



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JARKKO KETOLA
KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖÖNOTTO PK-MAARAKENNUS-
YRITYKSESSÄ

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
3. tammikuuta 2018

TIIVISTELMÄ

JARKKO KETOLA Koneohjauksen käyttöönotto pk-maarakennusy yrityksessä
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 87 sivua, 4 liitesivua
Huhtikuu 2018
Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: Infrarakenteet
Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja

Avainsanat: koneohjaus, inframallinnus, koneohjausmalli, infrarakentaminen

Diplomityön tavoitteena oli tutkia koneohjausjärjestelmän hankintaa, käyttöönottoa ja käyttöä pk-maarakennusy yrityksen näkökulmasta. Tietomallipohjaiset toimintatavat ovat yleistyneet talonrakennusalan lisäksi myös infra-alalla viime aikoina. Tietomallien hyödyntäminen edellyttää koneohjausjärjestelmien käyttöä, mikä onkin lisännyt niiden suosiota. Koneohjausjärjestelmien käyttöä vaaditaan jo suuremmissa hankkeissa, mutta ne yleistyvät myös pienemmissä hankkeissa. Koneohjauksen käytöllä on lukuisia hyviä puolia, mutta järjestelmän hankinta tarkoittaa maarakennusy yritykselle suurta rahallista investointia. Järjestelmän tulee olla sopiva kunkin yrityksen tarpeisiin ja se tulee saada mahdollisimman nopeasti tuottavaan työhön, joten hankinta- ja käyttöönottovaiheeseen on kiinnitettävä huomiota.

Tutkimuksen kirjallisessa osassa selvitettiin yleisiä asioita tietomallinnuksesta infra-alalla, kuten mallinnustyössä käytettävää ohjeistoa. Koneohjausjärjestelmistä selvitettiin niiden tasot, komponentit, sovellukset ja työkonemaatation tasot. Lisäksi selvitettiin työkonemaatation paikannuksen periaatteita, koneohjausjärjestelmien käytön etuja sekä työkonemaatation tulevaisuuden näkymiä. Koneohjausmalleista selvitettiin niiden sisältöä, tiedonsiirtoa sekä mallipohjaisen suunnittelun ja laadunvarmistuksen periaatteita.

Empiirisessä osassa tutkimusmenetelmänä käytettiin haastattelututkimusta. Haastattelututkimus toteutettiin asiantuntijahaastatteluina. Asiantuntijoina haastateltiin kahdeksaa koneohjausjärjestelmiä käyttävää maarakennusurakoitsijaa eri puolilta Suomea. Kerätty aineisto analysoitiin ja sen perusteella määritettiin koneohjauksen käyttöönottovaiheen ja käytön suurimmat haasteet ja ongelmakohdat. Lisäksi määritettiin merkittävimmät asiat, jotka tulee ottaa huomioon koneohjausjärjestelmää hankittaessa ja käyttöönotettaessa. Empiirisessä osassa tehtiin myös todelliseen hankkeeseen perustuva arvio koneohjausjärjestelmän kannattavuudesta.

Työn tuloksena havaittiin, että koneohjausjärjestelmää hankittaessa on merkittävää huomioida muun muassa tulevat käyttökohteet, järjestelmän taso, hankintatapa ja järjestelmän ominaisuudet. Lisäksi havaittiin käyttöönoton ja käytön aikana esiintyviä ongelmia, kuten ennakoasenteita ja koneohjausmallien puutteita, joihin esitetään toimenpideratkaisuja. Kirjallisuus- ja haastattelututkimuksen perusteella muodostettiin SWOT-analyysi koneohjausjärjestelmän käytöstä maarakennusy yrityksen näkökulmasta. Merkittävimmiksi hyödyiksi ja mahdollisuuksiksi nousivat työskentelyn tehostuminen ja tarkentuminen sekä mahdollisuus osallistua hankkeisiin, joissa vaaditaan koneohjauksen käyttöä. Merkittävimmiksi haittoiksi ja uhiksi nousivat järjestelmän korkea hankintakustannus ja tilaajien/rakennuttajien tietämättömyys sekä eri osapuolten roolien epäselvyys.

ABSTRACT

JARKKO KETOLA: The introduction of machine control system in mid-sized construction company

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 87 pages, 4 Appendix pages

April 2018

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Municipality Engineering

Examiner: Professor Pauli Kolisoja

Keywords: machine control system, infrastructure modeling, machine control modeling, infrastructure construction

The purpose of this Master's thesis was to examine the purchasing, introduction and use of machine control system. BIM-based practices are common in building construction but lately they have become more common in infrastructure construction. Utilizing the information models requires the use of machine control systems which has increased their popularity among construction companies. The use of a machine control system is required in larger projects, but they are getting more common also in smaller projects. The use of machine control system has many benefits but purchasing of the system means a large financial investment for the construction company. The system must be suitable for each company and it is important to get the system to productive work quickly as possible. That's why attention must be paid to the purchasing and introduction phases.

This work consists of the literature study and empirical study. The literature study presents the principles of information modelling in infrastructure construction and principles of machine control systems. The empirical study consists of interviews. The study was conducted by interviewing 8 experts representing contractor companies. These selected contractors have used machine control systems for several years. The collected data was analyzed and based on it, the most important problems and challenges of machine control system are defined. The empirical study includes also an estimation of the viability of machine control system based on real project.

As a result of the study was found that purchasing the machine control system it is important to observe for example coming projects, system level, method of purchasing and system features. In addition, problems during introduction and use were observed, such as prejudices towards system and shortcomings in machine control models. Based on the literature and interview study, a SWOT analysis of the machine control system from the construction company's point of view was formed. The most significant benefits and opportunities were increased efficiency and accuracy of the work and the opportunity to participate in projects where machine control systems are required. The most significant disadvantages and threats are high purchase price, the lack of knowledge of clients and unclear responsibilities between participants of the project.

ALKUSANAT

Tietomallinnus ja koneohjaus ovat tällä hetkellä kuumia puheenaiheita infra-alalla. Tämä työ tarjosi oivan mahdollisuuden perehtyä niihin hieman pintaa syvemmältä. Erityisesti työn tekijä oppi paljon kyseisistä aiheista ja tiedoista tulee varmasti olemaan hyötyä työelämässä.

Diplomityön aiheen löytymisestä ja ohjauksesta suuri kiitos kuuluu professori Pauli Kolisojalle. Erityisesti haluan kiittää Maanrakennus Ahti Virtanen Oy:n toimitusjohtajaa Ari Virtasta työn tukemisesta ja mahdollisuudesta tehdä työ mielenkiintoisesta aiheesta. Kiitos kuuluu myös koko yrityksen henkilöstölle henkisestä tuesta prosessin aikana. Suuret kiitokset kuuluvat myös omaa aikaansa uhranneille urakoitsijoille mainioista haastatteluhetkistä.

Kiitokset kuuluvat tietenkin myös perheelleni, ystäville ja ennen kaikkea Miralle henkisestä tuesta ja hyvistä vinkeistä. Kaiken kaikkiaan projekti sujui yllättävänkin sutjakkaasti ja tästä on hyvä lähteä työelämään oppimaan lisää.

Tampereella, 17.4.2018

Jarkko Ketola

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Tavoitteet ja aiheen rajaus	2
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto	2
2.	TIETOMALLINNUS INFRA-ALALLA	4
2.1	Inframalli	4
2.2	Yleiset inframallivaatimukset (YIV 2015).....	5
2.3	InfraBIM-nimikkeistö	7
2.4	Tiedonsiirtoformaatit.....	7
2.4.1	Inframodel	8
2.4.2	Muut formaatit	9
2.5	Inframallinnuksen tilanne.....	9
3.	KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT.....	12
3.1	Koneohjausjärjestelmien tasot.....	12
3.2	Koneohjausjärjestelmän komponentit	13
3.3	Työkoneen paikannus.....	14
3.3.1	Mittausperusta ja koordinaatistot	15
3.3.2	Satelliittipaikannus.....	17
3.3.3	Takymetriapaikannus.....	23
3.4	Koneohjausjärjestelmien automaation tasot.....	24
3.5	Koneohjauksen sovellukset	25
3.5.1	Kaivinkone	25
3.5.2	Puskukone/ tiehöylä	26
3.5.3	Pyöräkuormaaja	28
3.5.4	Mittaava jyrä	29
3.6	Tarkemittaussauva.....	30
3.7	Työmaan hallinta.....	31
3.8	Koneohjausjärjestelmien käytön edut	32
3.9	Työkoneautomaation tulevaisuus.....	34
4.	KONEOHJAUSMALLIT	37
4.1	Mallipohjainen suunnittelu.....	37
4.2	Koneohjausmallin sisältö	39
4.3	Tiedonsiirto	41
4.4	Mallipohjainen laadunvarmistus	41
4.4.1	Yleisten inframallivaatimusten mukainen laadunvarmistus	41
4.4.2	Toteutusmallin oikeellisuuden varmistaminen	42
4.4.3	Koneohjausjärjestelmän ja tukiaseman tarkkuuden seuranta.....	43
4.4.4	Koneohjausjärjestelmällä tehtävä toteumamittaus.....	43
5.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTO	46
5.1	Tutkimuskysymykset	46

5.2	Asiantuntijahaastattelut	46
5.2.1	Haastatteluiden toteutus	47
5.2.2	Teema-alueet	48
6.	HAASTATTELUJEN TULOKSET	50
6.1	Koneohjausjärjestelmät	50
6.2	Käyttöönottovaihe	51
6.3	Koneohjausmallit	54
6.4	Työmaan hallinta	55
6.5	Muutokset toimintatapoihin	56
6.6	Kustannukset	57
6.7	Koneohjauksen hyödyt ja haitat	58
7.	ARVIO KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN HYÖDYISTÄ	60
7.1	Hankkeen esittely	60
7.2	Mittauskustannukset	61
7.3	Massatalous	62
7.4	Koneohjauksen hyödyntäminen hankkeessa	63
8.	PÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET	67
8.1	Koneohjausjärjestelmää hankittaessa huomioitavat asiat (TK 1)	67
8.2	Käyttöönoton ja käytön ongelmakohdat ja niiden ratkaisut (TK 2)	72
8.3	SWOT-analyysi koneohjauksesta (TK 3)	75
8.4	Tarkastuslista	78
9.	YHTEENVETO	79
9.1	Tutkimuksen tulokset	79
9.2	Tutkimuksen luotettavuus	81
9.3	Jatkotutkimusaiheet	81
	LÄHTEET	83
	LIITE A. HAASTATELTAVAT	1
	LIITE B. TUTKIMUKSESSA KÄYTETTY KYSYMYSLOMAKE	2
	LIITE C: KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN HANKINTA	4

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ATS	Advanced Tracking System, koneohjaussovelluksissa käytetty automaattinen takymetri
bSF	Building Smart Finland
CAD	Computer Aided Design, suunnitteluohjelmisto
CAN	Controller Area Network, työkoneissa käytetty automaatioväylä
DGPS	Differentiaalinen GPS-paikannus
dxf	Drawing Interchange Format, tiedonsiirtoformaatti
dwg	AutoCAD-ohjelmiston alkuperäinen tiedostomuoto
EUREF-FIN	Euroopan terrestrisen vertausjärjestelmän 1989 (ETRS89) suomalainen kolmiulotteinen realisaatio
ETRS-GK _n	ETRS-koordinaattijärjestelmän kanssa käytettävä karttaprojektio ja tasokoordinaatisto
ETRS-89	European Terrestrial Reference System 1989
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
gt	Suomalainen maastomittauksessa käytetty tiedonsiirtoformaatti
IFC	Industry Foundation Classes, taitorakenteissa käytetty tiedonsiirtoformaatti
IM	InfraModel, suomalainen muunnos kansainvälisestä XML-formaatista
InfraBIM	Infra Built Environment Information Model
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
KKJ	Kartastokoordinaattijärjestelmä
LandXML	Infra-alan kansainvälinen tiedonsiirtoformaatti
RTK	Real Time Kinematic, satelliittipaikannusmenetelmä
RTS	Rakennustietosäätö
VRS	Virtual Reference System (Trimble Navigation Limitedin tavaramerkki)
VVJ	Vanha valtion järjestelmä
XML	eXtensible Markup Language, tekstimuotoinen kuvauskieli, jolla voidaan jäsentää laajoja tietomassoja
YIV	Yleiset inframallivaatimukset
YTV	Yleiset tietomallivaatimukset
3D-Win	Maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarkoitettu Windows-ohjelmisto

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Kiinnostus tietomallipohjaisia toimintatapoja ja tietomalleja kohtaan on rakennusalalla kasvanut voimakkaasti viime vuosina. Toistaiseksi talonrakennusala on hyödyntänyt tietomalleja laajemmin kuin infra-ala. Uuden tekniikan on havaittu lisäävän toiminnan tehokkuutta ja laatua, sekä lyhentävän työvaiheiden läpimenoaikoja. Näiden havaintojen perusteella kiinnostus tietomallipohjaisia toimintatapoja kohtaan on lisääntynyt myös infra-alalla. Talonrakennusalan etumatka näkyy kuitenkin siinä, että sinne on muodostunut vakiintuneita käytäntöjä ja termejä, mutta infra-alalla niitä vielä kehitetään. Suomessa kehitystyö on kansainvälisesti merkittävää ja Suomi onkin tietomallinnuksen ja koneohjauksen osalta kehityksen kärkipäässä maailman mittapuulla. Esimerkkinä kehitystyöstä ovat Yleiset inframalliohjeet ja avoin tiedonsiirtoformaatti InfraModel.

Infra-alalla merkittävin uuden tekniikan sovellus on koneohjaus. Koneohjauksesta tehtyjen opinnäytetöiden ja tutkimusten mukaan sen avulla saavutetaan useita hyötyjä perinteisiin menetelmiin verrattuna. Monessa tutkimuksessa kohteet ovat kuitenkin olleet pääasiassa suuria väylähankkeita ja ne on yleensä tehty enemmän tilaajan tai rakennuttajan näkökulmasta. Urakoitsijan näkökulmasta hyötyjä saavutetaan kuitenkin esimerkiksi työn tehokkuuden kasvun myötä. Tehostuminen näkyy työvaiheiden läpimenoaikojen lyhentymisenä ja odotteluaikojen vähentymisenä. Urakoitsijan näkökulmasta merkittävä hyöty on massojen hallinnan tarkentuminen. Koneohjausta käytettäessä kuljettaja pystyy tekemään suunnitellun rakenteen tarkasti suunnitelmien mukaiseksi, jolloin esimerkiksi maaleikkausta tehdessä ei kaiveta liian syväälle. Säästöjä syntyy myös mittaushenkilöstön ja maarakennustyöntekijöiden tarpeen vähenemisen myötä. Lopputuotteen laadun on myös todettu paranevan reaaliaikaisten toteumamittausten myötä. Toteumamittausten avulla työnjohdolla ja tilaajalla on mahdollisuus seurata työn edistymistä reaaliajassa ja laatupoikkeamiin voidaan puuttua heti. Maarakentamisessa virheiden korjaaminen jälkikäteen on usein hyvinkin kallista ja hidasta.

Hyödyistä huolimatta kynnys koneohjauksen käyttöönottoon on pienille ja keskisuurille maarakennusyriyksille edelleen melko korkea. Kynnystä ovat pitäneet korkealla esimerkiksi suuret hankintakustannukset ja osaamisen puute. Järjestelmän hinta konetta kohden on suuri ja lisäksi järjestelmän ylläpito ja henkilökunnan kouluttaminen aiheuttavat kustannuksia. Järjestelmän tulee olla sopiva yrityksen tarpeisiin ja käyttöönottovaiheen sujuva, jotta järjestelmä saadaan nopeasti tuottavaan työhön. Käyttöönoton onnistuminen säästää sekä aikaa että rahaa.

Konkreettisia tietoja koneohjauksen hyödyistä on melko vähän saatavilla, mikä vaikeuttaa investointilaskelmien tekemistä ja siten hankintapäätöksen tekemistä. Tietomallipohjaisia toimintatapoja ja koneohjausjärjestelmiä kehitetään ja uusia sovellusmahdollisuuksia etsitään jatkuvasti. Oletettavaa on, että tietomallinnus ja koneohjaus ovat tulleet jäädäkseen infra-alalle. Tapojen ja menetelmien kehittymisen myötä niitä tullaan käyttämään suurempien hankkeiden lisäksi entistä enemmän myös pienemmissä hankkeissa. Monet tilaajat ovat myös alkaneet vaatia tietomallipohjaisten toimintatapojen käyttöä, esimerkiksi Liikennevirasto tulee jatkossa toteuttamaan kaikki hankkeensa tietomallipohjaisesti.

1.2 Tavoitteet ja aiheen rajaus

Tutkimus tehdään pk-tason maarakennusyrityksen näkökulmasta, koska koneohjausjärjestelmien hankinta on suuri investointi erityisesti pk-tason yrityksessä. Työn tavoitteena on tarkastella koneohjausjärjestelmien käyttöönottovaiheessa ilmeneviä ongelmia ja haasteita pk- yrityksissä. Lisäksi selvitetään hankinta- ja käyttöönottovaiheessa huomioitavia asioita. Pk-yrityksen näkökulmasta selvitetään myös koneohjauksen käytön etuja ja haittoja SWOT-analyysin avulla. Tutkimuksessa tarkastellaan pääasiassa kaivinkoneen 3D-koneohjausjärjestelmän käyttöönottoa, mutta teoriaosuudessa käsitellään myös 2D-järjestelmiä ja muihin infratyömaan työkoneisiin asennettavia koneohjausjärjestelmiä. Teoriaosuudessa selvitetään tietomallintamiseen ja koneohjaukseen liittyviä perustietoja, kuten paikannuksen perusteita ja mallipohjaiseen toimintaan liittyviä ohjeistuksia. Tutkimuksen yhtenä tavoitteena on tuottaa materiaalia koneohjausjärjestelmän hankintapäätöksen tueksi Maanrakennus Ahti Virtanen Oy:lle.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Tutkimus suoritetaan kirjallisuus- ja haastattelututkimuksena. Kirjallisuustutkimuksessa pääpaino on tietomallintamisen ja erityisesti koneohjausjärjestelmien käytössä infra-alalla. Teoriaosuudessa esitellään inframallinnukseen ja koneohjaukseen liittyvät perusasiat. Inframallinnuksesta käsitellään vaatimuksia ja ohjeita sekä tämän hetkistä tilannetta Suomessa. Koneohjausjärjestelmistä esitellään toimintaperiaatteet, sovellukset ja käyttökohteet. Koneohjausmalleista esitellään laadunvarmistukseen, mallien sisältöön ja tietomallipohjaiseen suunnitteluun liittyviä asioita. Empiirisessä osassa selvitetään ongelmia ja pullonkauloja, joita on tullut vastaan käyttöönottovaiheessa ja käytön aikana ja etsitään niihin ratkaisuja. Lisäksi selvitetään asioita, jotka tulee ottaa huomioon hankintapäätöstä tehdessä sekä järjestelmiä käyttöönotettaessa ja käytettäessä.

Empiirisessä osassa tutkimusmenetelmänä käytetään haastattelututkimusta, joka toteutetaan asiantuntijahaastatteluina. Asiantuntijoina haastatellaan kahdeksaa koneohjausjärjestelmiä käyttävää maarakennusurakoitsijaa. Kerättyä aineistoa analysoidaan, ja pyritään löytämään koneohjauksen käyttöönottoaiheen suurimmat haasteet ja asiat, jotka tulee

ottaa huomioon koneohjausjärjestelmää hankittaessa ja käyttöönotossa. Maarakennusyrityksen näkökulmasta koneohjauksen käytön hyötyjä, haittoja, mahdollisuuksia ja uhkia selvitetään SWOT-analyysin avulla, joka tehdään haastattelu- ja kirjallisuustutkimuksen pohjalta. Lopuksi kootaan tarkastuslistan tyyppinen ohje tukemaan hankintapäätöksen tekemistä ja helpottamaan sopivan koneohjausjärjestelmän valintaa.

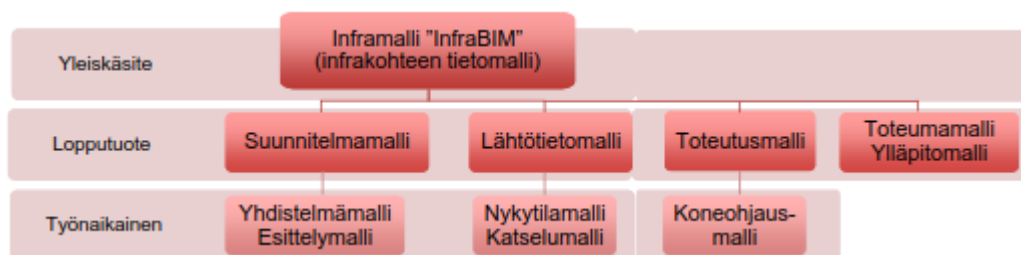
Haastattelututkimuksen lisäksi empiirisessä osassa tehdään teoreettinen arviolaskelma koneohjausjärjestelmän kannattavuudesta. Arvio perustuu vuonna 2016 toteutettuun hankkeeseen ja tarkoituksena on selvittää, miten koneohjausta olisi voitu käyttää kyseisessä hankkeessa ja millaisia säästöjä se olisi tuottanut. Yhtenä tutkimuksen osa-alueena oli myös eri valmistajien koneohjausjärjestelmiin tutustuminen valmistajan tai maahantuojan toimitiloissa ja alan tapahtumissa.

2. TIETOMALLINNUS INFRA-ALALLA

Tietomallipohjaiset toimintatavat alkavat olla arkipäivää talonrakennushankkeissa, mutta myös infra-alan hankkeissa ne ovat alkaneet yleistyä viime vuosina. Tällä hetkellä tietomallinnus alkaakin olla vakiintunut käytäntö suuremmilla työmailla, mutta tapojen ja menetelmien kehittyessä tietomallinnus tulee yhä pienemmille työmaille. Monet tilaajat ovat myös alkaneet vaatia tietomallipohjaisten toimintatapojen käyttöä, esimerkiksi Liikennevirasto tulee jatkossa toteuttamaan kaikki hankkeensa tietomallipohjaisesti. Kiinnostus mallien hyödyntämiseen on lisääntynyt ja kehitystyötä eri toimijoiden kanssa on lisätty. Suomessa tietoa tietomallintamisesta ja tukea tietomallipohjaisten menetelmien käyttöön antaa tietomallintamisen yhteistyöfoorumi buildingSMART Finland (bSF), joka on yksi Rakennustietosäätiön (RTS) päätoimikunnista. BuildingSMART Finland kehittää tietomallinnusalaan esimerkiksi julkaisemalla Yleiset inframallivaatimukset ja InfraBIM-nimikkeistön. Näiden avulla toimintatavat kehittyvät ja yhtenäistyvät. [1]

2.1 Inframalli

Inframallilla tarkoitetaan infrarakenteesta, kuten väylästä tai sillasta, muodostettua tuotemallia. Se on digitaalisessa muodossa olevan infrakohteen kolmiulotteinen kuvaus, johon on lisätty ominaisuustietoja. Yleiskäsitteenä inframallilla tarkoitetaan kaikkia infrahankkeen toteutuksessa käytettäviä malleja, mutta se voidaan jaotella esimerkiksi suunnitelmamalleihin ja toteutusmalleihin kuvan 1 mukaisesti. Rakentamisen aikana käytetään toteutusmallia, joka sisältää yksityiskohtaista tietoa kohteen rakentamista varten, esimerkiksi koneohjausjärjestelmissä käytetyt koneohjausmallit ovat osa toteutusmallia. Mallipohjaisen tiedon kuvaamisen ja tuottamisen myötä erilaiset tietotekniset järjestelmät ja sovellukset, esimerkiksi mittaus- ja koneohjauslaitteet sekä määrälaskentaohjelmit, pystyvät tulkitsemaan ja hyödyntämään tietoa. [1, 2]



Kuva 1. Inframallin sisältö.[2]

2.2 Yleiset inframallivaatimukset (YIV 2015)

Rakennustietosäätiön alaisuudessa toimiva buildingSMART Finland Infra-toimiala julkaisi Yleiset inframallivaatimukset (YIV2015) toukokuussa 2015. Yhteisten mallinnusohjeiden tarve on syntynyt suurimpien infratilaajien tavoitteesta siirtyä käyttämään tietomalleja. Ohjeiden tarkoituksena on kehittää mallinnusprosessia ohjaamalla ja yhdenmukaistamalla mallinnuskäytäntöjä, koska tilaajilla ja palvelujen tuottajilla on oltava yhteinen käsitys siitä, mitä asioita mallinetaan ja miten niitä mallinetaan hankkeiden eri vaiheissa. Inframallivaatimuksia käytetään hankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina ja inframallintamisen ohjeina. [3]

Yleisiä inframallivaatimuksia päivitetään ja täydennetään vuoden 2018 aikana vastaamaan nykyisiä tarpeita ja samalla ne on tarkoitus siirtää uuteen julkaisualustaan, joka mahdollistaa muun muassa paremman palautteen keräämisen ja päivityksen. Jatkossa päivittämistarvetta aiheuttaa erityisesti inframallintamisen kansainvälinen standardointityö. Lisäksi talonrakennusalan tietomallinnusohjeiden päivityksen myötä infra-alan ohjeita päivitetään samansuuntaisiksi, jotta ohjeita pystytään käyttämään yhtäläisesti esimerkiksi aluerakennushankkeissa. [4, 5]

Yleiset inframallivaatimukset käsittelevät lähtötietoja, suunnittelun eri vaiheita, rakentamista, rakennetun todentamista sekä käyttöä ja ylläpitoa. Ohjeiden perustana on tämän hetken parhaat käytännöt ja niitä kehitetäänkin jatkuvasti. Mallinnusohjeet sisältävät vähimmäisvaatimukset mallinnukselle ja mallien tietosisällölle. Vähimmäisvaatimuksia on tarkoitus käyttää kaikissa tulevilla infraprojekteissa. Tapauskohtaisesti voidaan kuitenkin esittää lisävaatimuksia ja sopia yksityiskohdista. Hankkeen kaikissa sopimuksissa on esitettävä mallinnusvaatimukset ja inframallin sisältö yksiselitteisesti ja sitovasti. Alla olevassa luettelossa on esitetty osat, joista Yleiset inframallivaatimukset 2015 koostuu. [3]

1. Tietomallipohjainen hanke
2. Yleiset mallinnusvaatimukset
3. Lähtötiedot
4. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa
5. Rakennemallit
 - 5.1. Maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällys- ja pintarakenteet
 - 5.2. Maarakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohje
 - 5.3. Maarakennustöiden toteutumamallin laadintaohje
6. Rakennemallit
 - 6.1. Järjestelmät
7. Rakennemallit
 - 7.1. Rakennustekniset rakennusosat
8. Inframallin laadunvarmistus
9. Määrälaskenta, kustannusarviot

10. Havainnollistaminen

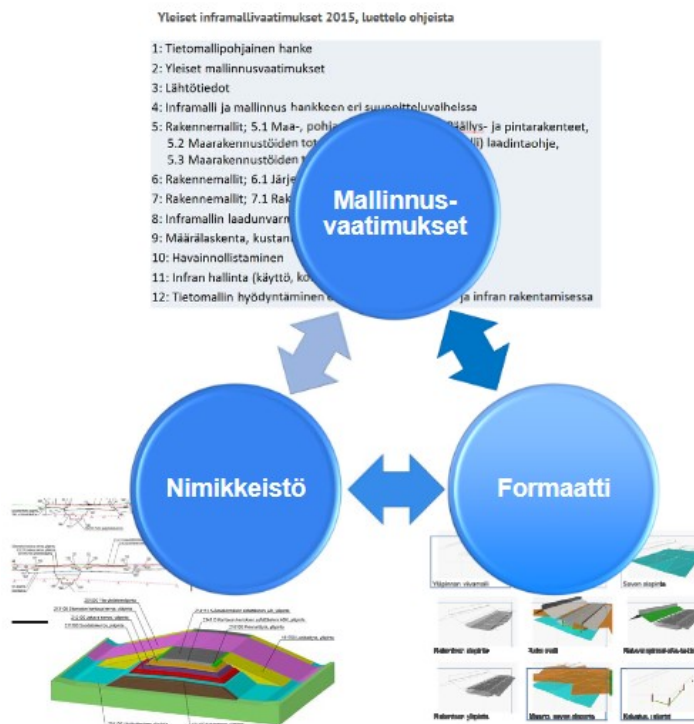
11. Inframallin hyödyntäminen eri suunnitteluvaiheissa, infran rakentamisessa sekä infran käytössä ja ylläpidossa

Ohjeistuksen mukaan kaikkien tietomallihankkeessa mukana olevien on tutustuttava yleiseen osaan (osat 1 ja 2) sekä laadunvarmistuksen periaatteisiin (osa 8) oman alansa vaatimusten lisäksi. Henkilön, joka johtaa projektia tai projektin tiedonhallintaa, on hallittava kokonaisuudessaan tietomallivaatimusten periaatteet. [3]

Yleisten inframallivaatimusten lisäksi mallinnustyössä käytetään seuraavia ohjeita [1]:

- Liikennevirasto: Tie- ja ratakankkeiden inframalliohje 12/2017
- Liikennevirasto: Siltojen tietomalliohje 6/2014
- InfraBIM-nimikkeistö
- Inframodel-käyttöönotto-ohje
- YTV2012, Yleiset tietomallivaatimukset 2012-kiinteistöjen ja rakennusten mallinnusohje

Yllä mainittujen ohjeiden lisäksi esimerkiksi Helsingin kaupungilla ja Oulun kaupungilla on omia mallinnusohjeita. Inframallintamisen ohjeisto koostuu kolmesta osa-alueesta, jotka täydentävät toisiaan. Ohjeisto koostuu mallinnusvaatimuksista, nimikkeistöstä ja tiedonsiirtoformaateista. Ohjeisto on tietomallipohjaisen toiminnan ja tiedonvälityksen ehdoton edellytys. Kuvassa 2 on havainnollistettu ohjekokonaisuutta.



Kuva 2. Inframallintamisen ohjekokonaisuus. [1]

2.3 InfraBIM-nimikkeistö

Mallinnuskäytäntöjen yhtenäistämiseksi on julkaistu InfraBIM-nimikkeistö, jossa esitetään infrarakenteiden ja -mallien koko elinkaaren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Nimikkeistö perustuu Infra2015-rakennusosanimikkeistöön. Yhteinen nimikkeistö parantaa hankkeen eri osapuolten tiedonvälitystä, sillä hanke mallinnetaan yhteisiä ja samoin tulkittavia jaotteluja ja käytäntöjä käyttämällä. [6]

Nimikkeistön versio 1.6 on laadittu buildingSMART Finlandin Infra-toimialaryhmän alaisuudessa osana Inframallintamisen käyttöönottohanketta. Sen edellinen versio 1.5 valmistui vuosina 2010–2013 osana InfraFINBIM-kehityshanketta. Nimikkeistössä esitetään tie-, katu-, rata- ja vesiväylärakenteiden numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Numerointi- ja nimeämiskäytännöt on esitetty rakennekohtaisilla mallikuvilla. Kuvassa 3 on esitetty esimerkkikuva yksiajorataisen tien rakennepinnoista ja taiteviivoista. Ohjeen loppuun on koottu luettelo Infra-rakennusosanimikkeistön mukaisista InfraBIM-nimikkeistä. Ohjeeseen liittyy myös Excel-taulukko luokitusvastaavuuksista ja rakennusosanimikkeistä, joilla ei ole omaa InfraBIM-nimikettä. Uusimassa versiossa nimikkeistöä on laajennettu peruskaturakenteiden ja vesiväyläverkostojen osalta ja lisäksi luokitusta on täydennetty reunalinjojen ja maastomallin sekä maaperämallin pintojen osalta. [6]



Kuva 3. Esimerkki yksiajorataisen tien InfraBIM-nimikkeistön mukaisista numerointi- ja nimeämiskäytännöistä. [6]

2.4 Tiedonsiirtoformaattit

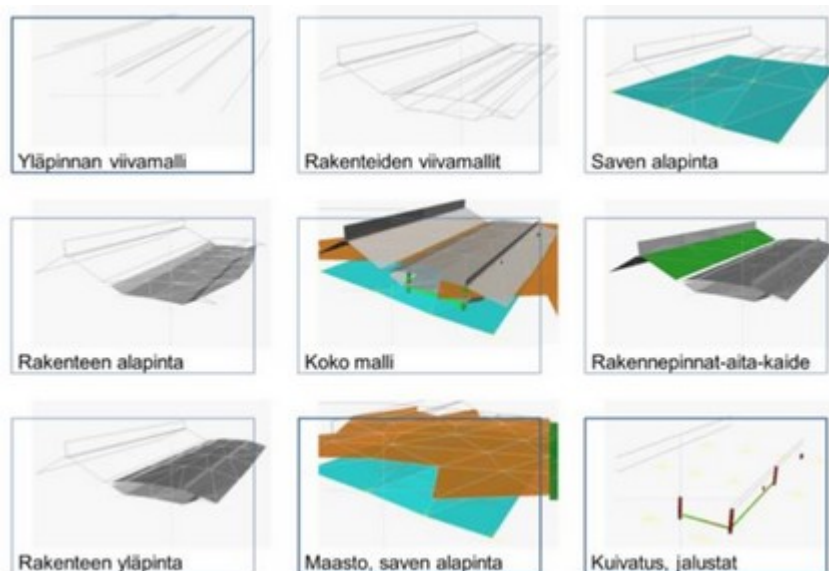
Suunnittelutoimistot, urakoitsijat ja muut toimijat käyttävät infra- ja tietomallien luomiseen ja hyödyntämiseen ohjelmistoja ja sovelluksia, jotka käyttävät eri tiedonsiirtoformaatteja. Tietomallipohjaisen toimintatavan edellytyksenä kuitenkin on, että eri ohjelmistot pystyvät hyödyntämään samaa aineistoa. Tämä onnistuu tuottamalla aineistoa avoimessa tietomallipohjaisessa formaatissa. Avoimen tiedonsiirtoformaatin ansiosta malli voidaan siirtää järjestelmästä toiseen ilman alkuperäisen suunnitelmatiedon häviämistä tai muuttumista. Yhtenäinen formaatti tehostaa suunnittelutyötä ja antaa eri toimijoille yksityiskohtaisempaa tietoa mallin sisällöstä. Vaikka tiedon jakelussa käytettäisiin

avointa formaattia, arkistoon tiedosto tulee tallentaa myös alkuperäisessä natiiviformaatissa, jotta varmistetaan suunnitelmätiedon säilyminen. [1, 7]

Toistaiseksi avoimet formaatit eivät pysty kattamaan infrarakentamisen tarpeita kokonaan, joten suunnittelussa käytetään myös yleisiä formaatteja. Suomessa avoimina formaatteina käytetään infrarakenteiden osalta Inframodelia ja taitorakenteissa, kuten silloissa, IFC-formaattia. Yleisiä formaatteja ovat esimerkiksi Autodeskin kehittämät dxf- ja dwg-tiedostot, joita käytetään CAD-ohjelmistoissa. [3]

2.4.1 Inframodel

Inframodel on Suomessa kehitetty avoin tiedonsiirtoformaatti, joka perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. LandXML on kansainvälinen maarakentamisen XML-pohjainen (eXtensible Markup Language) määrittely infra- ja maanmittaustiedolle [3]. Vaikka Inframodel perustuu LandXML-standardiin, on siihen lisätty rakennelaajennuksia, kuten nimikkeisiin liittyvää tietoa ja vesihuoltoverkostojen kaivojen ominaisuustietoja. Inframodel-tiedosto on tekstimuotoinen, joten se voidaan avata selaimella ja sitä voidaan tarvittaessa muokata tekstieditorilla. LandXML-tiedostossa voidaan välittää varsinaisen siirrettävän tiedon lisäksi metatietoa, eli tietoa tiedosta.[8] Metatietona voidaan pitää esimerkiksi pintojen muodostamiseen käytettyjä taiteviivoja tai materiaalien ominaisuustietoja. Tulevaisuudessa metatietoina voidaan esittää kohteiden tuotetietoja. [9] Kuvassa 4 on esitetty esimerkki Inframodel-tiedoston sisällöstä. Kuvasta nähdään, että tiedosto voi sisältää esimerkiksi rakennepintoja, viivamalleja sekä varusteita.



Kuva 4. Esimerkki Inframodel-tiedoston sisällöstä.[8]

Inframodelista on tähän mennessä julkaistu neljä versiota. Inframodel3 (IM3) otettiin käyttöön vuonna 2014. Viimeisin versio Inframodel4 (IM4) julkaistiin vuonna 2016 ja se otettiin käyttöön 1.2.2018 Liikenneviraston ja suurten kaupunkien hankkeissa. Siihen on

lisätty uusia ominaisuuksia, kuten toteumatiedon hallinta, päällysteiden materiaalitietoja sekä uutena pääelementtinä pilari- ja massastabilointi. [9] Jatkossa Inframodel-formaattia on tarkoitus käyttää koko infra-alalla sekä suunnitteluohjelmissa että mittaus- ja koneohjausjärjestelmissä. Formaattia voidaan käyttää maastomittaustietojen siirrossa, suunnitteluohjelmien välisessä tiedonsiirrossa, suunnitelmamallien arkistoinnissa, toteutusmallien tuottamiseen koneohjausjärjestelmiä varten ja toteumatiedon siirtoon työmaalta suunnittelijalle. [8]

2.4.2 Muut formaatit

Tällä hetkellä infrarakenteiden, kuten väylien ja verkostojen, mallintamiseen käytetään Inframodel-formaattia, mutta siltojen ja muiden taitorakenteiden mallinuksessa käytetään IFC-formaattia (Industry Foundation Classes). IFC-formaattia käytetään myös talonrakennusalalla. Pohjatutkimustietojen siirrossa taas käytetään kansallista Infra-pohjatutkimusformaattia. Näiden lisäksi tarvitaan vielä yleisiä formaatteja, koska avoimet formaatit eivät pysty kattamaan infran tarpeita kokonaan. Yleisiä formaatteja ovat esimerkiksi dxf-, gt- ja dwg-formaatit. [10]

Yleisiä formaatteja käyttämällä osa rakennusosiin liitetyistä ominaisuustiedoista voi hävitä siirrettäessä tietoa eri ohjelmien välillä. Jotta tiedonsiirto onnistuisi mahdollisimman hyvin, on käytettävä Infra-nimikkeistöjärjestelmää. [3]. Yleisiä formaatteja käytettäessä kohde tai rakennusosa ilmoitetaan yleensä tiedostonimessä, koska ne eivät sisällä meta-tietoa. Tiedostonimeämisen tulee aina olla johdonmukaista, jotta tiedon vastaanottaja, esimerkiksi koneen kuljettaja, löytää oikean tiedoston tiedostolistalta. [9]

2.5 Inframallinnuksen tilanne

BuildingSMARTFinlandin infran toimialaryhmän strategiatyöskentelyn tuloksena on syntynyt INFRA 2025-visio, joka rakentuu fyysisestä infrastruktuurista ja informaatiosta. Vision tavoitteena on, että vuoteen 2025 mennessä kaikki infran suunnittelu- ja tuotantoprosessit on digitalisoitu. Tämän myötä infra-alan ja myös koko Suomen tuottavuuden ja kilpailukyvyn odotetaan paranevan. [11] Jotta tuottavuuden kasvu olisi mahdollista, pitää tietomallintaminen ulottaa kattamaan talot, väylät ja verkostot. Lisäksi tietomallintamisen tulee kattaa koko hankkeen elinkaari maastomallista aina ylläpidon malliin asti. [12]

Tulevaisuuden tavoitteena on, että dokumentteihin ja piirustuksiin perustuvasta suunnittelusta ja tiedonsiirrosta siirrytään digitaalisen tiedon jakamiseen. Tavoitetilassa suunnitelmien ja toteutuneiden hankkeiden inframallit ovat yhteisessä tietovarastossa eli palvelimella, jossa ne ovat hankkeen osapuolten saatavilla ja päivitettävissä. Tämä edellyttää ohjelmistojen ja tiedonhallintamenetelmien merkittävää parantumista. Siirtyminen inframallipohjaiseen suunnittelu-, rakennus- ja ylläpitoprosessiin saattaa kestää vuosia. Siir-

tymävaiheessa paperidokumentaatiota pyritään vähentämään asteittain. Paperidokumentaatio tulee kuitenkin säilymään pitkään esimerkiksi juridisista ja hallinnollisista syistä. [13]

Tavoitteena on, että tulevaisuudessa hankkeen suunnittelu tapahtuu yhteisessä tietokannassa käyttämällä yhteisesti sovittuja mallinnusperiaatteita ja objektkirjastoja. Malleja voidaan tällöin koota ja käyttää eri tavoin koko hankkeen elinkaaren ajan. Yhteistä tietoa voidaan käyttää esimerkiksi projektin hallinnassa, kustannusseurannassa ja työsuunnittelussa. Tietokannan sisältöä voidaan tarkastella esimerkiksi piirustuksina, 3D-malleina ja tekstiselostuksina. Mallien ja perinteisten piirustusten ei tarvitse olla toisiaan poissulkevia vaihtoehtoja, vaan ne voivat tukea toisiaan. Piirustuksia käytettäessä on tärkeää, että ne muodostetaan tietomallin pohjalta. Rakenteiden ja laitteiden 3D-suunnittelun lisäksi tietomalliin voidaan lisätä tietoa aikataulusta, jolloin puhutaan 4D-tietomallista. Kun tähän lisätään vielä kustannus- ja laatutietoja, kyseessä on 5D-tietomalli. Rakentamisen aikana kerättävää toteumatietoa voidaan hyödyntää, kun toteumatieto ja suunnittelmamallit kootaan yhteen ylläpitomalliksi. Ylläpitomallia voidaan käyttää esimerkiksi digitaalisena huoltokirjana ja kunnossapidon ohjelmoinnissa. Tällöin rakenteiden korjaustarpeet ovat paremmin ennakoitavissa. Tavoitteena on, että inframallipohjaiseen suunnittelu-, rakennus- ja ylläpitoprosessiin perustuvia toimintatapoja voidaan käyttää myös pienissä hankkeissa. [1, 13]

Tiedonsiirto-standardeihin ei ole vielä kehitetty kansainvälistä suuntaa infra-alalla, vaan tiedonsiirtoformaateista kehitetään kansallisia versioita eri maissa. Suomessa Inframodel-formaattia ollaan kehittämässä infrarakentamisen tarpeisiin, mutta Liikenneviraston toteuttaman Inframodel3-pilotin [7] aikana sen havaittiin soveltuvan huonosti yksittäisten objektien ja järjestelmien mallintamiseen. Erityisesti ratarakentamisessa mallintamisen kohteena on paljon yksittäisiä objekteja ja järjestelmiä, kuten vaihteita, radan turvalaitteita ja telematiikkajärjestelmiä. Näiden mallintamiseen IFC-formaatti sopii paremmin. Myös väylärakentamisessa siltojen ja muiden taitorakenteiden mallinnuksessa käytetään yleisesti IFC-formaattia. IFC-standardia ollaankin kansainvälisesti kehittämässä kattamaan myös muita infrarakenteita. Inframodel-formaattia voidaan kuitenkin pitää tärkeänä kehitysaskelena kohti kansainvälistä standardointia. Kansainvälisen kehitystyön tuloksena IFC-standardointia ollaan kehittämässä tierakenteiden (IFC Road) ja ratarakenteiden (IFC Rail) osalta. Kehitystyötä on vielä paljon edessä ja kansainväliseen IFC-formaatin kehittämiseen menee todennäköisesti vielä vuosia, joten kansalliset formaatit ovat käytössä vielä pitkään. [14]

Suomen lisäksi myös muualla maailmalla kiinnostus tietomallinnusta ja työkoneautomaatiota kohtaan on kasvanut viime aikoina. Inframallinnuksen osalta Suomi kuuluu edelläkävijöihin Euroopassa. Myös muissa Pohjoismaissa tietomallinnusta edistetään infra-alalla kunkin maan strategian mukaisesti. Norjan tiehallinto on vaatinut omissa hankkeissaan tietomallinnusta vuodesta 2015 lähtien, mutta ensimmäiset tietomallinnusohjeet jul-

kaistiin jo vuonna 2010. Ruotsissa painopisteenä on tietomalliosaamisen ja toiminnan ohjausjärjestelmän kehittäminen. Työkoneautomaation osalta Pohjoismaat ovat edelläkävijöitä Norjan ollessa tällä hetkellä pisimmällä. Myös Keski-Euroopassa työkoneautomaatio on myös saamassa vahvempaa jalansijaa, Hollannin ollessa edelläkävijä. Euroopan lisäksi Kiinassa, Australiassa ja Yhdysvalloissa tietomallinnus ja työkoneautomaatio ovat yleistymässä. Myös Iso-Britanniassa kehitys on ollut nopeaa muutaman viime vuoden aikana. [2, 15]

3. KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT

Koneohjauksella tarkoitetaan infrarakentamisessa 2D- tai 3D-koneohjausjärjestelmän käyttöä työkonneissa. Työmaalla työkonne, kuten kaivinkone tai pyöräkuormaaja, varustetaan anturijärjestelmällä, paikannuslaitteilla ja tietokoneilla. Järjestelmään tuodaan digitaalinen suunnitelmatieto, jolloin kuljettaja näkee kolmiulotteisen toteutusmallin, eli koneohjausmallin ja työkonneen reaaliaikaisen sijainnin koneessa olevalta näytöltä. Tiedot näkyvät näytöllä esimerkiksi profiilina, poikkileikkauksena tai tekstinä. Näiden tietojen perusteella kuljettaja pystyy toteuttamaan suunnitelman mukaisia rakenteita ilman perinteisiä maastomerkinöitä. [16]

3.1 Koneohjausjärjestelmien tasot

Koneohjausjärjestelmät jaetaan 2D- ja 3D-järjestelmiin. Suurimpana erona järjestelmien välillä on, että 2D-järjestelmä toimii työkonneen paikalliskoordinaatistossa ja 3D-järjestelmä sitoo työkonneen työmaan koordinaatistoon. 2D- ja 3D-järjestelmien välissä on niin sanottu kevennetty 3D-järjestelmä, joka tuo 2D-järjestelmään 3D-järjestelmän ominaisuuksia, mutta on alkuinvestoinniltaan 3D-järjestelmää edullisempi. Päivitys 3D-järjestelmäksi tapahtuu lisäämällä järjestelmään satelliittipaikantimet ja asentamalla 3D-ohjelmisto järjestelmän tietokoneelle, muut komponentit pysyvät yleensä samoina. Kuvassa 5 on esitetty 2D- ja 3D-järjestelmien näytöt. 3D-järjestelmän näytöltä saadaan huomattavasti enemmän informaatiota, mutta se on myös fyysiseltä kooltaan suurempi, jolloin pienessä ohjaamossa sijoitus voi olla hankalaa.



Kuva 5. 2D- ja 3D-koneohjausjärjestelmien näytöt. Kuvat eivät ole samassa mittakaavassa. [19]

2D-järjestelmän avulla saadaan tietoa pääasiassa korkeussuunnassa, joten se soveltuu erityisesti kapeiden kaivantojen, kuten ojien tai putkikanaalien tekemiseen. Suoraa linjaa kaivettaessa kallistus voidaan asettaa suoraan järjestelmään tai tasolaseriin. Yksinkertaista kaivantoa voidaan kaivaa ilman ulkoista korkoreferenssiä, jolloin kyseessä on suhteellinen korkeusmittaus. Tällöin vertailupiste otetaan kauhan kärjellä esimerkiksi ojan lähtöpisteestä tai korkomerkin päältä. Koneohjausjärjestelmä tuottaa tietoa kauhan korkeudesta ja etäisyydestä, minkä perusteella voidaan kaivaa haluttu kaivanto. Suhteellinen korkeudenmittaus määrittää etäisyyksiä koneen paikalliskoordinaatistossa, eikä siten pysty huomioimaan muutoksia koneen sijainnissa tai asennossa. Suhteellista korkeusmittausta käytettäessä pitääkin ottaa uusi vertailutaso tunnetulta pisteeltä aina konetta siirrettäessä. Tämä ei aina ole mahdollista, joten järjestelmän tukena voidaan käyttää tasolaseria, jonka avulla konetta voidaan siirtää työmaalla säilyttäen koneen korkeusasema. Tasolaseria käytettäessä kaivuupuomin kylkeen asennetaan laservastaanotin, joka määrittää koneen korkeusaseman tasolaserin säteen perusteella. [17, 18]

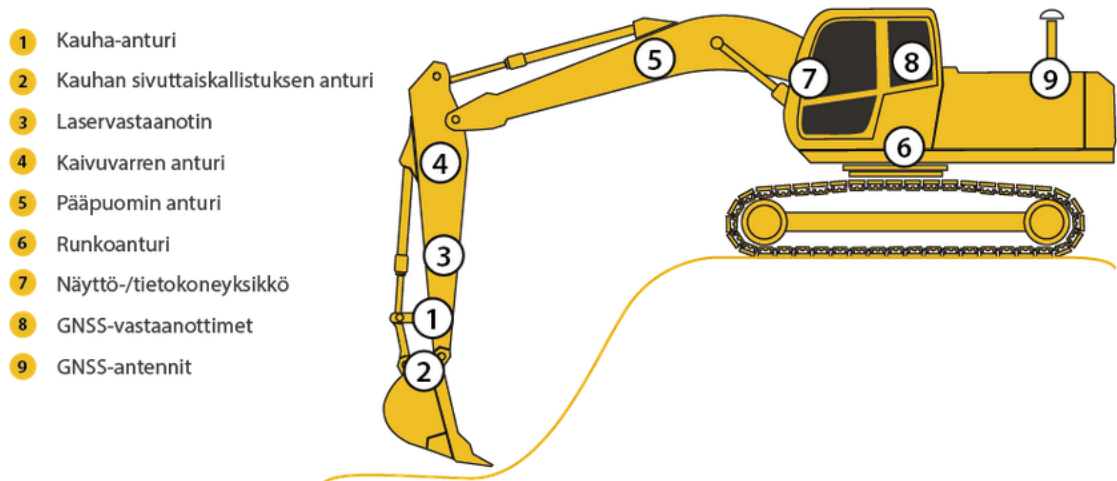
3D-koneohjausjärjestelmässä suunnitelma-aineisto tuodaan koneohjausjärjestelmälle sopivana digitaalisena aineistona eli koneohjausmallina työkoneeseen. Satelliittipaikkannuksen perusteella kuljettaja näkee ohjaamoon sijoitetusta näytöstä työkoneen sijainnin reaaliaikaisesti suhteessa koneohjausmalliin. Valmiiden mallien lisäksi kuljettaja voi myös itse luoda malleja esimerkiksi valmiiden tai kuljettajan itse määrittämien pisteiden perusteella. Esimerkiksi Novatron Xsite® PRO-järjestelmässä meluvallin pintamalli voidaan muodostaa syöttämällä luiskien pituudet ja kallistukset suoraan järjestelmään kaivinkoneen ohjaamossa. [18]

3.2 Koneohjausjärjestelmän komponentit

3D-koneohjausjärjestelmä koostuu liike- ja kallistusantureista, paikannusjärjestelmästä sekä työkoneen ohjaamossa olevasta tietokoneesta, sen näyttöruudusta ja ohjelmistosta. 2D-järjestelmässä ei voida käyttää ulkoista paikannusta, joten paikannusjärjestelmään kuuluvia satelliittivastaanottimia ja antennoja ei tarvita. Konekohtaisissa järjestelmissä on pieniä eroja, mutta pääpiirteissään komponentit ja periaatteet ovat samoja. Tässä luvussa keskitytään kaivinkoneen koneohjausjärjestelmään, sillä se on yleisin kone, johon koneohjausjärjestelmä asennetaan. [19]

Kaivinkoneeseen asennetussa koneohjausjärjestelmässä anturijärjestelmän avulla saadaan tietoa puomiston liikkeistä. Antureita asennetaan pääpuomiin, kaivupuomiin sekä niin sanottuun koiranluuhun. Koiranluuhun asennettu anturi havainnoi kauhan liikkeitä. Kauhan niveleen voidaan asentaa myös anturi, joka havainnoi kauhan kallistuskulmaa. Lisäksi osassa markkinoilla olevista kallistuvista kauhanpyörittäjistä on sisäänrakennettu pyöritysanturi, josta pyöritystieto kulkee CAN-väylää pitkin koneohjausjärjestelmään. Tietoa tarvitaan myös työkoneen pyörimisestä ja kallistuksesta, joten antureita asennetaan myös koneen runkoon. Anturijärjestelmä ja laskentayksikkö muodostavat sisäisen paikannusjärjestelmän, jonka avulla tiedetään kauhan tai terän sijainti suhteessa runkoon.

3D-järjestelmässä puomiston ja työkoneen asennon lisäksi tarvitaan koneen tarkka sijainti xyz-koordinaatistossa, mikä saadaan selville satelliittipaikannuksen tai takymetrin avulla. Tätä kutsutaan ulkoiseksi paikannukseksi. Ulkoisen ja sisäisen paikannuksen avulla saadaan selville kauhan kärjen sijainti koordinaatistossa. Koneohjausjärjestelmän näytöstä voidaan tarkastella työkoneen ja sen kauhan tai terän sijaintia suhteessa koneohjausmalliin. Kuvassa 6 on esitetty kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän komponentit. [17, 20]



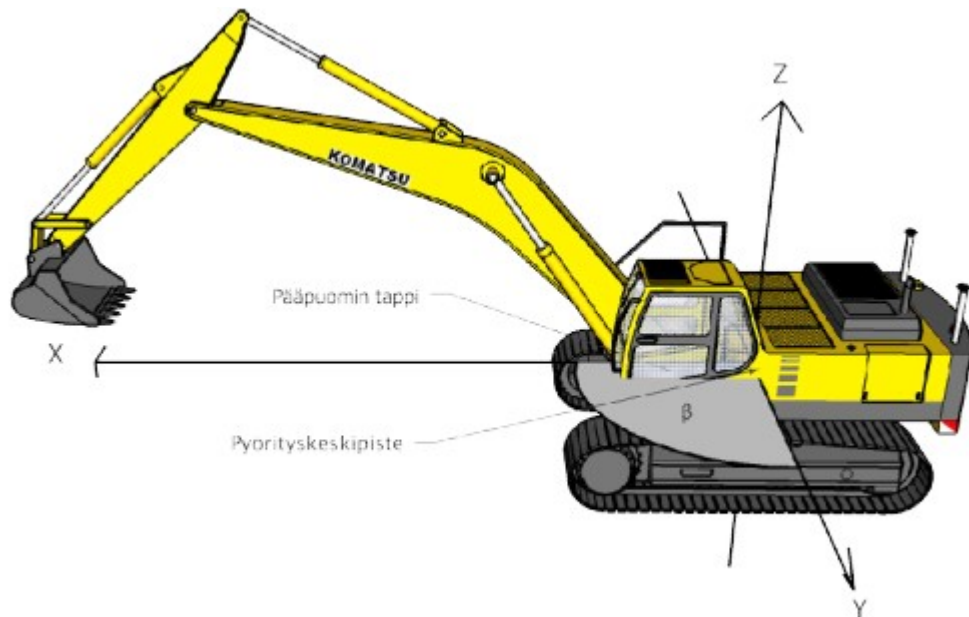
Kuva 6. Koneohjausjärjestelmän komponentit. [19]

Maarakennuskoneiden työympäristö asettaa koneohjausjärjestelmän komponentit kovalle rasitukselle. Komponenttien tulee kestää rankkoja mekaanisia ja kemiallisia ympäristöolosuhteita. Lisäksi komponenttien tulee kestää suuria lämpötilavaihteluja. Koneohjausjärjestelmä asennettaessa komponenttien asennuspaikat tuleekin miettiä tarkasti etukäteen, jotta komponentit kestävät ja toimivat mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi anturit ja niiden johdotukset tulee asentaa mahdollisimman suojaisaan paikkaan. Myös näyttöpäätteen sijoitus tulee miettiä tarkasti. Näytön pitää olla helposti seurattavissa ja käytettävissä, mutta se ei saa haitata kuljettajan työskentelyä. Mahdollisuuksien mukaan näyttö kannattaa sijoittaa ohjaamon pilariin, eikä liimata sivuikkunaan. Erityisesti kesällä hydraulikka lämmittää lasia ulkopuolelta ja ilmastointi viilentää sitä sisäpuolelta, jolloin näytön telineen liimaukset voivat irrota. [19, 21]

3.3 Työkoneen paikannus

Kaivinkoneen paikalliskoordinaatisto koostuu x-, y- ja z-koordinaateista. 2D-järjestelmässä origona käytetään yleensä pääpuomin tyvitappia, kun taas 3D-järjestelmässä origona käytetään koneen pyörimiskeskistä. X-koordinaatti kertoo kauhan kärjen etäisyyden origosta, y-koordinaatti kertoo kauhan sivuttaispoikkeaman, jota voidaan käsitellä myös koneen kiertokulmana β , ja z-koordinaatti kertoo puolestaan kauhan kärjen korkeuden suhteessa origoon. 3D-järjestelmä tuntee x-, y- ja z-koordinaatit, mutta 2D-järjestelmä vain x- ja z-koordinaatit. Kuvassa 7 on esitetty kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän paikalliskoordinaatisto. 3D-koneohjausjärjestelmässä työkoneen paikantamiseen

xyz-koordinaatistossa voidaan käyttää joko satelliittipaikannusta tai takymetripaikannusta. 2D-järjestelmässä voidaan käyttää vain työkonen paikalliskoordinaatistoa. [17]



Kuva 7. Kaivinkoneen paikalliskoordinaatisto.[17]

3.3.1 Mittausperusta ja koordinaatitot

Työmaalla tapahtuvien mittauksen tekemisen mahdollistaa mittausperusta. Ilman sitä ei voida suorittaa luotettavia maastomittauksia, eikä koneohjauksessa päästä riittävään paikannustarkkuuteen. Mittausperusta muodostaa hankkeelle koordinaatiston ja se sidotaan valtakunnalliseen koordinaattijärjestelmään. Sen luominen on yleensä ensimmäinen työvaihe uudella työmaalla. Mittausperusta luodaan rakentamalla alueelle kiintopisteitä, joille määritetään taso- ja korkeuskoordinaatit geodeettisin mittauksin. Mittausperusta koostuu ylempään tason peruspisteistä ja niiden väliin sijoitettavista käyttöpisteistä. Pisteet sijoitetaan yleensä kallioon, isoon kiveen tai kiinteään rakenteeseen niiden liikkumisen estämiseksi.[22]

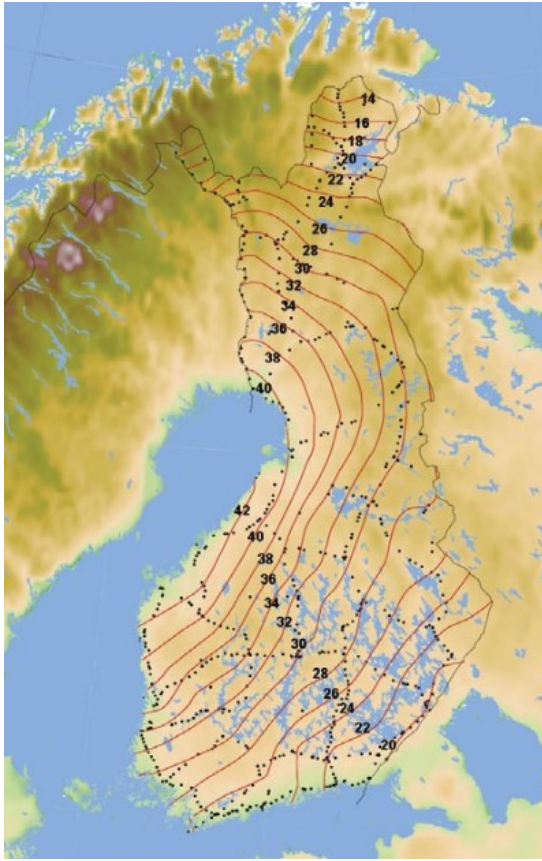
Erityisesti työmaan aloitusvaiheessa alueen raivauksen ja pintamaan poiston aikana rakennettuja kiintopisteitä voi hävitä. Myös rakentamisen aikana pisteitä voi hävitä, jolloin on rakennettava uusia pisteitä. Jotta mittausperusta pysyisi ajantasaisena koko hankkeen ajan, on hankkeelle nimettävä mittausperustan ylläpidosta vastaava henkilö. Mittausperustan tarkastaminen säännöllisin väliajoin on osa tietomallipohjaista laadunvarmistusta. [23]

Suunnitelmassa käytettävä koordinaattijärjestelmä on valittava heti suunnittelun alkuvaiheessa. Koordinaattijärjestelmäksi valitaan yleensä järjestelmä, jossa käytettävissä olevat kiintopisteet ovat. Mikäli alueella ei vielä ole kiintopisteitä, pitää ne luoda ja laajoissa

hankkeissa rakentaa uudet kiintopisteet oikeassa koordinaattijärjestelmässä vain hankkeen käyttöön. Liikenneviraston ohjeiden mukaan koordinaattijärjestelmänä käytetään ensisijaisesti yhtenäistä ja valtakunnallisten suositusten mukaista EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmää ja N2000-korkeusjärjestelmää. Tasokoordinaatiston projektiona käytetään ETRS-GKn-projektioita, jossa n tarkoittaa projektion keskimeridiaania. Keskimeridiaaniksi valitaan meridiaani, joka on mahdollisimman keskellä hanketta. Tilaajan päätöksellä projektiokaistaa voidaan leventää, jotta koko hanke mahtuu yhteen tasokoordinaatistoon. [22]

Suomessa on yleisesti käytössä vielä kartastokoordinaatistojärjestelmä eli KKJ-koordinaattijärjestelmä, vaikka siirtyminen EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmään on käynnissä. KKJ-koordinaattijärjestelmää on käytetty maastokartoituksessa vuodesta 1970 vuoteen 2005 asti. Useassa kunnassa on myös käytössä vanha valtion järjestelmä (VVJ). Eri koordinaattijärjestelmät voidaan yhdistää hyväksytyillä muunnosparametreilla. Useat suunnittelu- ja mittausohjelmistot osaavat myös suorittaa tarvittavat muunnokset. [24]

Tasokoordinaattijärjestelmien kohdalla voi numeroiden esitystavan perusteella päätellä, mikä järjestelmä on kyseessä. Korkeusjärjestelmien eroja on vaikeampi havaita, sillä eri korkeusjärjestelmien välinen ero voi olla vain 0,2 m. Esimerkiksi vanhan N60-korkeusjärjestelmän ja nykyisen N2000-korkeusjärjestelmän korkeusero on 0,14–0,42 metriä riippuen paikkakunnasta. Korkeusero johtuu maanpinnan kohoamisesta jääkauden jälkeen. Kuten kuvasta 8 nähdään, maanpinnan kohoaminen on ollut nopeinta Perämeren alueella, koska siellä jääkerroksen paksuus on ollut suurin. [25]



Kuva 8. Korkeusero senttimetreinä N60- ja N2000 korkeusjärjestelmien välillä.[25]

Siirtyminen uusiin järjestelmiin on toteutettu eri kaupungeissa eri aikoina, esimerkiksi Mikkelin kaupunki siirtyi N2000-korkeusjärjestelmään vasta vuonna 2016, kun taas Tampereella siirryttiin uusiin järjestelmiin vuonna 2011. Kunnilla voi olla valtakunnallisten järjestelmien lisäksi myös omia korkeusjärjestelmiä. [26, 27] Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien vaihtamisella pyritäänkin paikkatietojen yhteiskäytön edistämiseen. Koneohjausjärjestelmää käytettäessä on erityisen tärkeää, että koneohjausmalli ja koneohjausjärjestelmä käyttävät samaa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmää, jotta vältetään mittavirheitä. Muodostettaessa koneohjausmallia lähtöaineistosta tulee aina varmistaa käytetyt järjestelmät ja tarvittaessa lähtöaineistot tulee muuttaa hyväksytyillä parametreilla valittuun järjestelmään. Erityisesti vanhempia lähtöaineistoja käytettäessä täytyy varmistaa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. [24]

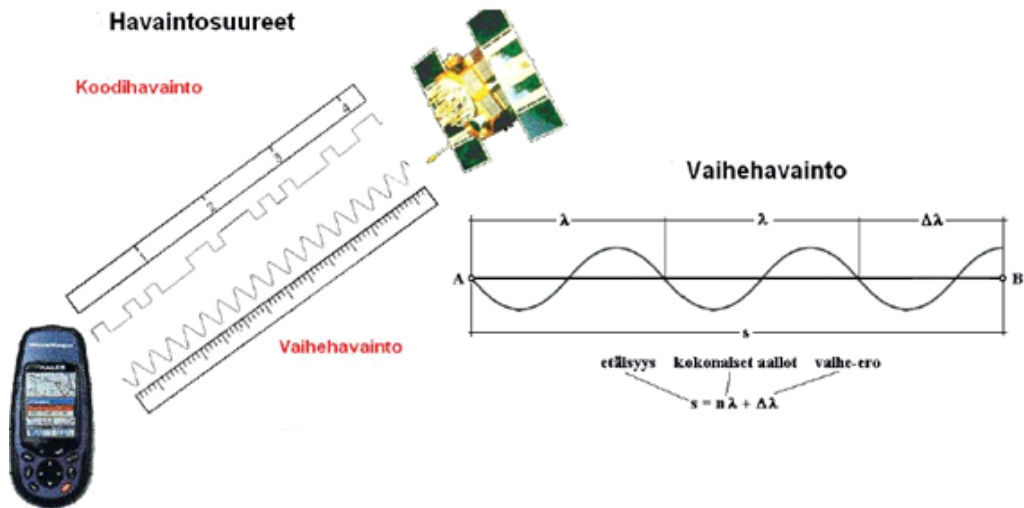
3.3.2 Satelliittipaikannus

Työkoneen paikannukseen voidaan käyttää satelliittipaikannusta. Tunnetuin satelliittijärjestelmä on amerikkalainen GPS-paikannusjärjestelmä (Global Positioning System). GPS-järjestelmä kehitettiin 1970-luvulla alun perin USA:ssa sotilaskäyttöön, mutta järjestelmä vapautettiin siviilikäyttöön 1990-luvun alkupuolella. GPS-järjestelmän lisäksi

venäläinen Glonass-järjestelmä on ollut käytössä 1990-luvulta lähtien. Se vastaa satelliittien määrän ja kattavuuden osalta GPS-järjestelmää. Glonass-satelliittien käyttöikä on noin 3 vuotta, vastaavasti GPS-satelliittien käyttöikä on noin 10 vuotta. Glonass-järjestelmä täydentää GPS-järjestelmää erityisesti hankalissa mittausolosuhteissa, esimerkiksi silloin, kun näkyvyydessä on ongelmia. Näiden järjestelmien lisäksi Euroopan Unioni on toteuttamassa omaa Galileo-järjestelmää, lisäksi Japani, Kiina ja Intia ovat kehittämässä omia satelliittipaikannusjärjestelmiään. Eri maiden satelliittijärjestelmien muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi (Global Navigation Satellite System) [28 s.280-290]

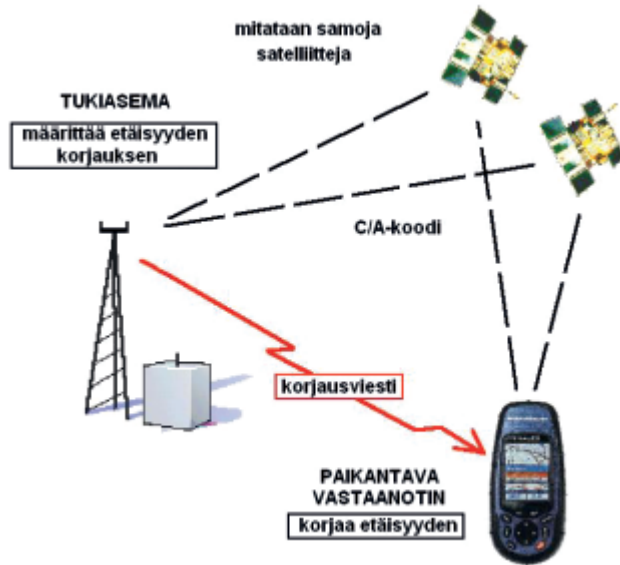
Satelliittipaikannus perustuu satelliittien lähettämiin radiosignaaleihin. Signaalin perusteella mitataan etäisyydet vähintään kolmeen satelliittiin. Havainnoitsijan paikka voidaan laskea, kun tiedetään satelliitin paikka havaintohetkellä, joka lasketaan sen lähettämien navigointiviestien perusteella. Paikannuksen geometrian kannalta riittää, kun mitataan etäisyydet kolmeen satelliittiin, mutta virheiden vähentämiseksi tulee mitata etäisyydet vähintään neljään satelliittiin. [28 s. 291]

Satelliittipaikannuksessa etäisyyksiä mitataan satelliitin lähettämän signaalin paikannuskoodien tai kantoaaltojen avulla. Havaintosuurella tarkoitetaan paikannuskoodia ja niistä johdettuja suureita. Havaintosuure vaikuttaa suuresti paikannuksen tarkkuuteen, koska etäisyys satelliittiin tai toiseen satelliittipaikantimeen voidaan mitata tarkemmin kuin 1 % tarkkuudella aallonpituudesta tai koodijakson pituudesta. Esimerkiksi GPS-järjestelmässä C/A-koodijakson pituus on 293 m ja L1-kantoaallon pituus on 0,19 m. Tarkkuus riippuu siis hyvin paljon käytetystä havaintosuureesta. Satelliittipaikannus perustuu koodihavaintoihin tai vaihehavaintoihin. Koodihavaintoon perustuva etäisyyden mittaus tapahtuu paikannuskoodin avulla. Paikannuskoodin voidaan katsoa muodostavan signaaliin numeroidun, mutta epätarkan mitta-asteikon. Etäisyyden mittaus tällä tavoin on teknisesti yksinkertaista, mutta epätarkkaa. Huomattavasti tarkempaan paikannukseen päästään, kun etäisyyden mittaukseen käytetään satelliitin lähettämän kantoaallon aallonpituutta. Tällaisen vaihehavaintoon perustuvan paikannuksen toteuttaminen on kuitenkin teknisesti huomattavasti monimutkaisempaa, mutta sen tarjoaman tarkkuuden takia sitä käytetään mittaus- ja kartoitustekniikassa. Kuvassa 9 on havainnollistettu GPS-paikannuksessa käytettävien havaintosuureiden ominaisuuksia. [28]



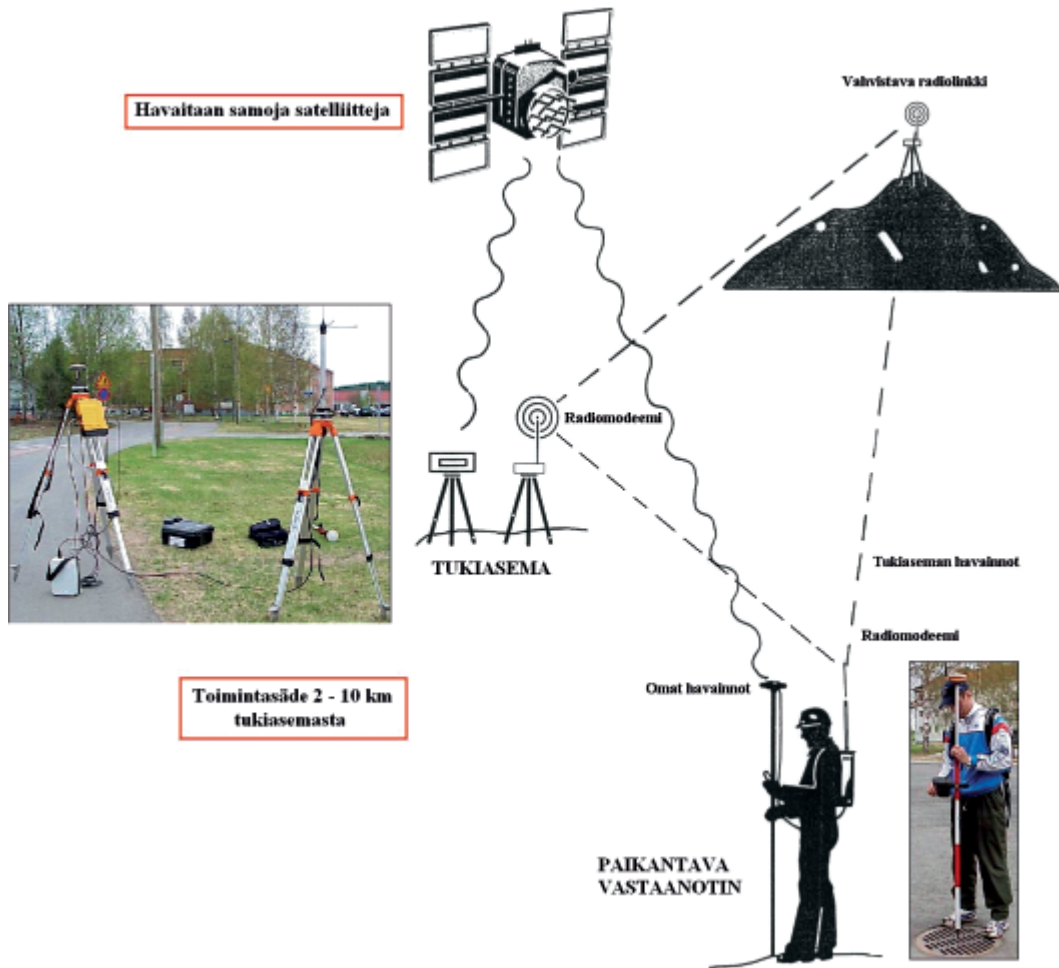
Kuva 9. GPS-paikannuksen havaintosuureet. [28]

Satelliittipaikannuksessa voidaan käyttää eri mittaustapoja, kuten absoluuttista paikannusta, differentiaalista paikannusta tai vaihehavaintoihin perustuvaa suhteellista mittausta. Yksinkertaisin ja yleisimmin käytetty mittaustapa on C/A-koodihavaintoon perustuva absoluuttinen paikannus. Sen tarkkuus on metriluokkaa, mikä ei vielä riitä koneohjaussovelluksiin. Paikannuksen tarkkuutta voidaan lisätä käyttämällä tunnetulla pisteellä olevaa tukiasemaa, jolloin voidaan määrittää paikannituksen virheet ja ottaa ne huomioon mittauksissa. Tätä mittaustapaa kutsutaan differentiaaliseksi GPS-paikannukseksi (DGPS), sillä päästään 0,5–5 m paikannustarkkuuteen, mikä riittää esimerkiksi ajoneuvojen paikantamiseen ammattimaisessa ajoneuvoliikenteessä. Differentiaalinen GPS-paikannus perustuu myös C/A-koodihavaintoihin. Suomessa korjaussignaalia DGPS-laitteille voi hankkia esimerkiksi Geotrim Oy:n VRS-palvelun kautta. Rannikkoalueilla voidaan käyttää Merenkulukulaitoksen tukiasemien lähettämää korjaussignaalia. Kuvassa 10 on esitetty differentiaalisen paikannuksen periaate. [28, 29]



Kuva 10. Differentiaalisen paikannuksen periaate. [28]

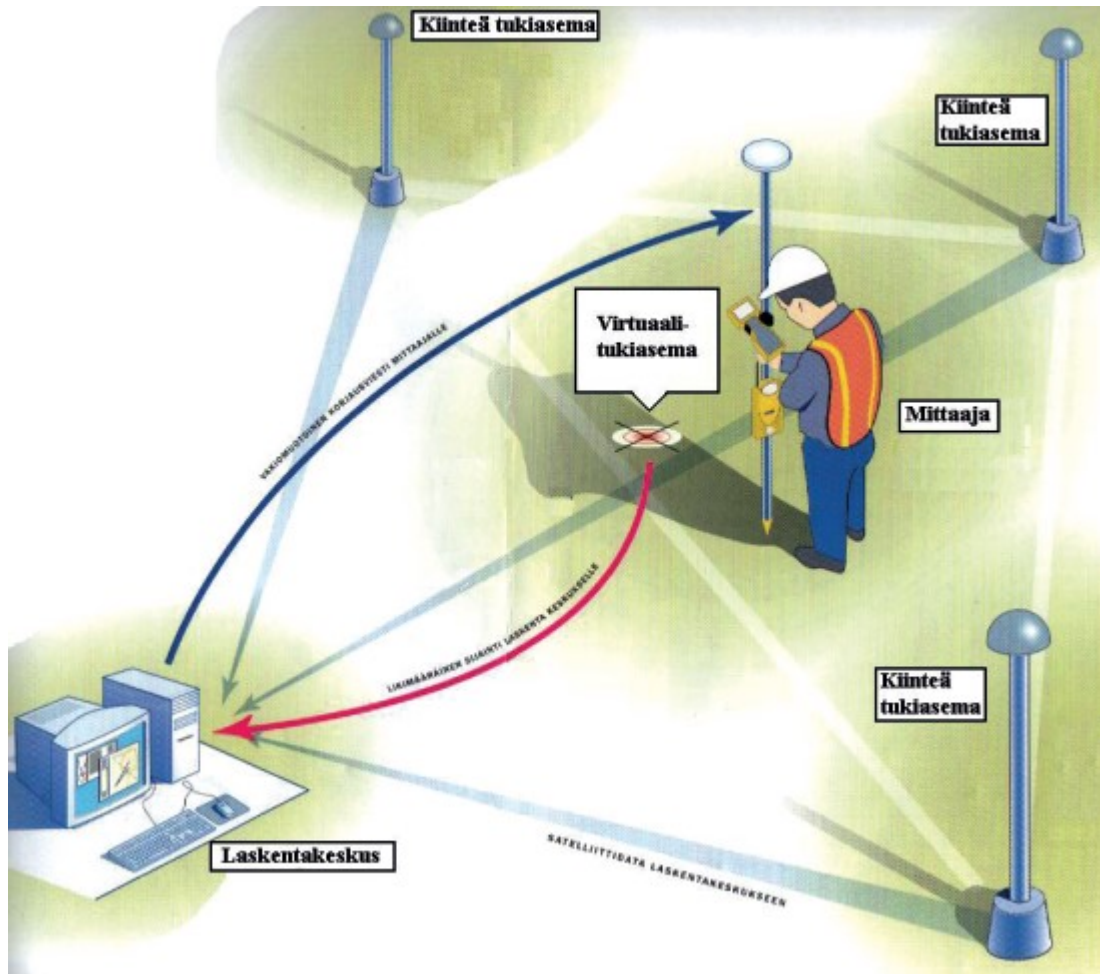
Suurin tarkkuus saavutetaan vaihehavaintoihin perustuvalla suhteellisella mittaustavalla. Eroina absoluuttiseen ja differentiaaliseen mittaustapaan on, että etäisyydenmittauksessa käytetään kantaaltoa C/A-koodin sijaan, ja paikantavan vastaanottimen sijainti mitataan vertailuvastaanottimen suhteen. Parhaimmillaan tarkkuudessa päästään 0,05 metrin tarkkuuteen. Suhteellisen mittaustavan sovelluksista koneohjauksessa käytetään RTK-mittausta (Real Time Kinematics) ja verkko-RTK-mittausta. RTK-mittauksessa käytetään tunnetulla pisteellä sijaitsevaa vertailuvastaanotinta eli tukiasemaa. Tukiaseman vastaanotin lähettää mitaamansa vaihehavainnot paikantavalle vastaanottimelle ja paikantava vastaanotin ratkaisee mittauksessa tarvittavat suuret reaaliajassa. Tukiaseman ja paikantavan vastaanottimen välillä on oltava tiedonsiirtoyhteys, joka voidaan toteuttaa radiomodeemin tai matkapuhelinverkon välityksellä. Yhtä tukiasemaa käyttämällä toimintasäde tukiasemasta on hyvissä olosuhteissa 10–20 km. Toimintasädetä rajoittavat ionosfäärin häiriöt, kaupunkialueilla ja esimerkiksi metsäisillä alueilla näkemäesteet. Erityisesti kaupunkialueilla monitieheijastukset aiheuttavat häiriöitä. [28] Kiinteään tukiasemaan perustuvan paikannusjärjestelmän etuja ovat muun muassa varmuus, luotettavuus ja riippumattomuus verkko-operaattoreista. Samaa tukiasemaa voi käyttää useampi työkone, joten suurellakin työmaalla pärjätään yhdellä tukiasemalla. Heikkouksia ovat kuitenkin lyhyt kantama, virransaanti työmaaolosuhteissa ja dataverkkojen häiriöt. Tukiaseman hankintakustannukset ovat myös melko korkeat. Kuvassa 11 on havainnollistettu yhteen tukiasemaan perustuvan RTK-mittauksen toimintaperiaate. [23]



Kuva 11. Yhteen tukiasemaan perustuvan RTK-mittauksen periaate. [28]

Ilmakehän aiheuttamia virheitä voidaan vähentää käyttämällä tukiasemien verkostoa yhden tukiaseman sijaan. Tällöin kyseessä on verkko-RTK-mittaus. Tukiasemaverkon avulla voidaan mallintaa ilmakehän aiheuttamia virheitä, jolloin ionosfääriin ja troposfääriin liittyviä virheitä pystytään korjaamaan. Korjauksen avulla mittaukset ovat luotettavampia ja nopeampia ja lisäksi etäisyyksiä tukiasemiin voidaan kasvattaa. Pääpiirteissään verkko-RTK-mittaus toimii niin, että kiinteät tukiasemat lähettävät satelliittidatan laskentakeskukseen, johon myös mittaja lähettää likimääräisen sijaintinsa matkapuhelinverkossa. Tukiasemien datan ja mittajan lähettämän sijaintitiedon perusteella laskentakeskus muodostaa virtuaalituliaseman mittajan lähelle ja lähettää korjausdatan mittajalle. Laskentakeskuksen korjausdata simuloi paikallisen tukiaseman lähettämää dataa. [28]

Suomessa voidaan käyttää Geotrim Oy:n ylläpitämää Trimblen VRS-verkkoa (Virtual Reference Station System), johon kuuluu noin 100 tukiasemaa. Vuodesta 2012 alkaen on ollut mahdollista käyttää Leica Geosystems Oy:n SmartNet-verkosta, johon kuuluu yli 100 tukiasemaa ja se kattaa koko Suomen. Kuvassa 12 on havainnollistettu VRS-järjestelmän toimintaperiaate. [28]



Kuva 12. Trimblen VRS-järjestelmän toimintaperiaate.[28]

Verkko-RTK-järjestelmän etuja ovat helppokäyttöisyys ja hyvä kantavuus. Verkko-RTK-järjestelmän käyttö ei vaadi suuria alkuinvestointeja, sillä kustannus perustuu yleensä kuukausi- tai vuosisopimukseen. Isolla työmaalla verkko-RTK voi kuitenkin tulla kalliimmaksi, koska jokainen työkone tarvitsee oman lisenssinsä. Yritykselle, jonka työmaat ovat laajalla alueella ja melko lyhytkestoisia, on verkko-RTK varteen otettava vaihtoehto. Tällöin pääomaa ei sitoudu kiinteään tukiasemaan, eikä tukiaseman kantavuus aiheuta rajoituksia. [23]

Satelliittipaikannuksen etuna on, että satelliittien lähettämät signaalit ovat käytössä ympäri vuorokauden säätilasta riippumatta ympäri maailmaa. Se ei myöskään tarvitse erillistä mittalaitetta työmaalle, vaan satelliittiantennit kiinnitetään suoraan työkoneeseen. Ongelmia voi kuitenkin aiheutua mittaustarkkuuden vaihtelusta esimerkiksi satelliittien aseman ja ilmakehässä tapahtuvien muutosten vuoksi. Järjestelmä myös vaatii esteettömän näkyvyyden satelliiteille, joten sillat, korkeat rakennukset tai tiheä metsä voivat aiheuttaa katvealueita ja siten mittaustarkkuuden heikentymistä. [29]

Käytettäessä satelliittipaikannukseen perustuvaa koneohjausjärjestelmää, työkone varustellaan yksi- tai kaksiantennisella GNSS-vastaanottimella. Kaivinkoneessa antennit sijoitetaan ylävauunun takaosaan mahdollisimman kauaksi koneen pyörityskeskipisteestä suuntimatarkkuuden maksimoimiseksi. [17] Kaivinkoneet varustellaan yleensä kahdella antennilla, koska tällöin koneohjausjärjestelmä pystyy paikantamaan työkoneen reaaliajassa. Jos antenneja on vain yksi, konetta pitää pyörittää noin 90° aina koneen siirtämisen jälkeen, jolloin järjestelmä paikantaa koneen ja hakee uuden suunnitelmatiedon.[30]

3.3.3 Takymetripaikannus

Takymetri on optinen mittalaite, jolla saadaan selville kohteeseen viedyn prisman x-, y- ja z-koordinaatit työmaan koordinaatistossa. Maastoon merkittyjen kiintopisteiden avulla takymetri orientoidaan työmaan koordinaatistoon. Orientoinnin jälkeen takymetri suunnataan kohti prismaa. Laitteen lähettämän lasersäteen avulla saadaan selville prisman ja takymetrin välinen etäisyys. Takymetrin sisäisillä kulma-antureilla saadaan tietoa vaakaja pystysuuntaisista suuntakulmista. Etäisyyden, kulmien ja takymetrin tunnetun paikan perusteella voidaan laskea prisman sijainti xyz-koordinaatistossa. Koneohjauksessa takymetrit ovat automaattisia ATS-takymetrejä. (Advanced Tracking System). Tällöin takymetri seuraa automaattisesti prismaa, jolloin voidaan mitata prisman paikkaa useita kertoja sekunnissa. Koneohjausjärjestelmässä radiomodeemin avulla mittaustiedot välitetään työkoneen laskentayksikköön. [29]

Takymetripaikannuksen etuja ovat paikannuksen tarkkuus ja luotettavuus, myös mittausvirheiden havaitseminen on helpompaa kuin satelliittipaikannuksessa. Paikannustarkkuus on parhaimmillaan $\pm 2\text{--}15$ mm. Takymetripaikannus on optinen mittausmenetelmä, joten prisman ja mittalaitteen välillä pitää olla esteetön näkyvyys ja etäisyyden prisman ja mittalaitteen välillä tulee olla alle 200 m. Takymetriä joudutaankin siirtämään työn edetessä ja näin ollen työmaan kiintopisteverkon tulee olla melko tiheä. Myös työmaaliikenne aiheuttaa väliaikaisia näköesteitä, kuten esimerkiksi kuorma-autot ja niiden nostattama pöly. Väliaikaisten näköesteiden aiheuttamaa haittaa vähennetään automaattisella prisman uudelleenhaulla. Takymetripaikannus sopii työhön, jossa tarvitaan tarkkaa materiaalien muotoilua ja esimerkiksi uusien teiden rakentamiseen, koska kiintopisteverkko on yleensä olemassa. Sen käyttö on yleistä esimerkiksi tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä, koska työ tapahtuu yleensä alueella, jossa ei synny katvealueita ja tarkkuusvaatimukset ovat korkeita. Tunneleissa ja muissa kohteissa, missä ei saada näköyhteyttä satelliitteihin, takymetripaikannus on yleensä ainoa vaihtoehto paikannusmenetelmäksi. [21, 29]

Kaivinkoneen paikannukseen takymetripaikannus soveltuu huonosti juuri katvealueiden takia. Kaivinkoneen työalue on usein laaja, joten katvealueiden estämiseksi takymetriä tulisi siirtää jatkuvasti. Kaivinkone voi myös itsessään aiheuttaa katvealueen pyörähtämällä siten, että esimerkiksi koneen ohjaamo jää prisman ja takymetrin väliin. Osassa markkinoilla olevista kaivinkoneen koneohjausjärjestelmistä on mahdollista korvata sa-

telliittipaikannusjärjestelmä takymetripaikannuksella vaihtamalla satelliittivastaanotinten tilalle aktiiviprismat, jolloin kaivinkoneen paikannus onnistuu esimerkiksi tunnelissa tai rakennuksen sisällä. [29]

3.4 Koneohjausjärjestelmien automaation tasot

Työkoneissa voidaan käyttää eri automaatioasteisia koneohjausjärjestelmiä. Kilpeläinen et.al [29] luokittelee automaatiotasot viiteen eri tasoon taulukon 1 mukaisesti. Käytettävä taso riippuu esimerkiksi koneella tehtävästä työstä, tarkkuusvaatimuksista tai työskentelyolosuhteista. Yksinkertaisin automaatioaste opastaa kuljettajaa nostamaan tai laskemaan terää esimerkiksi merkkivalojen tai näytön avulla. Kuljettaja hallitsee edelleen kaikkia koneen toimintoja manuaalisesti. Esimerkkinä opastavasta järjestelmästä on 2D-kaivusvyvyysmittarit, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi kaivettaessa ojaa tietyllä kaltevuudella tai muotoiltaessa yksinkertaisia pintoja.

Taulukko 1. Automaatiojärjestelmien jaottelu automaatioasteen perusteella.[29]

Taso	Automaatiotaso	Ominaisuudet	Sovellusesimerkki
1	Opastava järjestelmä	Kuljettaja hallitsee liikkeitä järjestelmän opastamana	Kaivusvyvyysmittari
2	Koordinoitu käsiohjaus	Liikkeiden ohjaus manuaalisesti karteesisessä koordinaatistossa	Metsäkoneen kuormausturinin puomin kärjen ohjausjärjestelmä
3	Osittain automatisoitu	Automaatiikka säättää yksittäisiä liikkeitä kuljettajan määrittämien asetusten mukaan	Automaattinen kauhankalustus
4	Täysin automatisoitu	Koneen työliikkeet säätävät automaattisesti koneohjausmallin mukaan	Tiehöylän 3D-koneohjausjärjestelmä
5	Autonominen järjestelmä	Työkone työskentelee ilman kuljettajaa	Autonominen lastauskone

Opastavasta järjestelmästä seuraava automaatioaste on koordinoitu käsiohjaus. Koordinoitulla käsiohjauksella tarkoitetaan järjestelmää, jossa koneen terää voidaan hallita manuaalisesti karteesisessä koordinaatistossa eli koneen xy-koordinaatistossa. Se eroaa perinteisestä ohjauksesta siten, että kuljettaja ei ohjaa yksittäisiä toimintoja vaan suoraan koneen työkalun liikkeitä. Koneen automaatiojärjestelmän ohjatessa yksittäisiä toimintoja automaattisesti kuljettajan työ helpottuu. Sitä on sovellettu esimerkiksi tiehöylän terän ja metsäkoneen nosturinin puomin kärjen hallinnassa. [29]

Osittain automatisoidussa järjestelmässä osa työkoneen yksittäisistä liikkeistä on automatisoitu ja osa on kuljettajan hallinnassa manuaalisesti. Kuljettaja asettaa järjestelmään halutut arvot ja järjestelmä pyrkii pitämään automaattisesti hallittavan liikkeen asetetussa

arvossa. Tiehöylässä sitä voidaan käyttää esimerkiksi kallistusautomaattikkana, jolloin järjestelmä pitää tiehöylän terän automaattisesti halutussa kaltevuudessa kuljettajan hallitessa muita liikkeitä.[29]

Täysin automatisoidussa järjestelmässä koneen liikkeet on automatisoitu niin, että kuljettajan tehtäväksi jää koneen ajaminen ja automaatiojärjestelmän valvominen. Erikoistilanteissa kuljettaja voi kuitenkin joutua ohjaamaan liikkeitä manuaalisesti. Esimerkkinä täysin automatisoidusta järjestelmästä on 3D-koneohjausjärjestelmää käyttävä tiehöylä, jolloin teränhallinta tapahtuu automaattisesti koneohjausmallin ja reaaliaikaisen paikannuksen perusteella. Kehittynein automaatiojärjestelmä on ilman kuljettajaa toimiva autonominen järjestelmä. Järjestelmä havainnoi ympäristöään ja pystyy suoriutumaan sille annetuista tehtävistä muuttuvissa olosuhteissa kuljettajan valvoessa prosessia. [29]

3.5 Koneohjauksen sovellukset

Koneohjausjärjestelmiä voidaan asentaa erilaisiin työkoneisiin. Maarakennuksessa käytettävien peruskoneiden lisäksi niitä voidaan asentaa esimerkiksi kallioporolaitteisiin, stabilointikoneisiin ja paalutuskoneisiin. Työkonekohtaisissa järjestelmissä on pieniä eroja, mutta pääasiassa ne toimivat samalla periaatteella, eli koneen kuljettaja näkee suoraan työkoneen näytöltä rakennettavan kohteen koneohjausmallin ja koneen sijainnin suhteessa malliin ja pystyy toteuttamaan suunnitelman mukaiset toimenpiteet. Koneohjausjärjestelmien valmistajia ovat muun muassa sveitsiläinen Leica Geosystems, suomalainen Novatron, japanilais-amerikkalainen Topcon sekä yhdysvaltalainen Trimble. Lisäksi on pienempiä valmistajia kuten suomalainen XLpro ja norjalainen DigPilot.

Infratyömaalla koneet voidaan jaotella karkeasti yleiskäyttöisiin koneisiin ja tiettyyn työtehtävään tarkoitettuihin erikoiskoneisiin. Yleiskäyttöisiä koneita ovat esimerkiksi kaivinkoneet ja pyöräkuormaajat. Erikoiskoneiksi voidaan luokitella esimerkiksi stabilointikoneet ja paalutuskoneet. Yleiskäyttöisissä koneissa koneohjausjärjestelmät ovat usein lisävarusteita, jotka tehostavat koneen käyttöä tietyssä työvaiheessa, kun taas erikoiskoneissa voidaan helpommin automatisoida koko työvaihe. Erityisesti pk-maarakennusyrietyksissä, jotka eivät ole erikoistuneet tiettyyn työvaiheeseen, koneohjausjärjestelmä asennetaan yleisimmin kaivinkoneeseen, mutta myös pyöräkuormaajan asennettavat koneohjausjärjestelmät ovat yleistymässä. Tiehöylissä ja puskukoneissa koneohjausjärjestelmiä on ollut käytössä 1990-luvulta lähtien. [29]

3.5.1 Kaivinkone

Kaivinkone on maarakennustyömaan monipuolisin kone ja useimmin koneohjausjärjestelmä asennetaan kaivinkoneeseen. Kaivinkoneessa käytetään yleensä yksinkertaisinta automaatioastetta eli opastavaa koneohjaussovellusta, jolloin koneen kuljettaja hallitsee koneen kaikkia liikkeitä manuaalisesti järjestelmän opastamana. [29] Kaivinkoneen ko-

neohjausjärjestelmää voidaan käyttää esimerkiksi tien rakennekerrosten muotoiluun, luiskien rakentamiseen ja rakennusten pohjien tekemiseen. Koneohjausjärjestelmän avulla voidaan tehdä myös laadunvarmistusta ottamalla toteumamittauksia esimerkiksi viemäri-linjoista ja rakennekerrosten pinnoista. [19, 20]

Automaatiojärjestelmien kehittyessä kaivinkoneeseen voidaan asentaa lisää automatiikkaa helpottamaan kuljettajan työskentelyä. Esimerkiksi Leica Geosystems'in koneohjausjärjestelmässä ja Engconin kallistuvassa kauhanpyörittäjässä on mahdollista käyttää kauhan kallistuksen automatiikkaa. Automaattisen kallistuksen ollessa kytkettynä päälle, kallistuva kauhanpyörittäjä kallistaa kauhaa koneohjausmallin mukaan. Tämä helpottaa kuljettajan työtä, koska esimerkiksi syvän kaivannon pohjan muotoilu vaatii kuljettajalta ammattitaitoa ja hyvää syvyysnäköä, lisäksi näkyvyys kaivannon pohjalle on usein huono. Kauhanpyörittäjän asentotiedon avulla toteumamittausten ottaminen on helpompaa. Kauhaa pyörittämällä voidaan ottaa toteumamittaus esimerkiksi aivan tolpan juuresta tai seinän vierestä. Ilman pyöritystietoa toteumamittausta otettaessa kauhan tulee olla täsmälleen suorassa linjassa koneeseen nähden. [31] Automatiikka mahdollistaa erilaisten avustimien käytön kaivinkoneessa. Järjestelmään voidaan asettaa pysäytyskohdat puomille ja myös käännölle. Nostokorkeuden rajoitus helpottaa työtä esimerkiksi sähkölinjojen läheisyydessä tai rakennuksen sisällä työskenneltäessä. Sähköistetyllä junaradalla työskenneltäessä nostorajoittimet ovat pakollisia varusteita kaikissa työkoneissa, jotka liikkuvat sähköistetyllä alueella [32]. Käännön rajoitusta voidaan hyödyntää esimerkiksi työskenneltäessä rakennuksen seinän vieressä. Tasaus- ja kaivuutyötä voidaan helpottaa puoliautomaattisella puominohjauksella. Tällöin kuljettaja ohjaa vain kaivuupuomia automatiikan ohjatessa pääpuomia ja kauhan kulmaa koneohjausmallin mukaisesti. Työstettävä pinta saadaan kerralla oikeaan tasoon ja kallistukset suunnitelman mukaisiksi. [33]

Koneohjausjärjestelmät ovat yleensä jälkiasenteisia, mutta järjestelmien yleistyessä niitä asennetaan työkoneisiin myös suoraan tehtaalla. Esimerkiksi Caterpillar tarjoaa 2D- ja 3D-järjestelmiä tehdasasenteisina uuden sukupolven kaivinkoneisiin. Tällöin erillistä näyttöä ei tarvita, vaan koneohjausjärjestelmää hallitaan koneen omalla näytöllä. Asennettaessa koneohjausjärjestelmä suoraan tehtaalla, komponentit ja niiden tarvitsemat johdotukset saadaan asennettua siistimmin ja suojattua paremmin kuin jälkiasennuksena. [33]

3.5.2 Puskukone/ tiehöylä

Infratyömaalla tiehöyliä käytetään erityisesti tien jakavan ja kantavan rakennekerroksen levitys- ja muotoilutöissä ja myös pinnan muotoilu ennen asfaltointia tehdään usein tiehöylällä. Puskukoneet ovat hieman harvinaisempia suomalaisilla infratyömailla, mutta muualla maailmalla niiden käyttö on yleisempää. Tierakennustyömaalla puskukonetta voidaan käyttää raivaus-, leikkaus-, siirto- ja kasaustöihin erityisesti pehmeällä maapohjalla. Nykyaikaisia puskukoneita voidaan käyttää myös rakennekerrosten, luiskien ja pintojen muotoiluun. [34]

Puskukoneissa ja tiehöylissä koneohjausjärjestelmä koostuu antureista, paikannusjärjestelmästä, työkoneen ohjaamossa olevasta tietokoneesta, sen näyttöruudusta ja ohjelmistosta. Kaivinkoneeseen verrattuna antureita tarvitaan vähemmän, koska GNSS-antennit tai takymetripaikannuksessa tarvittavat prismat voidaan yleensä asentaa suoraan terän yläreunaan. Lisäantureita voidaan käyttää, jos halutaan tarkkaa tietoa terän leikkauskulmasta. Paikannusjärjestelmänä voidaan käyttää joko satelliittipaikannusta tai takymetripaikannusta. Takymetripaikannus soveltuu paikannusmenetelmäksi, sillä koneet liikkuvat suoraviivaisesti ja työ tapahtuu yleensä laajoilla alueilla, missä ei ole näkemäesteitä. Lisäksi tarkkuusvaatimukset ovat yleensä korkeita. Puskukoneissa ja tiehöylissä voidaan käyttää eri automaatioasteisia koneohjausjärjestelmiä. Niissä voidaan käyttää opastavaa tai koordinoitua käsiohjausta, osittain automaattisia tai täysin automaattisia järjestelmiä. Useimmiten järjestelmä on osittain automatisoitu, eli automatiikka ohjaa osaa terän liikkeistä. Myös täysin automatisoidut järjestelmät ovat yleistymässä tietomallipohjaisen suunnittelun myötä. Tällöin koneen terä seuraa koneohjausmallia kuljettajan keskittyessä koneen ohjaamiseen. Kuvassa 13 on esitetty takymetripaikannusta hyödyntävä tiehöylä, joka muotoilee rakennekerroksia. [21, 34]



Kuva 13. Takymetripaikannusta hyödyntävä tiehöylä. [35]

Koneohjausjärjestelmien käyttö puskukoneissa ja tiehöylissä tehostaa työtä erityisesti siksi, että työstettävät rakenteet saadaan kerralla oikeaan korkoon. Esimerkiksi Caterpillarin tekemässä tutkimuksessa puskukoneen tuottavuus jakavan kerroksen muotoilussa kasvoi 172 % ja tiehöylän tuottavuus kasvoi jopa 241 % ylityskertojen vähentymisen myötä. Tutkimuksessa toteutettiin kaksi samanlaista tierakennetta, joista toinen toteutettiin perinteisillä työtavoilla ja toisen toteutuksessa käytettiin koneohjausta. Tuottavuuden lisäksi tutkimuksessa todettiin myös, että lopputuotteen laatu oli parempi koneohjauksella toteutuneessa tiessä.[36] Erityisesti tiehöylässä pitkälle viety automaatio lisää tehokkuutta ja vähentää laatuvariaatioita tierakenteiden viimeistely- ja muotoilutöissä. Ylitys-

kertojen vähentymisen myötä polttoaineen kulutus pienenee ja työn läpimenoaika lyhenee. Terän liikkeiden automatisointi helpottaa kuljettajan työskentelyä, jolloin kuljettajasta johtuvat virheet vähenevät ja lopputuotteesta tulee tasalaatuinen. [34]

3.5.3 Pyöräkuormaaja

Pyöräkuormaaja on maarakennustyömaalla yleinen kuormauskone ja samalla yleisin varsinainen maansiirtokone. Sen tärkein tehtävä on yleensä maa- ja kalliomassojen kuormaaminen kuljetusvälineeseen, mutta sillä voidaan myös siirtää tehokkaasti maamassoja siirtomatkan ollessa alle 200 m. Pyöräkuormaajat soveltuvat hyvin myös maamassojen leikkaukseen ja tien rakennekerrosten muotoiluun. Kuvan 14 pyöräkuormaajaan on kiinnitetty muotoilutöissä yleisesti käytetty tasauskauha, jonka avulla näkyvyys kauhan kärkeen paranee ja siten työskentelytarkkuus paranee. Pyöräkuormaajalla voidaan hoitaa myös työmaan logistiikkaa vaihtamalla kauhan tilalle esimerkiksi trukkipiikit. Talvella niitä voidaan käyttää lumen auraamiseen ja lastaamiseen. [34]

Pyöräkuormaajissa on jo pitkään käytetty automatiikkaa kauhan ja puomin liikkeiden hallintaan. Automatiikalla on mahdollistettu kauhan ja puomin palauttaminen ennalta määriteltyyn asentoon ja korkeuteen. Esimerkiksi kauhan täyttövaiheessa yhdellä vivun liikkeellä saadaan puomisto laskeutumaan ja kauha kääntymään vaakatasoon. Kuormaustilanteessa voidaan asettaa kippauskorkeus kuormattavan ajoneuvon mukaan. [37, 38]

Pyöräkuormaajaan asennettavat koneohjausjärjestelmät ovat yleensä opastavia, eivätkä ne juurikaan eroa kaivinkoneeseen asennettavista järjestelmistä. Antureita asennetaan kauhan pikaliittimeen, puomiin ja koneen runkoon. Kallistuvaa liitintä käytettäessä tarvitaan lisäanturi mittaamaan kallistusta. Paikannusjärjestelmään kuuluvat antennit sijoitetaan ohjaamon kulmiin tai koneen runkoon, kuten kuvassa 14 on tehty. Pyöräkuormaajaan asennettavaa koneohjausjärjestelmää voidaan hyödyntää erityisesti penkereiden ja tien rakennekerrosten muotoilussa. Koneohjausjärjestelmän näytöltä kuljettaja näkee esimerkiksi tien reunat ja rakennekerrokset sekä koneen ja kauhan sijainnin reaaliajassa. Koneohjausmallin avulla kuljettaja pystyy myös paikantamaan rakennekerrosten alle jääneet kaivot ja sulkuventtiilit, jotka täytyy kaivaa esiin ennen asfaltointia. [39]



Kuva 14. Pyöräkuormaajaan asennettu koneohjausjärjestelmä. [40]

3.5.4 Mittaava jyrä

Mittaavan jyrän koneohjausjärjestelmässä tiivistystyön edistyminen esitetään kuljettajalle näyttöruudulla. Järjestelmä perustuu tiivistymisen mittaukseen koneeseen asennetuilla antureilla tai ylityskertojen laskentaan 2D-satelliittipaikannuksen perusteella. [29] Reaaliaikaisen tiiveystiedon avulla ylityskerrat saadaan optimoituja. Näyttöruudulta kuljettaja näkee värikoodauksen perusteella, mitkä kohdat täyttävät tiiveysvaatimukset ja missä tarvitaan vielä tiivistämistä. Järjestelmässä voidaan käyttää myös ajo-opastinta, jonka avulla kuljettaja pystyy helpommin pitämään jyrän oikealla ajolinjalla. Kuvassa 15 on esitetty väylärakennustyömaalla yleisesti käytetty noin 10 tonnia painava yksivalssinen täryjyrä, varustettuna GNSS-paikantimella. [41]

Tiivistymisen tarkkailu perustuu värähtelevän valssin kiihtyvyyssmittauksiin ja niiden analysointiin. Tiivistyksen aikana valssin sisällä olevat epäkeskot saavat valssin värähtelemään ja värähtelyn avulla valssin liike-energia siirtyy maahan ja aiheuttaa maan tiivistymisen. Tiivistyksen tuloksena alustan jäykkyys ja iskunvaimennus muuttuvat. Kiihtyvyyssmittauksia analysoimalla voidaan tehdä johtopäätöksiä alustan jäykkyydestä ja tiiviydestä. Jatkuva tiiveyden tarkkailu mahdollistuu, kun mittaustuloksiin liitetään jyrän GNSS-vastaanottimelta saatu sijaintitieto. [42]



Kuva 15. GNSS-paikantimella varustettu täräjä. [42]

GNSS-paikannetun jyrän ohjausjärjestelmän tiiveysmittausta pilotoitiin Kokkola-Ylivieska kaksoisraideurakan aikana Riippa-Eskola RU2 urakassa kesällä 2014. Hankkeen pääurakoitsijana toimi Destia. Pilotissa saatujen kokemusten mukaan GNSS-jyrän karttanäytön osoittaessa vihreää, olivat levykuormituskokeella mitatut kantavuudet vaatimusten mukaisia ja rakenteiden tiiveys kehittyi vaatimusten mukaisesti. Tiiveyden seuranta tuottaa hyötyjä tuotantovaiheessa, koska ylijyrääminen vähenee ja jyräykseen kuluu vähemmän aikaa. [20] Urakoitsijan näkökulmasta aikaa ja rahaa säästyy, kun maastossa tehtävien levykuormituskokeiden määrää voidaan vähentää ja tehdä niitä vain tiiveydel-tään heikoimmiksi todetuilta kohdilta. Pilotin seuraavassa vaiheessa on tarkoitus selvittää levykuormituskokeella tehtävien referenssimittausten tarvittava välimatka tai määritellä pinta-alaa kohden tarvittavat referenssimittaukset eri rakenteille. [7] Tällä hetkellä InfraRYL ei mahdollista uuden tekniikan täysimääräistä hyödyntämistä, mutta Liikenneviraston teettämän tutkimuksen lopputuloksena on laadittu muutosehdotuksia InfraRYL:n sitomattomien kerrosten tiivistämistä koskeviin kohtiin. [42]

3.6 Tarkemittaussauva

Markkinoille on tullut tarkemittaussauvoja, joiden avulla työnjohto pystyy tekemään tarkemittauksia. Työnjohto voi esimerkiksi tehdä työsuunnittelua mittaamalla tarvittavia leikkausmääriä. Ennen ja jälkeen kaivuutyön tehtyjen tarkemittausten perusteella voidaan määrittää toteutuneet massamäärät tarkasti.

GNSS-vastaanotinta käytettäessä tarkka sijaintitieto voidaan varmistaa joko radio- tai verkkokorjauksella kuten koneohjausjärjestelmissä. Verkkokorjauksessa käytetään esimerkiksi liikkuvaa laajakaistayhteyttä ja radiokorjauksessa kiinteää tukiasemaa. [43]

Tarkemittaussauvana toimii esimerkiksi 3D-Kopin markkinoima GNSS-mittalaite, joka tarvitsee toimiakseen älypuhelimeen tai tablet-tietokoneeseen asennettavan Infrakit-sovelluksen. Sovelluksessa suunnitelma-aineistot näkyvät Google Maps karttapohjan päällä. Sijaintitieto tuodaan bluetooth-yhteydellä GNSS-vastaanottimesta. Mittalaitteen avulla työnjohtaja tai maarakennustyöntekijä näkee tablet-laitteelta saman näkymän kuin kaivinkoneen kuljettaja omalta näytöltään, koska ne käyttävät samaa koneohjausmallia. [43]

3.7 Työmaan hallinta

Tietomallipohjaiset toimintatavat mahdollistavat työmaan dynaamisen ja digitaalisen ohjaamisen. Dynaaminen johtaminen tarkoittaa joustavaa, nopeaa ja tehokasta reagoimista työtehtävien suorittamisen ohjaukseen, Lisäksi sillä tarkoitetaan johtamistapaa, joka hyödyntää työmaan toiminnoissa tietomalli- ja selainpohjaista, päätelaite-riippumatonta ja langatonta tiedonsiirtoa. Tietomallinuksesta saadaan eniten hyötyä, kun koko prosessi suunnittelusta ylläpitoon tapahtuu tietomallipohjaisesti. Työmaalla tapahtuvan toiminnan kannalta tämä tarkoittaa sitä, että tietomalleja käytetään työn suunnitteluun ja johtamiseen, koneohjaukseen sekä toteutumamittausten tekemiseen. Dynaamisen johtamisen tärkeimmät osa-alueet ovat aikataulujen, kustannusten, materiaalien, henkilöstön, työkonien, aliurakoitsijoiden sekä työmaan liikenteen seuranta ja ohjaus. [44, 45]

Dynaamisen ohjaamisen työkaluina voidaan käyttää erilaisia mobiili- ja pilvipalvelusovelluksia. Useimmilla koneohjausjärjestelmien valmistajilla on palveluita omille järjestelmilleen. Pilvipalveluina toimivia koneohjausjärjestelmiä tarjoavat esimerkiksi Novatron (Xsite® OFFICE) ja Leica Geosystems (Leica ConX). Laitevalmistajien omien pilvipalveluiden lisäksi markkinoilla on myös laitevalmistajista riippumattomia pilvipalveluita, kuten suomalainen InfraKit. [40, 46]

Pilvipalveluilla voidaan hallita työmaan toimintoja reaaliaikaisesti, ja esimerkiksi InfraKit-järjestelmä on osoittautunut hyväksi työnjohton apuvälineeksi infratyömaalla [45]. Palvelin pohjaisella järjestelmällä voidaan tallentaa ja jakaa suunnitelmätietoa kaikkien hankkeen osapuolten kesken. Kaikilla osapuolilla on käytössään ajantasaiset ja oikeat mallit, koska uusia malleja ladattaessa palvelimelle ne voidaan tarkistaa automaattisesti. Järjestelmän avulla työnjohto pystyy seuraamaan työmaan etenemistä reaaliaikaisesti tietokoneen näytöltä. Karttapohjalla näkyvät koneen sijainti ja aktiivisuustilastot, joita voidaan käyttää esimerkiksi resurssien hallintaan ja tulevien työvaiheiden suunnitteluun ja aikatauluttamiseen. Koneohjausta käyttämällä maastomerkitöjä ei tarvita työn suorittamisessa, mutta työn etenemisen seuranta, työn suunnittelu ja laadunvalvonta vaikeutuvat

maastomerkitöjen puuttuessa. InfraKit-järjestelmään liitettyllä tablet-laitteella tai älypuhelimella työnjohto pystyy määrittämään sijaintinsa ja tarkastelemaan suunnitelma-aineistoa reaaliaikaisesti, jolloin työn valvominen ja laadunvalvonta helpottuvat. Usein tilaajat vaativat valokuvia esimerkiksi vesijohtojen liitoksista ja muista maan alle jäävistä rakenteista. Maan alle jäävien rakenteiden kuvaaminen on myös urakoitsijan oman toiminnan kannalta erittäin tärkeää, koska tällöin voidaan todentaa työn laatu myös jälleenkäynnin. Tabletilla tai älypuhelimella voidaan ottaa dokumentointikuvia kyseisistä rakenteista. Kuvaan liitettävien paikka-, suunta- ja aikatietojen perusteella tiedetään, mistä rakenteesta kuva on otettu. Kuvat siirtyvät automaattisesti tietokantaan, jossa niitä voidaan hallinnoida keskitetysti. Järjestelmää voidaan käyttää myös tietomallipohjaiseen laadunvarmistukseen, jolloin koneohjausjärjestelmällä otetut toteumamittaukset vertautuvat automaattisesti suunnitelma-aineistoon ja niitä voidaan tarkastella karttapohjalla ja leikkauskuvissa. [47]

Työmaan hallintaan kehityt apuvälineet helpottavat työnjohdon päivittäistä työtä. Erityisesti pienessä ja monialaisessa maarakennusyrityksessä työmaat ovat usein melko pieniä, joten työnjohtajalla on yleensä useampi työmaa hoidettavana samaan aikaan. Päivittäisestä työajasta suuri osa voikin kulua siirtymisiin työmaalta toiselle. Koneohjausta hyödyntävien työmaiden tilanteen seuraaminen reaaliaikaisesti tietokoneelta voi vähentää työmaakäyntien tarvetta ja työnjohdolle jää enemmän aikaa ennakkosuunnittelua varten. Etäseuranta ei kuitenkaan poista työmaakäyntien tarvetta, sillä työmaalla ilmenneen ongelman kuvaaminen puhelimitse on usein hankalaa. Työmaakäynnin aikana esiin tulee myös usein sellaisia asioita, joita työntekijät tai työnjohto eivät ole ottaneet ennakkoon huomioon. Koneohjauksen käyttö ei myöskään poista työnjohdon vastuuta työn laadusta. [9, 48]

3.8 Koneohjausjärjestelmien käytön edut

Urakoitsijan näkökulmasta työkoneautomaation yleistymisellä on sekä etuja että haittoja. Koneohjauksen käyttöönoton myötä työn tehokkuus kasvaa, koska työkoneiden odotusajat vähenevät. Myös polttoaineenkulutus pienenee tyhjäkäynnin vähentymisen myötä. Työmaalla kaivinkoneen kuljettajan ei tarvitse odotella mittaryhmää uudelle kohteelle siirryttäessä, vaan voi siirtyä kohteeseen ja aloittaa työt ilman maastomerkitöjä. Tämä edellyttää, että kohteen koneohjausmalli on tehty ja se on kuljettajan saatavilla. Mittaus-tarpeen väheneminen nopeuttaa työskentelyä, koska sesonkiaikana mittausryhmä pitää usein tilata edellisenä päivänä tai vielä aiemmin. Myös kustannukset mittausryhmän osalta pienenevät. Erityisesti taajamien ulkopuolella työskenneltäessä mittaryhmän käyttäminen on kallista pitkien etäisyyksien vuoksi. [20]

Koneohjausjärjestelmällä otettavat toteumamittaukset tuottavat materiaalia laadunvarmistukseen, jolloin työnjohto ja tilaaja voivat seurata laatua reaaliaikaisesti. Näin mahdollisiin puutteisiin voidaan puuttua heti, jolloin korjaaminen on yleensä helpompaa ja halvempaa. [20]

Rahallista säästöä syntyy paremman massojen hallinnan myötä. Koneohjausjärjestelmää käytettäessä leikkaustyössä ylikaivuun määrä vähenee, koska kuljettaja näkee kaivuutason reaaliaikaisesti koneen näytöltä. Perinteistä mittaustapaa käytettäessä maarakennustyöntekijä katsoo mittalatalalla tai ajokepillä leikkauspohjan tason vasta kaivuun jälkeen. Työn tarkkuus riippuu myös maarakennustyöntekijän ammattitaidosta, erityisesti ajokeppiä käytettäessä. Leikkaustason ollessa tarkasti suunnitellussa tasossa myös rakennekerrokset voidaan rakentaa suunnitelmien mukaisesti ilman ylimääräisen massan poisajoa ja vastaavasti ylimääräisen rakennekerrosmaterialin takaisin tuontia. Rakennekerrokset saadaan myös kerralla oikeaan tasoon, jolloin työn läpimenoaika lyhenee ja lopputuotteesta tulee laadukkaampi, koska materiaalin lajittumista ei tapahdu. [35]

Koneohjausjärjestelmää käytettäessä kaivinkoneen kuljettaja pystyy tekemään osan työtehtävistä ilman maarakennustyöntekijää. Kuljettaja voi esimerkiksi tehdä putkiarinan itsenäisesti koneohjausmallin mukaan, jolloin maarakennustyöntekijä voi tason mittaamisen sijaan keskittyä muihin työtehtäviin, kuten putkien asennukseen. Tämän myötä myös työturvallisuus paranee, kun kaivannossa ei tarvitse työskennellä kaivuun aikana. Koneen kuljettajan ei myöskään tarvitse poistua ohjaamosta mittausta varten. Tällöin myös kuljettajan työturvallisuus paranee, koska ohjaamosta poistuttaessa sattuvia liukastumisia tai erilaisia nyrjähdyskiä ei tapahdu. Massanvaihtoa tehtäessä leikkauksen pohjalle kertyy usein vettä, jolloin leikkauspohjan tason mittaaminen perinteisellä menetelmällä on hankalaa ja vaarallista. [34, 48]

Työmaalla toimivien henkilöiden työn sisältöihin tulee muutoksia koneohjausjärjestelmien käytön myötä. Tämä voidaan nähdä sekä hyötynä että haittana. Kaivinkoneen kuljettajan vastuu lisääntyy mittausvastuun siirtyessä enemmän kuljettajalle. Tällöin kuljettajan ammattitaito ja kiinnostus laadukkaan työn tekemistä kohtaan korostuvat. Huolimaton tai välinpitämätön kuljettaja voi jättää esimerkiksi toteumamittauksia tai kauhojen kalibrointeja tekemättä. Motivoituneet kuljettajat voivat kuitenkin saada lisää motivaatiota ja mielekkyyttä työhönsä, koska kuljettaja voi toteuttaa ja suunnitella työn tekemisen aiempaa joustavammin. Koneohjausjärjestelmää käytettäessäkin kuljettajan ammattitaito on edelleen tärkeässä roolissa. [35, 48]

Työnjohdolle on tärkeää tietää perusasiat koneohjauksesta ja ymmärtää miten ja missä työvaiheissa järjestelmiä voidaan hyödyntää. Koneohjausta käytettäessä työnjohdon rutinitehtävät vähenevät ja aikaa vapautuu resurssien hallintaan ja seuraavien työvaiheiden suunnitteluun. Toisaalta etenkin käyttöönottovaiheessa työnjohdon aikaa kuluu järjestelmien käytön opetteluun ja kuljettajien opastukseen. Uusien asioiden omaksuminen vaatii aikaa ja myös työnjohdolla on oltava mahdollisuus perehtyä järjestelmiin ja saada koulutusta tarvittaessa. Työnjohdon vastuu ei vähene, vaan työnjohdon tulee perehtyä työmaalla käytettäviin koneohjausmalleihin ennen niiden siirtoa työkoneelle, mikäli hankkeella ei ole erikseen mittahenkilöä, joka vastaa koneohjausmalleista. [48]

Maastomerkitöjen puuttuminen on sekä hyvä että huono asia. Paljon mittausta sisältävillä työmailla mittaushenkilöstöltä kuluu paljon aikaa korko- ja linjapaalujen asennukseen ja yleensä niitä lisätään työn edetessä. Pienemmillä työmailla ei yleensä ole omaa mittaushenkilöstöä, joten mittausyrityksen kiireiden vuoksi työkoneet voivat joutua odottamaan työn etenemiseksi tarvittavia mittauksia. Korko- ja linjapaalut ovat myös alttiita ilkeille ja ne voivat työn aikana siirtyä tai vaurioitua. Työkoneen kuljettaja näkee tarvittavat korkotiedot hytissä olevalta näytöltä, mutta esimerkiksi maarakennustyöntekijät, valvojat ja työnjohtajat voivat kokea, että työmaan hahmottaminen vaikeutuu ilman korko- ja linjapaaluja. Hahmottamista voidaan helpottaa esimerkiksi tablet-laitteella, josta henkilö näkee suunnitelman ja oman paikkansa reaaliaikaisesti. Tarvittaessa hankalasti hahmotettaviin kohtiin voidaan työnjohdon toimesta lisätä linja- ja korkomerkitöjä. [20, 48]

3.9 Työkoneautomaation tulevaisuus

Koneohjausjärjestelmien ja työkoneautomaation kehittyessä työkoneisiin voidaan lisätä yhä enemmän automatiikkaa helpottamaan kuljettajan työskentelyä. Tutkimusprojekteissa ympäri maailmaa onkin testattu erilaisia autonomisia järjestelmiä, esimerkiksi Tampereen teknillisellä yliopistolla Kivelä kehitti väitöstyössään [49] robottijärjestelmiä kaivosten autonomisiin työkoneisiin ja digitalisoituun tunneliympäristöön perustuvia ohjausratkaisuja. [49, 50] Tällä hetkellä pisimmällä automaatiotason nostossa on kaivosteollisuus. Esimerkiksi Sandvikin kehittämässä Automine-järjestelmässä porakoneet ja lasauskoneet toimivat itsenäisesti operaattorin seurattessa toimintaa komentokeskuksesta. [51] Työkoneiden autonomisia järjestelmiä on tutkittu ja kehitetty vuosia, mutta infratyömailla niitä ei vielä ole käytössä. Toimintavarman autonomisen järjestelmän kehittäminen on vaikeaa erityisesti työmaan muuttuvien olosuhteiden vuoksi. Esimerkiksi Dadhichin, Bodinin ja Anderssonin tutkimuksessa [37] suurimmat ongelmat pyöräkuormaajan automatisoinnissa ovat koneen runsas liikkuminen työtehtävien aikana, kauhan liikkeiden mallintaminen kauhan täyttövaiheessa sekä kuormattavan materiaalin ominaisuuksien mallintaminen. Myös Heikkilän ja Jaakkolan selvityksessä [34] todettiin, että erityisesti kauhan täyttövaiheen automatisointi on vaikeaa, koska rintauksen muoto muuttuu jatkuvasti, kuormattava materiaali on usein epähomogeenista, koneen ajolinjat muuttuvat työn edetessä ja lisäksi kuormattavat kuorma-autot ovat erilaisia.

Kaivinkoneen automatisoinnissa ollaan hieman pidemmällä, koska kaivinkoneen työtehtävien aikana kone on yleensä paikallaan, jolloin automatisointi on helpompaa. Myös kaivinkoneen automatisoinnissa ongelmia aiheuttaa rintauksen muuttuminen ja erot materiaalin koostumuksessa. Lisäksi kaivinkoneella suoritetaan monia erilaisia työtehtäviä, joiden automatisointi on hankalaa. [37] Infratyömaalla haasteita aiheuttaa erityisesti ihmisten turvallisuuden takaaminen. Työmaalla työskentelee koneiden lisäksi aina ihmisiä ja myös ulkopuolisten henkilöiden pääsy työmaalle on mahdollista. Automaatiojärjestelmän

pitää pystyä havainnoimaan ihminen ja tarvittaessa hidastaa tai pysähtyä kokonaan, mutta tähän ei ole kehitetty vielä riittävän varmoja järjestelmiä. [51]

Täysin autonomisten koneohjausjärjestelmien kehittäminen ei nykyisellään ole järkevää infratyömaan työtehtävien monipuolisuuden vuoksi, mutta osittaisellakin automaatiolla voidaan tehostaa työtä, kuten useissa tutkimuksissa on todettu. Erityisesti väylärakentamisessa korkeat tarkkuusvaatimukset edellyttävät työkoneiden kuljettajilta korkeaa ammattitaitoa. Automaation avulla työkone on helpompi hallita, joten kokemattomampikin kuljettaja voi päästä helpommin tasalaatuiseen lopputulokseen. [29]

Tulevaisuudessa automaatiojärjestelmien kehitystyö tulee painottumaan enemmän koko rakentamisprosessin hallintaan kuin yksittäisten työkoneiden automaatiojärjestelmien kehittämiseen. Huomiota kiinnitetään hankkeen pääurakoitsijan toimintajärjestelmien kehittämisen lisäksi koko työmaan dynaamisen ohjauksen ja johtamisen kehittämiseen. Tietotekniikkaa ja automaatiojärjestelmiä tullaan yhä enemmän soveltamaan rakentamisprosessin eri vaiheissa. Jotta tätä kokonaisuutta pystytään hallitsemaan ja kehittämään, tarvitaan eri alojen osaajien välistä yhteistyötä ja vuorovaikutusta. [29]

Teknologian kehittyminen mahdollistaa työkoneiden etäkäytön hyödyntämisen. Etäkäyttö tarkoittaa laitteen tai koneen käyttämistä tai ohjaamista etäältä, hyödyntäen televerkkoa tai tietoverkkoa ohjauskäskyjen välittämiseen ohjattavalle laitteelle tai koneelle. [52] Esimerkiksi kuorma-autojen kuormausnostureita ja purkukoneita on voinut ohjata jo pitkään kauko-ohjaimella. Nämä sovellukset vaativat kuitenkin aina suoran näköyhteyden työkohteelle. Kamerateknologian ja 3D-älylasien avulla mahdollistuu koneen ohjaaminen ilman suoraa näköyhteyttä. Esimerkiksi ajoneuvojen kuormankäsittelylaitteiden toimittaja Hiabin kehittämän HiVision-laitteiston avulla kuljettaja voi ohjata puutavara-auton kuormainta kuorma-auton ohjaamosta etänä. Kuvassa 16 on esitetty kuormaimen ohjaamiseen tarvittavat vivut ja 3D-älylasit. 3D-älylaseille kuva saadaan kahdelta eteenpäin sijoitetulta kameralta ja sivukameroilta. Kameroiden avulla kuljettaja näkee saman näkymän kuin kuormaimen ohjaamostakin. Etäohjauksen avulla parannetaan kuljettajan työolosuhteita ja työturvallisuutta, lisäksi hyötykuorma kasvaa ja polttoaineen kulutus pienenee, koska erillistä kuormaimen ohjaamoja ei tarvita. [53]



Kuva 16. Puutavarakuormaimen ohjaimet kuorma-auton ohjaamossa. [53]

Tällä hetkellä etäohjaukseen liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia hankaloittaa erityisesti etäohjausta koskevan sääntelyn puute. Koneita koskeva sääntely periytyy Euroopan Unionin tasolta, jolloin kansallinen lainsäätävä ei voi poistaa esteitä itsenäisesti. Lisäksi etäohjauksen kehitystä hankaloittaa tietoliikenneinfrastruktuurin heikkoudet, koska etäohjaukseen tarvitaan luotettava ja viiveetön tietoliikenneyhteys. Erityisesti maarakennuksessa käytettävät koneet vaativat suuria investointeja ja niiden käyttöikä on pitkä, joten Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisun mukaan voidaan olettaa, että merkittävä osa koneista ja laitteista on vielä vuosikymmenienkin kuluttua paikallisesti ja manuaalisesti ohjattuja. [52]

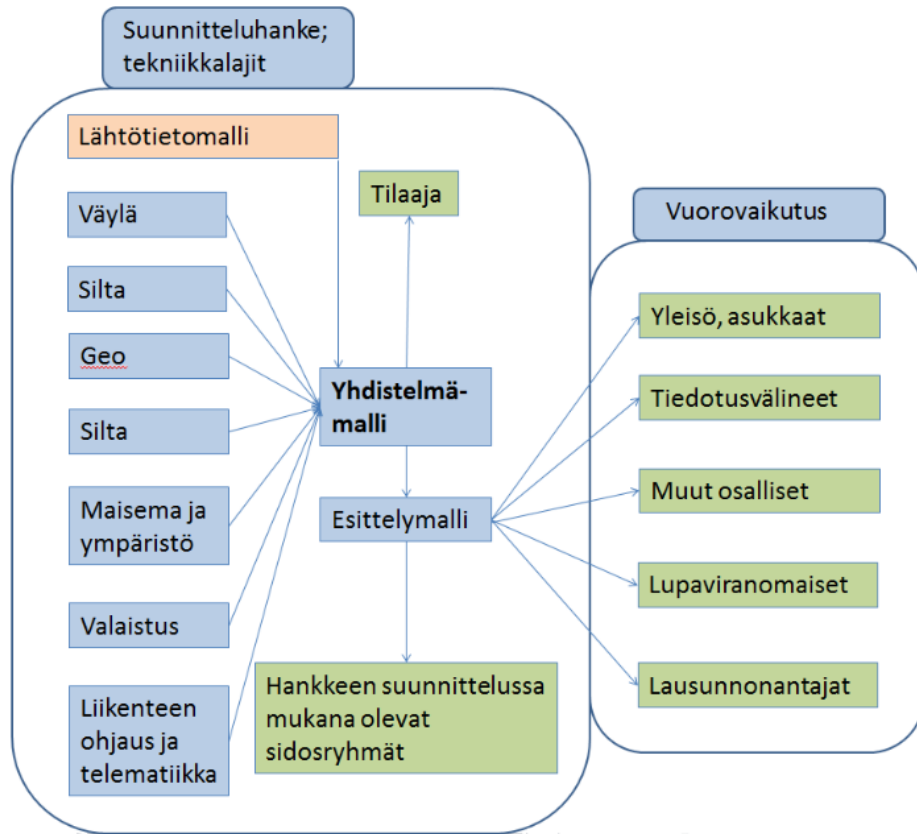
4. KONEOHJAUSMALLIT

Koneohjausmalli on toteutusvaiheen suunnittelumallista koneohjausjärjestelmälle oikeaan tiedostomuotoon muutettu kolmiulotteinen toteutusmalli. Työkoneen kuljettaja näkee koneohjausmallin ja työkoneen reaaliaikaisen sijainnin ohjaamossa olevalta näytöltä. Tietoja työkoneen kauhan paikasta ja asennosta verrataan 3D-suunnittelutietoon, ja laskeutujen erosuureiden avulla ohjataan konetta automaattisesti tai esitetään ohjaamista helpottavaa tietoa koneen kuljettajalle. Koneohjauksen avulla kuljettaja pystyy toteuttamaan suunnitelman mukaisia rakenteita ilman perinteistä maastoon merkintää. [1]

4.1 Mallipohjainen suunnittelu

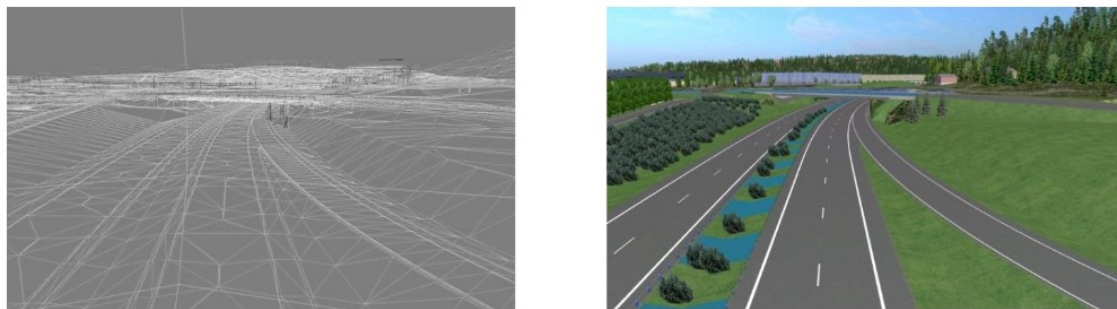
Koneohjausjärjestelmien tehokkaan hyödyntämisen perustana on mallipohjainen suunnittelu. Mallipohjaisessa suunnittelussa suunnittelu tapahtuu alusta alkaen mallipohjaista aineistoa tuottavassa suunnittelujärjestelmässä. Tietomalli koostuu eri suunnittelualojen suunnitelmakokonaisuuksista. Suunnitelmamallien lisäksi hankkeesta laaditaan maastomalli ja maaperämalli. Mallia voidaan tarkastella kolmiulotteisena, karttanäkymänä tai leikkauskuvina. Aineiston tuottamisessa on tärkeää, että se tuotetaan avoimia standardoituja tiedonsiirtoformaatteja käyttämällä. Tällöin aineisto ja sen tietosisältö pystytään siirtämään ohjelmasta toiseen ilman tiedon häviämistä. [1, 54]

Tietomallinnusta käytetään eri tavoin suunnittelun eri vaiheissa. Kuvassa 17 on havainnollistettu tietomallinnuksen käyttöä suunnittelun työkaluna ja vuorovaikutuksen tukena. Suunnittelun alkuvaiheessa tärkeitä asioita ovat esimerkiksi teknisen toteuttamiskelpoisuuden selvittäminen ja investointikustannusten määrittäminen, rakennussuunnittelussa taas tuotetaan kohteen rakentamiseen tarvittava aineisto, kuten yksityiskohtaiset rakennemallit. Mallipohjaisen suunnittelun myötä suunnitelmatilannetta pystytään tarkastelemaan ja arvioimaan hankkeen kaikissa vaiheissa. Suunnittelun tilannetieto esitetään yhdistelmämallina, johon kootaan aineisto lähtötietomalleista ja eri tekniikkalajien osamalleista. Yhdistelmämallia voidaan katsella, kommentoida ja sen avulla voidaan tarkastella osamallien yhteensopivuutta. Yhdistelmämallille voidaan tehdä törmäystarkastelu, jolla voidaan varmistaa rakenteiden sopiminen niille suunnitelluille paikoille. [54]



Kuva 17. Tietomallinnuksen käyttö suunnittelussa ja visualisoinnin apuvälineenä.[54]

Hankkeen esittelemiseksi ja visualisoinnin parantamiseksi yhdistelmämallista voidaan tehdä esittelymalleja, joilla voidaan havainnollistaa hanketta esimerkiksi yleisötilaisuuksissa. Esittelymallin avulla hankkeeseen liittyvät sidosryhmät, kuten alueen asukkaat saavat kattavan kuvan hankkeen lopputuloksesta. Kuvassa 18 on esitetty tekninen yhdistelmämalli, josta on muokattu visuaalinen esittelymalli. Tietomallipohjaisessa prosessissa tuotetaan tietoa myös käyttöönottoa, käyttöä ja huoltoa varten ja se toimii lähtötietona suunniteltaessa muutoksia ja huoltotoimenpiteitä. Käyttöönottovaiheessa inframallia voidaan käyttää esimerkiksi näkemäanalyysien tekemiseen sekä käyttö- ja huoltohenkilökunnan valmentamiseen ja pelastusviranomaisten harjoituksiin. Käyttöä ja ylläpitoa varten voidaan toteumamalliin koota niiden tarvitsema tieto, jolloin huoltotöissä tarvittava tieto on paremmin saatavilla. Tavoitteena on, että jatkossa tietomallipohjainen toimintatapa kattaa koko hankkeen elinkaaren aina suunnittelun alkuvaiheista ylläpitoon. [1, 54]



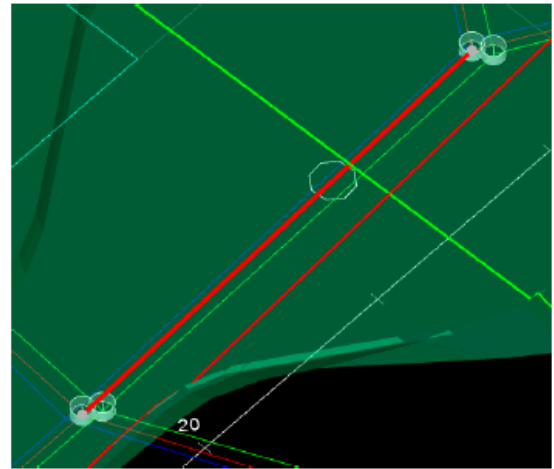
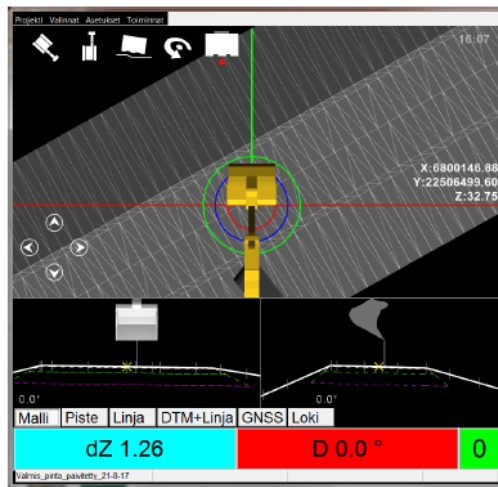
Kuva 18. Teknisestä yhdistelmämallista muokattu esittelymalli. [54]

4.2 Koneohjausmallin sisältö

Infrarakentamisessa käytettävä koneohjausmalli koostuu geometrialinjoista, 3D-taiteviivoista ja niiden kolmioverkkomalleista sekä pistemäisistä aineistoista ja verkostomalleista. [1] Koneohjausmallien muodostamisessa noudatetaan Yleisiä inframallivaatimuksia, InfraRYL:n ohjeistuksia ja kohdekohtaisia työselostuksia. Tällä hetkellä mikään suunnitteluohjelmisto ei tuota suoraan Yleisten inframallivaatimusten mukaisia malleja, vaan malleja on muokattava esimerkiksi poistamalla tai täydentämällä taiteviivoja. Vaikka suunnittelua tehdään jo paljon 3D-muodossa, osa suunnitelmista toimitetaan työmaalle edelleen 2D-muodossa, jolloin koneohjausmalli joudutaan muodostamaan taso- ja leikkauskuvista. Esimerkiksi tie- ja katuhankkeessa mallintamisen lähtötiedoiksi tarvitaan katusuunnitelma, pituus- ja poikkileikkaukset, kuivatussuunnitelma, kunnallistekniikan suunnitelmat sekä maastomalli. Koneohjausmallien tuottamiseen käytetään erilaisia tietokoneohjelmistoja, kuten 3D-Win ja AutoCAD-ohjelmistoja. [16, 43] Mikäli koneohjausmalleja ei saada suoraan suunnittelijoilta, voidaan ne tilata yrityksiltä, jotka tuottavat koneohjausmalleja. Esimerkiksi osa mittausyrityksistä tuottaa myös koneohjausmalleja lähtötietojen pohjalta. Myös maarakennusyrityksen oma mittaushenkilöstö tai työnjohto voi tehdä ja muokata malleja, mikäli yritys on hankkinut soveltuvat ohjelmistot ja henkilöstö on perehtynyt niiden käyttöön.

Koneohjausmalli voi olla pintamalli, viivamalli tai pistetietoa. Pintamalleja tehdään esimerkiksi anturoiden alapinnoista, tien rakennekerroksista ja luiskista. Ne voidaan tehdä joko taiteviivojen tai kolmioverkkojen perusteella. Viivamalleja ovat erilaiset putkirakenteet, kuten sadevesi- ja viemäriinjat, tien keskilinja ja pintojen taiteviivat. Kuvassa 19 on esitetty pinta- ja viivamallien näkymät koneohjausjärjestelmän näytöllä. Pistetiedostona esitetään pistemäiset rakenteet, kuten kaivot, valaisimet ja liikennemerkkit. Koneohjausmalliin voidaan lisätä myös taustakarttoja, kuten asemapiirustus, katusuunnitelma tai kaapelikartta. Kaivutyön helpottamiseksi malliin voidaan lisätä varoitusmalli, joka varoittaa esimerkiksi lähellä olevista kaapeleista, putkirakenteista tai tontin rajoista. [43] Usein lähtötiedot olemassa olevista kaapeleista tai putkirakenteista ovat laadultaan vaihtelevia,

erityisesti vanhan vesijohtoverkoston sijaintitiedot ovat epävarmoja. Kaapeleista taas tiedetään yleensä suurpiirteinen sijainti, mutta syvyystiedot puuttuvat. Kaapelien kohdalla tarvitaan usein kaapelinomistajan näyttö sijainnin varmistamiseksi. [35]



Kuva 19. Pinta- ja viivamallinäkymä koneohjausjärjestelmässä. [43]

Yleiset inframallivaatimukset asettavat toteutusmallin sisällölle erilaisia vaatimuksia. Vaatimusten mukaan kaikki sellaiset rakennusosat on mallinnettava, joiden toteutuksessa käytetään koneohjausta. Esimerkiksi rakennekerroksista ja pengerrakenteista mallinnetaan rakenneosan yläpinta ja vastaavasti leikkauksissa mallinnetaan sen alapinta. Pääsääntöisesti jokaisesta pinnasta mallinnetaan vain ne viivat, joiden kohdalla on taite tai viivat ovat muun rakenteen kannalta oleellisia. Aluemaisissa kohteissa, kuten hulevesialtaissa tai parkkialueilla mallinnetaan vain ne viivat, joiden kohdalla on taite, eli kaltevuus muuttuu. Ajorataa mallinnettaessa, tulee aina mallintaa ajoradan mittalinjan taiteviiva, vaikka kaltevuus ei muuttuisikaan. Rakennepintojen ja taiteviivojen nimeämisessä noudatetaan InfraBIM-nimikkeistön mukaisia numerointi- ja nimeämiskäytäntöjä. [16]

Yleisissä inframallivaatimuksissa toteutusmallille annetaan myös tarkkuusvaatimuksia, jotka voidaan jakaa taiteviivojen ja pintojen jatkuvuusvaatimuksiin sekä niiden geometrisiin vaatimuksiin. Jatkuvuusvaatimuksen mukaan kaikkien taiteviivojen ja pintojen on oltava mahdollisimman jatkuvia. Pinnoissa ei saa olla pystysuoria muutoksia, eikä pinnassa saa olla taiteviivoja päällekkäin. Geometrisen vaatimuksen mukaan toteutusmallin taiteviiva saa poiketa laskennallisesta geometrialinjasta enintään kolme millimetriä. Yksittäisen taiteviivan pituus saa olla enintään 10 metriä, vähimmäispituutena voidaan pitää 0,5 metriä. Noudattamalla ohjeellisia taiteviivapituuksia on mahdollista muodostaa koneohjausjärjestelmälle riittävän säännönmukainen kolmiomalli. Rakenteiden lopulliset tarkkuusvaatimukset määräytyvät kuitenkin julkaisun InfraRYL – Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset mukaisesti. [16]

4.3 Tiedonsiirto

Koneohjausmalli voidaan siirtää työkoneelle manuaalisesti muistitikulla tai langattomasti internet-yhteyden välityksellä. USB-muistitikkaa käytettäessä työnjohto tai mittamies lataa suunnitelma-aineiston ensin muistitikulle, josta se voidaan ladata koneohjausjärjestelmän tietokoneen kiintolevylle. Langatonta tiedonsiirtoa käyttämällä suunnitelma-aineistot siirretään joko internet-yhteyden välityksellä suoraan tai pilvipalvelun kautta työkooneisiin. Langaton tiedonsiirto mahdollistaa myös työkoneen keräämän toetumatiedon lähetyksen esimerkiksi työnjohdolle työn seuranta varten. Tällöin työnjohdolla on aina reaaliaikainen tieto työmaan tilanteesta. Langattoman tiedonsiirron etuna on, että osapuolilla on käytössä aina uusin suunnitelmaversio. Tämä helpottaa toimintaa erityisesti hankkeessa, jossa suunnitelmat päivittyvät tai muuttuvat usein. Paperisia suunnitelmia käytettäessä muutokset merkitään usein kynällä suunnitelmaan, jolloin suunnitelma muuttuu helposti epäselväksi. Myös eri käyttäjillä voi olla käytössä eri versioita suunnitelmista. [47]

Langattoman internet-yhteyden avulla koneohjausjärjestelmän ja valmistajan teknisen tuen välille voidaan muodostaa etäyhteys. Etäyhteyden avulla huoltoneuvoja voi antaa neuvoja ja tarvittaessa ratkaista ongelmatilanteen ilman työmaalla käyntiä. Internet-yhteyden avulla myös työnjohto voi ottaa etäyhteyden työkoneeseen, jolloin työnjohto näkee omalta näytöltään saman näkymän kuin koneen kuljettaja. Tällöin työnjohto voi opastaa kuljettajaa ongelmatilanteissa ilman työmaalla käyntiä. [46]

4.4 Mallipohjainen laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen tavoitteena on ehkäistä virheiden syntymistä ja varmistaa, että lopputuote on suunnitelmien ja laatuvaatimusten mukainen. Mallipohjaisella laadunvarmistuksella tarkoitetaan laadunvarmistusmenetelmää, jossa hyödynnetään inframallinnusta ja työkoneautomaatiota laatu- ja toteumatietojen tuottamiseen urakoitsijan ja tilaajan tarpeisiin. Mallipohjainen laadunvarmistus ei ole vain työmaalla tapahtuvaa toteumamittausten ottoa, vaan siihen kuuluvat koneohjausjärjestelmällä tehtävien toteumamittausten ja tarkemittausten lisäksi toteutusmallin varmistaminen ja dokumentointi sekä työkoneohjausjärjestelmän ja GNSS-tukiaseman tarkkuuden seuranta ja dokumentointi. [55]

4.4.1 Yleisten inframallivaatimusten mukainen laadunvarmistus

Yleisten inframallivaatimusten mukainen laadunvarmistusmenetelmä soveltuu infrarakentamisen maarakenteiden laadunvalvontaan. Lisäksi sitä voidaan käyttää soveltuvin osin myös geometrinen mittojen laadunvalvontaan. Yleisten inframallivaatimusten mukaan mallipohjaisen laadunvarmistuksen käyttöönotton edellytyksenä on, että toteutus-

malli on laadittu YIV 2015 osan 5.2 Maarakennustöiden toteutusmalli (koneohjausmallin) laadintaohje –periaatteiden mukaisesti, työkoneautomaatio on käytössä työkoneissa, joita käytetään rakenneosien toteuttamiseen ja työkoneautomaatiolla toteutetun työn tarkkuus täyttää taulukon 2 mittavaatimukset. Lisäksi lopputuotteen tulee täyttää InfraRYL:n vaatimukset. Näiden vaatimusten lisäksi työmaan mittauksista vastaavalla tai työkoneautomaation tukihenkilöllä pitää olla vähintään maanmittausalan ammatillinen koulutus ja vähintään kahden vuoden kokemus satelliitti- tai takymetripaikannuksesta, työkoneiden 3D-koneohjausjärjestelmistä sekä toteutusmallien tarkastamisesta ja mallintamisesta. [55]

Taulukko 2. Maarakenteiden mittavaatimukset ja työkoneautomaatiolta vaadittava mittaustarkkuus. [55]

Rakenneosa	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL) [mm]	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL) [mm]	Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava tarkkuus X, Y, Z [mm]
Maaleikkaus Maa- tai louhepengeri, tie ja rata	-0 / + 200	+ 0 / - 100	± 100; ±30
Suodatinkerros Tie ja rata	-0 / + 150	± 40	± 100; ± 30
Jakava kerros Tie	-0 / + 150	± 30	± 100; ± 30
Kantava kerros, Tie	-0 / + 150	± 20	± 50; ± 20
Erityskerros yläpinta, rata	-0 / + 100	0 / - 50	± 50; ± 20
Välikerros yläpinta, rata	-0 / + 50	0 / - 20	± 50; ± 20

Taulukkoon 2 on koottu maarakenteiden mittavaatimukset ja työkoneautomaatiolta vaaditut mittaustarkkuudet. Mallipohjaista laadunvarmistusta käytettäessä lopputuotteen laatuvaatimukset määräytyvät InfraRYL:n mukaan.[55]

4.4.2 Toteutusmallin oikeellisuuden varmistaminen

Mallipohjaisen laadunvarmistuksen tärkeimmät tekijät ovat tietomallien oikeellisuus ja laatu. Ennen toteutusmallin siirtämistä työkoneiden ja mittaajien käyttöön, on työmaaorganisaation tarkastettava sen oikeellisuus. Tarkastuksessa varmistetaan toteutusmallin laatu ja hyödynnettävyys rakentamisprosessissa. Siinä tutustutaan toteutusmalliselostukseen ja käydään läpi mainitut poikkeamat ja tarvittaessa tehdään suunnittelijalle täyden-

nyspyyntö. Tarkastettavia asioita ovat koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien yhteneväisyys, taiteviivojen jatkuvuus ja se, että kaikki tarvittavat rakenteet on mallinnettu. Tarvittaessa poistetaan ylimääräiset linjat, pisteet ja malliosat sekä täydennetään lähtöaineiston pienehköt aukot. [55]

Tarkastuksen jälkeen malli muunnetaan koneohjausjärjestelmälle sopivaan formaattiin ja siirretään palvelimelle työkoneiden ja mittaajien käyttöön. Lopuksi tehdään tarkastusraportti, johon kirjataan vain havaitut suunnitelmavirheet ja toteutusmalliin tehdyt oleelliset muutokset. [55]

4.4.3 Koneohjausjärjestelmän ja tukiaseman tarkkuuden seuranta

Työmaalla tapahtuvaan laadunvarmistukseen kuuluu koneohjausjärjestelmien ja tukiasemien säännölliset tarkastukset. Tukiasemien oikeellisuus tulee tarkastaa takymetrillä kuu-kausittain tai kun on syytä epäillä sen sijainnin muuttuneen, lisäksi viikoittain tulee tarkastaa tukiaseman sijainti tunnetun pisteen suhteen GNSS-mittalaitteella. [55]

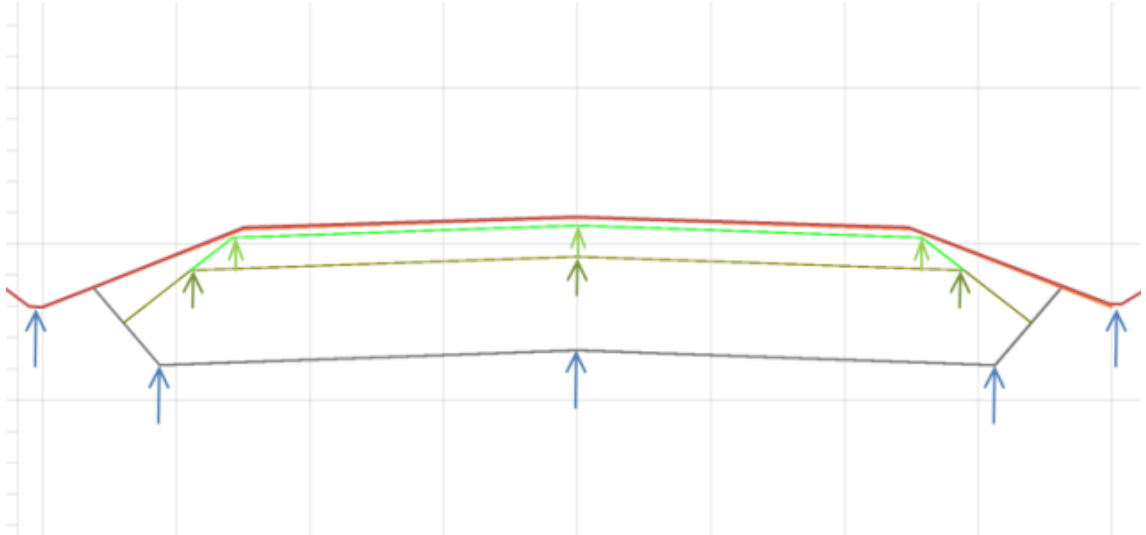
Työkoneet tulee tarkastaa aina kun kone saapuu työmaalle. Lisäksi tulee tehdä viikoittain koneohjausjärjestelmän tarkastus. Tarkastukset voidaan tehdä kontrollipisteen avulla. Tarkastuksessa kauha lasketaan kontrollipisteelle ja koneohjausjärjestelmän antamia koordinaatteja verrataan kontrollipisteen koordinaatteihin. Mikäli havaitaan poikkeamia, pitää koneohjausjärjestelmä kalibroida. Myös kaikkien koneessa käytettävien kauhojen tiedot tallennetaan järjestelmään. Kuljettajan tehtävänä on valita järjestelmän valikosta käytettävä kauha, jotta välttyään mittavirheiltä. Kauhan huulilevyn tai kynsien kulumisen vuoksi pitää mitat tarkistaa ja tarvittaessa uusita kalibrointi jonkin ajan kuluttua. Työmaan mittauksista vastaava tai työkoneautomaation tukihenkilö tekee tarkastukset yhteistyössä koneen kuljettajan kanssa. Tarkastukset dokumentoidaan ja työnjohdon tulee olla tietoinen tarkastusten tuloksista. [55, 56]

4.4.4 Koneohjausjärjestelmällä tehtävä toteumamittaus

Koneohjausjärjestelmällä voidaan tehdä toteumamittauksia työn edetessä. Toteumamittauksilla varmistetaan rakenteiden toteutuminen laatuvaatimusten mukaan ja samalla tuotetaan tietoa työmaan etenemisen seurantaan. Työnjohdolla ja valvojilla tulee olla mahdollisuus tarkastella toteumamittausten tuloksia reaaliaikaisesti. Työkoneen kuljettajat perehdytetään toteumamittausten tekemiseen ja työkoneautomaation vastuuhenkilöt ja työnjohto valvovat mittauksen oikeaoppista toteuttamista. Toteumamittausten ottamisesta vastaa työmaan mittauspäällikkö tai työkoneautomaation vastuuhenkilö.

Yleisten inframallivaatimusten mukaan toteumamittauksia tehdään rakenneosittain vähintään 20 m välein rakenteen poikkileikkauksen taitteiden eli kaltevuusmuutosten koh-

dilta kuvan 20 mukaisesti. Mittauskohtia voidaan tarkentaa työn aikana. Toteumamittauksia tehdään taulukossa 2 mainituista rakenteista. Koneohjausjärjestelmällä voidaan tehdä toteumamittauksia esimerkiksi kaivojen, viettoputkistojen ja vastaavien varusteiden maa- rakenteista. Toteumamittausten perusteella hankkeesta voidaan lopuksi muodostaa toteumamalli. [55]



Kuva 20. Koneohjausjärjestelmällä otettavien toteumamittausten ohjeelliset paikat. [55]

Toteumamittausten lisäksi väylähankkeissa otetaan tarkemittauksia mittalaitteilla vähintään 200 m välein ja rakenteiden muutoskohdista. Mikäli väylän vaakageometrian kaarresäde on alle 3000 m, tarkemittaukset tehdään 100 m välein. Kohteen ollessa pieni, eli alle 200 m, mitataan vähintään yksi poikkileikkaus jokaisesta rakennesosasta. Tarkemittausten tuloksia verrataan taulukon 2 vaatimuksiin. Mallipohjaisen laadunvarmistuksen aikana syntyy erilaisia raportteja sekä toteuma- ja mittaustietoja, joita työnjohto ja tilaaja pääsevät tarkastelemaan työn aikana ja sen jälkeen. [55]

Yleisten inframallivaatimusten mukaista laadunvarmistusmenetelmää voidaan käyttää sekä tie- että katuhankeissa. Mittausten hyväksyminen virallisiksi laadudokumenteiksi vaatii rakennuttajan hyväksynnän. Espoon kaupungin vuonna 2013 tekemässä pilotissa tuli esille muutamia kohtia, jotka pitää ottaa huomioon käytettäessä laadunvarmistusmenetelmää katuhankeissa. Katuhankeissa rakennetaan yleensä maaston muotoja mukailleen, toisin kuin moottoritiehankkeissa. Suunnittelu on myös yksityiskohtaisempaa ja tarkempaa, koska lyhytkin katuosuus voi sisältää useita bussipysäkkejä tai risteyksiä, joten katuhankeissa tarkemittauksia on tehtävä tiheämpään kuin 200 metrin välein laadunvarmistamiseksi. Tarkemittauksia on tehtävä tiheämpään, jotta esimerkiksi kuivatusrakenteiden toimivuudesta voidaan varmistua. Pilotissa kävi myös ilmi, että laadukkaan lopputuloksen avaintekijä on edelleen kaivinkoneen kuljettaja. Koneohjaukseen siirtymisen myötä mittaushenkilöstöä tarvitaan työmaalla vähemmän, minkä myötä vastuu laadunvarmistuksesta siirtyy entistä enemmän työkonien kuljettajille. [57]

Toteumamittausten määrä ja paikat riippuvat hankkeesta ja rakennuttaja voi esittää omia vaatimuksia toteumamittausten tekemisestä. Koneohjausjärjestelmällä otetut toteumamittaukset toimivat laadunvarmistusmenetelmänä, mutta niiden avulla työnjohto ja myös tilaaja pystyvät seuraamaan työmaan etenemistä reaaliajassa. [57]

5. TUTKIMUSMENETELMÄT JA -AINEISTO

Diplomityön empiirinen tutkimus koostuu asiantuntijahaastatteluista. Tutkimuksen kohderyhmään kuului koneohjausta käyttäviä maarakennusalan urakoitsijoita. Tutkimus tehdään pienten ja keskisuurten yritysten näkökulmasta, joten kohdeyrityksiksi valittiin yrityksiä, joissa työskentelee alle 250 henkilöä ja joiden liikevaihto on alle 50 miljoonaa euroa. Näkökulma valittiin, koska suurin osa Suomen maarakennusyrityksistä on pk-tason yrityksiä.[58] Yhtenä tutkimuksen osa-alueena oli myös tutustuminen eri valmistajien koneohjausjärjestelmiin maahantuojaan tai myyjän tiloissa, jolloin oli mahdollista tutustua järjestelmiin erilaisten simulaattoreiden avulla.

5.1 Tutkimuskysymykset

Haastattelututkimuksen tarkoituksena oli kartoittaa kokemuksia koneohjausjärjestelmien käyttöönotosta ja käytöstä pk-yrityksen näkökulmasta. Pääpaino tutkimuksessa oli käyttöönottovaiheessa ja käytön aikana ilmenneissä haasteissa ja ongelmassa. Tutkimuksessa selvitettiin myös mahdollisia koneohjauksen käyttöönoton aiheuttamia muutoksia yrityksen toimintatapoihin ja huomioitavia asioita järjestelmiä hankittaessa. Lisäksi selvitettiin käyttöönotosta aiheutuneita kustannuksia. Tutkimuksella pyrittiin vastaamaan seuraaviin päätutkimuskysymyksiin:

- TK1. Mitkä ovat merkittävimmät asiat, jotka pitää ottaa huomioon koneohjausjärjestelmiä hankittaessa?
- TK2. Millaisia ongelmia tai haasteita käyttöönottovaiheen ja käytön aikana on havaittu?
- TK3. Millaisia etuja tai haittoja koneohjausjärjestelmien käytöllä on pk-yrityksen näkökulmasta?

5.2 Asiantuntijahaastattelut

Haastattelumenetelmänä käytettiin puolistrukturoitua teemahaastattelua. Kyseinen menetelmä sopi tähän tutkimukseen, koska vastaukset eivät olleet sidottuja vastausvaihtoehtoihin, vaan haastateltavat pystyivät vastaamaan kysymyksiin omin sanoin. Lisäksi otanta oli melko pieni, mutta teemahaastattelulla saatiin runsaasti materiaalia. Puolistrukturoidussa haastattelussa vastausten tarkkuus on hyvä ja tarvittaessa voidaan esittää tarkentavia kysymyksiä. Tarkentavilla kysymyksillä voidaan varmistua siitä, että haastateltavalla on varmuus kysymyksen tarkoituksesta. Haastattelurunko ja kysymykset oli laadittu etukäteen. Pääosa kysymyksistä esitettiin kaikille haastateltaville samassa järjestyksessä

ja muodossa, mutta muutamia kysymyksiä muokattiin hieman riippuen yrityksen henkilöstömäärästä. Haastattelujen asiasisältö pysyi kuitenkin samansuuntaisena ja vertailukelpoisena. [59]

Ennen haastattelujen toteuttamista haastateltaville lähetettiin kysymykset sähköpostitse haastattelutilanteiden nopeuttamiseksi. Suurin osa haastateltavista olikin valmistautunut haastatteluihin lukemalla kysymykset ja miettimällä vastauksia etukäteen. Urakoitsijoille lähetetyt kysymykset on esitetty liitteessä B. Haastattelussa käsiteltäviä teemoja oli yhteensä 7, jotka sisälsivät 2-10 tarkentavaa kysymystä.

5.2.1 Haastatteluiden toteutus

Haastattelututkimus koostui yhteensä kahdeksasta asiantuntijahaastattelusta, jotka toteutettiin pääosin yksilöhaastatteluina vuoden 2018 tammi- ja helmikuussa. Henkilökohtainen yksilöhaastattelu valittiin, koska näin voitiin motivoida haastateltavia käyttämään tarvittava määrä aikaa tutkimukseen osallistumiseen. Haastattelut olivat keskustelunomaisia ja haastateltavien annettiin vastata kysymyksiin omin sanoin.[60] Keskustelunomaisuudella pyrittiin motivoimaan haastateltuja vastamaan kysymyksiin mahdollisimman laajasti ja tarkasti. Haastatelluilta kysyttiin tarpeen mukaan tarkentavia kysymyksiä ja esimerkkejä, jotka selvensivät käsiteltävää asiaa. Haastattelut olivat avoimia ja haastateluissa oli rakentava tunnelma. Haastattelut toteutettiin kasvokkain joko yrityksen omissa toimitiloissa, työmaalla tai Tampereen teknillisellä yliopistolla.

Haastateltavien kohdejoukkoon valittiin toimitusjohtajia/yrittäjiä tai työpäälliköitä yrityksistä, joissa koneohjausjärjestelmiä on otettu käyttöön lähivuosina. Haastatelluista seitsemän toimii itse yrittäjänä/toimitusjohtajana ja yksi toimii yrityksen työpäällikkönä. Yksi haastattelu toteutettiin ryhmähaastatteluna, jossa mukana oli myös koneohjausjärjestelmää käyttävä kaivinkoneenkuljettaja, jolloin saatiin kartoitettua myös varsinaisen käyttäjän kokemuksia. Myös suurella osalla toimitusjohtajista/yrittäjistä oli omaa käyttökokemusta koneohjausjärjestelmistä. Vaikka omaa käyttökokemusta ei olisi ollutkaan, olivat henkilöt hyvin perillä koneohjausjärjestelmistä ja niiden käytöstä edustamassaan yrityksessä ja yleisesti infra-alalla. Haastateltaviksi valittiin yleisimpien laitevalmistajien käyttäjiä. Urakoitsijoita valittiin eri paikkakunnilta, jotta voitiin kartoittaa koneohjauksen käytön paikallisia eroja.

Kahdeksasta haastattelusta kertyi nauhoitettua materiaalia yhteensä 8 tuntia ja 12 minuuttia. Pisin haastattelu kesti tunnin ja 38 minuuttia ja lyhin puolestaan 32 minuuttia. Haastattelujen keskiarvopituus oli 62 minuuttia.

5.2.2 Teema-alueet

Teema-alueet ja haastatteluissa esitetyt kysymykset laadittiin kirjallisuusselvityksen pohjalta. Haastattelun aluksi selvitettiin taustatietoja haastattelun kohteena olevasta yrityksestä. Paikkakunnaksi oletettiin paikkakunta, missä yrityksen toimitilat sijaitsevat. Osa yrityksistä kuitenkin toimii melko laajasta ympäri Suomea, joten pelkästään tämän tiedon perusteella ei voida vetää johtopäätöksiä paikallisista eroista. Oleellisia asioita olivat myös henkilöstön määrä ja keski-ikä. Henkilöstön keski-ikä pyrittiin selvittämään, miten se vaikuttaa koneohjausjärjestelmien käyttöönottoon ja erityisesti ennakkokäsityksiin koneohjausta kohtaan.

Koneohjausjärjestelmät-osiossa selvitettiin millaisissa työkoneissa ja minkä valmistajan koneohjausjärjestelmiä käytetään. Selvitetään myös, miksi kyseiseen järjestelmään oli päädytty ja millaisissa hankkeissa ja olosuhteissa koneohjausta on hyödynnetty.

Käyttöönotto-osiossa selvitettiin vaikuttavimpia tekijöitä koneohjausjärjestelmien hankkimiseksi ja kuinka pitkältä ajalta haastateltavalla on kokemusta koneohjausjärjestelmistä. Käyttöönottovaiheesta selvitettiin asennuksen ja kalibroinnin pituus sekä käyttökoulutuksen pituus ja laatu. Koneohjauksen käytössä mukana olevien työntekijöiden määrällä pyrittiin selvittämään, miten käyttäjät jakautuvat yrityksen sisällä, myös käyttäjien taitotasoa arvioitiin haastateltavan näkökulmasta. Haasteita ja ongelmia selvitettiin itse koneohjausjärjestelmästä, paikannussignaalin kuuluvuudesta ja koneohjausjärjestelmällä tehdyistä toteumamittauksista.

Koneohjausmallit-osiossa selvitettiin, miten yritys hankkii koneohjausmallit. Olennaista on, tulevatko ne tilaajalta vai teettääkö yritys koneohjausmallit ulkopuolisella yrityksellä. Selvitetään myös, miten mallit ovat toimineet ja miten mahdolliset mallien muokkaukset tehdään. Tiedonsiirrosta selvitettiin, miten koneohjausmallien siirto työkoille tehdään ja millaisia ongelmia tiedonsiirrossa on havaittu.

Työmaanhallinta-osiossa selvitettiin, onko yrityksen työnjohdolla tai mittaushenkilöstöllä käytössä koneohjausjärjestelmään liitettyjä tablet-laitteita tai muita tietomalleihin perustuvia sovelluksia. Osittain tiedonsiirtoon liittyy kysymys pilvipalveluista, mutta tällä kysymyksellä pyrittiin selvittämään kokemuksia järjestelmistä riippumattomista pilvipalveluista ja koneohjausjärjestelmien valmistajien omista pilvipalveluista.

Muutoksilla toimintatapoihin-osiolla selvitettiin, miten koneohjausjärjestelmien käyttöönotto on vaikuttanut yrityksen työntekijöiden tai yrittäjän työtehtäviin ja mitä se on vaatinut henkilöstöltä. Olennaista oli myös selvittää, millaisia ennakkoluuloja yrityksessä oli koneohjausta kohtaan ja miten käsitykset ovat muuttuneet ajan saatossa.

Kustannukset-osiossa selvitettiin koneohjausjärjestelmien hankinnasta syntyviä kustannuksia ja miten kustannusarvio piti paikkansa, mikäli sellainen oli tehty ennen järjestel-

män hankintaa. Kustannusarvion avulla oli tarkoitus selvittää kustannustasoa koneohjausjärjestelmien hankinnasta. Mielenkiintoista oli selvittää haastateltavien näkemyksiä takaisinmaksuajasta.

Haastattelun lopuksi haastateltavilta kysyttiin kolme merkittävintä hyötyä ja haittaa koneohjausjärjestelmien käytöstä. Myös haastateltavien näkemyksiä valmiuksista ja ennakkotiedoista, jotka koneohjausjärjestelmää hankkivalla urakoitsijalla tulisi olla, selvitettiin. Viimeiseksi kysyttiin, miten koneohjausjärjestelmän käyttöönotto onnistui ja mitä haastateltava tekisi toisin, mikäli ottaisi nyt koneohjausjärjestelmiä käyttöön. Kysymysten läpikäynnin jälkeen haastateltavilla oli mahdollisuus täydentää vastauksia ja kertoa vapaasti kokemuksista koneohjausjärjestelmien käytöstä.

6. HAASTATTELUJEN TULOKSET

Kaikki haastattelut nauhoitettiin ja lisäksi haastattelujen aikana tehtiin muistiinpanoja tulostetulle kysymyslomakkeelle. Haastatteluiden jälkeen nauhoitetut haastattelut litteroitiin, eli purettiin kirjalliseen muotoon. Litteroinnin tarkkuus riippuu tutkittavasta ilmiöstä, ongelmanasettelusta ja aineiston laajuudesta. [60] Tässä tutkimuksessa haastattelut purettiin kysymyksittäin, mutta niitä ei kirjoitettu auki sanatarkasti, koska haastatteluiden kielenkäytöllä tai muulla vuorovaikutuksella ei nähty olevan kovin suurta merkitystä. Vastauksista pyrittiin selvittämään niiden olennainen sisältö nauhoitteen ja muistiinpanojen perusteella. Vastaukset kirjoitettiin auki niin, että niitä ei pysty kohdentamaan haastateltuun henkilöön. Haastatteluiden pääkohdat koottiin kysymyksittäin yhteen vastausten vertailua ja analysointia varten.

6.1 Koneohjausjärjestelmät

Haastatteluiden perusteella yleisimmin koneohjausjärjestelmä asennetaan painoluokaltaan 21–30 tn tela-alustaiseen kaivinkoneeseen. Kolmella haastatellulla järjestelmä on asennettu painoluokaltaan 21 tn pyörialustaiseen kaivinkoneeseen. Yhdellä haastatellulla on käytössä myös 10-tonninen puskukone, johon on asennettu automaattinen koneohjausjärjestelmä. Useimmiten koneohjausjärjestelmä on asennettu vain osaan yrityksen kaivinkoneista. Haastateltujen mielestä järjestelmiä tulisi kuitenkin olla useammassa koneessa, koska tällöin koneita voidaan helpommin vaihdella työmaalta toiselle ja koneen rikkoutuessa voidaan korjauksen ajaksi tilalle vaihtaa koneohjausjärjestelmällä varustettu kone. Useamman koneen varustelua koneohjausjärjestelmällä on rajoittanut erityisesti laitteiden hankintakustannukset. Suurin osa järjestelmistä asennettiin uuteen koneeseen koneen hankinnan yhteydessä, mutta myös muutamaaan käytettyyn koneeseen järjestelmiä on asennettu jälkiasennuksena.

Haastatelluista viidellä oli tällä hetkellä käytössä Novatronin järjestelmä, kahdella Trimblen järjestelmä ja yhdellä Leican järjestelmä. Haastatelluista yksi oli vaihtanut Leican Novatroniin noin vuoden käytön jälkeen.

Haastatellut valitsivat koneohjausjärjestelmän valmistajan erilaisin perustein. Merkittävintä tekijä oli järjestelmän tekniset ominaisuudet. Hankintapäätökseen vaikuttivat esimerkiksi mahdollisuus käyttää pyöritysanturia kallistuvassa kauhanpyörittäjässä sekä lisäksi järjestelmän kehittyneisyys ja tarkkuus olivat merkittävässä osassa. Yhdelle haastatellulle tärkein tekijä oli Caterpillarin työkoneissa oleva valmius Trimblen koneohjausjärjestelmälle. Myös Trimblen mahdollistama automaattikka puskukoneessa oli merkittävä tekijä. Yhden vastauksen perusteella Leican käyttämä näyttö oli liian pieni ja epäselvä, mutta

toisen haastatellun mielestä kyseinen näyttö on juuri sopivan kokoinen ja riittävän selkeä, eli valintaan vaikuttavat selkeästi myös omat mieltymykset.

Valmistajan valintaan vaikutti selkeästi aiemmat kokemukset valmistajan tuotteista. Eri-tyisesti Novatronin valinneilla on ollut kyseisen valmistajan 2D-järjestelmiä käytössä aikaisemmin. Trimblen ja Leican valintaan vaikuttivat haastateltujen myönteiset kokemukset muista valmistajan tuotteista. Hankintakustannukset ja muilta käyttäjiltä saatu palaute vaikuttavat myös valintaan.

Koneohjausjärjestelmiä on käytetty monipuolisesti erilaisissa hankkeissa. Niitä on hyödynnetty esimerkiksi rakennusten ja erilaisten kenttien pohjatöissä, kaatopaikan maisemointitöissä, radan rakennus- ja saneeraustyömailla ja kunnallistekniikan rakentamisessa. Pääosa kohteista on ollut kaupunkiympäristössä, mutta myös taajamien ulkopuolella ja maaseudulla koneohjausjärjestelmiä on hyödynnetty.

Koneohjausta on hyödynnetty tien rakennekerrosten, luiskien ja meluvallien muotoilussa, erilaisten perustusten rakentamiseen, rumpujen asennuksiin, teollisuusrakennusten pohjatöihin ja putkilinjojen rakentamiseen. Erikoisimpana työtehtävänä, johon koneohjausta on hyödynnetty, oli ratapölkkyjen jako ratasaneeraustyömaalla. Pölkkyjen jakamiseen oli rakennettu laite, jolla pystyttiin kerralla asettamaan viisi pölkkyä paikalleen. Pölkkyjen keskilinja oli mallinnettu ja kaivinkoneen kuljettaja pystyi asettamaan koneohjausmallin avulla pölkkyt tarkasti oikeaan linjaan. Osa haastatelluista on tehnyt omia malleja helpottamaan esimerkiksi meluvallin rakentamista tai omakotitalon pohjien rakentamista.

Haastateltujen mukaan koneohjausta voi hyödyntää lähes kaikissa vastaantulevissa työtehtävissä, vaikka valmista koneohjausmallia ei olisikaan saatavilla. Hyödynnettävyys riippuu kuitenkin käyttäjän taitotasosta. Suurella osalla haastatelluista on myös aikomus opetella koneohjausjärjestelmien käyttöä edelleen, jotta siitä saataisiin täysi hyöty irti pienemmilläkin työmailla. Esimerkiksi omakotitalotyömaalla koneohjausjärjestelmään voi ottaa talteen tontin ja rakennuksen kulmapisteet, jolloin kaivuutyön aikana ei tarvita perinteisiä kulmapukkeja. Massanvaihtoa tehtäessä kaivinkoneen kuljettaja voi ottaa toteutumamittauksen linjasta, mihin asti massanvaihto on tehty. Tällöin työtä voidaan jatkaa tarkasti oikeasta paikasta, eikä rakenteeseen jää vaihtamattomia massoja. Myös kuljettajan vaihtuessa tarkka linja on tallessa koneohjausjärjestelmän muistissa.

6.2 Käyttöönottovaihe

Koneohjausjärjestelmän hankintaan vaikuttavat useat tekijät. Merkittävimpiä tekijöitä olivat tilaajan vaatimus tai suositus, oma mielenkiinto ja työturvallisuuden parantaminen. Neljä haastateltua mainitsi merkittävimmäksi tekijäksi tilaajan vaatimuksen tai suosituksen, kolmelle oma mielenkiinto oli merkittävin tekijä ja yhdelle merkittävin tekijä oli työturvallisuuden parantaminen. Oma mielenkiintoa järjestelmän hankkimiseksi lisäsi toiveet työn tehostumisen ja tarkentumisen myötä saatavista säästöistä. Kuten taulukosta 3

nähdään, hankintaan kuitenkin vaikuttaa usein useampi tekijä yhdessä. Kaksi haastateltua esimerkiksi kertoi, että koneohjausjärjestelmän hankinta on ollut mielessä jo pidempään, mutta vasta tilaajan vaatimus sai tekemään lopullisen hankintapäätöksen. Taulukkoon 3 on myös merkitty, tekeekö urakoitsija enemmän tuntiperustaisia töitä vai enemmän omaa urakointia. Tuntiperustaiset työt on merkitty T-kirjaimella ja oma urakointi on merkitty U-kirjaimella. Urakoitsijat eivät ole samassa järjestyksessä kuin liitteessä A esitettyssä taulukossa.

Taulukko 3. Koneohjausjärjestelmän hankintaan vaikuttavat tekijät.

	Tilaajan vaatimus/suositus	Oma mielenkiinto	Työturvallisuuden paraneminen
Urakoitsija 1	T	Merkittävin	Osatekijä
Urakoitsija 2	U		Merkittävin
Urakoitsija 3	U	Merkittävin	Osatekijä
Urakoitsija 4	T	Merkittävin	Osatekijä
Urakoitsija 5	U	Osatekijä	Merkittävin
Urakoitsija 6	T	Merkittävin	
Urakoitsija 7	T		Merkittävin
Urakoitsija 8	U		Merkittävin

Mielenkiintoa koneohjausta kohtaan on lisännyt erityisesti mahdollisuudet työn helpottamiseen ja tarkkuuden parantamiseen. Tarkkuuden parantuminen näkyy mm. työn läpimenoajan lyhentymisenä ja tarkempana massojen hallinnalla, jolloin puhutaan jo melko suurista kustannussäästöistä erityisesti urakkatyypisissä töissä. Säästöjä tulee myös mittaushenkilöstön tarpeen vähenemisestä, tämä koskee erityisesti yrityksiä, joilla ei ole omaa mittaushenkilöstöä, vaan mittauspalvelut joudutaan ostamaan ulkopuoliselta yritykseltä. Tällöin yrityksen työskentelypaikkakunnalla on merkitystä, koska suurten kaupunkien läheisyydessä mittaushenkilöstöä on helpommin saatavilla kuin kauempana työskenneltäessä. Pitkien välimatkojen takia mittaushenkilöstön saapumisessa työmaalle kestää kauemmin ja näin ollen työ voi keskeytyä äkillisen mittausarpeen takia. Lisäksi kustannuksia syntyy matkakorvauksista. Erityisesti kuljettajan työskennellessä yksin työ nopeutuu, koska kuljettajan ei tarvitse poistua ohjaamosta koron tarkistamista varten.

Koneohjausjärjestelmän hankintaan vaikutti monesti myös tilaajan vaatimus tai suositus. Esimerkiksi Liikennevirasto ja osa kaupungeista vaativat koneohjauksen käyttöä omissa hankkeissaan. Haastateltujen mukaan vaatimukset tulevat todennäköisesti lisääntymään jatkossa ja urakoitsijat haluavat koneohjauksen avulla turvata tulevaa työkantaa ja olla mukana alan kehityksessä.

Koneohjausjärjestelmiä hankittiin myös työturvallisuuden parantumisen takia. Koneohjausta käytettäessä kuljettajan ei tarvitse poistua ohjaamosta koron tarkistamista varten, jolloin esimerkiksi liukastumisesta johtuvat sairaspotilaat vähenevät. Kuljettaja näkee

kaivannon koron suoraan näytöltä, jolloin maarakennustyöntekijän ei tarvitse tarkkailla korkoa kaivannossa kaivuun aikana.

Suurimmassa osassa kohdeyrityksistä 3D-koneohjausjärjestelmät on otettu käyttöön kahden vuoden sisällä. Monessa yrityksessä on kuitenkin ollut 2D-järjestelmiä käytössä jo 2000-luvun alkupuolelta lähtien.

Novatronin ja Trimblen käyttäjät olivat tyytyväisimpiä käyttöopastukseen. Molempien valmistajien asentajat antoivat kattavan käyttöopastuksen asennuksen yhteydessä. Myös etätuesta haastatellut ovat saaneet apua tarvittaessa. Leican osalta käyttöopastus koettiin vajavaiseksi yhdessä vastauksessa. Toisen Leica-käyttäjän mukaan opastus oli riittävä, koska haastatellulla oli jo aikaisempaa käyttökokemusta koneohjausjärjestelmistä.

Käyttöönottovaiheen kestoksi määriteltiin järjestelmän asennukseen, kalibrointiin ja koulutukseen kulunut aika. Asennuksen ja kalibroinnin kestoissa ei havaittu suuria eroja valmistajien välillä. Keskimäärin asennukseen ja kalibrointiin kului 2 päivää. Koulutuksen osalta esiintyi eroja kestossa ja laadussa.

Henkilöstömäärän kasvaessa koneohjausta käyttävät työntekijät jakautuvat selkeämmin. Alle viiden työntekijän yrityksissä kaikki työntekijät ovat yleensä mukana koneohjauksen käytössä jollakin tavalla, mutta henkilöstömäärän kasvaessa vain muutamat työntekijät ovat mukana käytössä. Seitsemän haastateltua arvioi yrityksensä käyttäjien olevan perustasolla, eli he osaavat käyttää valmiita koneohjausmalleja itsenäisesti. Yksi haastateltu arvioi olevansa edistyneellä tasolla. Kyseisellä henkilöllä on pitkä kokemus koneohjausjärjestelmistä ja hän pystyy hyödyntämään koneohjausta tekemällä omia yksinkertaisia koneohjausmalleja.

Koneohjausjärjestelmissä koettiin olevan melko vähän häiriöitä tai vikoja. Esiin nousi seuraavia häiriöitä ja vikoja:

- Antureiden rikkoutumiset tai irtoamiset
- Asennuksessa järjestelmään jäi väärä korkeusjärjestelmä
- Satelliittiantennit asennettu liian lähekkäin
- Häiriöitä laitteista, joissa ei ole häiriönpoistoa esim. työvalot, LA-puhelimet

Kaikkien haastateltujen mukaan kuljettaja pystyy tekemään kauhojen kalibroinnin itsenäisesti ohjeiden perusteella. Pyöritysansurin vuoksi kalibrointi on hieman hankalampaa, mutta onnistuu järjestelmän antamien ohjeiden avulla. Kuljettaja pystyy tekemään kalibroinnit yksin, mutta toisen henkilön avustuksella työ nopeutuu. Kauhan vaihdon jälkeen kuljettajat ovat muistaneet valita oikean kauhan tiedot myös koneohjausjärjestelmästä. Aluksi tämä tuotti hieman vaikeuksia, mutta vaihdon jättämättä tekemisen huomaa nopeasti mittavarheista.

Viisi haastateltua käyttää korjaussignaalin hankintaan pääasiassa verkko-RTK-palvelua. Yksi haastateltu käyttää valmistajan paikallista tukiasemaa ja kaksi haastateltua käyttää pääasiassa työmaan omaa tukiasemaa. Verkko-RTK-palvelun käyttöä puolsivat erityisesti laaja työskentelyalue ja lyhytkestoiset urakat, jolloin oman tukiaseman hankkimista ei nähty järkeväksi.

Paikannussignaalin kuuluvuudessa on ollut jonkin verran ongelmia kaikilla haastatelluilla. Ongelmia ovat aiheuttaneet erityisesti korkeiden rakennusten tai puiden ja pensaiden aiheuttamat katvealueet. Häiriötä oli havaittu varuskunta-alueen läheisyydessä ja radiovahvistimen läheisyydessä. Ongelmia aiheutuu myös, mikäli näkyvillä on liian paljon tai liian vähän satelliitteja. Myös selittämättömiä paikallisia katvealueita on muutama haastateltu havainnut. Oman tukiaseman ja verkko-RTK-palvelun välillä ei havaittu eroja häiriöiden määrissä tai tyypeissä.

Seitsemän haastateltua on ottanut koneohjausjärjestelmällä toteumamittauksia esimerkiksi tien rakennekerroksista ja viemärilinjoista. Toteumamittauksia on otettu tilaajan vaatimuksesta, työnjohdon omaan käyttöön tai helpottamaan urakoitsijan omaa työskentelyä. Yhden haastatellun mukaan toteumamittauksia olisi kannattanut ottaa koko urakan ajan, jotta toteumapiirustukset olisi voitu tehdä itse, eikä niitä olisi tarvinnut teettää ulkopuolisella yrityksellä. Toteumamittauksia oli hyödynnetty esimerkiksi massanvaihtoa tehtäessä, jolloin toteumamittauksella saatiin tietoon tarkka linja, jonne asti massat oli vaihdettu. Tämä helpotti kuljettajan työtä ja paransi työn laatua. Toteumamittauksia voidaan hyödyntää myös putkilinjojen rakentamisessa. Putkilinjaa tehtäessä toteumamittaus oli otettu putken päästä ennen väliaikaista peittämistä esiin kaivuun helpottamiseksi.

Osa tilaajista hyväksyy koneohjauksella otettavat toteumamittaukset viralliseksi laadunvarmistusmenetelmäksi. Monen haastatellun mielestä ne pitäisi useammin hyväksyä laadunvarmistukseksi, jotta koneohjauksen ominaisuudet saataisiin paremmin hyödynnettyä. Pitää kuitenkin huomioida, että tällöin mallinnusvaatimukset kasvavat, koska kaikki ne rakenteet, joista halutaan toteumamittaukset pitää myös mallintaa.

6.3 Koneohjausmallit

Erityisesti tuntiperustaisesti työskentelevät haastatellut saavat koneohjausmallit suoraan tilaajalta. Omia urakoita tekevät haastatellut tilaavat koneohjausmallit yleensä ulkopuoliselta yritykseltä, osassa urakoista oli saatavilla tilaajan teettämät koneohjausmallit.

Koneohjausmallien virheistä tai puutteista esiin nousi seuraavia asioita:

- Pistemäisillä rakenteilla ei koordinaatteja
- Puutteelliset mallit esim. tierakenteesta mallinnettu vain valmis pinta
- Suunnitelmamuutoksia unohdettu mallintaa tai mallia joudutaan odottelemaan
- Puutteita mallien yhdistämisessä, rakenteiden törmäyksiä

- Ongelmat uuden ja vanhan yhdistämisessä: korkeudet eivät täsmää
- Kerrostalohankkeissa ei ole mallinnettu perustuksia
- Olemassa olevat putket, kaapelit yms. puuttuvat malleista
- Suurikokoiset tiedostot ja päällekkäiset viivat hidastavat koneohjausjärjestelmää

Usean haastatellun mielestä mallinuksen käytäntöjä pitäisi yhtenäistää. Nyt mallintajan ammattitaito ja viitseliäisyys näkyvät selkeästi työmaalle saapuvista malleista. Urakoitsijoiden toiveena oli, että olemassa olevat putket ja kaapelit saataisiin malleihin mukaan mahdollisimman tarkasti. Yhden haastatellun mukaan katujen nimet olisi hyvä saada malliin, jotta laskutus olisi helpompaa. Erityisesti isommissa hankkeissa koneohjausmallien laatu on parantunut hankkeen edetessä työmaalta saatujen palautteiden perusteella. Suunnittelijat ovat myös vierailleet useasti työmaalla, jotta saisivat paremman käsityksen mitä ja miten rakenteita tulisi mallintaa. Työkoneelle siirrettävä tiedosto ei saa olla liian suuri, sillä osa haastatelluista oli havainnut suuren koneohjausmallin hidastavan koneohjausjärjestelmää. Omia koneohjausmalleja teettävillä ongelmia on aiheutunut siitä, että suunnitelma-aineistoa ei ollut saatavilla ennen työmaan alkamista. Tällöin koneohjausmallien teettäminen ei ole ollut mahdollista.

Koneohjausmallien siirto työkoneille tapahtuu useimmiten Infrakitin tai järjestelmän valmistajan oman pilvipalvelun kautta. Vain yksi haastateltu käyttää tiedonsiirtoon muistikkoa, koska kyseisellä työmaalla ei ole käytössä pilvipalveluita. Yhdellä haastatellulla on ollut ongelmia tiedonsiirtoformaattien kanssa, koska järjestelmä tukee eri formaattia kuin muut saman työmaan järjestelmät. Mallien siirto onnistuu, kun mittaushenkilöstö muuttaa mallin tarvittavaan formaattiin ja lähettää sen erikseen työkoneelle.

6.4 Työmaan hallinta

Kaikilla haastatelluilla oli kokemusta pilvipalveluiden käytöstä. Kuudella haastatellulla on käytössä InfraKit-palvelu ja kahdella on käytössä valmistajan oma pilvipalvelu. Pilvipalvelut ovat toimineet hyvin, eikä ongelmia ole havaittu. Tästä poiketen yhden haastatellun mukaan Infrakit-palvelua ei voi käyttää, jos urakoitsija haluaa käyttää omia koneohjausmalleja, koska itse tehdyt mallit näkyvät aina kaikilla osapuolilla. Tästä on haittaa erityisesti silloin, kun urakoitsija käy välillä toisella työmaalla.

Koneohjausjärjestelmään liitetystä tablet-laitteista ei haastatelluilla ollut omakohtaisia kokemuksia. Haastateltujen mukaan ne voisivat kuitenkin helpottaa työnjohdon työtä, koska työn hahmottaminen ja siten valvominen olisi helpompaa. Kaksi haastateltua oli hankkinut satelliittipaikannukseen perustuvan mittaussauvan ennen koneohjausjärjestelmän hankintaa. Mittaussauvan avulla työnjohto pystyy tekemään tarkemittauksia sekä korkeus- ja linjamerkintöjä. Muutamien korkeus- ja linjamerkintöjen lisääminen helpottaa työmaan hahmottamista ja niiden avulla mahdolliset virheet koneohjausmalleissa on helpommin havaittavissa.

6.5 Muutokset toimintatapoihin

Kuuden haastatellun mukaan ennakkoluuloja koneohjausta kohtaan on ollut havaittavissa. Erityisesti vanhemmilla yli 45-vuotiailla työntekijöillä on aluksi ollut suuriakin epäilyksiä ja jopa pelkoja järjestelmää kohtaan. Heillä epäilyksiä on aiheuttanut erityisesti käytön oppiminen. Nuoremmilla työntekijöillä epäilykset ovat kohdistuneet enemmän järjestelmän tarkkuuteen ja laitteiden toimivuuteen. Kahdella haastatellulla ei ollut ennakkoluuloja johtuen pääasiassa usean vuoden kokemuksesta 2D-järjestelmistä.

Kaikkien haastateltujen mukaan ennakkoluulot ja epäilykset ovat muuttuneet positiivisempaan suuntaan koneohjauksen käytön myötä. Järjestelmien käyttö on ollut helppo oppia ja haastateltujen mukaan työntekijöiden motivaatio työtä kohtaan on kasvanut. Haastatellut kuitenkin muistuttivat, että koneohjausjärjestelmään ei voi sokeasti luottaa, vaan kuljettajan ammattitaito ja tarkkuus ovat merkittävässä roolissa edelleen. Kaikkien haastateltujen mukaan koneohjauksesta ei enää luovuttaisi ja yksi haastateltu totesikin sen olevan kallistuvaan kauhanpyörittäjään verrattava laite, joka alkaa olla vakiovaruste erityisesti uutta konetta hankittaessa.

Kaikkien haastateltujen mukaan koneohjauksen käytön omaksumista helpottaa kuljettajan mielenkiinto tekniikkaa kohtaan, motivaatio, tarkkuus ja halu oppia uutta. Mikäli haluaa hallita järjestelmän käytön erityisen hyvin, pitää perehtymiseen käyttää enemmän aikaa. Ennakkotietoa ei haastateltujen mielestä välttämättä tarvita. Erityisesti nuoremmalta sukupolvelta koneohjausjärjestelmän käytön oppiminen sujuu nopeasti, koska he ovat tottuneet tietoteknisten laitteiden käsittelyyn. Yhden haastatellun mukaan ongelmia voi kuitenkin tulla, jos kuljettaja opettelee alusta asti kaivamaan 3D-koneohjauksen perusteella. Tällöin kuljettajan ammattitaito ja ”silmä” eivät kehity ja työmaan muiden toimintojen havainnointi voi jäädä puutteelliseksi. Järjestelmän häiriötilanteissa voi tulla keskeytyksiä työhön, mikäli kuljettajalla ei ole perinteiset mittaustekniikat hallussa.

Haastateltujen mukaan kovin suuria muutoksia henkilöstöön tai työtehtäviin ei ole tullut koneohjauksen käyttöönoton myötä. Koneohjausjärjestelmiä käyttävät kuljettajat ovat kuitenkin valikoituneet yrityksen sisällä. Valintaan ovat vaikuttaneet mm. kiinnostus tekniikkaa kohtaan, työmotivaatio ja tarkkuus. Koneohjauksen myötä kuljettajan vastuu on lisääntynyt jonkin verran. Kuljettajan on huolehdittava järjestelmän mittaustarkkuudesta käymällä riittävän usein tarkistusmittauspisteellä ja kauhan kulumisen vuoksi on se kalibroitava tarvittaessa sekä oikean kauhan tiedot tulee olla aina valittuna. Vastuun siirtyminen enemmän kuljettajalle ei ole kuitenkaan tuottanut ongelmia, mikäli kuljettaja on ammattitaitoinen ja vastuuntuntoinen. Kaikkien haastateltujen mukaan koneohjauksen on havaittu lisäävän työn mielekkyyttä. Koneohjauksen myötä kuljettaja pystyy työskentelemään entistä paremmin itsenäisesti ilman maarakennustyöntekijää tai mittaushenkilöstöä. Myös työskentely pimeässä tai muuten huonossa näkyvyydessä helpottuu.

Koneohjausta käytettäessä korkotiedot nähdään koneohjausmallista, joten maarakennustyöntekijä voi keskittyä koron katsomisen sijaan esimerkiksi putkien ja kaivojen asennukseen. Tällöin maarakennustyöntekijä pystyy paremmin keskittymään myös työmaan muuhun toimintaan ja tulevien työvaiheiden ennakointiin. Erityisesti maarakennustyöntekijän työturvallisuus paranee, kun korkoa ei tarvitse tarkkailla kaivannossa. Syvää masanvaihtoa tehtäessä leikkauksen pohjalle kertyy usein vettä, jolloin leikkauspohjan tason mittaaminen perinteisellä menetelmällä on hankalaa ja vaarallistakin.

Työnjohdon tehtävät ovat pysyneet pääpiirteissään samoina. Yhden haastatellun mukaan käyttöönoton alkuvaiheessa työnjohdon aikaa kuluu kuljettajien opastukseen, mutta tämän nähtiin tuovan mukavaa vaihtelua työhön. Koneohjauksen käytön ei nähty poistavan tai vähentävän työnjohdon tarvetta.

Mittaushenkilöstön työtehtäviin koneohjaus tuo pieniä muutoksia. Työmaalla tapahtuvien mittausten tarve vähenee, koska mitta- ja korkotietoja saadaan koneohjausmallista. Erityisesti korko- ja linjapaalujen vähentynyt tarve nähtiin positiivisena asiana, koska niiden asentaminen vie paljon aikaa. Tarkemmat mittaukset tehdään monin paikoin edelleen takymetrillä mittaushenkilöstön toimesta. Mittausten vähenemisen ei nähty olevan huono asia, koska yrityksen omalla mittaushenkilöstöllä on usein paljon muita työtehtäviä. Erityisesti työmaiden sijaitessa kaukana toisistaan mittaushenkilöstön aikaa säästyy muihin työtehtäviin.

6.6 Kustannukset

Käyttöönoton kokonaiskustannuksiin laskettiin koneohjausjärjestelmän hankinnasta aiheutuvat kustannukset sekä asennuksen ja koulutusten aiheuttamat koneiden seisokit. Kokonaiskustannusten vaihteluväli oli 25 000–40 000 €/koneyksikkö. Eroja aiheuttavat erityisesti erot järjestelmien hankintahinnoissa. Koneiden seisokeista ei aiheutunut merkittäviä kustannuksia, koska suuri osa järjestelemistä asennettiin uusiin koneisiin, jolloin asennus tapahtui ennen koneen luovuttamista asiakkaalle. Mikäli järjestelmä asennettiin käytössä olevaan koneeseen, yrittäjällä oli asennuksen ajan varakone käytössä, jolloin varsinaisia tulonmenetyksiä ei tapahtunut.

Arviot takaisinmaksuajasta vaihtelivat hyvin paljon. Haastatellut eivät olleet tehneet laskelmia takaisinmaksuajoista, vaan ne oli puhtaasti arvioitu kertyneen kokemuksen perusteella. Enimmäkseen omaa urakointia tekevät haastatellut arvioivat takaisinmaksuajan olevan yhdestä kolmeen vuotta. Yksi haastateltu arvioi, että hankinta maksoi itsenä takaisin jo yhden paljon mittausta sisältäneen työmaan aikana säästyneiden mittauskulujen ja työn nopeutumisen myötä. Arviot perustuivat työmaakohtaisten kokonaistuntimäärien vähentymiseen, mittauspalveluiden tarpeen vähenemiseen ja palkkakustannusten pieneenemiseen. Takaisinmaksuaika lyhenee mitä useammalla työmaalla koneohjausta voidaan hyödyntää.

Tuntiperustaisia töitä tehtäessä haastatellut arvioivat takaisinmaksuajan huomattavasti pidemmäksi. Arviot vaihtelivat kuudesta vuodesta kymmeneen vuoteen. Kahden haastatellun mukaan tuntitöissä koneohjausjärjestelmä ei välttämättä maksa itseään ikinä takaisin. Haastatellut toivoivatkin, että tilaajat ja rakennuttajat ymmärtäisivät koneohjauksen hyödyt ja korottaisivat korvauksia. Tällä hetkellä koneohjausta käyttävä urakoitsija saa yleensä noin viiden euron korotuksen tuntitaksaan.

6.7 Koneohjauksen hyödyt ja haitat

Haastateltujen vastauksissa koneohjauksen käytön hyötyinä erottuivat neljä pääluokkaa: mittaushenkilöstön ja maarakennustyöntekijän tarpeen väheneminen, työn tarkkuuden parantuminen, työn tehokkuuden parantuminen ja töiden saannin turvaaminen. Taulukossa 4 on esitetty haastateltujen vastaukset tärkeysjärjestyksessä siten, että arvon 1 saanut oli haastatellun mukaan tärkein hyöty.

Taulukko 4. Koneohjauksen hyödyt.

	Itsenäinen työskentely	Työn tarkkuus	Työn tehokkuus	Töiden saanti
Urakoitsija 1 T	1	2		3
Urakoitsija 2 U	2	1	3	
Urakoitsija 3 U	1	3	2	
Urakoitsija 4 T	1	2	3	
Urakoitsija 5 U	3	2	1	
Urakoitsija 6 T		3	2	1
Urakoitsija 7 T	1	2	3	
Urakoitsija 8 U	2	1	3	

Taulukon perusteella voidaan todeta, että kuljettajan työskentely itsenäisesti arvostettiin korkeimmalle, mutta työn tarkkuuden parantuminen oli mainittu jokaisen haastatellun vastauksessa vähintään alemmilla sijoilla. Työskentelyn itsenäistyminen näkyy mittaushenkilöstön ja maarakennustyöntekijän tarpeen vähenemisenä ja siten se tuo säästöjä erityisesti omissa urakoissa, mutta myös tuntiperustaisia töitä tehtäessä tarpeen väheneminen on positiivinen asia.

Työn tarkkuuden parantuminen oli mainittu kaikkien haastateltujen vastauksissa. Työn tarkkuuden parantumiseen on luettu myös inhimillisten virheiden väheneminen. Vastauksissa ei havaittu eroja omaa urakointia ja tuntiperustaisia töitä tekevien urakoitsijoiden välillä. Työn tehokkuuden paraneminen taas arvostettiin korkeammalle omaa urakointia tekevien vastauksissa. Yksi tuntiperustaisia töitä tekevä mainitsi töiden saannin turvaamisen tärkeimmäksi hyödyksi ja yhdessä vastauksessa se oli kolmannella sijalla.

Merkittävimmäksi koneohjauksen huonoksi puoleksi kolme haastateltua kahdeksasta mainitsi järjestelmän korkeat hankintakustannukset. Yksi haastateltu mainitsi haitaksi kuljettajien valikoitumisen. Tämä voi haastatellun mukaan johtaa siihen, että koneohjausjärjestelmät hyvin hallitsevat kuljettajat hinnoittelevat itsensä kalliiksi, jolloin takaisinmaksuaika pitenee entisestään. Haitoiksi tai huonoiksi puoliksi mainittiin myös mallintamisen hitaus erityisesti suunnitelmien muuttuessa, jolloin päivitettyjä koneohjausmalleja joudutaan odottelemaan ja työ keskeytyy. Järjestelmän komponentteja, kuten antennia ja antureita joutuu myös varomaan hieman, jotta ne eivät vaurioitu. Yksi haastateltu mainitsi huonoksi puoleksi mahdolliset mittatietojen häviämiset teknisen häiriön vuoksi. Kuljettajan vastuun kasvaminen nähtiin sekä hyötynä että haittana.

Usean haastatellun mielestä koneohjauksen käyttöönotto ei vaadi urakoitsijalta sen suurempia valmiuksia tai ennakkotietoja. Muutamia asioita kuitenkin nousi esiin, jotka olisi hyvä tiedostaa koneohjausjärjestelmiä hankittaessa. Yrityksellä on hyvä olla koneohjausmallien teon ja muokkaamisen hallitseva henkilö tai sitten hyvät suhteet malleja tekeviin yrityksiin. Tällöin mallien teettäminen ja muokkaaminen tarvittaessa on helpompaa ja kustannustehokkaampaa. Työnjohdolla ja koneohjausta käyttävillä kuljettajilla olisi hyvä olla perustiedot mittaamisesta ja koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteista. Tällöin virheiden havaitseminen ja koneohjauksen soveltaminen eri hankkeissa helpottuu, tiedostettavia asioita ovat esimerkiksi korkeusjärjestelmät ja tiedonsiirtoformaattit. Myös vastuukysymykset on selvitettävä ennen työn aloittamista. Omien mallien tekeminen vaatii hieman uskallusta ja vaivannäköä. Useat haastatellut olivat sitä mieltä, että aikaisempi kokemus 2D-koneohjausjärjestelmistä edesauttaa huomattavasti 3D-koneohjauksen käyttöönottoa.

7. ARVIO KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN HYÖDYISTÄ

Haastattelujen lisäksi empiirisessä osiossa laadittiin todelliseen hankkeeseen perustuva teoreettinen laskelma koneohjausjärjestelmän hankinnan kannattavuudesta. Laskelma tehdään suuruusluokkatarkasteluna aiempien tutkimusten pohjalta. Hankkeesta oli saatavilla suunnitelma-aineisto, tarkemittaukset ja henkilötöytunnit.

7.1 Hankkeen esittely

Esimerkkihankkeena on Pirkanmaalla tehty uuden asuinalueen kunnallistekniikan rakentamismurakka, joka tehtiin vuonna 2016. Urakka sisälsi uusien katujen ja väylien rakentamista noin 600 m ja vesihuollon rakentamista noin 900 m. Tässä työssä on keskitytty noin 260 m pituisen uuden tien ja kevyenliikenteen väylän rakentamiseen sekä kevyenliikenteen väylän kohdalle tulleiden käyttövesi-, sadevesiviemäri- ja jätevesiviemäriinjojen rakentamiseen. Kyseiset kohteet valikoituivat tarkasteluun, koska niistä oli saatavilla eniten aineistoa. Hinnat on esitetty ilman arvonlisäveroa.

Kokonaisuudessaan urakka sisälsi muun muassa seuraavia työlajeja:

- Sadevesiviemäriin asennus n. 300 m
- Jätevesiviemäriin asennus n. 500 m
- Käyttövesijohdon asennus n. 760 m
- Valaisinpylväiden asennus 17 kpl
- Katujen ja väylien rakentaminen n. 600 m
- Hulevesialtaiden rakentaminen 2 kpl

Hankkeen kalusto koostui tela-alustaisista kaivinkoneista ja pyörialustaisesta kaivinkoneesta, jota käytettiin viimeistelyvaiheessa. Tien rakentamisessa käytetty työryhmä koostui kaivinkoneesta ja rakennusammattimiehestä. Lisäksi työmaalla työskenteli toinen aliorakoitsijan kaivinkoneesta ja rakennusammattimiehestä koostunut työryhmä. Hankkeen aikana käytettiin sekä omia että ulkopuolisia kuorma-autoja. Työmaan sisäisiin siirtoihin käytettiin myös dumpperia. Koneohjausjärjestelmiä ei käytetty hankkeen aikana missään työvaiheessa.

Tietä rakennettaessa leikkauspohjan ja rakennekerrosten korkotasojen tarkkailu tapahtui ajokepin ja tielinjan reunoille asennettujen korko- ja linjapaalujen avulla. Sadevesi- ja jätevesiviemärien asennuksessa käytettiin taso- tai putkilaseria. Kaivojen paikat ja korkeudet oli merkitty korko- ja linjapaaluilla.

7.2 Mittauskustannukset

Hankkeen työmaamittaukset teki ulkopuolinen mittauspalveluihin erikoistunut yritys. Työmaamittauksiin kuului linja- ja korkopaalujen asennus ja tarkemittausten tekeminen. Työmaa-alue oli melko laaja, joten mittauksia ja linja- ja korkopaalujen asennuksia tarvittiin paljon. Mittauksia tehtiin useassa vaiheessa töiden etenemisen mukaan, myös vaurioituneita tai siirtyneitä korko- ja linjapaaluja uusittiin. Taulukkoon 5 on koottu toteutuneet työmaamittaukset tunteina, tuntikustannus ja kokonaiskustannus.

Taulukko 5. Toteutuneet mittauskustannukset perinteisin menetelmin.

Työmaamittaukset [h]	Kustannus [€/h]	Yhteensä [€]
294	60	17 640

Suurin osa mittaryhmän ajasta kului rakenteiden paikalleen mittaamiseen sekä korko- ja linjapaalujen asentamiseen. Lisäksi tarkemittausten tekeminen vei paljon aikaa, koska niitä oli hankkeen laajuuden vuoksi tehtävä usealla eri kerralla.

Koneohjausta käytettäessä mittaryhmää olisi tarvittu työmaalla vain tarkastusmittauspisteiden merkintään ja tarkemittausten ottamiseen, mikäli tilaaja ei olisi hyväksynyt koneohjauksella otettuja toteumamittauksia. Laajan urakka-alueen vuoksi tarkastusmittauspisteitä olisi tarvittu 5–6 kpl, jotta tarkistusmittaukset tulisi tehtyä riittävän usein. Mittauspisteiden merkintään olisi kulunut mittaryhmältä arviolta noin 16 tuntia.

Koneohjausmalleja ei ollut saatavilla, joten niiden teettämiseen olisi pitänyt käyttää ulkopuolista yritystä. Malleja olisi tarvittu ajoradasta, kevyenliikenteenväylistä, sadevesi- ja jätevesiviemärien kaivannoista. Hankkeesta oli saatavilla kattava suunnitelma-aineisto, joten koneohjausmallien tekemiseen kuluvaksi ajaksi arvioidaan 3 työpäivää, eli yhteensä 24 työtuntia. Taulukkoon 6 on koottu arvio tarvittavista mittauksista ja aiheutuneista kustannuksista koneohjausta käytettäessä.

Taulukko 6. Arvio tarvittavista mittauksista ja kustannuksista koneohjausta käytettäessä.

Työmaamittaukset [h]	Mallinnustyö [h]	Kustannus [€/h]	Yhteensä [€]
16	24	60	2 400

Näiden tietojen perusteella mittauskustannuksissa olisi saatu säästöä 15 240 €, eli 86 % perinteisiin menetelmiin verrattuna. Säästöjä arvioidessa pitää kuitenkin ottaa huomioon kustannukset, jotka aiheutuvat koneohjausmallien muokkauksista ja tarkemittausten ottamisesta.

7.3 Massatalous

Massatalouden epätarkkuuden aiheuttamia kustannuksia tarkastellaan tien rakentamisen osalta. Syntyviä kustannuksia tarkastellaan tilanteissa, joissa kaivetaan 0,1 m ja 0,2 m suunniteltua syvemmälle. Rakennettava tie on 260 m pituinen yksiajoratainen, kaksikais-tainen tie. Leikkauspohja on noin 8 m, jolloin leikattavaa pinta-alaa on 2080 m²tr. Maa-aines alueella on silttiä, jonka löyhtymiskerroin on 1,5. Kertoimen avulla saadaan todelliset kuljetusmäärät. Maamassat kuljetetaan esimerkkihankkeessa yrityksen omilla 4-akselisilla kuorma-autoilla maankaatopaikalle, autojen lavakoko on noin 10 m³ ja maankaatopaikan vastaanottomaksu 3 €/m³. Keikka-ajaksi arvioidaan 0,5 h/kuorma. Kuorma-auton polttoainekulutukseksi arvioidaan 10 l/h ja dieselin hinnaksi 1,3 €/l.

Leikkaus ja kuormaustehdään kaivinkoneella KKHt 21, jonka kuormauskapasiteetti sil-tillä on 110 m³itd/h. Polttoainekulutukseksi arvioidaan 12 l/h ja moottoripolttoöljyn hin-naksi 1,0 €/l. Jakava kerros tehdään 0/90 kalliomurskeesta, jonka tiivistymiskerroin on 0,73 ja täyttökerroin 0,9. Kertoimien avulla saadaan tarvittavan murskeen määrä. Murs-keen tilavuuspaino on 1,6 tn/m³ ja kustannus 6 €/tn. Työnantajan palkkakustannukseksi työtuntia kohden arvioidaan 25 €.

***Taulukko 7.** Ylimääräisen kaivuun aiheuttamat kustannukset jaoteltuna kuljetuksesta, kaivuusta ja materiaaleista syntyviin kustannuksiin.*

	100 mm ylisyvä leikkaus	200 mm ylisyvä leikkaus
Ylimääräinen kaivuu	208 m ³ ktr	416 m ³ ktr
Todellinen kuljetusmäärä	312 m ³ itd	624 m ³ itd
Kuormien lukumäärä	32	63
Kuljetukseen kulunut aika	16 h	32 h
Polttoainekustannus	208 €	416 €
Maa-aineksen vastaanotto	936 €	1872 €
Palkkakustannus	400 €	800 €
Kuormaukseen kulunut aika	2,9 h	5,7 h
Polttoainekustannus	35 €	68 €
Palkkakustannus	75 €	143 €
Murskeen määrä	317 m ³ itd	633 m ³ itd
Materiaalikustannus	3044 €	6079 €
Kokonaiskustannus	4697 €	9378 €

Näiden tietojen perusteella maaleikkauksen tekeminen 0,1 m ylisyväksi aiheuttaisi 4697 € kustannukset ja vastaavasti 0,2 m ylisyvyys aiheuttaisi 9378 € kustannukset. Erityisesti suurissa hankkeissa pienetkin tarkkuusvirheet voivat aiheuttaa merkittäviä kustannuksia.

7.4 Koneohjauksen hyödyntäminen hankkeessa

Koneohjausta olisi voitu hankkeen aikana käyttää tien rakentamisessa ja kunnallistekniikan rakentamisessa. Suurin hyöty koneohjauksesta olisi todennäköisesti ollut tien rakentamisessa. Työvaiheista suuri osa olisi voitu toteuttaa ilman maarakennustyöntekijää:

- Leikkauspohjan kaivuu
- Rakennekerrosten rakentaminen
- Ojalinjojen muotoilu

Nämä työvaiheet ovat merkittäviä, koska ne ovat kestoiltaan pisimpiä ja niiden aikana voidaan tehdä kalliita virheitä, esimerkiksi ylikaisuun takia rakennekerrokseen tarvitaan suunniteltua enemmän materiaalia. Maarakennustyöntekijää olisi edelleen tarvittu seuraavissa työvaiheissa:

- Salaojaputkien- ja kaivojen asennus
- Rumpuputkien asennus
- Rakennekerrosten tiivistys

Tie rakennettiin rakentamattomalle peltoalueelle, joten varottavia putkia tai kaapeleita ei ollut. Mikäli alueella olisi ollut varottavia rakenteita, olisi maarakennustyöntekijää tarvittu kaivuun aikana. Kuvassa 21 on esitetty rakentamisen aikainen kuva uuden tien leikkauspohjan kaivuusta. Kuvassa näkyy maarakennustyöntekijä, leikkauspohjan tason tarkistukseen käytettävä ajokeppi sekä maastomerkintöjä.



Kuva 21. Uuden tien leikkauspohjan kaivuu. [61]

Selkeitä kustannussäästöjä olisi saavutettu palkkakustannuksissa. Esimerkiksi, jos maa-leikkaus olisi tehty ilman maarakennustyöntekijää, olisi palkkakustannuksia säästynyt noin 40 tunnilta. Oletetaan työnantajan palkkakustannukseksi työtuntia kohden 25 €, jolloin säästö olisi ollut 1000 €. Vaadittu leikkaustaso olisi todennäköisesti saavutettu nopeammin ja tarkemmin koneohjauksen avulla, jolloin konetyöstä aiheutuvat kustannukset olisivat pienentyneet palkkakustannusten ja polttoaineen kulutuksen pienentymisen myötä. Rakennekerrosten levityksen aikana maarakennustyöntekijän työpanos olisi voitu käyttää kerrosten tiivistämiseen koron tarkkailun sijaan. Tällöin työn läpimenoaika olisi lyhentynyt aikaisempien tutkimusten mukaan noin 25 %. Säästöjä olisi saavutettu myös tarkentuneen massojen hallinnan kautta. Suurten massamäärien ollessa kyseessä, erityisesti leikkauspohjan tarkkuus korostuu. Ylisyyvä leikkaus tarkoittaa enemmän poisajettavia ja myös takaisinajettavia massoja. Ostettaessa kiviainekset ulkopuolelta ja käytettäessä ulkopuolisia kuorma-autoja, merkitys korostuu.

Vesihuoltolinjojen rakentamisessa koneohjausta olisi voitu hyödyntää erityisesti kaivuussa ja asennusalustan teossa. Maarakennustyöntekijää tarvitaan edelleen asennusalustan ja täyttöjen tiivistykseen sekä putkien ja kaivojen asennukseen. Tässä tapauksessa työn läpimenoaika olisi lyhentynyt ja sitä kautta olisi saavutettu säästöjä kaivuun nopeutumisen myötä. Säästöjä olisi ollut mahdollista saavuttaa myös tarkemman massojen hallinnan kautta. Kaivannon ollessa ylisyyvä poisajettavia massoja tulee enemmän ja vastaavasti asennusalustaan kuluu suunniteltua enemmän materiaalia. Myös polttoaineen kulutus pienenee kaivinkoneen ja kuorma-autojen osalta ylimääräisen työn vähenemisen myötä.

Kuvassa 22 on esitetty rakentamisen aikainen kuva vesihuoltolinjasta. Kuvassa näkyy asennusalustan tason tarkistukseen käytetty putkilaser ja mittalatta. Kuvassa näkyy myös kaivualueella oleva kaapeli, jonka esiin kaivuun ehjänä edellytti maarakennustyöntekijän apua. Kuva havainnollistaa, miten kaivuutyö keskeytyy aina koron tarkistuksen ajaksi.



Kuva 22. Vesihuoltolinjan rakentamista.[61]

Valaisinpylväiden asennuksessa koneohjausmallista olisi nähty valaisimen tarkka sijainti, jolloin asennus olisi ollut nopeampaa. Tämä olisi kuitenkin edellyttänyt sitä, että valaisimille olisi ollut tarkat koordinaatit koneohjausmallissa. Maarakennustyöntekijää olisi tarvittu edelleen betonisen jalustan asennuksessa ja kaapelien vedossa.

Suurin hyöty koneohjauksesta saadaan, kun sitä voidaan hyödyntää kaikissa työvaiheissa. Tällöin esimerkiksi kantavan kerroksen yläpinnan muotoiluun käytettävässä tiehöylässä ja asfaltinlevittimessä pitää myös olla koneohjausjärjestelmät. Muutoin linja- ja korkopaaluja joudutaan asentamaan pelkästään näitä työvaiheita varten. Kyseisessä hankkeessa suurin hyöty olisi saatu, mikäli koneohjausjärjestelmä olisi ollut molemmissa tela-alustaisissa kaivinkoneissa sekä pinta- ja viimeistelytyöihin käytetyssä pyörialustaisessa kaivinkoneessa. Selkeitä hyötyjä olisi saavutettu myös, mikäli yhdessä tela-alustaisessa kaivinkoneessa olisi ollut koneohjausjärjestelmä. Tällöin kyseistä konetta olisi voitu käyttää

tien ja vesihuoltolinjojen rakentamiseen ja toista tela-alustaista kaivinkonetta olisi voitu käyttää esimerkiksi täyttöjen tekemiseen niin sanottuna peräkoneena.

Perinteisillä menetelmillä työskenneltäessä kaivinkoneen kuljettajan ja maarakennustyöntekijän tiimityöskentely ja kommunikaatio ovat merkittävässä rooleissa. Pitkään yhdessä toimineen työryhmän työskentely on tehokasta, eikä turhia keskeytyksiä tapahdu kommunikaatiokatkosten takia. Mikäli yhteistyö ei toimi, työ keskeytyy helposti ja työvaiheita joudutaan tekemään useampaan kertaan. Myös työntekijöiden kokemattomuus vaikuttaa suuresti työn sujuvuuteen. Erityisesti tällöin voi syntyä vaaratilanteita, esimerkiksi silloin, kun maarakennustyöntekijä käy mittaamassa korkoa kaivuun aikana, eikä kuljettaja huomaa häntä kauhan takaa. Kyseisessä hankkeessa olisi ollut kannattavaa käyttää koneohjausta. Erityisesti työvaiheiden läpimenoaikoja olisi saatu nopeutettua ja palkkakustannuksissa olisi saavutettu säästöjä.

8. PÄÄTELMÄT JA SUOSITUKSET

Tässä luvussa kootaan yhteen kirjallisuustutkimuksen ja haastattelututkimuksen tulokset ja määritetään niiden perusteella koneohjauksen käyttöönottoon liittyvät asiat, jotka tulee ottaa huomioon järjestelmiä hankittaessa. Tutkimuksessa selvitettiin, millaisia ongelmia tai haasteita käyttöönottovaiheen ja käytön aikana on havaittu ja miten ne voidaan tutkimuksen aikana ilmenneiden havaintojen perusteella välttää tai ratkaista. Tulokset on koottu yhteen tutkimuskysymyksittäin. Tutkimuksen lopputuloksena muodostettiin tiivistetty tarkastuslista huomioitavista asioista. Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan seuraaviin päätutkimuskysymyksiin:

- TK1. Mitkä ovat merkittävimmät asiat, jotka pitää ottaa huomioon koneohjausjärjestelmiä hankittaessa?
- TK2. Millaisia ongelmia tai haasteita käyttöönottovaiheen ja käytön aikana on havaittu?
- TK3. Millaisia etuja tai haittoja koneohjausjärjestelmien käytöllä on pk-yrityksen näkökulmasta?

8.1 Koneohjausjärjestelmää hankittaessa huomioitavat asiat (TK 1)

Koneohjausjärjestelmän hankinta on pk-yritykselle merkittävä investointi ja hankintaa tulee tarkastella pitkällä tähtäimellä. Onnistunut hankinta edellyttää aina etäkäteis-suunnittelua ajantasaisen tiedon pohjalta. Järjestelmä on hyvä hankkia ennen käyttöse-songin alkua. Tällöin asennukselle ja käytön opettelulle on enemmän aikaa. Ennen työ-maalle lähtöä pitää peruskäyttötaidot olla hallinnassa, jotta järjestelmä saadaan nopeasti tuottavaan työhön.

Koneohjausjärjestelmän taso

Koneohjausjärjestelmää hankittaessa tulee ensin määritellä käyttökohteet ja sovellusmahdollisuudet. Käyttökohteita kartoitettaessa on tärkeää tarkastella hankkeita pitkällä tähtäimellä, eikä vain yhden hankkeen perusteella. Käyttökohteet määrittelevät koneohjausjärjestelmän tason. 2D- järjestelmä voi tulla kysymykseen, mikäli koneohjausjärjestelmää käytetään lähinnä syvyyden, etäisyyden ja kaatojen mittauksiin. Tällöin tarvittavat kor- kotiedot saadaan tasolaserilta, korkomerkiltä tai muulta tunnetulta pisteeltä. 2D-järjes- telmä on hankintahinnaltaan edullinen, koska paikannusjärjestelmää ei tarvita.

3D-järjestelmä tulee kysymykseen erityisesti silloin, kun toimitaan työmaalla, missä ti- laaja tai rakennuttaja haluaa käyttää 3D-koneohjausmalleja. Yritys voi myös teettää omia

koneohjausmalleja, jolloin järjestelmää voidaan hyödyntää ilman tilaajan tai rakennuttajan malleja. Useimmissa järjestelmissä on myös mahdollista tehdä omia yksinkertaisia malleja suoraan työkoneen ohjaamosta. Paikannuksen avulla tiedossa on aina työkoneen reaaliaikainen sijainti ja korkotiedot, jolloin esimerkiksi ojalinjan kaivuu onnistuu ilman koneohjausmalleja. 2D- ja 3D-järjestelmien välimaastoon sijoittuu 2D-järjestelmä 3D-valmiudella, jonka hankintainvestointi on pienempi. Tällöin järjestelmä hankitaan ilman paikannuslaitteita. Järjestelmä toimii 2D-järjestelmänä, mutta mikäli yritys haluaa jatkossa siirtyä 3D-järjestelmään, hankittavaksi jää satelliittivastaanottimet ja 3D-ohjelmisto. 3D-järjestelmän hankintaa puoltavat monipuoliset sovellusmahdollisuudet ja tietomallinnuksen yleistymisen infra-alalla. Koneohjausjärjestelmää voidaan tutkimuksen perusteella käyttää esimerkiksi seuraavissa työtehtävissä:

- Väylärakentaminen: leikkausten ja rakennekerrosten tekeminen, luiskien muotoilu, ojien kaivuu, rumpujen asennus, ratapölkkyjen jako, toteumamittaukset rakennekerroksista
- Rakennusten perustukset: anturapohjien tekeminen, salaojien ja sadevesiviemärin asennus
- Kunnallistekniikka: kaivuu, asennusalustan tekeminen, toteumamittaukset putkilinjoista
- Varusteiden, esim. valopylväiden asennus, pihojen ja kenttien rakennekerrosten rakentaminen ja pintojen muotoilu

Järjestelmään voidaan esimerkiksi ottaa muistiin tontin rajat ja rakennuksen kulmapisteet, jolloin perinteisiä kulmapukkeja ei tarvita kaivuun aikana. Kuljettaja voi luoda oman mallin esimerkiksi meluvallista. Tutkimuksen perusteella koneohjausta voidaan hyödyntää jollakin tavalla lähes kaikissa vastaantulevissa työvaiheissa.

Työympäristö

Valmistajaa valitessa tulee kartoittaa mahdolliset työympäristön aiheuttamat rajoitukset. Esimerkiksi tunnelissa tai rakennusten sisällä työskenneltäessä satelliittipaikannuksen käyttö ei ole mahdollista, mutta eräiden valmistajien järjestelmät toimivat myös takymetripaikannuksella. Tällöin satelliittipaikannuslaitteiden tilalle vaihdetaan automaattiprismat ja työmaalle sijoitetaan robottitakymetri. Takymetripaikannusta voidaan käyttää myös tarkkuutta vaativissa töissä, koska silloin päästään satelliittipaikannusta parempaan tarkkuuteen. Korkeustarkkuutta voidaan lisätä myös käyttämällä tasolaseria ja laservastaanotinta.

Konetyyppi ja kokoluokka

Hankintaa suunniteltaessa on määriteltävä konetyyppi ja koneen kokoluokka. Kaivinkoneista kannattaa valita monikäyttöisin kone, jotta järjestelmää voidaan käyttää mahdollisimman monessa työtehtävässä. Yrityksen omat tarpeet ja käyttöympäristö määrittelevät

koneen tyypin ja koon. On myös huomioitava se, asennetaanko järjestelmä uuteen vai käytettyyn koneeseen. Käytetyssä koneessa ongelmia voi aiheuttaa puomin nivelten välykset, jotka voivat aiheuttaa paikannuksen epätarkkuutta. Käytössä olevaan koneeseen asennettaessa tulee ottaa huomioon asennukseen tarvittava aika 1-3 päivää, jolloin kone on pois käytöstä. Suositeltavin tapa on hankkia koneohjausjärjestelmä uuden koneen hankinnan yhteydessä, jolloin asennus tapahtuu joko tehtaalla tai maahantuojan tiloissa. Uudessa koneessa voi olla myös valmius tietyn valmistajan koneohjausjärjestelmälle, jolloin hankintakustannus jää hieman pienemmäksi, koska suurin osa komponenteista on valmiina koneessa. Eri valmistajien komponenttien käyttäminen ei useinkaan ole mahdollista.

Hankintakustannukset

Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän hankintahinta on 20 000-35 000 € alv. 0 riippuen valmistajasta ja järjestelmän ominaisuuksista. Puskukoneisiin ja tiehöyliin asennettavat järjestelmät ovat hieman kalliimpia järeämpien satelliittiantennien vuoksi. Suoraoston ja leasing-rahoituksen lisäksi koneohjausjärjestelmiä voi myös vuokrata. Mikäli käytössä on 2D- järjestelmä 3D-valmiudella, voidaan satelliittipaikannuksessa tarvittavat komponentit vuokrata tarpeen tullen. Asennus ja käyttökoulutus kuuluvat yleensä hankintahintaan. Kustannuksia tulee korjaussignaalin hankinnan lisäksi mahdollisesti myös pilvipalveluiden käytöstä, jatkotakuista ja ohjelmistojen päivityksistä. Päivitykset ovat yleensä maksuttomia tietyn ajan, esimerkiksi viisi vuotta järjestelmän hankkimisesta.

Automatisointi

Koneohjausjärjestelmän valintaan vaikuttaa mahdollisuus käyttää automatiikkaa. Osa koneohjausjärjestelmistä on pelkästään opastavia, mutta osassa on mahdollista käyttää automatiikkaa. Automatiikkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi puskukoneessa, jolloin järjestelmä liitetään koneen hydraulikkaan. Tällöin puskukoneen terä seuraa koneohjausmallia kuljettajan ohjatessa konetta. Myös kaivinkoneessa voidaan hyödyntää automatiikkaa. Tällöin kuljettaja ohjaa vain kaivupuomia ja automatiikka ohjaa kauhaa ja pääpuomia halutun kaltevuuden mukaan. Myös mahdollisuus käyttää pyöritysanturia ja sen automatiikkaa vaikuttavat valmistajan valintaan.

Tiedonsiirto

Valmistajan valintaan vaikuttaa järjestelmän tukema tiedonsiirtoformaatti. Suomessa yleisesti käytettyjä formaatteja ovat dxf-, gt- ja Inframodel-formaatit. Esimerkiksi Inframodel-formaattia ei voi vielä käyttää kaikkien valmistajien järjestelmissä. Tästä voi aiheutua haittaa, mikäli tilaaja tai pääurakoitsija haluaa käyttää kyseistä formaattia tiedonsiirtoon. Mikäli mahdollista yrityksen kannattaa selvittää pääasiallisen asiakkaan käyttämä formaatti, jotta vältetään ongelmilta.

Käytettävyys, huolto ja koulutus

Teknisten ominaisuuksien lisäksi käyttöliittymän selkeydellä ja helppokäyttöisyydellä on erittäin suuri merkitys käytön kannalta. Näitä ominaisuuksia on helpoin vertailla valmistajien simulaattoreilla ja esittelylaitteilla. Parhaan käsityksen järjestelmien eroista saa kokeilemalla ja vertailemalla eri järjestelmiä työmaalla aidossa työympäristössä. Oleellisia asioita ovat toimintojen selkeät nimitykset ja symbolit, näytön selkeys ja tarkkuus sekä käyttäjärjestelmän nopeus. Monesti valmistajan valintaan vaikuttavaa aikaisemmat kokemukset valmistajan tuotteista, kuten 2D-järjestelmistä tai mittalaitteista. Tutussa merkissä pysyminen voi nopeuttaa uuden järjestelmän käyttöönottoa, koska laitteiden toimintaperiaatteet ovat käyttäjille tuttuja. Saman valmistajan järjestelmiä käytettäessä kuljettajia ja työkoneita voidaan vaihdella vapaammin työmaalta toiselle, koska toiminnot ovat tuttuja.

Eri valmistajien järjestelmiä vertailtaessa yksi tärkeä asia on valmistajan järjestämä koulutus. Valmistajien järjestämissä koulutuksissa on eroja sekä kestoissa että laaduissa. Usein järjestelmän asentaja antaa käyttöopastuksen asennuksen yhteydessä. Osalla valmistajista on tarjolla myös eripituisia jatkokoulutuksia. Jatkokoulutus on suositeltavaa käydä muutaman kuukauden käytön jälkeen. Tällöin peruskäyttö on yleensä hallinnassa ja käyttäjä osaa esittää paremmin kysymyksiä, jotka ovat heränneet käytön aikana. Tarvittavan koulutuksen laajuus riippuu käyttäjien aikaisemmasta koneohjauskokemuksesta. Haastattelututkimuksen mukaan olisi hyödyllistä järjestää työntekijöille koulutus ennen koneohjausjärjestelmän käyttöönottoa, jotta heillä olisi perustiedot järjestelmän toiminnasta ja järjestelmä saataisiin mahdollisimman nopeasti tuottavaan työhön. Käyttäjillä olisi hyvä olla perustiedot mittaustekniikasta ja esimerkiksi koordinaatti- ja korkeusjärjestelmistä. Tällöin koneohjauksen soveltaminen on helpompaa ja myös mahdolliset virheet on helpompi havaita. Koulutukset on pyrittävä pitämään ennen käyttösesongin alkua, jotta työmaalle mentäessä olisi perustaidot hallinnassa. Käytön opettelu työn lomassa ei yleensä onnistu kovin hyvin.

Huomioitava asia on, miten valmistaja on järjestänyt järjestelmän huollon ja muut tukipalvelut. Valmistajan tarjoama maksuton etätukipalvelu on tutkimuksen mukaan erittäin hyödyllinen ja sen kautta saa avun nopeasti. Erityisesti mahdollisuus etäyhteyteen helpottaa ongelman paikantamista. Mikäli valmistajalla ei ole varsinaista etätukea, avun on saanut myös myyntihenkilöstöltä.

Korjaussignaali

Riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi satelliittipaikannuksessa pitää käyttää korjaussignaalia, jolloin paikannustarkkuus on luokkaa 1–3 cm. Käyttökohteista riippuu korjaussignaalin hankintatapa. Siihen voidaan käyttää joko kiinteää tukiasemaa tai verkkokorjauspalvelua. Mikäli yritys toimii pääasiassa samalla paikkakunnalla tai työmaat ovat pitkäkestoisia, on oman tukiaseman hankinta kustannustehokasta. Kiinteän tukiaseman kanta-

vuus riippuu tukiaseman tehosta ja maastosta. Tiiviisti rakennetut alueet, korkeat rakennukset ja tiheät metsät voivat haitata kantavuutta. Tukiaseman hankinta lisää hankintakustannuksia, mutta samaa tukiasemaa voi käyttää kaikki kantavuusalueella olevat työkonet. Tällä hetkellä myös kiinteän tukiaseman tarkkuus on hieman parempi kuin verkkokorjauspalvelulla. Suuremmilla työmailla käytetään yleensä omaa kiinteää tukiasemaa. Tukiaseman voi myös vuokrata. Verkkokorjauspalvelun käyttö on hankintakustannuksiltaan edullisempi, koska käyttö perustuu kuukausi- tai vuosilisensseihin. Huonona puolena on, että jokainen työkonet tarvitsee oman lisenssinsä. Verkkokorjauspalvelun käyttö ei aiheuta rajoituksia työalueeseen, jolloin erityisesti laajalla työalueella työskentelevälle yritykselle se on hyvä vaihtoehto. Verkkokorjauspalvelua hankittaessa pitää valita alueellinen tai valtakunnallinen palvelu. Alueellisen palvelun toimintasäde on noin 75 km ja hinta hieman edullisempi. Suomessa voidaan käyttää Geotrim Oy:n ylläpitämää Trimblen VRS-verkkoa ja Leica Geosystems Oy:n SmartNet-verkostoa.

Koneohjausmallit

Koneohjausjärjestelmää hankittaessa on hyvä miettiä etukäteen, miten koneohjausmallit hankitaan. Koneohjausmalleja voidaan tilata ulkopuoliselta yritykseltä tai tehdä itse. Eriyisesti suuremmissa hankkeissa suunnittelu on jo tietomalliperustaista, jolloin koneohjausmallit saadaan suoraan tilaajan tai rakennuttajan kautta. Koneohjausmallit voidaan teettää suunnitelma-aineiston pohjalta ulkopuolisella yrityksellä. Kustannus riippuu lähtötiedoista ja mallinnustyöhön kuluva ajasta. Helpoiten koneohjausmalli voidaan muodostaa dwg- tai dxf-tiedostoista, mutta myös pdf-muotoisten suunnitelmien pohjalta on mahdollista muodostaa koneohjausmalli.

Työmaalle toimitettavien koneohjausmallien laatu vaihtelee vielä melko paljon. Mallinuskäytäntöjen kehittyessä mallien laatu paranee ja myös urakoitsijan on vaadittava laadukkaita koneohjausmalleja. Tällä hetkellä monelle urakoitsijalle on epäselvää, mitä koneohjausmallilta voi vaatia. Ennen työmaan alkamista on tärkeää selvittää vastuukysymykset ja eri toimijoiden roolit.

Maarakennusyritys voi myös hankkia koneohjausmallien muodostamiseen tarvittavat tietokoneohjelmistot, jolloin työnjohto tai mittaushenkilöstö voi muodostaa itse omat mallit. Mallien tekeminen voi olla kustannustehokasta, mikäli henkilöstöllä on riittävästi taitoa ja aikaa mallien tekemiseen. Myös suunnitelmamuutoksiin reagoiminen voi olla nopeampaa. Tietokoneohjelmistojen lisenssit maksavat, mutta myös koneohjausjärjestelmien valmistajilla on omia ohjelmistoja, joilla pystyy tekemään ja muokkaamaan koneohjausmalleja. Lisäosia hankkimalla ohjelmistoa voi käyttää esimerkiksi määrä- ja kustannuslaskentaan.

Tiedonsiirto

Koneohjausmallit voidaan siirtää toimistolta työkoneelle internet-yhteyden, pilvipalvelun tai muistitikun avulla. Internet-yhteyden ja pilvipalvelujen käyttämiseksi pitää työkoneelle hankkia oma sim-kortti. Pilvipalveluja, kuten Infrakit-palvelua käytettäessä pitää varmistaa, että koneohjausjärjestelmässä voidaan käyttää avoimia tiedonsiirtoformaatteja, jotta mallien siirto onnistuu sujuvasti. Internet-yhteyttä käytettäessä tiedonsiirto on nopeaa ja kuljettajalla on käytössään aina päivitetty suunnitelma. Muistitikkuä käytettäessä työnjohtoon tai mittaushenkilöstön pitää käydä fyysisesti työkoneen luona toimittakseen uuden tai päivitetyn suunnitelman. Suurella työmaalla tai työmaiden sijaitessa kaukana toisistaan tämä vie paljon aikaa, mutta samalla työnjohto voi ohjeistaa työkoneen kuljettajaa työn suorittamisessa ja voidaan varmistua oikean mallin käytöstä ja mallin toimivuudesta.

Työtehtävät

Tutkimuksen mukaan henkilöstöön tai työtehtäviin ei ole tullut kovin suuria muutoksia, mutta koneohjausjärjestelmien käyttäjät ovat valikoituneet melko selkeästi. Kaivinkoneen kuljettajille yhteisiä ominaisuuksia ovat kiinnostus tekniikkaan, hyvä työmotivaatio sekä halu tehdä tarkkaa ja laadukasta työtä. Järjestelmän hallitseminen ei katso käyttäjän ikää, mutta alle 45-vuotiailla käyttöönotto sujui hieman nopeammin. Kuljettajat oppivat peruskäytön yleensä nopeasti, mutta yrityksessä on hyvä olla henkilö, joka on perehtynyt koneohjausmalleihin ja tietomallipohjaiseen rakentamiseen.

Työnjohdolla tulee olla perustiedot järjestelmien ominaisuuksista sekä ymmärrys siitä, miten ja missä työvaiheissa niitä pystytään hyödyntämään. Koneohjausjärjestelmien käyttö ei poista työnjohtoon vastuuta, joten työnjohtoon tulee perehtyä koneohjausmalleihin ennen niiden siirtämistä työkoneille. Koneohjauksen käyttö vähentää mittaushenkilöstön rutiinityötehtäviä, koska työkoneen kuljettaja näkee korko- ja linjatiedot järjestelmän näytöltä, ja näin ollen maastomerkintöjä tarvitaan huomattavasti vähemmän. Mittaushenkilöstö voikin paremmin keskittyä mallien tekemiseen, muokkaamiseen ja siirtoon työkoneille. Työkoneen kuljettaja pystyy suoriutumaan työtehtävistä itsenäisemmin ja sen myötä kuljettajan vastuu kasvaa. Kuljettajan on esimerkiksi otettava toteumamittauksia ja pidettävä huolta järjestelmän tarkkuudesta käymällä riittävän usein tarkistusmittauspisteellä ja tarvittaessa kalibroitava kauha uudestaan.

8.2 Käyttöönoton ja käytön ongelmakohdat ja niiden ratkaisut (TK 2)

Tutkimuksessa selvisi, että itse koneohjausjärjestelmien käyttöönoton ja käytön aikana on ilmennyt melko vähän ongelmia. Käyttöönottoaiheessa jonkin verran ongelmia ja haasteita ovat aiheuttaneet työntekijöiden tai yrittäjän ennakoasenteet koneohjausjärjestelmää kohtaan. Erityisesti yli 45-vuotiaalla henkilöillä on aluksi ollut epäilyksiä ja jopa

pelkoja järjestelmää kohtaan. Ne ovat pääasiassa johtuneet epäilyksistä siitä, miten he oppivat käyttämään järjestelmää. Nuoremmilla työntekijöillä epäilykset ovat kohdistuneet enemmän järjestelmän tarkkuuteen ja toimivuuteen. Olennainen huomio on, että muutaman päivän käytön jälkeen ennakkoluulot ja epäilykset ovat muuttuneet huomattavasti positiivisemmiksi, koska peruskäyttö on ollut helppo oppia.

Koneohjausjärjestelmän hankkimista harkitsevassa yrityksessä tulisi kartoittaa työntekijöiden asenteita ja mahdollisia ennakkoluuloja koneohjausta kohtaan. Mikäli ennakkoluuloja havaitaan, voidaan työntekijöille järjestää koulutus, missä kerrotaan koneohjausjärjestelmän peruseriaatteen ja miten sen käyttöönotto vaikuttaa työtehtäviin. Vaikka ennakkoluuloja ei esiintyisikään, koulutuksen järjestäminen voi nopeuttaa järjestelmän käyttöönottoa.

Käytön aikana on havaittu muutamia teknisiä ongelmia. Useammalla haastatellulla on ollut ongelmia antureiden kanssa. Antureita on irronnut tai rikkoutunut käytön aikana. Myös antureiden käytettävyydessä yli 30 asteen pakkasessa on havaittu ongelmia. Irtoamiset ovat johtuneet anturin osumisesta esteeseen tai huolimattomasta asennuksesta. Antureiden tekniset viat ovat vähentyneet valmistajien kehitystyön tuloksena, mutta kehitystä tarvitaan edelleen, jotta antureiden käyttöikä saataisiin pidennettyä.

Koneohjausjärjestelmien käyttöä ovat jonkin verran haitanneet satelliittipaikannuksen häiriöt. Kaikilla haastatelluilla on ollut jonkin verran ongelmia paikannussignaalin kuuluvuudessa. Ongelmia ovat aiheuttaneet erityisesti korkeiden rakennusten tai puiden ja pensaiden aiheuttamat katvealueet. Häiriöitä oli havaittu varuskunta-alueen läheisyydessä ja radiovahvistimen läheisyydessä. Ongelmia aiheutuu myös, mikäli näkyvillä on liian paljon tai liian vähän satelliitteja. Oman tukiaseman ja verkko-RTK-palvelun välillä ei havaittu eroja häiriöiden määrissä tai tyypeissä. Katvealueiden aiheuttamat ongelmat ovat yleensä hetkellisiä ja ne korjaantuvat konetta siirtämällä.

Selkeästi eniten ongelmia on havaittu koneohjausmalleissa. Ongelmia ovat aiheuttaneet seuraavat asiat:

- Pistemäisillä rakenteilla ei koordinaatteja
- Puutteelliset mallit esim. tierakenteesta mallinnettu vain valmis pinta
- Suunnitelmamuutoksia unohdettu mallintaa tai mallia joudutaan odottelemaan
- Puutteita mallien yhdistämisessä: rakenteiden törmäyksiä yms.
- Ongelmat uuden ja vanhan yhdistämisessä: korkeudet eivät täsmää
- Kerrostalohankkeissa ei ole mallinnettu perustuksia
- Olemassa olevat putket yms. puuttuvat malleista
- Katujen nimet puuttuvat yleensä
- Suurikokoiset tiedostot ja päällekkäiset viivat hidastavat koneohjausjärjestelmää

Kaikki ongelmat eivät johdu pelkästään uusista toimintatavoista, vaan osa on ollut havaittavissa myös perinteisissä suunnitelmissa, kuten ongelmat uuden ja vanhan yhdistämisessä. Koneohjausmalleissa havaittuja puutteita voidaan vähentää yhtenäistämällä suunnittelu- ja mallinnuskäytäntöjä. Suuressa roolissa on mallintajan ammattitaito, viiteliäisyys ja käytettävissä oleva aika. Esimerkiksi ympäröivien rakenteiden lisääminen koneohjausmalliin helpottaa kuljettajan hahmottamista ja työskentelyä. Koneohjausmallien tekemiseen on varattava riittävästi aikaa, jotta mallista saadaan kerralla käyttökelpoinen. Parhaiten koneohjausmalleja voidaan kehittää kuuntelemalla työkoneiden kuljettajien kokemuksia.

Yksi merkittävin ongelma koneohjausjärjestelmien hankinnassa on korkeat hankintakustannukset. Erityisesti pk-yritykselle investointi on hyvin merkittävä, varsinkin jos järjestelmä hankitaan kerralla useampaan koneeseen. Koneohjausjärjestelmää ei kannata asentaa kuluneeseen koneeseen, joten edessä voi olla myös konekannan päivitys. Takaisinmaksuaika on usein hankala määrittää, mikä osaltaan aiheuttaa epävarmuutta järjestelmän hankintaan. Erityisesti tuntiperustaisissa töissä takaisinmaksuaika on kohtuuttoman pitkä. Takaisinmaksuaika lyhenee, mitä tehokkaammin koneohjausjärjestelmää pystytään hyödyntämään. Vuosittaisia tuottoja on kuitenkin vaikea selvittää ilman urakoitsijan omaa kokemusta, koska kohteet ja työtehtävät vaihtelevat hyvin paljon.

8.3 SWOT-analyysi koneohjauksesta (TK 3)

Haastattelututkimuksen ja kirjallisuustutkimuksen perusteella tehtiin SWOT-analyysi, eli kartoitettiin hyödyt, haitat, uhat ja mahdollisuudet koneohjauksen käytöstä pk-maarakennusyrityksen näkökulmasta. Mahdollisuuksia ja uhkia tarkasteltiin myös hieman laajemmalla näkökulmalla. SWOT-analyysin on tarkoitus tuottaa materiaalia hankintapäätöksen tueksi. Kuvassa 23 on esitetty analyysin tulokset.

<p style="text-align: center;">Hyödyt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Työn tehostuminen ja tarkentuminen • Inhimillisten virheiden määrä vähenee • Polttoaine- ja materiaalisäästöt • Mittauspalveluiden ja maarakennustyöntekijöiden tarpeen väheneminen • Kuljettajan työ itsenäisempää • Suunnitelmamuutokset reaaliajassa työmaalle • Massojen kartoitus 	<p style="text-align: center;">Haitat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hankintakustannus • Ei voida välttämättä hyödyntää kaikissa hankkeissa • Häiriöt hidastavat työtä • Koneohjausmallien teettäminen • Virheet koneohjausmalleissa • Kuljettajan vastuun lisääntyminen • Käytön opettelu vie aikaa • Olemassa olevien kaapelien, putkien yms. tiedot liian epätarkkoja
<p style="text-align: center;">Mahdollisuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liikevaihdon kasvattaminen • Osallistuminen hankkeisiin, joissa vaaditaan koneohjausta • Alan kehityksessä mukana oleminen • Työn laatu ja läpinäkyvyys paranevat • Sovellusmahdollisuudet • Uusien työntekijöiden saanti • Alan ja yrityksen imago 	<p style="text-align: center;">Uhat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koneohjauksen hallitsevat hinnoittelevat itsensä korkealle • Kuljettajien valikoituminen • Puutteet työkoneen ja työmaatoimintojen hallinnassa, jos alusta asti opeteltu työskentelemään koneohjauksen avulla • Puutteellisen osaamisen takia ei saada kaikkia hyötyjä • Tilaajien / rakennuttajien tietämättömyys • Epäselvyydet eri osapuolten vastuissa ja rooleissa

Kuva 23. SWOT-analyysi koneohjauksen käytöstä.

Hyödyt

Maarakennusyrityksen näkökulmasta koneohjauksen merkittävimpiä hyötyjä ovat työn tehostuminen ja tarkentuminen. Tutkimuksen mukaan massatalous tarkentuu, mikä tuo säästöjä erityisesti silloin, kun yrityksellä ei ole omaa kiviainestuotantoa. Työ tehostuu,

kun rakenteet saadaan rakennettua kerralla oikein ja odotteluajat vähenevät kuljettajan pystyessä tekemään töitä itsenäisemmin. Odotteluajojen ja turhien välivaiheiden vähenemisen myötä työn läpimenoaika lyhenee ja polttoainetta kuluu vähemmän. Erityisesti urakoissa työmaamittausten väheneminen on merkittävä hyöty.

Perinteisiä maastomerkinöitä ei koneohjaukseen perustuvalla työmaalla välttämättä tarvita ollenkaan, jolloin ulkopuolisia mittauspalveluita ei tarvitse ostaa ja vastaavasti yrityksen oma mittaushenkilöstö voi keskittyä muihin työtehtäviin paremmin. Koneohjauksen myötä kuljettaja pystyy työskentelemään itsenäisemmin, mikä tutkimuksen mukaan lisää kuljettajan työmotivaatiota ja vähentää palkkakustannuksia. Kuljettaja pystyy myös siirtymään uuteen kohteeseen nopeammin ilman mittaushenkilöstön odottelua. Koneohjauksen käyttö ei poista maarakennustyöntekijän tarvetta kokonaan, mutta työtehtäviin voi tulla muutoksia. Maarakennustyöntekijä voi koron tarkkailun sijaan keskittyä paremmin esimerkiksi kaivojen ja putkien asennukseen. Koneohjausjärjestelmät ovat tulleet jäädäkseen, eikä yksikään haastateltu enää luopuisi niistä. Erään haastatellun mukaan sitä voisikin verrata kallistuvaan kauhanpyörittäjään verrattavaksi laitteeksi, mikä alkaa olla jo vakiovaruste uutta konetta hankittaessa.

Haitat

Koneohjauksen selkein haitta on korkeat hankintakustannukset. Koneohjausjärjestelmän olisi hyvä olla useammassa yrityksen työkoneessa, mutta tällöin kustannukset ovat jo erittäin korkeat. Takaisinmaksuajan ja järjestelmän tuomien säästöjen määrittäminen on usein hankalaa, koska kattavaa käyttökokemusta ei ole saatavilla. Haittana on myös se, että järjestelmää ei välttämättä pystytä täysin hyödyntämään kaikissa hankkeissa. Taitojen ja kokemuksen myötä järjestelmää voidaan kuitenkin hyödyntää jollain tavalla lähes kaikissa maarakennukseen liittyvissä työtehtävissä. Käytön opettelu vie jonkin verran aikaa sekä työnjohdolta että työkoneiden kuljettajilta.

Teknisen laitteen ollessa kyseessä mahdolliset häiriöt ja viat voivat keskeyttää työt. Häiriöitä ovat aiheuttaneet esimerkiksi anturien viat ja irtoamiset, satelliittipaikannuksen katvealueet ja internet-yhteyden katkeaminen. Tutkimuksen mukaan viat on saatu korjattua nopeasti esimerkiksi etätuen avulla. Mikäli saatavilla ei ole valmiita koneohjausmalleja, ne joudutaan teettämään ulkopuolisella yrityksellä, mikä aiheuttaa jonkin verran kustannuksia. Yrityksen oma henkilöstö voi myös tehdä malleja, mikäli yrityksellä on tarvittavat ohjelmistot käytössä. Koneohjausmalleissa on havaittu virheitä, jotka hidastavat työtä tai keskeyttävät ne kokonaan. Ongelmia voi myös tulla, mikäli olemassa olevien kaapelien tai putkien tietoja ei ole käytettävissä tai ne ovat liian epätarkkoja. Tällöin tarvitaan kaapelinäyttö ja lisäksi kaivuun aikana tarvitaan maarakennustyöntekijää.

Kuljettajan vastuu kasvaa perinteisiin menetelmiin verrattuna jonkin verran, koska kuljettajan täytyy pitää huolta järjestelmän mittaustarkkuudesta käymällä riittävän usein tarkistusmittauspisteellä ja kalibroimalla kauhat uudelleen niiden kuluessa. Vastuu lisääntyy

myös, jos kuljettaja tekee toteumamittaukset. Kuljettajan vastuun lisääntyminen voidaan nähdä sekä hyötynä että haittana. Ammattitaitoisen ja motivoituneen kuljettajan työhön koneohjaus tuo lisää mielenkiintoa, mutta huolimaton kuljettaja voi oikoa toteumamittauksien otossa tai tarkistuspisteillä käynnissä, jolloin menetetään mahdolliset hyödyt ja lopputuotteesta ei saada laadukasta. Huomioitavaa on, että kuljettajan ammattitaito ja tarkkuus ovat myös koneohjausta käytettäessä erittäin merkittävässä roolissa.

Mahdollisuudet

Maarakennusyriykselle koneohjausjärjestelmän käyttöönotto tuo lukuisia mahdollisuuksia. Työn tehostumisen ja saatavien säästöjen myötä yrityksen liikevaihtoa on mahdollista kasvattaa. Lisäksi yritys voi osallistua sellaisiin tarjouskilpailuihin ja hankkeisiin, joissa vaaditaan koneohjauksen käyttöä. Tutkimuksen mukaan juuri tulevan työkannan turvaaminen on merkittävä tekijä koneohjausjärjestelmää hankittaessa. Koneohjauksen hallitseminen mahdollistaa sen hyödyntämisen entistä monipuolisemmin. Oleellista on myös olla mukana alan yleisessä kehityksessä.

Koneohjausjärjestelmien käyttö lisää työn läpinäkyvyyttä ja parantaa rakentamisen laatua, jolloin koko alan mainetta voidaan parantaa. Uutta tekniikkaa hyödyntävä yritys voi olla erityisesti nuorten työhakijoiden silmissä houkuttelevampi työnantaja kuin vanhoissa menetelmissä pysyttelevä yritys. Myös laajemmalla tasolla uuden tekniikan käyttö voi houkuttaa alalle lisää tekijöitä.

Haasteet

Koneohjauksen käytön yhtenä haasteena on edelleen tilaajien ja rakennuttajien epätietoisuus sen tuomista hyödyistä. Tämä näkyy erityisesti siinä, että koneohjauksen käytöstä ei olla valmiita maksamaan. Osa tilaajista esimerkiksi vaatii koneohjauksen käyttöä, mutta käytöstä ei välttämättä saa korvausta. Erityisesti tuntiperustaisissa töissä tämä koettiin ongelmana, koska järjestelmän takaisinmaksuaika venyy kohtuuttoman pitkäksi. Tietoisuuden lisääntyminen tulee luultavasti nostamaan korvauksia ajan saatossa. Myös vastuukysymykset ovat olleet epäselviä, esimerkiksi tilanteessa, jossa järjestelmän valmistajan kalibroinnin jälkeenkin havaittiin virheitä mittaustarkkuudessa. Vastuukysymykset ja eri toimijoiden roolit tulee selvittää ennen töiden aloittamista.

Koneohjausjärjestelmän käytön ja hyödyntämisen opettelu vie aikaa, mutta puutteellisen osaamisen myötä osa järjestelmän ominaisuuksista voi jäädä käyttämättä. Riittävän laajassa käyttökoulutuksessa käyttäjät oppivat perustaidot ja jatkokoulutusten myötä taidot ja tiedot karttuvat, jolloin järjestelmän ominaisuudet saadaan paremmin käyttöön. Myös mahdolliset virheet voidaan huomata helpommin, kun koneohjauksen yleiset periaatteet ovat tiedossa. Koneohjausjärjestelmien käyttöönoton uhkana on kuljettajien valikoituminen. On mahdollista, että järjestelmän hyvin hallitsevat hinnoittelevat itsensä korkealle,

jolloin palkkakustannukset kasvavat ja järjestelmän takaisinmaksuaika pitenee entisestään. Kuljettajan vastuun kasvaminen voi mahdollisesti nostaa kuljettajien yleistä palkkatasoa.

Uutta tekniikkaa käyttöönotettaessa ongelmia voi tulla, mikäli tuodittaudutaan pelkästään sen varaan. Erityisen ongelmallista on, jos kuljettaja opettelee alusta asti työskentelemään 3D-koneohjauksen perusteella. Tällöin kuljettajan ammattitaito ja ”silmä” eivät kehity, eivätkä työskentelytekniikat tai mittaustekniikat välttämättä ole hallussa. Myös työmaan muiden toimintojen havainnointi, piirustusten lukutaito ja hahmotuskyky voivat jäädä puutteellisiksi. Kuljettajalla tulee olla riittävän vahvat perustaidot, ennen koneohjauksen käyttöönottoa. Tämä tulee ottaa huomioon alan koulutuksessa.

8.4 Tarkastuslista

Kirjallisuus- ja haastattelututkimuksen pohjalta laadittiin tarkastuslistan tyyppinen listaus koneohjausjärjestelmän hankintaa harkitsevan yrityksen käyttöön. Tarkastuslistan tarkoituksena on toimia koneohjausjärjestelmän hankinnasta vastaavan henkilön muistilistana järjestelmää hankittaessa ja käyttöönotettaessa. Koneohjausjärjestelmän hankinta on merkittävä investointi, joten se tulee suunnitella huolellisesti.

Tarkastuslista on esitetty liitteessä C.

9. YHTEENVETO

9.1 Tutkimuksen tulokset

Tämän diplomityön tavoitteena oli tutkia koneohjausjärjestelmän hankintaa, käyttöönottoa ja käyttöä pk-maarakennusyrityksen näkökulmasta. Tavoitteena oli selvittää, millaisia asioita tulee ottaa huomioon koneohjausjärjestelmää hankittaessa. Lisäksi tavoitteena oli selvittää järjestelmien käytön aikana havaittuja ongelmakohtia ja etsiä niihin ratkaisuja. Koneohjausjärjestelmien käyttöä tarkasteltiin SWOT-analyysin avulla.

Koneohjausjärjestelmän hankinta

Ennen järjestelmän hankkimista tulee selvittää, millaisissa hankkeissa, työtehtävissä ja työkoneissa koneohjausta on tarkoitus käyttää. Hankintapäätöksen tekemistä helpottaa, jos tiedossa on vähintään yksi merkittävä hanke, missä koneohjausta voidaan varmasti hyödyntää. Hankintaa tulee kuitenkin tarkastella useamman vuoden aikajänteellä. Valittavana on 2D- ja 3D-järjestelmiä, sekä näiden väliin sijoittuva 2D-järjestelmä 3D-valmiudella. Kehittyneimmät ja monipuolisimmat ominaisuudet tarjoaa 3D-järjestelmä.

Hankintavaiheessa tulee pohtia hankintatapa, joita ovat suoraosto, osamaksu, rahoitusleasing sekä vuokraus. Koneohjausjärjestelmä voidaan asentaa käytössä olevaan työkoneeseen, mikäli paikannustarkkuutta haittaavia vällyksiä nivelissä ei ole. Uuteen koneeseen asennettaessa tulee ottaa huomioon mahdolliset valmiudet tietynmerkkiselle koneohjausjärjestelmälle. Eri valmistajien komponentteja ei useinkaan ole mahdollista käyttää. Tarkoitus käyttää automatiikkaa kaivinkoneessa, tiehöylässä tai puskukoneessa ohjaa valmistajan valintaa, koska osa järjestelmistä on ainoastaan opastavia. Myös käyttöympäristön tuomat rajoitukset tulee huomioida.

Käytön kannalta tärkeitä huomioitavia seikkoja ovat järjestelmän tukemat tiedonsiirtoformaatit, miten huolto ja tekninen tuki toimivat ja millaista koulutusta valmistaja järjestää käyttöönottovaiheessa ja sen jälkeen. Hankintahinnan lisäksi kustannuksia aiheuttavat järjestelmän ylläpito, pilvipalvelut ja korjaussignaalin hankinta. Valintaa ei kannata tehdä pelkän hankintahinnan perusteella, vaan järjestelmän kaikkien ominaisuuksien perusteella. Huomioitavia asioita ovat, miten satelliittipaikannuksen vaatima korjaussignaali hankitaan sekä miten koneohjausmallit on tarkoitus hankkia ja siirtää toimistolta työkooneelle. Etukäteen kannattaa myös pohtia, onko yrityksessä riittävää osaamista, vai tarvitaanko muutoksia resursseihin.

Havaitut ongelmakohdat

Tutkimuksessa selvisi, että itse koneohjausjärjestelmien käyttöönoton ja käytön aikana on ilmennyt melko vähän ongelmia. Käyttöönottoaiheessa jonkin verran ongelmia ja haasteita ovat aiheuttaneet työntekijöiden tai yrittäjän ennakkosenteet koneohjausjärjestelmää kohtaan. Ennakkoluuloja voidaan vähentää koulutuksen avulla.

Käytön aikana ilmenneet ongelmat liittyvät useimmiten antureihin ja paikannussignaalin kuuluvuuteen. Koneohjausmallien virheet ja puutteet ovat aiheuttaneet tutkimuksen mukaan eniten ongelmia. Malleista on esimerkiksi puuttunut rakenteita tai niitä on ollut päällekkäin. Myös liian suurten tiedostojen on havaittu hidastavan järjestelmän toimintaa. Suunnittelu- ja mallinnuskäytäntöjä yhtenäistämällä mallien laatua saadaan parannettua. Koneohjausmallien tekemiseen on myös varattava riittävästi aikaa, jotta mallista saadaan kerralla käyttökelpoinen.

Koneohjausjärjestelmien käyttö

Maarakennusyriykselle koneohjauksen käyttöönotto tarjoaa useita hyötyjä. Merkittäviä hyötyjä ovat työskentelyn tehostuminen ja tarkentuminen. Koneohjauksen käyttö vähentää maarakennustyöntekijöiden ja mittaushenkilöstön tarvetta, jolloin säästöjä syntyy palkkakustannusten vähentymisen myötä. Työn tehostuminen tuo säästöjä esimerkiksi polttoainekuluissa. Työnjohto voi seurata työn edistymistä reaaliajassa ja suunnitelma-
muutokset saadaan viiveettä työkoneelle. Koneohjausjärjestelmän avulla voidaan myös kartoittaa toteutuneet massamäärät tarkemmin.

Hyötyjen lisäksi koneohjauksen käytöllä on myös haittoja. Suurimpana haittana on korkea hankintakustannus. Järjestelmää ei välttämättä voida hyödyntää kaikissa hankkeissa ja häiriöt hidastavat työskentelyä. Koneohjausmallien teettäminen tuo kustannuksia, mikäli ne hankitaan ulkopuoliselta yritykseltä, lisäksi malleissa voi esiintyä virheitä ja puutteita.

Koneohjauksen käyttö luo yritykselle uusia mahdollisuuksia. Esimerkiksi työn tehostumisen myötä voidaan kasvattaa liikevaihtoa. Yritys voi osallistua tarjouskilpailuihin ja hankkeisiin, joissa vaaditaan koneohjauksen käyttöä. Oleellista on myös olla mukana alan yleisessä kehityksessä. Koneohjausjärjestelmien käyttö lisää työn läpinäkyvyyttä ja parantaa rakentamisen laatua, jolloin koko alan mainetta voidaan parantaa. Uutta tekniikkaa hyödyntävä yritys voi olla erityisesti nuorten työnhakijoiden silmissä houkuttelevampi työnantaja kuin vanhoissa menetelmissä pysyttelevä yritys. Myös laajemmalla tasolla uuden tekniikan käyttö voi houkutella alalle lisää tekijöitä.

Koneohjauksen käytön uhkana on edelleen tilaajien ja rakennuttajien epätietoisuus tietomallinnuksen ja koneohjauksen hyödyistä. Myös eri toimijoiden vastuissa ja rooleissa on ollut epäselvyyksiä. Uhkana on myös se, että koneohjausjärjestelmät hyvin hallitsevat henkilöt hinnoittelevat itsensä korkealle, jolloin takaisinmaksuaika pitenee entisestään.

Puutteellisen osaamisen takia ei kuitenkaan saada hyödynnettyä järjestelmää parhaalla mahdollisella tavalla.

Uutta tekniikkaa käyttöönotettaessa ongelmia voi tulla, mikäli tuudittaudutaan pelkästään sen varaan. Erityisen ongelmallista on, jos kuljettaja opettelee alusta asti työskentelemään 3D-koneohjauksen perusteella. Tällöin kuljettajan ammattitaito ei kehity, eivätkä työskentelytekniikat tai mittaustekniikat välttämättä ole hallussa. Kuljettajalla tulee olla riittävän vahvat perustaidot, ennen koneohjauksen käyttöönottoa. Tämä tulee ottaa huomioon alan koulutuksessa.

Tietomallipohjaiset toimintatavat ja niiden myötä koneohjausjärjestelmät tulevat yleistymään myös pienemmillä infratyömailla. Uusi tekniikka ei kuitenkaan ole oikotie onneen, vaan eri osapuolten, kuten suunnittelijoiden, työnjohdon ja työkonoiden kuljettajien ammattitaito on edelleen merkittävässä roolissa jokaisessa hankkeessa.

9.2 Tutkimuksen luotettavuus

Haastattelututkimuksen tulokset edustavat aina haastateltujen henkilöiden henkilökohtaisia näkemyksiä, eivätkä ne välttämättä edusta kaikkien koneohjausjärjestelmiä käyttävien näkemyksiä. Niiden perusteella voidaan kuitenkin vetää suuntaa-antavia johtopäätöksiä. Haastattelemalla koneohjausjärjestelmien käyttäjiä ympäri Suomea olisi saatu kattavampi tutkimus. Tutkimuksen luotettavuutta lisää se, että haastatellut olivat hyvin perillä koneohjausjärjestelmien käytöstä edustamissaan yrityksissä ja myös yleisesti alalla. Analyysiosiossa haastattelut kirjoitettiin auki nauhoitteen ja haastattelun aikana tehtyjen muistiinpanojen perusteella. Analysointi tehtiin näiden tietojen perusteella mahdollisimman objektiivisesti. Tutkijan omia näkemyksiä ja ennakkokäsityksiä koneohjaukseen liittyen ei huomioitu.

Empiirisessä osassa tehty arvio koneohjauksen kannattavuudesta on yksinkertaistettu ja melko karkea. Sen avulla voidaan kuitenkin vetää suuntaa-antavia johtopäätöksiä. Tarkempaan tulokseen olisi päästy esimerkiksi pyytämällä tarjous koneohjausmallin tekemisestä niitä tekeviltä yrityksiltä. Se kuitenkin jätettiin tekemättä aikataulullisista syistä. Tulosta olisi saatu tarkennettua myös, mikäli kuhunkin työvaiheeseen kuluneet työajat olisi saatu määritettyä tarkemmin. Tämä edellyttäisi muutoksia yrityksen tuntikirjausmenetelmiin ja laajemman jälkilaskenta-aineiston keräämistä. Jälkilaskenta-aineiston keräämisessä apuna voidaan käyttää koneohjausjärjestelmällä tehtyjä toteumamittauksia. Esimerkiksi leikkausta tehtäessä kuljettaja voi ottaa toteumamittaukset paaluväleittäin, jolloin saadaan tietoon leikkaukseen kulunut aika.

9.3 Jatkotutkimusaiheet

Tutkimuksessa todettiin, että koneohjausjärjestelmän kannattavuutta on hankala määrittää yksiselitteisesti. Esimerkiksi takaisinmaksuaikaa on hyvin hankala määrittää, koska

saatavilla ei ole tarkkaa tietoa järjestelmän mahdollistamista vuosittaisista tuotoista. Tuotoja ja säästöjä on vaikea määritellä, koska hankkeet ovat erilaisia. Tutkittua tietoa on tällä hetkellä saatavilla lähinnä suurista väylähankkeista, mutta pienemmistä hankkeista ei ole juurikaan saatavilla tietoa.

Tutkimisen arvoista olisi myös, miten tietomalleja voitaisiin paremmin hyödyntää tarjouslaskentavaiheessa. Tällä hetkellä urakoitsijat saavat harvoin malleja käyttöön ennen urakan alkamista. Malleista olisi esimerkiksi saatavilla tarkemmat massamäärät, jolloin urakoitsijoiden tarjoukset olisivat lähempänä toisiaan. Myös yleisemmällä tasolla tietomallien käyttöä ja niiden hyödyntämistä infrarakentamisen eri vaiheissa tulisi tutkia, jotta niitä pystyttäisiin hyödyntämään entistä paremmin. Lisätutkimuksia tulisi tehdä erityisesti urakoitsijan näkökulmasta. Erityisesti työkoneiden automatiikan kehittäminen tarjoaa lukuisia tutkimusaiheita.

Tutkimuksessa selvisi, että työnjohdon kannalta ongelmana on hankkeen ja työvaiheiden hahmottaminen ilman maastomerkitöjä. Työnjohdolle tarkoitettuja tablet-laitteita on jonkin verran markkinoilla, mutta niitä pitäisi kehittää edelleen, jotta ne olisivat myös pk-yritysten saatavilla ja niiden käyttö olisi taloudellisesti kannattavaa. Erityisen tärkeää olisi testata laitteita käytännön työssä työmaaolosuhteissa.

LÄHTEET

- [1] Liikennevirasto, Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje, Saatavissa: <https://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/inframallit/tietomalliohjeistus#.WhPmhGc-oqQ>.
- [2] A. Kylmä, Tietomallien hyödyntäminen tien yleissuunnittelussa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 3/2015, 2015. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/.../lts_2015-03_tietomallien_hyodyntaminen_web.pdf.
- [3] BuildingSMART Finland Yleiset inframallivaatimukset YIV2015, Osa 2 Yleiset mallinnusvaatimukset. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.
- [4] H. Mäkelä, Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015 julkistetaan toukokuussa, InfraBIM Tiedotuslehti, 2015. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wpcontent/uploads/2015/03/INFRABIM_Tiedotuslehti2015_web.pdf.
- [5] BuildingSMART Finland YIV Yleiset inframallivaatimukset päivitystyö etenee työryhmissä. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/yiv-paivitystyoeetenee/>.
- [6] BuildingSMART Finland, InfraBIM -nimikkeistö (suunnittelu-, mittaus- ja tietomallinimikkeistö), 2015. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>.
- [7] Liikennevirasto, Tietomallipohjaisen suunnittelu- ja rakentamisprosessin Infra model3-pilotti. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2015-17_tietomallipohjaisen_suunnittelu_web.pdf.
- [8] PRE InfraFINBIM Inframodel-ryhmä, Inframodel - käyttöönnotto-ohje versio 1.0, 2013. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/inframodel/>.
- [9] P. Palviainen, Älykäs koneohjaus, Tierakennusmestari, Vol. 2, 2016. Saatavissa: www.tierakennusmestari.com/lehdet/Palviainen.pdf.
- [10] A. Partainen, Mallipohjaisen hankkeen lähtötiedot, Liikenneviraston julkaisu, 2016. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/.../opin_2016-01_mallipohjaisen_hankkeen_web.pdf.
- [11] J. Salmi, Inframallintamisen visio 2015, InfraBIM-Tiedotuslehti, 2015, pp. 24. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim-tiedotuslehti-viestii-inframallintamisen-kaytannoista-vaatimuksista-ja-visiosta/>.
- [12] T. Vainio, E. Nippala, Infrarakentaminen muutoksessa, osa 4 – Tulevaisuuden muutokset ja haasteet, Infrarakentaminen muutoksessa, 2014, pp. 20. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/sites/Infra2030/4_tulevaisuuden_muutokset_haasteet.pdf.

- [13] Liikennevirasto, Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta, koekäytössä oleva ohje, Liikenneviraston ohjeita, 2014. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/.../lo_2014-20_tiehankkeiden_mallipohjaisen_web.pdf.
- [14] T. Perttula, Katsaus bSF:n toimintaan (nimikkeistö, ohjeet, formaatti ja kansainvälinen toiminta), BuildingSMART Finland Inframallintamisen päivä 2017, 2017. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/buildingsmart-finland-inframallintamisen-paivan-2017-esitykset/>.
- [15] A. Kiviniemi, BIM käyttöön Britanniassa-Onko konservatiivinen Britannia ohittamassa Suomen? University of Salford, Manchester, 2014. Saatavissa: http://ril.easypage.fi/media/files/tietomallit/bim_in_uk_20111013.pdf.
- [16] BuildingSMART Finland, Yleiset inframallivaatimukset YIV2105, Osa 5: Rakennemallit, 2015, <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.
- [17] J. Kauppinen, Kustannustehokas suuntima-anturi kaivinkoneen työnohjaukseen, Tampereen teknillinen yliopisto, 2010. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/6650>.
- [18] Novatron, Xsite-EASY esite. Saatavissa: (viitattu 11.12.2017) <http://novatron.fi/koneohjaus/kaivinkoneisiin/xsite-easy/>.
- [19] Novatron, Mitä on koneohjaus. Saatavissa: (viitattu 11.12.2017) <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>.
- [20] T. Rauhala, Koneohjaus ja 3D-mallit maarakennustyömaalla, CityGeoModel-seminaari 1.4.2016. Saatavissa: http://www.citygeomodel.fi/dokumentit/Koneohjaus_ja_3D-mallit_maarakennustyomaalla_TRauhala.pdf.
- [21] Trimble, Koneohjausratkaisut. Saatavissa: (viitattu 15.1.2018) <https://www.tekninenkauppa.fi/tuoteryhmat/koneohjaus-ja-infra-alan-teknologia/koneohjausratkaisut>.
- [22] Liikennevirasto, Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohje, Liikenneviraston ohjeita 18/2011. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2011-18_tie-ja_ratahankkeiden_web.pdf.
- [23] Novatron, Paikannuksen perusteet, Älykäs koneohjaus infratyömaalla-koulutus, 2017.
- [24] J. Junnonen, Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu, Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy, 2009, 102 p.
- [25] Maanmittauslaitos N2000 valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. Saatavissa: (viitattu 18.1.2018) http://maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/N2000_Valtakunnallinen_korkeusjarjestelma.pdf.
- [26] Mikkelin kaupunki, Tiedote N2000-korkeusjärjestelmään siirtymisestä.

- Saatavissa: (viitattu 18.1.2018) <https://hallinta-mikkeli.kunta-api.fi/wp-content/uploads/2017/11/Tiedote-N2000.pdf>.
- [27] Tampereen kaupunki, Tampereen kaupunki uudistaa tasokoordinaatti- ja korkeusjärjestelmänsä. Saatavissa: (viitattu 18.1.2018) <http://milry.fi/2011/tampereen-kaupunki-uudistaa-tasokoordinaatti-ja-korkeusjarjestelmansa/>.
- [28] P. Laurila, Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet, 4th ed. Rovaniemen ammatikorkeakoulu, Rovaniemi, 2012, 407 p.
- [29] P. Kilpeläinen, K. Nevala, P. Tukeva, L. Rannanjärvi, T. Näyhä, T. Parkkila, Älykäs tietyömaa. Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus, VTT Tiedotteita 2255, 2004. Saatavissa: www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf
- [30] T. Kivinen, Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa, Aalto-yliopisto, 2016, 98 p.
- [31] M. Sammatti, Automaattinen kallistus, Koneviesti, Vol. 65, Iss. 13, 2017.
- [32] Liikennevirasto, Sähkörataohjeet, Liikenneviraston ohjeita 7/2016, 2016. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2016-07_sahkorataohjeet_web.pdf.
- [33] A. Turpeinen, Digisukupolvi saapuu, Koneviesti, Vol. 65, Iss. 17, 2017.
- [34] R. Heikkilä, M. Jaakkola, Johdatus tienrakentamisen automaatioon, Tiehallinnon selvityksiä 61/200, 2005. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf>.
- [35] H. Tanska, Tietomallinnus tilaajan näkökulmasta nyt ja tulevaisuudessa, 6.5.2015. Saatavissa: http://www.nvfnorden.org/library/Files/Utskott-och-tema/Utformning-av-vagar-och-gator/10_Tanska_PTL%20semi-naari%206.5.2015%20BIM%20tilaajan%20nakokulmasta.pdf
- [36] Caterpillar Malaga Demonstration & Learning Center, Road Construction Production Study, 2006. Saatavissa: <https://construction.trimble.com/sites/default/files/literature-files/2016-07/CAT-Road-Construction-Production-Study-White-Paper-EN.pdf>.
- [37] S. Dadhich, U. Bodin, U. Andersson, Key challenges in automation of earth-moving machines, Automation in Construction, Vol. 68, 2016, pp. 212-222. Saatavissa: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-9131>.
- [38] Volvo Construction Equipment Oy, Pyöräkuormaajat. Saatavissa: https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/wheel-loaders/wheel-loaders/brochures/brochure_1350f_t3_fi_15_20000925_e.pdf.
- [39] Novatron, Tehoa pyöräkuormaajatyöskentelyyn koneohjausjärjestelmällä. Saatavissa: (viitattu 1.12.2017) <http://koneohjaus.blogspot.fi/2014/09/tehoa-pyöräkuormaajatyöskentelyyn.html>.

- [40] Leica Geosystems, Koneohjausratkaisut. Saatavissa: (viitattu 15.1.2018) http://www.leica-geosystems.fi/fi/Koneohjaus_4677.htm.
- [41] Konepörssi, 3D-koneohjaus tulossa maantiivistykseenkin. Saatavissa: (viitattu 30.11.2017) <http://www.koneporssi.com/uutiset/3d-koneohjaus-tulossa-maantiivistykseenkin/>.
- [42] K. Laukkanen, P. Halonen, E. Pyy, Sitomattomien materiaalien jatkuvatoiminen tiivistystarkkailu. Tiivi-projektin loppuraportti, Liikennevirasto, Väylänpito-osasto, 2012. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/.../lts_2012-25_sitomattomien_materiaalien_web.pdf
- [43] 3D-Koppi Oy, Suunnitelmat koneohjausmalleiksi, luentomateriaali, Novatron Road Show 2017.
- [44] R. Heikkilä, P. Tiitinen, Dynamic management of road construction operations on site, ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, Vilnius, pp. 1.
- [45] P. Tiitinen, Väylärakennustyömaan dynaaminen johtaminen, Oulun yliopisto, 2013, 60p.
- [46] Novatron: Xsite® OFFICE, web page. Saatavissa: (viitattu 4.12.2017): <http://novatron.fi/koneohjaus/tyomaanhallinta/xsite-office/>.
- [47] InfraKit, Saatavissa: (viitattu 19.12.2017) <https://infrakit.com>.
- [48] M. Jaakkola, Työkoneautomaatio hyötykäyttöön-haaste työnjohdolle, Tierakennusmestari, Vol. 4, 2010. Saatavissa: <http://www.tierakennusmestari.com/data.php?page=haelehti&lehti=2010/04>.
- [49] T. Kivelä, Increasing the Automation Level of Serial Robotic Manipulators with Optimal Design and Collision-free Path Control, Tampere University of Technology, 2017, 50 p.
- [50] Älykkäämpiä robottijärjestelmiä kaivosten autonomisiin työkoneisiin. Saatavissa: <http://www.tut.fi/fi/tietoa-yliopistosta/uutiset-ja-tapahtumat/vaitostiedotteet/alykkaampia-robottijarjestelmia-kaivosten-autonomisiin-tyokoneisiin-x250806c2>.
- [51] M. Huusko, Suurin este rakentamisen robotisaatiolle on ihminen. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/10/suurin-este-rakentamisen-robotisaatiolle-on-ihminen/>.
- [52] T. Lättilä, J. Upla, N. Salonen, Keinotodellisuuden hyödyntäminen liikenne- ja viestintäministeriön toimialalla. Selvitys, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 13/2017, 2017.

Saatavilla: julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160321/LVM_13_2017.pdf

- [53] HIAB, HiVision.
Saatavissa: <https://www.hiab.com/fi-FI/Highlights/loglift-jonsered/hivision/>.
- [54] BuildingSMART Finland, Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015, Osa 1: Tietomallipohjainen hanke, 2015. Saatavissa: http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf.
- [55] BuildingSMARTFinland, Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015, Osa 12: Inframallin hyödyntäminen suunnittelun eri vaiheissa ja rakentamisessa. Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmentelm%C3%A4.pdf.
- [56] A. Särkelä, 3D-työkoneohjaus ja kustannustehokkuus Rovaniemen kaupungin infrarakentamisessa, Rovaniemen ammattikorkeakoulu, 2012, 46 p.
- [57] InfraFinBim, Pilotti: Tietomallipohjaisen kokonaisurakan toteutus ja laadunvarmistus pääurakoitsijan näkökulmasta, 2014.
Saatavissa: <http://docplayer.fi/1852389-Pilotti-tietomallipohjaisen-kokonaisurakan-toteutus-ja-laadunvarmistus-paaurakoitsijan-nakokulmasta.html>
- [58] Koneyrittäjien liitto Maarakennus. Saatavissa: <https://www.koneyrittajat.fi/pages/etusivu/koneyrittaejaet/jaesenet/maarakennus.php>.
- [59] T. Heikkilä, Tilastollinen tutkimus, Edita Publishing Oy, Helsinki, 2010, 317 p.
- [60] S. Hirsjärvi, H. Hurme, Teemahaastattelu, 4th ed. Yliopistopaino, Helsinki, 1988, 144 p.
- [61] Valokuvia työvaiheista, Mikko Tammisto, 2016.

LIITE A. HAASTATELTAVAT

Haastateltava	Tehtävänimike	Yritys, paikkakunta
Formisto Seppo	Toimitusjohtaja/ yrittäjä	Maanrakennus Seppo Formisto Oy, Lempäälä
Jarttu Kalle	Toimitusjohtaja/ yrittäjä	Jarttu Oy, Huittinen
Laivola Ari	Toimitusjohtaja/ yrittäjä	Maarakennus M. Laivola Oy, Turenki
Muotiala Pekka	Työpäällikkö	Kuljetus A. Härmä Oy, Hämeenkyrö
Sallinen Mikko	Toimitusjohtaja/ yrittäjä	Maanrakennus Mikko Sallinen Oy, Kangasala
Takanen Jari	Toimitusjohtaja/ yrittäjä	Maanrakennus Jari Takanen Oy, Kangasala
Virkkunen Janne	Toimitusjohtaja/ yrittäjä	Ollin Sora Oy, Jämsä
Vuorio Jerry	Toimitusjohtaja/ yrittäjä	Maarakennus J. Vuorio Oy, Tampere

Tekstissä viitatus urakoitsijat eivät ole tämän taulukon mukaisessa järjestyksessä.

LIITE B. TUTKIMUKSESSA KÄYTETTY KYSYMYSLOMAKE

Yritys: _____ Henkilöstön määrä: _____

Paikkakunta: _____ Henkilöstön keski-ikä: _____

Päätoimiala: _____

KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT

1. Millaisissa koneissa ja minkä merkkisiä koneohjausjärjestelmiä käytetään?
 - Konetyyppi, kokoluokka
2. Millä perusteella päädyitte kyseiseen järjestelmään?
3. Millaisissa hankkeissa koneohjausta on käytetty?
 - Kunnallistekniikka, väylärakentaminen, rakennusten pohjatyöt yms.
 - Ympäristö: kaupunki/maaseutu
 - Millaisissa töissä koneohjausta on hyödynnetty? Esim. rakennekerrosten muotoilu, luiskien muotoilu, anturan alapinnat yms.

KÄYTTÖÖNOTTO

4. Mitkä olivat vaikuttavimmat tekijät koneohjauksen hankkimiseksi?
5. Kuinka kauan koneohjausjärjestelmä on ollut käytössä?
6. Miten koneohjausjärjestelmän käyttöön perehdyttiin käyttöönottovaiheessa?
7. Kuinka kauan käyttöönottovaihe kesti?
 - Asennus, kalibrointi, koulutus
8. Työntekijöiden määrä, jotka ovat mukana koneohjauksen käytössä?
9. Millä tasolla käyttäjät ovat?
 - Alkeet: osaa käyttää malleja ohjatusti
 - Perustaso: osaa käyttää valmiita malleja itsenäisesti
 - Edistynyt: osaa soveltaa esim. tehdä omia koneohjausmalleja
10. Onko järjestelmässä esiintynyt häiriöitä? Millaisia häiriöitä?
 - Miten ongelmat on ratkaistu?
11. Ovatko kauhojen kalibrointi tai oikean kauhan valinta tuottaneet vaikeuksia?
 - Kuka tekee kalibroinnit?
12. Onko paikannussignaalin kuuluvuudessa esiintynyt häiriöitä? Oma tukiasema vai verkko-RTK?
13. Onko koneohjausjärjestelmällä tehty toteumamittauksia?
 - Onko esiintynyt ongelmia?

KONEOHJAUSMALLIT

14. Kuka tekee koneohjausmallit: yrityksen oma mittamies, työnjohto, ulkopuolinen yritys
 - Kuinka mallit ovat toimineet käytännössä?
15. Miten koneohjausmallien siirto koneohjausjärjestelmään toteutetaan?
 - Onko tiedonsiirrossa esiintynyt ongelmia? Millaisia?

TYÖMAAN HALLINTA

16. Onko käytössä ollut pilvipalveluita tai muita sovelluksia työmaan hallintaan?
 - Miten ne ovat toimineet?
17. Onko työnjohdolla ollut käytössä koneohjausjärjestelmään liitettyjä tablet-laitteita?

MUUTOKSET TOIMINTATAPOIHIN

18. Kuinka työntekijät suhtautuivat koneohjauksen käyttöönottoon?
19. Mitä koneohjauksen käyttöönotto on vaatinut koneenkuljettajalta/työnjohdolta?
20. Muutokset henkilöstöön ja työtehtäviin?
 - Työjohto, mittaushenkilöstö, koneenkuljettajat, maarakennustyöntekijät

KUSTANNUKSET

21. Arvio käyttöönoton kokonaiskustannuksesta?
22. Kuinka hyvin käyttöönoton kustannusarvio piti paikkansa?
 - ei lainkaan-----kohtalaisesti-----hyvin-----erinomaisesti
 - Miksi?
23. Arvio takaisinmaksuajasta?
24. Mitkä ovat koneohjauksen kolme merkittävintä hyötyä ja haittaa?
25. Millaisia valmiuksia koneohjaukseen/tietomalleihin liittyen urakoitsijalla tulisi olla?
26. Miksi koneohjauksen käyttöönotto onnistui? / Miksi ei onnistunut?
 - Mitä tekisitte toisin, jotta käyttöönotto onnistuisi paremmin?

LIITE C: KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN HANKINTA

Koneohjausjärjestelmän hankinta tarkoittaa yritykselle merkittävää investointia. Hankinnan onnistuminen edellyttää etukäteissuunnittelua ja järjestelmien ominaisuuksiin tutustumista. Hankintapäätöksen tekemistä ja sopivan järjestelmän valintaa voidaan helpottaa etsimällä vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Millaisissa koneissa ja työtehtävissä koneohjausta on tarkoitus käyttää?
2. Tarvittavan järjestelmän taso?
 - 2D-, 3D-järjestelmä vai 3D-valmius?
3. Mikä hankintatapa sopii parhaiten?
 - Suoraosto, osamaksu, leasing vai vuokraus?
4. Asennettaanko järjestelmä uuteen vai käytössä olevaan koneeseen?
5. Onko automatisointi mahdollista?
6. Mitä tiedonsiirtoformaatteja järjestelmä tukee?
 - Aiheuttaako rajoituksia?
7. Miten huolto ja tekninen tuki toimivat?
8. Mitkä ovat järjestelmän hankintakustannukset?
 - Laitteisto, pilvipalvelut, verkko-RTK-maksut
9. Miten koulutus järjestetään?
 - Valmistajan käyttökoulutus, yrityksen oma koulutus
10. Rajoittaako käyttöympäristö käyttöä?
 - Tunnelit, sisätilat
11. Miten korjaussignaali hankitaan?
 - Oma tukiasema, työmaan oma tukiasema, paikallinen vai valtakunnallinen verkko-RTK-palvelu?
12. Miten koneohjausmallit hankitaan?
 - Ulkopuolinen yritys, oma henkilöstö vai rakennuttaja/tilaaja?
13. Miten koneohjausmallien siirto työkoneelle järjestetään?
 - Muistitikku vai pilvipalvelu?
14. Tarvitaanko muutoksia henkilöstöön tai työtehtäviin?
 - Onko riittävästi tietotaitoa ja resursseja?