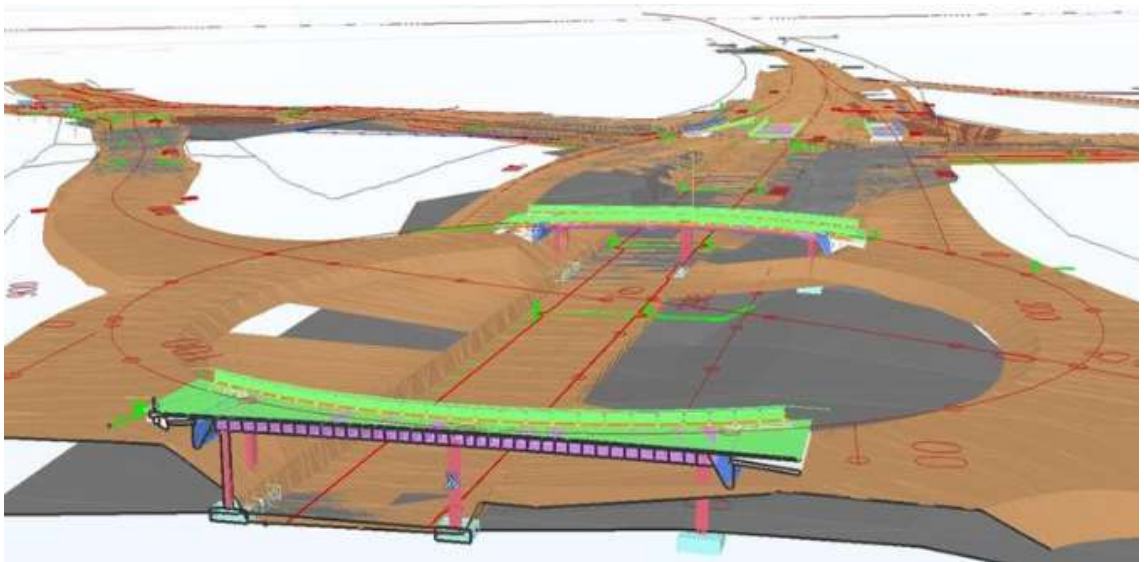
Infrakit-pilvipalvelu on yhteensopiva suoraan tai tiedostosiirtojen avulla Leican, Novatronin, DigPilotin, Prolecin, Trimblen, Topconin ja Carlson Softwaren kone-ohjausbrändien kanssa. Vuodesta 2015 lähtien Leica Geosystems yrityksen kehittämä pilvipalvelu **Leica iCon Telematics** toiminta on integroitu yhteistyökäyttöön Infrakitin kanssa. Leican pilvipalvelu itsessään on yhteensopiva iCon Telematics -laitteiden, kuten iCON 3D-järjestelmän kanssa. (Kivimäki 2015.) Infrakit projektihallintatyökalun hankinnan kokonaishinta vuonna 2018 oli Tampereen Infra liikelaitokselle 39 780,00 euroa yhden vuoden sopimusajalla (Tampere 2018).

Infrahankkeiden tiedonhallintaa varten Trimble on kehittänyt **Trimble Connected Site -pilvipalvelun**. Palvelu on ominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen edellä mainitun Infrakit-pilvipalvelun kanssa. Kansainvälisen yhtiön vaikutus nähtävissä kuitenkin palvelun saatavuutena 16 eri kielellä (Tekla®). Vastaanottimesta riippuen pilvipalvelu on yhteensopiva Trimblen järjestelmien, kuten PCS900, CCS-Flex tai GCS900 kanssa. (Trimble 2018.)

Topgeo ylläpitää suomessa päämiehensä Topconin laitteiden kanssa yhteensopivaa **SiteLINK-Basic**-pilvipalvelua. Topgeo ylläpitämällä palvelulla viestitys, tiedonsiirto sekä etätuki on mahdollista työkoneiden kanssa (Topgeo b). Yrityksen käyttämän laitevalmistajan Topconin tuorein versio pilvipalvelusta on Sitelink3D (Topcon 2016).

4 KONEOHJAUSMALLIT

Koneohjausmalli tarkoittaa koneohjausjärjestelmälle sopivaan muotoon muokattua suunnitelmaa. Koneohjausmalli voi muodostua pinnasta, viivoista tai pisteaineistosta. Useimmiten koneohjausjärjestelmässä käytettävä pintamalli luodaan tien rakennekerroksista, luiskista tai kaivannoista (Kuvio 10). Työkoneeseen tuotuja malleja koneenkuljettaja pystyy tarkkailemaan hytissä olevalta näyttöpäätteeltään. Koneeseen mallit tuodaan useimmiten pilvipalvelujen, kuten Infrakitin avulla. (3D-KOPPI Oy 2018.) Koneohjausmallien luomisessa käytetään esimerkiksi 3D-Win- ja AutoCAD-ohjelmistoja sekä niiden lisäosia.



Kuvio 10. Kolmiulotteinen malli eritasoliittymästä (Laukkanen 2017b)

Resurssien tai osaamisen puuttuessa koneohjausmallin tuottamisen voi suorittaa ulkopuolinen suunnittelutoimisto. Suomessa malleja tuottavia yrityksiä ovat muun muassa Ramboll Oy, Mitta Oy ja 3D-KOPPI Oy. Suunnittelijan valinta suoritetaan yleensä kilpailutuksen kautta tai aiemman yhteistyön perusteella tilaajasta riippuen.

Katuhankkeen tietomalli muodostuu kokonaisuudessaan monista yksittäisistä malleista. Tietomalli tarkoittaa esimerkiksi tietyömaan sisältämiä tietoja digitaalisesti luettavassa muodossa. (Laukkanen 2017b.) Myös koneohjausmallit voivat olla tietomalleja tai tietomallin osia.

Tietomalliin kuuluvia yksittäisiä malleja ovat esimerkiksi maastomalli, joka tuotetaan maastomittaustietoja hyödyntämällä. Laskentaohjelman avulla maastomallille luodaan kolmioimalla pinta. Kolmiontipinta on pisteistä muodostuva verkko, jota tietokone kykenee käsittelemään. Maaperämalli koostuu maalajien sisältämästä tiedosta, kuten kallion rajapinnoista ja pinnoille muodostetusta kolmioverkosta. Varsinaiselle kadulle luodaan erikseen malli, joka sisältää tietoa tiegeometriaan kuuluvista kohteista, kuten mittalinjoista tai reunakiviviivoista (Kuvio 11). (Laukkanen 2017b.)

Nro	Objekti	Formaatti
1	mittalinja / geometria	LandXML (Alignment)
2	ylin pintamalli / taiteviivamalli	LandXML (TIN)
3	alin pintamalli / taiteviivamalli	LandXML (TIN)
4	kaivannon seinämä	LandXML (TIN)
5	putket / kaivot	LandXML (PipeNetworks)
6	rakennekerrokset (+louhinta)	LandXML (TIN)
7	varusteet, esim. valaisimet	LandXML (Pnts)
8	maisemointi	LandXML (TIN)
9	salaojakaivanto/- putket	LandXML (TIN)/ (PipeNetworks)

Kuvio 11. Malleissa ilmeneviä objekteja tiedostoformaatteineen (Oulun kaupunki & Tampereen kaupunki 2010)

Laukkasen (2017b) mukaan ”*Pintamalleja tarvitaan ensimmäiseksi putkikaivantojen alapinnoista, koko väylärakenteen alapinnasta ja lopuksi päällysrakenteiden pintamallit kuten ylin yhdistelmäpinta, kantavan kerroksen yläpinta tai jakavan kerroksen yläpinta.*” Myös vesihuoltoverkostoon kuuluvat osat kuten kaivot sekä putket yhdistetään kokonaisuuteen erillisinä malleinaan. Kaikkiin tietomalliin kuuluviin osiin kiinnitetään tarkka paikkatieto X-, Y- ja Z-koordinaateilla. (Laukkanen 2017b.)

Tarkan paikkatiedon avulla malleja voidaan tutkia kolmiulotteisesti, jolloin projektin visualisoinnin mahdollisuudet paranevat. Erilliset mallit yhdistämällä voidaan myös selvittää leikkaavatko eri osat, kuten putket tai kaivot toisiaan. Malleissa kaikki rakenteet nimetään sovitulla tavalla tiedon nopeaa löytämistä varten. Laskenta-ohjelmistoja on monia ja niiden välisen tiedonsiirron yhtenäistämistä varten on kehitetty yleiseen käyttöön Inframodel 4-formaatti. (Laukkanen 2017b.)

5 KONEOHJAUKSEN HYÖDYT JA ONGELMAT

5.1 Koneohjauksen hyödyt

Koneohjaus auttaa työkoneen kuljettajaa saavuttamaan kaivamisen tavoitetason ja oikeat kaltevuuskulmat perinteistä tapaa tehokkaammin ja tarkemmin (Kuvio 12). Työn tehostuminen tarkoittaa säästämistä työvoiman, polttoaineen ja myös konekustannusten suhteen. Tehostumiseen vaikuttaa tarkkuuden parantuminen, joka ilmenee ylitäyttämisen ja liiallisen kaivamisen vähentymisenä. Työturvallisuutta parantavana tekijänä voidaan mainita se, että mittauksen ja merkinnän tarve työkoneiden läheisyydessä vähentyy. (Novatron b.) Koneohjausjärjestelmän mittausominaisuuksien avulla työkoneita voidaan käyttää työmaalla myös laadunvalvojana. Perinteisiin menetelmiin turvautumalla työn tarkkuus on pitkälti kuljettajan ja mittamiesten osaamisen varassa.



Kuvio 12. Havainnollistava kuva koneohjauksen havaintokyvystä (Novatron 2014)

5.1.1 Työvaiheiden vähentyminen

Eräs merkittävistä koneohjauksen hyödyistä liittyy työvaiheiden vähenemiseen. Työmailla, jossa koneohjausta ei ole saatavilla, joudutaan suorittamaan niin sanottu maastoon merkintä (Kuvio 13). Maastoon merkinnässä mittausryhmä vie työmaalle merkkitikkuja, joihin merkataan esimerkiksi asfaltinkorko sihtilapulla määrättyyn korkeuteen tulevan asfaltin pinnasta. Koneohjatuilla työmailla kyseinen työvaihe on tarpeeton, sillä tarvittavat tiedot ilmenevät koneohjausmalleista. (Novatron b.)



Kuvio 13. Maastoon merkintä asfalttityömaan läheisyydessä

Maastoon merkitseminen on suhteellisen kauan kestävä työvaihe, sillä merkkitikkuja korkoineen tarvitaan vähintään parinkymmenen metrin välein suorilla tieosuuksilla ja kaarteissa jopa muutaman metrin välein. Korko siirretään merkkitikkuun luotettavalta korkopisteeltä takymetria käyttäen. Merkkitikkuun kirjoitetaan mihin korkeuteen korkolappu on asetettu haluttuun tasoon, kuten asfaltin pintaan nähden. Epäselvissä tilanteissa kuten silloin, kun tulevan asfaltin määrää ei tiedetä tarkasti, voidaan tikkuun kirjoittaa lisätietoja väärinkäsitysten välttämiseksi. Lisämerkinnät tekevät kuitenkin merkkitikusta epäselvemmän, jolloin inhimillisen virheen riski lisääntyy.

Maastoon merkinnän jälkeen konekuski tarvitsee apua mittaushenkilöltä tavoitekoron saavuttamiseen. Mittaaja siirtää koron esimerkiksi työmaalaserilla lattaan, jolla hän voi tarkastaa tien pohjan korkeuden. Korko ilmoitetaan kuljettajalle, jonka jälkeen kuljettaja kaivaa tai lisää materiaalia tien pohjaan ja mittaushenkilö suorittaa mittauksen uudestaan.

Ajallisen haitan lisäksi maastoon merkintä lisää virheen riskiä. Mittausryhmä tuo koron manuaalisesti tikusta toiseen, jopa kymmeniä kertoja yhdellä työmaalla. Virheen tekemiselle mahdollisuuksia tulee näin ollen merkittävän paljon. Tikkuun merkitty väärä korko on haastavaa huomata etenkin, jos korkovirhe on pieni. Virhe saatetaan huomata pahimmassa tapauksessa vasta pohjan tarkemittauksissa, jolloin korjaustoimenpiteet voivat viivästyttää asfaltointia.

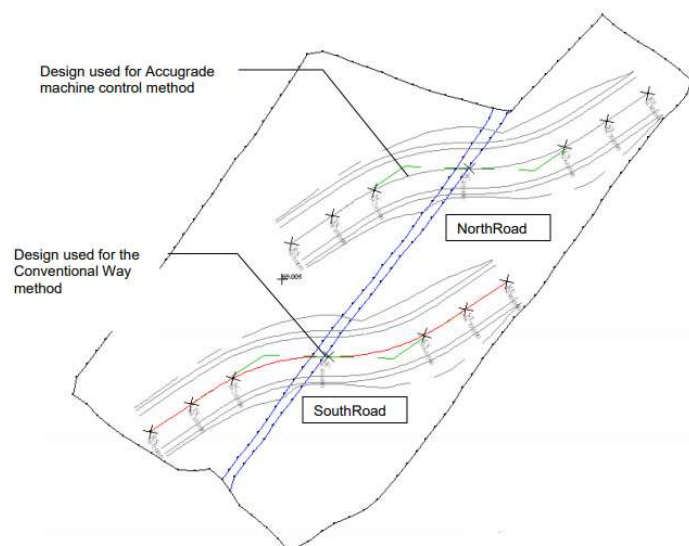
Vilkailla alueilla sijaitsevilla työmailla merkkitikut sekä korkolaput voivat kadota ulkopuolisten henkilöiden tahallisen vahingon aiheuttamisen takia. Katoaminen aiheuttaa poikkeuksetta tarpeen suorittaa koron tuominen uudestaan. Koneohjauksista ja koneohjausmalleja hyödyntämällä edellä mainitun kaltaiset työmaan edistymistä hidastavat ongelmat eivät ole enää mahdollisia.

5.1.2 Tutkimus koneohjauksen hyödyistä

Vuonna 2006 Caterpillar Oy suoritti tutkimuksen ”Road Construction Production Study”. Tutkimuspaikkana toimi Malaga Demonstration & Learning Center. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tehokkuuden paranemista kun tien rakentamisessa käytettiin AccuGrade-koneohjausjärjestelmiä. Tehokkuutta tutkittiin rakentamalla kaksi lähes identtistä tietä. Toinen teistä rakennettiin perinteisiä menetelmiä käyttämällä ja toinen koneohjausjärjestelmiä hyödyntämällä. (Caterpillar 2006, 4.)

Haasteena tutkimuksen suorittamisessa oli saada molemmista työmaista mahdollisimman identtinen (Kuvio 14). Identtisuuden takaamiseksi molemmat tiet rakennettiin lähekkäin, samalle alueelle ja rakentamiseen käytettiin samoja materiaaleja. Työkoneiden kuljettajat sekä muu henkilöstö pysyi samana teiden rakentamisessa ja rakentaminen suoritettiin saman säätilan vallitessa. Tehokkuuden

mittareina seurattiin rakentamisen eri vaiheisiin kuluva aikaa, polttoaineen kulu-
tusta, yliajojen määrää sekä työn lopullista tarkkuutta. Rakennettavat tiet olivat
pituudeltaan noin 80 metriä. (Caterpillar 2006, 4.)



Kuvio 14. Rakennettavien teiden suunnitelmat (Caterpillar 2006, 8)

Taulukko 1. Polttoaineen kulutus litroina (Caterpillar 2006, 22)

<i>Polttoaineen kulutus (L)</i>			
<i>Työkone</i>	<i>Perinteinen työmaa (L)</i>	<i>Koneohjattu työmaa (L)</i>	<i>Polttoaineen säästö (%)</i>
<i>Kaivinkone 330D</i>	231	123	47
<i>Puskutraktori D6N</i>	210	136	35
<i>Tiehöylä 140H</i>	22	7	68
<i>Yhteensä (L)</i>	463	266	43

Taulukko 2. Yliajojen määrä (Caterpillar 2006, 23)

<i>Yliajojen määrä</i>			
<i>Työkone</i>	<i>Perinteinen työmaa</i>	<i>Koneohjattu työmaa</i>	<i>Yliajojen vähentyminen (%)</i>
<i>Puskutraktori D6N</i>	632	306	52
<i>Tiehöylä 140H</i>	62	17	73

Taulukko 3. Teiden rakentamiseen käytetyt työtunnit (Caterpillar 2006, 24)

<i>Työtunnit</i>	<i>Perinteinen työmaa (h,min)</i>	<i>Koneohjattu työmaa (h,min)</i>	<i>Säästö (%)</i>
<i>Esimies</i>	24,32	11,50	52
<i>Kuljettajat</i>	98,08	47,20	52
<i>Mittaaja</i>	18,14	0,54	95
<i>Apuhenkilö</i>	18,14	—	—
<i>Yhteensä</i>	159,08	60,04	62

Taulukko 4. Teiden rakentamisen tarkkuudet (Caterpillar 2006, 24)

Tarkkuus (%)	<i>Perinteinen työmaa (% Toleranssin sisällä ± 3 cm)</i>	<i>Koneohjattu työmaa (% Toleranssin sisällä ± 2 cm)</i>
Tien pohjakerros	35 %	86 %
Tien kantava kerros	45 %	98 %

Tutkimuksesta käy ilmi, että koneohjauksesta on merkittävä hyöty käytännössä jokaisella mitatulla osa-alueella. Tarvittava yliajojen määrä pieneni yli puolella (Taulukko 2), mikä osaltaan vaikutti myös siihen, että polttoainetta kului noin 43 % eli 197 litraa vähemmän (Taulukko 1). Tien rakentamiseen tarvittut työtunnit pienenivät 62 % (Taulukko 3). Ajan säästämiseen vaikuttivat koneohjauksen tukeama nopeampi työn viimeistely, työvaiheiden vähentyminen sekä mittaajan apumiehen pois jääminen. Koneohjatun työmaan tarkkuus pysyi merkittävästi paremmin asetettujen toleranssien sisällä siitäkin huolimatta, että koneohjauksen toleranssit olivat perinteistä tapaa tiukemmat (Taulukko 4).

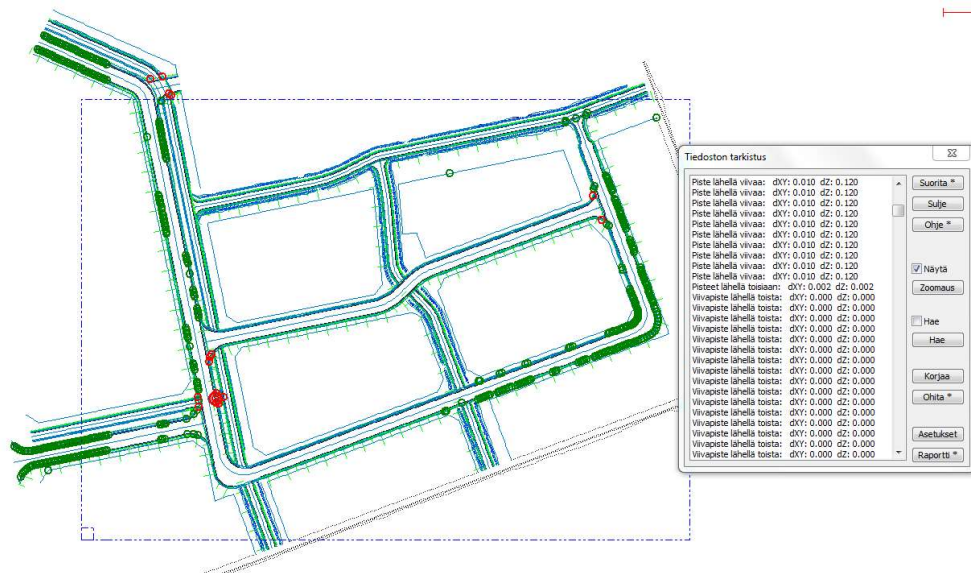
Tutkimustulokset tukevat myös muissa lähteissä ilmoitettuja hyötyjä koneohjauksesta. Työmailla monet asiat vaikuttavat toisiinsa, minkä vuoksi koneohjauksesta saatavia hyötyjä myös havaittiin kaikissa mitatuissa osa-alueissa. Tutkimuksen tuloksia arvioidessa on kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että käytettyjä järjestelmiä tuottava yritys on myös tutkimuksen suorittaja. Tutkimus toimi samalla eräänlaisena tuote-esittelynä.

5.2 Koneohjauksen ongelmat

Koneohjausjärjestelmien toimivuus perustuu monien teknisten osa-alueiden sekä asiantuntijaryhmien toimintaan ja yhteistyöhön. Ongelmat koneohjauksessa ilmenevät usein yhteysongelmina tukiaseman tai satelliittien kanssa, josta seuraa GNSS-tarkkuuden huonontuminen tai vaihtelu. Tyypillisiä ongelmia ovat myös koneohjausmallien toimimattomuus tai järjestelmien käytössä ilmenevät inhimilliset virheet.

Oulun kaupungin työmailla käytössä olevissa koneohjausmalleissa ilmenee virheitä aika ajoin (Kuvio 15). Virheiden vuoksi työpäällikkö Jussilan työtehtäviin monesti lukeutuu mallien muuntaminen oikeaan formaattiin. Tarvittaessa pienen

kohteen, kuten ojan korjaaminen tai suunnittelu onnistuu myös. (Jussila 2018a).
 Tyypillisimmät malleista löytyvät viat liittyvät linjojen sekä liittymäkohtien epäjatkuvuuksiin. Myös ristiriidat nimeämiskäytännöissä aiheuttavat harmia etenkin siksi, että haluttu tieto etsitään yleensä valikossa esiintyvän nimikkeen avulla. (Laukkanen 2017b.)



Kuvio 15. Oulun kaupungin työmaan viallinen koneohjausmalli ja tarkastusloki

Koneohjauksen käyttämisessä korostuu myös kuljettajan lisääntynyt vastuu. Koneohjausta hyödyntämällä vähenee erillisen mittaushenkilön tarve, jolloin työkooneen kuljettaja voi joutua käyttämään mittauslaitteistoa ja valvomaan työn mittauksellista tarkkuutta itse. Kuljettajan kokemus ja ammattitaito mittauksesta on lähtökohtaisesti mittaukseen erikoistunutta henkilöä huonompi, jolloin virheiden riski kasvaa. (Aðalsteinsson 2008.) Lisääntynyt vastuu voi osaltaan myös lisätä kuljettajan kokemaa työstressiä.

Koneohjatulla työmaalla maastosta puuttuvat merkinnät (kuvio 16). Merkkien, kuten tikkujen puuttuminen voi haitata työmaavalvojien sekä asiakkaiden työmaan hahmottamista. Työmaan valvojille voi olla hankalampaa seurata työmaan toteutumista suunnitellusti ilman merkkejä. Koneohjauksen täysi hyödyntäminen vaatii myös paljon koulutusta ja henkilöstön halukkuutta oppia uusi työmenetelmä.

(Machine Guidance 2010.) Jaakkola (2010, 45) onkin maininnut haasteeksi koneohjauksen käytössä sen, että mallintamiseen sekä paikantamiseen liittyvää osaamista ei ole vielä tarpeeksi.



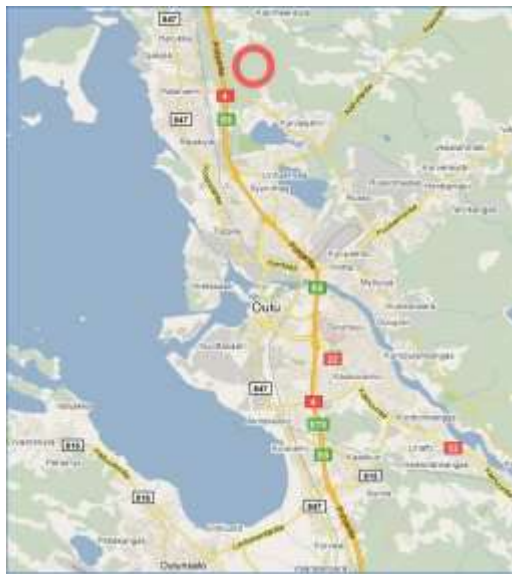
Kuvio 16. Koneohjattu työmaa ilman maastoon merkintää (Karvonen 2014, 13)

Koneohjauksen ongelmana on myös sen käyttöä rajoittavat alueelliset tekijät. Projektit jotka suoritetaan peitteisellä alueella kuten puuston seassa tai korkeiden rakennusten läheisyydessä voivat heikentää satelliittipaikannuksen tarkkuutta merkittävästi. Muita käyttöä haittaavia tekijöitä ovat esimerkiksi koneohjausmallin puuttuminen työmaalta, jolloin koneohjauksesta saatavat hyötyjen määrä vähennee. Lisäksi rakenteiden tekemisessä koneohjausta ei vielä kyetä tehokkaasti hyödyntämään. (TECHBRIEF 2013, 5.) Erityistä tarkkuutta edellyttävät rakenteet rakennetaan perinteistä mittausta hyödyntämällä (Kivinen 2016, 81). Erityistä tarkkuutta vaativa kohde voi olla esimerkiksi siltatyömaa.

Koneohjausjärjestelmien huonoihin puoliin lukeutuvat järjestelmien kustannukset. Järjestelmän toiminta edellyttää usein sitä, että yrityksessä ainakin yksi henkilö keskittää työpanoksensa mallien luomiseen tai korjaukseen sekä tiedon oikeaoppiseen siirtämiseen työkoneeseen. Ylimääräisen työntekijän lisäksi 3D-järjestelmään kuuluvat laitteet sekä ohjelmistot voivat maksaa yli 30 000 euroa työkonetta kohti. Ylläpitotoimet voivat vaatia vuositasolla tuhansia euroja lisää. (Laukkanen 2017a.) Koneohjausjärjestelmän virheetön toiminta edellyttää antennien, satelliittien, järjestelmien komponenttien ja mallien samanaikaista kunnossa olemista. Teknisten laitteiden ollessa kyseessä rikkoutuminen on aina mahdollista, jolloin huonossa tapauksessa työ seisoo laitteiston korjaamiseen asti.

6 KONEOHJAUS OULUN TEKNISESSÄ LIIKELAITOKSESSA

Koneohjauksesta Oulun kaupungin mittaustoimessa käytiin haastattelu Oulun teknisen liikelaitoksen mittaus- ja geotekniikan työpäällikön Tapio Jussilan kanssa 31.8.2018. Oulun kaupunki otti koneohjauksen pilottikokeiluun vuonna 2008 Ritaharjussa sijaitsevalla työmaalla (Kuvio 17). Ritaharjussa koneohjausta testattiin yhteistyössä suunnittelijoiden sekä laitevalmistajien, kuten Novatronin kanssa. (Jussila 2018a.)



Kuvio 17. Ritaharjun alue Oulussa (Oulun kaupunki & Tampereen kaupunki 2010)

Jussilan mukaan koneohjaus havaittiin heti pilottikokeilussa hyväksi, ja etenkin koneiden kuljettajat pitivät järjestelmien käytöstä. Koneohjaus havaittiin myös erinomaiseksi massojen hallinnassa. Eräs suurista aikaa ja rahaa tuhlaavista tekijöistä kaupungin työmailla oli turha massojen ajaminen. Koneohjauksen avulla kaivaminen oikeaan korkeuteen onnistuu välittömästi ja työmailla säästetään rahaa. Tukipalvelut koneohjauksen osa-alueissa ovat myös kehittyneet. Laitevalmistajilla on esimerkiksi Oulussa useita henkilöitä tukitoimissa. Nykyään kilpailutuksessa yksi huomioon otettavista asioista on aliurakoitsijan valmius koneohjauksen hyödyntämiseen. Tilaajana toimiessaan Oulun kaupunki kilpailuttaa myös koneohjausmallit luovan suunnitteluyrityksen. Mainittuja suunnitteluyrityksiä olivat muun muassa Ramboll ja Sweco. (Jussila 2018a.)

6.1 Koneohjauskalusto

Jussilan kanssa käydyssä haastattelussa selvisi, että nykyään Oulun kaupunki omistaa kaksi höyläkonetta, joihin on asennettu täysin toimivat koneohjausjärjestelmät. Koneohjauskomponenttien ikä työkoneissa vaihteli noin viidestä seitsemään vuotta. Tiehöyliä lisäksi kaupunki omistaa neljä tukiasemaa kalustoineen. Aiemmin Oulun kaupungilla on ollut omistuksessa myös kaksi kaivinkonetta koneohjausjärjestelmillä varustettuna. Kaivinkoneet kumminkin kävivät niin vanhoiksi, että järjestelmien ylläpidosta luovuttiin ja koneet myytiin pois. (Jussila 2018a.)

Jussilan mukaan Oulun kaupunki ei enää myöhemmin ollut katsonut kannattavaksi koneohjausjärjestelmien asentamista muihin työkoneisiin kuin tiehöyliin. Tiehöylät järjestelmineen ovat harvinaisempia yksityisillä toimijoilla, minkä vuoksi kaupunki on katsonut kannattavaksi kyseisten työkoneiden sekä järjestelmien hankinnan. Nykyään ja myös tulevaisuudessa kaupunki tulee todennäköisesti kilpailuttamaan maanrakennustyömaalla yleisemmät koneohjatut työkoneet, kuten kaivinkoneet aliurakoitsijoilla. (Jussila 2018a.)

Oulun kaupungin omistamien koneohjausjärjestelmien, tukiasemien sekä muun koneohjauksessa käytettävän kaluston pääasiallinen laitevalmistaja on Leica Geosystems Oy. Laitevalmistajan valinnassa vaikutti merkittävästi se, että tiehöyliin ostettujen järjestelmien hankinnan aikaan vaihtoehtoja ei ollut monia. Olemassa olevista vaihtoehtoista Leica oli tunnetuin sekä edelläkävijä alallaan. Koneohjauksen laitevalmistajan valinnan jälkeen kaupunki on myös pitäytynyt valinnassaan. (Jussila 2018a.)

Kaupungin tiehöyliä järjestelmistä toisessa on valmius hyödyntää koneohjauksessa sekä satelliitti- että takymetripaikantamista (Kuvio 18). Toista tiehöyliä hyödynnetään ainoastaan satelliittipaikannukseen perustuvassa koneohjauksessa. Takymetripaikannusta käytettäessä kaupunki vuokraa tavallista takymetriä nopeammin mittaavan koneohjaustakymetrin. (Jussila 2018a.) Esimerkiksi Kaupungin käyttämältä laitevalmistajalta Leica Geosystemsiltä on saatavissa erityisesti koneohjaukseen tarkoitettuja takymetrejä.

Kaupungin tiehöylissä käytettävä koneohjausjärjestelmä on **Leica iCON iGG3-3D** (Jussila 2018b). Kyseinen järjestelmä mahdollistaa automaattisia toimenpiteitä, kuten sivuittaisliikkeen hallinnan. Järjestelmän joustavuuden ansiosta sitä voidaan käyttää 2D- ja 3D-versiona. Järjestelmä mahdollistaa paikantamisen sekä takymetri- että GPS-ohjauksella. (Leica Geosystems 2018b.)



Kuvio 18. Kaupungin käyttämä Leica iCON iGG3-3D-järjestelmä (Leica Geosystems 2018b)

Kaupungin käyttämä tukiasemakoppiin sijoitettava GNSS-vastaanotin on **Leica iCon gps 80** (Kuvio 19). Vastaanottimen ominaisuuksiin kuuluu sisäänrakennettu modeemi ja liitäntämahdollisuus radiomodeemeihin. GNSS-vastaanotin kykenee jäljittämään maksimissaan 60 satelliittia kahdella taajuudella. Laite mahdollistaa pääsemisen sentin tarkkuuteen vaakasuunnassa ja kahden sentin tarkkuuteen pystysuunnassa. (Leica Geosystems 2013.)



Kuvio 19. Tukiasemakopin kalustoon kuuluvat radiomodeemi (1) ja GNSS-vastaanotin (2)

Kaupungin tukiasemakopin kalustoon kuuluu myös GNSS-vastaanottoon liitetty **SATELLINE-3ASd Epic C** UHF-radiomodeemi (Kuvio 19). Modeemin ominaisuuksiin lukeutuvat muun muassa 330-470 MHz taajuusalue, 19200/38400 bps tiedonsiirtonopeus sekä diversiteettivastaanotto (SATEL® 2011). Diversiteettivastaanotto tarkoittaa radiomodeemin kykyä valita kahden antennin havaitsemista signaaleista paras. Menetelmän käyttäminen parantaa yhteyden luotettavuutta etenkin vaikeissa olosuhteissa. (SATEL Oy 2012.)

6.1.1 Koneohjaus kaivinkoneessa

Koneohjatut kaivinkoneet ovat tiehöylien lisäksi yleinen näky kaupungin työmailla. Koneohjausta hyödyntävät kaivinkoneet Oulussa ovat aliurakoitsijoiden omistamia, minkä vuoksi käytössä olevia järjestelmiä ja koneita on monenlaisia. Heikkilä ja Jaakkola (2004, 40–41) kuvailevat kaivinkonetta eräänä eniten työtunteja keräävistä yleiskoneista työmailla. Koneisiin on mahdollista saada monia eri komponentteja, jotka mahdollistavat erilaisia työtehtäviä. Komponenteista huolimatta kaivinkoneen tärkeimmät työtehtävät liittyvät edelleen kaivamiseen ja kuormaukseen. Käytettävän kaivinkoneen valinta riippuu myös koneen alustasta. Tela-alustaiset koneet ovat eniten käytettyjä pohjatöissä niiden hyvän kantavuuden vuoksi. Pyörä-alustalla liikkuva kaivukone taas suorittaa työtehtäviä erityisesti hyvin kantavilla työmailla, kuten tietyömailla. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 40–41.)

Kaivinkoneen työkäyttöä on vaatimustasoltaan monenlaista. Yksinkertaisimmat työvaiheet ovat materiaalin ottaminen työkoneen kauhaan, käännösten tekeminen ja lastin purkaminen haluttuun paikkaan (Kuvio 20). Vaativampia töitä ovat esimerkiksi pengerrystyö, jossa kaivinkoneella muotoillaan tien rakennekerroksia sekä luiskia. Vaativissa työtehtävissä 3D-koneohjaus voi olla välttämättömyys tehokkaan viimeistelyn takaamiseksi. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 41.)



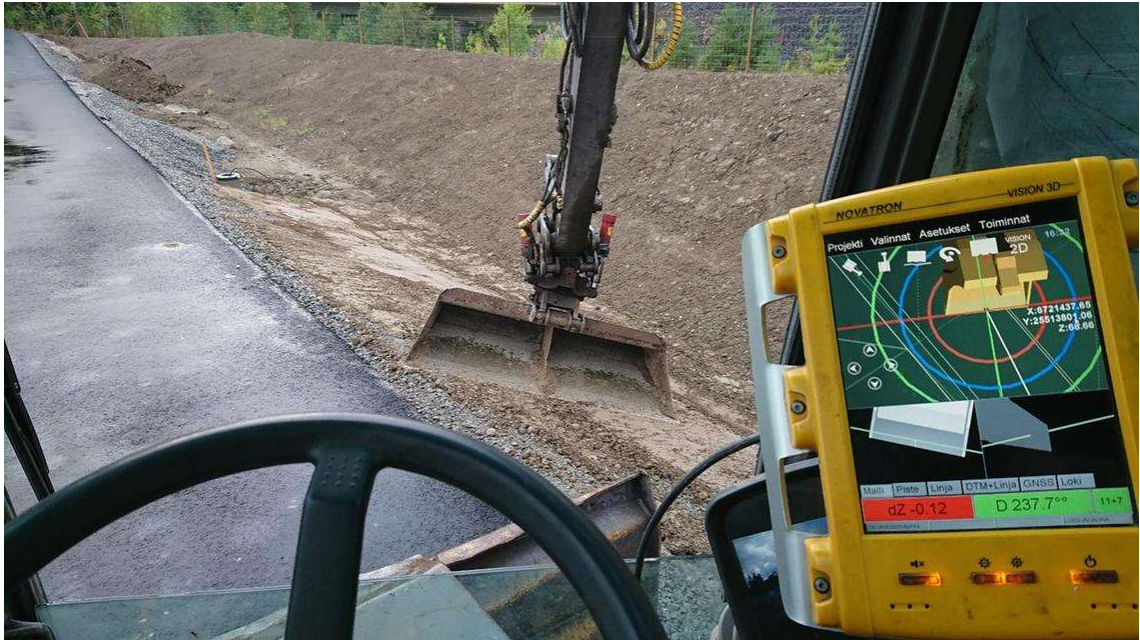
Kuvio 20. Koneohjausta hyödyntävä kaivinkone työkäytössä (Laukkanen & Sammatti 2017)

Kaivukoneissa olevan suhteellisen pienen tuntilaskutushinnan vuoksi myös koneohjausjärjestelmiin panostaessa täytyy pyrkiä edullisiin ratkaisuihin. Edullisyyteen pyrkiminen on tärkeää siksi, etteivät koneen käyttökustannukset nouse kilpailukyvyttömiksi. Yksinkertaisuuteen ja taloudellisuuteen pyrkimisen vuoksi on yleistä hyödyntää vain kaivusyvyyttä ja tasoa ohjaavia järjestelmiä, jotka eivät käytä hyväkseen 3D-paikannusta. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 41.)

Laukkasen ja Sammatin artikkelissa ”Paikantava koneohjaus” (2017) käsitellään kaivinkoneiden 2D- ja 3D-koneohjauksen eroja. 2D-koneohjausta hyödynnetään tehokkaasti esimerkiksi putkikanaalien, rakennuspohjien tai pienimuotoisten tietöiden tekemisessä. Järjestelmän käyttämiseen tarvitaan korkeustietoa, joka voidaan tuoda kaivinkoneeseen puomissa olevan vastaanottimen avulla. Korkeustietoa antava laite on usein tasolaser. (Laukkanen & Sammatti 2017.)

3D-koneohjaus tuo 2D-ohjaukseen lisäksi tarkkaa paikkatietoa työkoneen ja sen komponenttien sijainnista (Kuvio 21). Koneen osien sijainti voidaan jäljittää jopa senttimetrin tarkkuudella. 3D-koneohjaus kaivinkoneessa takaa siis tarkan työn tekemisen ja vähentää apumerkkien tai mittojen tarvetta. Tarkka paikantaminen

3D-järjestelmällä tarkoittaa ylikavamisen vähenemistä ja sitä, että ulkoista apua ei tarvita esimerkiksi mittojen saamiseksi järjestelmän toiminnan varmistamisen jälkeen. (Laukkanen & Sammatti, 2017.)



Kuvio 21. Kaivinkoneen kuljettajan työnäkymä (Laukkanen & Sammatti 2017)

6.1.2 Koneohjaus tiehöylässä

Kaupungin työmailla toimivat niin Oulun kunnan omistamat tiehöylät kuin myös aliurakoitsijoiden omistamat tiehöylät. Tiehöylien toimintaperiaate eroaa hieman kaivinkoneesta esimerkiksi automaation määrän osalta. Heikkilän ja Jaakkolan (2004, 32) mukaan tiehöylä työskentelee yleisimmin tien päällysrakennetyövaiheessa. Päällysrakennetyövaiheessa tiehöylä suorittaa sekä jakavan, että kantavan kerroksen levitys- ja muotoilutöitä (Heikkilä & Jaakkola 2004, 32).

Tiehöylän suorittamiin muotoilutöihin kuuluvat pintakerrosten levittäminen ja muokkaus halutunlaiseksi ajamalla työmaan läpi tiehöylällä useita kertoja muotoiluterä alhaalla. Uudelleen läpiajoa varten tiehöylä peruuttaa muotoiluterä ilmassa lähtöpisteeseen ja suorittaa läpiajamisen uudelleen terä alhaalla. Muut työvaiheet koostuvat aloittavista sekä lopettavista töistä, joihin lukeutuvat esimerkiksi tiehöylän kuljettaminen työmaalle. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 32.)

Tärkeimmät kohteet tiehöylän koneohjauksessa ovat koneen levitys- ja muotoiluterän kaltevuuden sekä korkeuden säätäminen suunnitellun mallin mukaisesti. Koneohjatun tiehöylän tarkkuus parhaimmillaan on jopa senttimetri korkeussuunnassa. Tiehöylä on käyttökelpoinen myös talvikunnossapidossa koneohjauksen avustamana. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 32.) Kaupungit tiehöylissä käytössä on tarkkaa paikkatietoa tuottavat 3D-järjestelmät.

Teränohjauksen automatiikan tuomat hyödyt vähentävät laatuvariaatiota ja nopeuttavat työtä. Automatiikka vähentää myös yliajojen määrää jopa puolella, sillä tienrakennekerrokset muotoutuvat heti haluttuun korkeuteen ja kaltevuuteen. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 32.) Kuljettaja pystyy seuraamaan koneen toimintaa sekä muotoiluterän liikettä hytissä sijaitsevasta näytöstä ja näin ollen valvomaan mahdollisten virheiden syntyä (Kuvio 22).



Kuvio 22. Kaupungin tiehöylän kuljettajan työnäkymä

6.2 Infrakit-pilvipalvelu

Oulun kaupunki hyödyntää koneohjauksen hallinnassa opinnäytetyössä aiemmin esiteltyä rakentamisen pilvipalvelu Infrakit-ohjelmaa. Työpäällikkö Jussila luonnehti haastattelussaan (2018a) Infrakitin helpottaneen huomattavasti myös hänen työtään. Suurimmat hyödyt ohjelman käyttöönoton jälkeen ovat ilmenneet

siten, että tiedostojen siirto koneisiin onnistuu vaivattomasti pilvipalveluiden kautta (Jussila 2018a).

Ennen infrakitin käyttöönottoa suunnitelmien tuominen koneisiin on vaatinut käyntikerran muistitikun kanssa jokaisessa työkoneessa erikseen. Suunnitelmien muuttuminen tai päivittyminen kesken projektin on myös hyvin yleistä ja on aiemmin vaatinut uudemman käyntikerran muistitikun kanssa jokaisessa työkoneessa. Nykyään myös uudet suunnitelmat voidaan lähettää suoraan työkoneisiin ja näin ollen turhaa työmailla juoksentelua on voitu vähentää merkittävästi. (Jussila 2018a.)

Infrakitin hyödyt ulottuvat myös laadunvalvontaan. Projektin asianosaiset kuten mittausryhmät ja työkoneiden kuljettajat kykenevät näkemään työn etenemisen, koneiden liikkeitä ja työsuunnitelmat. Myös rakennustyömaan valvojat sekä työmaamestarit kykenevät seuraamaan tapahtumia reaaliajassa. (Jussila 2018a.)

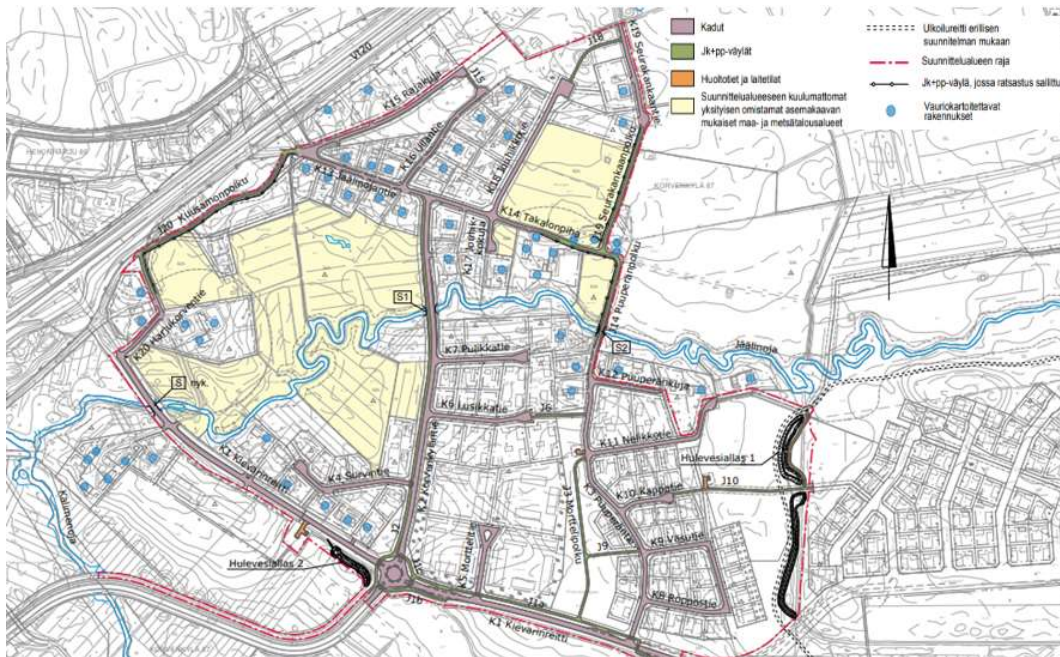
Kunnallisessa käytössä merkittäviä ongelmia Infrakitin kanssa ei enää tätä nykyä ole ilmaantunut. Ongelmien vähäiseen määrään on vaikuttanut pilvipalvelun säännöllinen päivittäminen. Lisäksi mahdollisen ongelmien ilmaantuessa voidaan hyödyntää Infrakitin tarjoamaa tukipalvelua, jolta ratkaisun saaminen on onnistunut yleensä nopeasti. (Jussila 2018a.)

6.3 Koneohjausjärjestelmän käyttökohteita kaupungin työmailla

Oulun kaupungin rakennustyömailla on lähes poikkeuksetta työkäytössä joitain koneohjausjärjestelmiä. Suuria meneillään olevia kaupungin työmaita ovat esimerkiksi Hiukkavaaran keskuksen 2. vaiheen rakentaminen ja Korvenkylän 1. rakennusvaihe (OULU). Oulun kaupungin sivustoilla julkisesti nähtävillä olevista suunnitelmista ja hankkeista käy ilmi, että erikokoisia mutta samantapaisia rakennustyömaita on meneillään huomattavan paljon.

Edellä mainituilla työmailla koneohjausta voidaan hyödyntää esimerkiksi huolto-ten, katujen, kevyen liikenteen väylien sekä ulkoilureittien rakentamisessa

(Kuvio 23). Vesihuoltosuunnitelman toteuttamiseksi työmaalle rakennetaan hulevesikaivoja, huleveden tarkastuskaivoja sekä salaojien tarkastusputkia (Jussila 2018b). Vesihuoltosuunnitelman kaivojen sekä putkien paikoilleen asettaminen ja löytäminen työmailla helpottuu koneohjauksen paikantamistarkkuutta hyödyntämällä.



Kuvio 23. Yleiskartta Oulun Korvenkylään rakennettavista kohteista (Jussila 2018b)

6.4 Työmaa-esimerkki

Soittajankangas on uusi asuinalue, jota rakennetaan vajaan kymmenen kilometrin päähän Oulun keskustasta. Asuinalueen rakentaminen aloitettiin vuonna 2014 ja sen tarkoituksena on valmistua vuonna 2019. Oulun tekniseen liikelaitokseen kuuluvan mittaus- ja geotekniikan osaston mittausryhmän tehtäviin kuuluu suorittaa työmailla laadunvalvontaan, ongelmanratkaisuun, merkintään ja lähtöaineiston luomiseen kuuluvia tehtäviä. Soittajankankaalla on työkäytössä koneohjausjärjestelmiä niin kaivinkoneissa kuin höyläkoneissakin (Kuvio 24).



Kuvio 24. Väliaikainen tukiasema ja koneohjattu höyläkone Soittajankankaalla

Soittajankankaan rakennustyömaalle koneohjausmallit luo ulkopuolinen suunnittelutoimisto. Valmis malli jaetaan työkoneisiin Infrakit-pilvipalvelun kautta. Työmaalle tai sen läheisyyteen perustetaan tukiasema, jonka kautta työkoneet saavat korjaussignaalia ja näin ollen tarkempaa GNSS-dataa sijainnistaan. Soittajankankaan työmaalla käytetään pääsääntöisesti satelliittipaikannusta hyödyntäviä koneohjausjärjestelmiä.

Valmisteluvaiheessa mittausryhmä luo työmaaympäristöön teiden ja suunniteltujen rakennusten välittömään läheisyyteen tarkekantopaikkoja. Tarkekannon tekemiseksi katkaistaan puu. Katkaisusta jäljelle jääneeseen kantaan tehdään muutaman sentin syvyinen ristikuvio moottorisahalla (Kuvio 25). Kuvion keskelle painetaan pieni kuoppa, johon siirretään korko viralliselta korkopisteeltä tai lähellä olevasta aiemmin tehdystä tarkekannosta. Tarkekantoon voidaan tuoda myös X- ja Y-koordinaatit. Ristin keskellä olevan kuopan koordinaatit mitataan ja tallennetaan mittauskojeeseen, kuten takymetriin myöhempää käyttöä varten. Kannot nimetään esimerkiksi järjestyksessä TARK1, TARK2 ja niin edelleen.



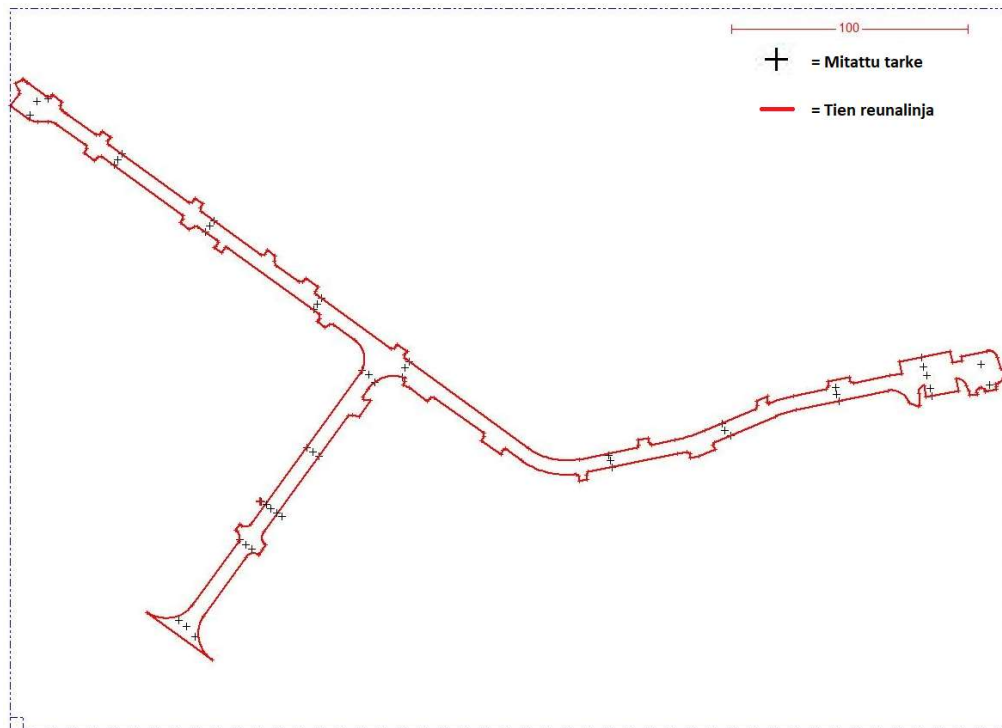
Kuvio 25. Tarkekanto ja merkkitikku koordinaatteineen Soittajankankaalla

Mittausryhmä toimii tien rakentamisvaiheessa lähinnä koneohjausta avustavana tekijänä suorittamalla kalibrointeja työkoneiden järjestelmille tarpeen vaatiessa. Kaivinkoneiden kuljettajat voivat kuitenkin myös itse kalibroida työkoneensa asettamalla koneen kauhan tarkekannon päälle ja vertaamalla saamaansa paikkatietoa tarkekannossa oleviin koordinaatteihin. Tiehöylä ei kykene kalibroimaan itseänsä tarkekantoa hyödyntämällä, joten mittausryhmä luo kalibrointi varten pisteen asfalttiin tai kaivonkanteen, jonka päälle höylä pääsee ongelmitta. Kalibrointi on hyvä suorittaa kerran päivässä tarkkuuden säilyttämiseksi.

Kun työmaalle on tuotu pohjamateriaalia suunniteltu määrä, alkaa höyläkone tasoittamaan tietä. Lähtökohtaisesti materiaalia on ylimääräistä koneessa näkyvään koneohjausmalliin nähden, jotta höyläkone voi tehokkaasti ”höylätä” tien pinnasta materiaalia pois. Jos pintamateriaalia, kuten soraa on liian vähän, sitä tuodaan lisää esimerkiksi rekka-auton lavalla. Kaupungin 3D-järjestelmää hyödyntävä höyläkone ohjaa muotoiluterää automaattisesti mallin mukaisesti ja tarpeen vaatiessa joko leikkaa tai vaatii lisäämään materiaalia tien pohjaan.

Kaikilla teillä on määrätty laskukulma, jonka mukaan tien pinta laskee keskikohdasta tien laitaa kohti kulkiessa. Laskukulma on kriittisen tärkeä veden ohjaamisessa pois tieltä viemäriverkostoon tai ojaan ja siksi kulma huomioidaan koneohjausmallia valmistaessa. Esimerkiksi Soittajankankaalla kuusi metriä leveä autotie laskee yhdeksän senttimetriä tien keskikohdasta laitaa kohti, eli kolme senttiä metrillä molempiin suuntiin.

Kun rakennettavan tien pohja on valmis ja höylätty halutunlaiseksi, lähtee mittausryhmä ottamaan valmiista pohjasta ”tarkkeet”. Tarkkeenotto tarkoittaa limitäisiä mittauksia tien laidoista sekä keskikohdasta ohjeista ja maastosta riippuen 20–50 metrin välein (Kuvio 26). Oleellista tarkkeiden otossa on korkeus, jonka avulla tien laskukulmaa seurataan. Tarkkeet otetaan koko rakennetulta tieosuudelta ja tallennetaan mittauskojeen muistiin. Mittauslaitteena käytetään aina tarkymetriä tarkan korkeuden varmistamiseksi. Korko otetaan mittauksiin mukaan orientoimalla mittalaite tarkekannoista tai muusta luotettavasta korkokohteesta, kuten virallisesta korkopisteestä.



Kuvio 26. Kaupungin tietyömaalta otettuja tarkkeita

Tiestä otetut tarkkeet tuodaan kojeesta tietokoneelle. Tietokoneella tiedostosta editoidaan kaikki ylimääräinen tieto, kuten takymetrin asemapisteen pois. Editoinnin ja tarkistamisen jälkeen tiedosto jaetaan Oulun Teklin maanrakennuspalveluiden pilvipalvelussa olevaan työmaakohtaiseen kansioon. Työmaan laadunvalvonnasta vastuussa oleva henkilö kykenee pilvipalvelun kautta tarkastamaan tiedoston ja arvioimaan työn tarkkuutta. Tarkkeet joko hyväksytään sellaisenaan tai niistä aiheutuu korjaustoimenpiteitä. Tiehen tulevan asfaltin määrästä riippuen tarkkeesta ilmenevän koron tulee olla alhaalla valmiiseen malliin verrattuna 4 cm, 5 cm tai 10 cm. Tarkkeidenoton yhteydessä mittaryhmä merkitsee myös asfaltin reunat, jotta tuleva asfaltti asettuu varmasti oikealle kohdalleen ja laskukulma toteutuu suunnitellulla tavalla.

6.5 Työpäällikön mietteitä koneohjauksesta

Koneohjauksen kehittymisen kohteeksi Jussila mainitsi yhteisen ja kattavan tukiasemaverkoston luomisen, jotta yksittäisistä tukiasemista päästäisiin eroon (Jussila 2018a). Erillisiä tukiasemaverkkoja Suomessa ylläpitää esimerkiksi Geotrim ja Leica Geosystems (Laukkanen & Sammatti 2017). Jussilan mukaan ongelmat koneohjauksen käytössä liittyvät yleensä puutteisiin osaamisessa. Kuljettajia joudataan usein opastamaan järjestelmien toiminnassa myös silloin, kun kyse on kilpailutuksella valitusta urakoitsijasta (Jussila 2018a).

Työmaiden suorittamiseen ei kannata välttämättä hankkia omaa koneohjauslaitteistoa, sillä nykyään lähes kaikkialla on saatavissa kilpailutuksen kautta järjestelmiä työmaille käyttöön. Yksittäisen koneen järjestelmä voi maksaa jopa 30–40 tuhatta euroa ja tukiaseman hankinta voi tuoda lisää hintaa. Koneohjauksen käyttö tuo myös lisähenkilöstön tarvetta. Esimerkiksi Oulun kaupungilla on käytössä laaduntarkkailua varten omat mittausryhmät. Lisäksi kaupungin yhdyskunta- ja ympäristöpalveluilla on useampi työmaiden valvontaan erikoistunut henkilö, sillä jokaisella työmaalla on oltava valvoja. (Jussila 2018a).

7 POHDINTA

Koneohjaus on vakiinnuttanut asemansa työkoneita käyttävillä rakennustyömailla. Koneohjauksen yleistymistä on auttanut merkittävästi se, että nykyään tilaajat vaativat yhä useammin työmaillaan käytettävän koneohjausta. Järjestelmien laitevalmistajien tuottamat tukipalvelut ja koulutukset ovat myös pienentäneet yritysten kynnystä hankkia koneohjausjärjestelmiä, vaikka osaaminen tois- taiseksi puuttuisikin.

Koneohjauksen käyttöönotto tuo kiistattomia hyötyjä työmaille niin ajan, materi- aalin kuin rahankin säästymisenä. Kyse ei niinkään ole siitä, kannattaako kone- ohjausta hyödyntää työmailla, sillä vastaus kysymykseen on kyllä kannattaa. Ky- symys kuuluu ennemminkin missä määrin yrityksen on kannattavaa hankkia jär- jestelmiä omistukseensa ja kuinka paljon koneohjauksen osa-alueita on syytä kil- pailuttaa aliurakoitsijoilla.

Harvinaisempien järjestelmien, kuten tiehöyliä kanssa voi olla järkevää hankkia oma laitteisto työmäärän sekä organisaation koon ollessa sopiva. Perinteisem- mät koneet, kuten kaivinkoneet koneohjausjärjestelmineen voidaan saada kilpai- lukykyiseen hintaan aliurakoitsijalta, eikä ylläpitokustannuksia koidu turhan takia. Korjaussignaalia lähettävän tukiaseman hankinnassa on syytä arvioida montako tukiasemaa tarvitaan, hankintakustannukset ja pohtia vaihtoehtona VRS-tukiase- maverkon käyttöoikeuden hankkimista. Hankittavan laitteiston laitevalmistaja on merkittävä tekijä lopullisessa valinnassa yhteensopivuuden takaamiseksi. Kilpai- lutus mainittujen vaihtoehtojen kesken on hyvin kannattavaa.

Jos koneohjausta hyödynnetään tai on tarkoitus hyödyntää laajemmin, on hallin- nointiin tarkoitetun pilvipalvelun kilpailuttaminen sekä lisenssin hankkiminen kan- nattavaa ja lähes välttämätöntä tehokkuuden kannalta. Käytössä olevien laittei- den yhteensopivuus pilvipalvelun kanssa on syytä tarkastaa. Yhteistyö suunnit- telutoimistojen kanssa takaa useimmiten koneohjausmallien hyvän laadun eten- kin pitkäaikaisen yhteistyön jälkeen, joskin yrityksessä on suositeltavaa olla aina-

kin yksi koneohjaukseen ja tietomallipohjaiseen suunnitteluun erikoistunut henkilö ongelmia ratkaisemassa. Suunnittelutoimistojen olemassa olevia tukipalveluita ja niiden laajuutta kannattaa kuitenkin aina tiedustella yritykseltä.

Eräät suurimmista tulevaisuuden kehityshaasteista koneohjaukselle kokonaisuutena ovat käytäntöjen, kuten malleissa olevien objektien nimeäminen sekä järjestelmien yhtenäistäminen ja henkilöstön tehokas kouluttaminen. Varsinaisten koneohjausjärjestelmien käyttämisen lisäksi tietomallipohjaisen suunnittelun merkitys osana infra-alaa tulee ainoastaan kasvamaan tulevaisuudessa. Asiantuntijoiden tarpeeseen vastaaminen tulevaisuudessa tulee asettamaan haasteita alalle.

Tietomallipohjaiseen suunnitteluun perehtyminen ja kyseisen aihealueen opettaminen kursseilla jo insinööriopintojen aikana on ehdottoman tarpeellista tulevaisuudessa. Suunnittelutoimistojen sekä muiden koneohjausta hyödyntävien yritysten on kannattavaa panostaa insinööriopiskelijoiden käyttämiseen tietomalleja hyödyntävissä projekteissa. Opiskelijoiden osallistuminen tietomallipohjaiseen suunnitteluun mahdollistaa työnkuvan oppimisen edullisesti yrityksen kannalta ja nuoren osaajan työpaikkaan sisäänajon.

Asettamani tavoitteet opinnäytetyölleni saavutettiin. Olen onnistunut työssäni esittelemään koneohjauksen, siihen liittyvät osa-alueet sekä palvelut yleisluotoisesti ja tuottamaan tietoa järjestelmien työkäytöstä kunnallisessa toiminnassa. Työtä voidaan hyödyntää koneohjaukseen perehtymisessä sekä laitteiston hankintapäätöksen tukena. Työn sisältö on julkaisun aikana luotettava sen perusteella moniin lähteisiin, jotka muodostuvat alan kirjallisuudesta, tutkimuksista, asiantuntijoiden kirjoittamista artikkeleista ja alan yritysten tarjoamasta informaatiosta. Lähestulkoon jokaisesta opinnäytetyössä käsitellystä aihealueesta voitaisiin tehdä jatkotutkimuksia. Etenkin tietomallinnus ja koneohjaukseen liittyvän osaamisen kehittäminen lukeutuvat tulevaisuudessa infra-alan kynnyskysymyksiin.

LÄHTEET

Aðalsteinsson, D. 2008. GPS machine guidance in construction equipment. Viitattu 10.10.2018 <https://construction.trimble.com/sites/construction.trimble.com/files/literature-files/2016-07/Productivity-Report-GPS-For-Excavators-2008-White-Paper-EN.pdf>.

Caterpillar 2006. Road Construction Production Study. Viitattu 26.9.2018 <http://sitechsul.com/wp-content/uploads/MALAGA-PRODUCTION-STUDY.pdf>.

3D-KOPPI Oy 2018. Koneohjausmalli. Viitattu 15.9.2018 <http://www.3dkoppi.fi/koneohjausmalli/>.

European Global Navigation Satellite Systems Agency 2018. European GNSS Service Centre. Viitattu 28.9.2018 <https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>.

Geotrim a. Geotrimin palvelut. Viitattu 22.10.2018 http://geotrim.fi/images/Pdf-liitteet/Esitteet/Geotrim_Palveluesite_web.pdf.

Geotrim b. Trimnet. Viitattu 23.10.2018 <https://www.geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs>.

GPS.gov 2018. Space Segment. Viitattu 15.10.2018 <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>.

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Tiehallinnon selvityksiä 61/2004. Helsinki: Tiehallinto. Viitattu 15.9.2018 <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf>.

Howell, E. 2018. Navstar: GPS Satellite Network. Viitattu 15.10.2018 <https://www.space.com/19794-navstar.html>.

Infrakit 2018a. Digitalisoimme infrarakentamisen. Viitattu 8.10.2018 <https://infrakit.com/fi/>.

–2018b. Infrakit: infrahanketietojen reaaliaikainen havainnollistaminen. Viitattu 16.10.2018 <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi/articles/115005744849-Infrakit-infrahanketietojen-reaaliaikainen-havainnollistaminen>.

Jaakkola, M. 2010. Työkoneautomaatio hyötykäyttöön -haaste työnjohdolle. Viitattu 10.10.2018 <http://www.tierakennusmestari.com/lehdet/Jaakkola.pdf>.

Jussila, T. 2018a. Oulun tekninen liikelaitos. Työpäällikön haastattelu 31.8.2018.

Jussila, T. 2018b. Oulun tekninen liikelaitos. Sähköposti Matias.Mokko@edu.lapinamk.fi 17.10.2018. Tulostettu 18.10.2018.

Karvonen, T. 2014. Vanhan kirkkotien ja siihen liittyvien katujen koneohjattu urakka. Viitattu 5.10.2018 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2013/10/SITO-Vanha-Kirkkotie_Tapio-Karvonen.pdf.

Kivimäki, T. 2015. Infrakit ja Leica iCon Telematics. Viitattu 16.10.2018 <https://infrakit.com/fi/infrakit-ja-leica-geosystems/>.

Kivinen, T. 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Viitattu 12.10.2018 https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20529/master_Kivinen_Tommi_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Kuusniemi, H. Paikannussatelliittijärjestelmät. Viitattu 27.9.2018 <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/paikannussatelliittijärjestelmät>.

Laukkanen, J. 2017a. Kuinka koneohjaus auttaa maarakennuksen käytännön töissä? Viitattu 15.10.2018 <https://www.koneviesti.fi/artikkelit/kuinka-koneohjaus-auttaa-maarakennuksen-k%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6n-t%C3%B6iss%C3%A4-1.174489>.

–2017b. Mitä on tietomallinnus maanrakennuksessa? Viitattu 15.10.2018 <https://www.koneviesti.fi/artikkelit/mit%C3%A4-on-tietomallinnus-maanrakennuksessa-1.174481>.

Laukkanen, J. & Sammatti, M. 2017. Paikantava koneohjaus. Viitattu 12.9.2018 https://www.koneviesti.fi/artikkelit/artikkeli-1.206354?_ga=2.56096427.1474240732.1536752873-342416918.1536752873#.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Leica Geosystems 2013. Leica iCon gps 80 GNSS-tehokkuutta koneohjaukseen. Viitattu 17.10.2018 <https://docplayer.fi/17838490-Leica-icon-gps-80-gnss-tehokkuutta-koneohjaukseen.html>.

Leica Geosystems 2018a. Historia. Viitattu 19.10.2018 <https://leica-geosystems.com/fi-FI/about-us/summary/history>.

–2018b. Leica iCON iGG3-3D-järjestelmä. Viitattu 26.9.2018 <https://leica-geosystems.com/fi-FI/products/machine-control-systems/grader/leica-icon-igg3--3d-system>.

–2018c. Leica iCon iXE1-1D-järjestelmä. Viitattu 4.10.2018 <https://leica-geosystems.com/fi-FI/products/machine-control-systems/excavator/leica-icon-ixe1---1d-system>.

Machine Guidance 2010. Machine Guided Construction -Challenges. Viitattu 10.10.2018 <https://machineguidance.com.au/Machine-Guided-Challenges>.

Mitta 2018. 3D-koneohjauspalvelut. Viitattu 19.9.2018 <http://www.mitta.fi/palvelut/mittauspalvelut/3d-koneohjauspalvelut/>.

Novatron a. Kaivinkoneen 2D- ja 3D-koneohjausjärjestelmät. Viitattu 4.10.2018 http://geosam.fi/uploads/7/3/8/3/73830207/novatron_esite.pdf.

Novatron b. Mitä on koneohjaus? Viitattu 23.9.2018 <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>.

Novatron 2014. Koneohjauksen hyödyt saneerauskohteessa. Viitattu 8.10.2018 <https://novatron.fi/blogi-koneohjauksen-hyodyt-saneerauskohteessa/>.

Novatron 2018. Novatron Oy. Viitattu 19.10.2018 <http://novatron.fi/yritys/#historia>.

Ostromap. Mitä on koneohjaus? Viitattu 4.10.2018 https://ostromap.fi/wp-content/uploads/2018/01/mita-on-koneohjaus_v2.pdf.

Oulun kaupunki & Tampereen kaupunki 2010. Tietomallit ja koneohjaus katuhankeissa. Viitattu 16.10.2018 http://www.rts.fi/infrabim/InfraTM_pilotti_Tampere_Oulu_loppuraportti.pdf.

OULU. Suunnitelmat ja hankkeet. Viitattu 18.10.2018 <https://www.ouka.fi/oulu/kaupunkisuunnittelu/suunnitelmat-ja-hankkeet>.

Salmenperä, H. 2004. Paikannus ja työkoneohjaus. Viitattu 5.10.2018 http://www.maanmittaustieteidenseura.fi/maanmittaus/2004_12_salmenpera.pdf.

SATEL® 2011. Tuotekatalogi. Viitattu 17.10.2018 <https://docplayer.fi/16424299-Tuotekatalogi-www-satel-com.html>.

SATEL Oy 2012. SATELLINE-3AS User Guide, Version 3.4. Viitattu 17.10.2018 <https://www.welotec.com/tradepro/shopen/artikel/allgemein/SATELLINE-3AS-Manual-EN.pdf>.

SITECH. Koneohjausratkaisut tiehöyliin. Viitattu 5.10.2018 <https://www.tekniikka.fi/tuoteryhmat/koneohjaus-ja-infra-alan-teknologia/koneohjausratkaisut/koneohjausratkaisut-tiehoilyin>.

Tampere 2018. Infrakit projektinhallintatyökalun hankinta TRE:3240/02.07.01/2018. Viitattu 16.10.2018 <file:///C:/Users/User/Downloads/InfraKit%20projektinhallintaty%C3%B6kalun%20hankinta.pdf>.

TECHBRIEF 2013. Automated Machine Guidance with Use of 3D Models. Viitattu 11.10.2018 <https://www.fhwa.dot.gov/construction/pubs/hif13054.pdf>.

Tekla®. Trimble Connect-Rakenna tiedolla. Viitattu 19.10.2018 <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/trimble-connect>.

Topcon 2016. Sitelink3D. Viitattu 23.10.2018 https://www.topconpositioning.com/sites/default/files/product_files/sitelink3d_broch_7010_2078_rev_d_sm.pdf.

Topgeo a. Mitä koneohjaus on? Viitattu 22.9.2018 <http://www.topgeo.fi/tuotteet/koneohjausjarjestelmat-ja-konevastaanottimet/mita-koneohjaus-on>.

Topgeo b. SiteLINK. Viitattu 22.10.2018 <http://www.topgeo.fi/tuotteet/koneohjausjarjestelmat-ja-konevastaanottimet/sitelink>.

Topgeo c. Yritys. Viitattu 19.10.2018 <http://www.topgeo.fi/yritys/tietoa-yrityksesta>.

Trimble 2018. SNM941 Connected Site Gateway. Viitattu 19.10.2018 <http://construction.trimble.com/products-and-solutions/snm941-connected-site-gateway>.