



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KONEOHJAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN MAANRAKENNUSYRITYKSESSÄ

TEKIJÄ:

Juho Kärnä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Juho Kärnä	
Työn nimi Koneohjauksen hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä	
Päiväys	28.5.2021
Sivumäärä/Liitteet	25
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Maanrakennus Pertti Kärnä Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>3D-koneohjaus on yleistynyt viime vuosina infra-alan työmailla. Suurilla mallipohjaisesti suunnitelluilla tie- ja katuhankkeilla työkoneet varustetaan nykyään lähes poikkeuksetta koneohjauslaitteistolla. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia 3D-koneohjauksen soveltuvuutta maanrakennusyrityksen käyttöön. Työn toimeksiantaja oli Maanrakennus Pertti Kärnä Oy. Toimeksiantajayrityksellä on aikaisempaa kokemusta koneohjauslaitteiston käytöstä tie-, katu- ja aluerakentamisen kohteissa. Halusimme kokeilla ja selvittää laitteiston soveltuvuutta talonrakennuskohteen maanrakennustöihin, joka on yrityksen vahvaa osaamisaluetta. Työn tavoitteena oli myös kehittää yrityksen toimintatapoja ja perehtyä koneohjauslaitteiston hyödyntämiseen.</p> <p>Työn teoriaosuudessa selvitetään koneohjauslaitteiston yleisiä toimintaperiaatteita. Lisäksi perehdyttiin koneohjauslaitteiston vaatiman korjausdatan toimintaan ja hankintaan. Työssä tutkittiin koneohjauslaitteiston toimintaa Karstulan koulutyömaan maanrakennustöissä. Työssä seurattiin koneohjauslaitteiston toimintaa työmaalla ja arvioitiin koneohjauslaitteiston käyttökelpoisuutta kohteen maanrakennustöissä. Työssä perehdyttiin myös kohteessa käytettyihin koneohjausmalleihin ja niiden hankintaan.</p> <p>Työmaaseurannan tuloksena havaittiin, että koneohjausjärjestelmä soveltuu hyvin myös talonrakennuskohteen maanrakennustöihin. Työmaaseurannassa havaittiin, että kaivutarkkuus paranee, jolloin saavutetaan säästöjä mittaus-, materiaali-, kuljetus ja työkustannuksissa. Havaittiin myös, että työkoneenkuljettajan on helpompi suunnitella työn toteutusta ja tehdä mittauksia itsenäisesti koneohjauslaitteiston avustuksella.</p>	
Avainsanat 3D-koneohjaus, infrarakentaminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Juho Kärnä	
Title of Thesis Utilization of Machine Control in an Earthworks Company	
Date 28 May 2021	Pages/Appendices 25
Client Organisation /Partners Maanrakennus Pertti Kärnä Oy	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final project was to explore the suitability of 3D machine control for being used by an earthworks company. The project was commissioned by Maanrakennus Pertti Kärnä Oy. The company has previous experience in using 3D machine control equipment for road, street and regional sites. The aim was to experiment and find out the suitability of the equipment for earthworks on house building sites which is a strong area of expertise of the company. Another aim was to develop the company's modes of operation and familiarize itself with the utilization of a 3D machine control system.</p> <p>The theoretical part of the work explores the general operating principles of the 3D machine control system. In addition, the operation and acquisition of the repair data required by the machine control system was examined. The final project examined the operation of machine control equipment in the earthworks on the construction site of Karstula school. The operation of the machine control system on the site was monitored and the usefulness of it in the earthworks on the site was assessed. The machine control models used on the site were studied as well.</p> <p>As a result of the construction site monitoring, it was found out that the machine control system also suits well for earthworks on house building sites. The construction site monitoring showed that excavating accuracy was improved resulting in savings in measurement, material, transportation, and labor costs. It was also discovered that it is easier for a working machine driver to plan the execution of the work and to make measurements independently with the assistance of the 3D machine control system.</p>	
<p>Keywords</p> <p>3D machine control, infrastructure construction</p>	

ESIPUHE

Työn toimeksiantaja on Maanrakennus Pertti Kärnä Oy. Haluan kiittää toimeksiantajayritystä mielenkiintoisesta ja kehittävästä opinnäytetyön aiheesta. Haluan kiittää yhteistyökumppaneita ja yrityksen työntekijöitä, jotka ovat auttaneet omalta osaltaan opinnäytetyön toteutuksessa ja tutkimuksen tekemisessä. Haluan myös kiittää Savonia-ammattikorkeakoulun lehtoria Kai Auvista työn ohjaamisesta, kommentoinnista ja saamistani neuvoista.

Joutsassa 28.5.2021

Juho Kärnä

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tausta	7
1.2	Yrityksen esittely.....	7
1.3	Määritelmät ja lyhenteet.....	8
2	SATELLIITTITEKNIikka JA TYÖKONEAUTOMAATIO	9
2.1	Satelliittipaikannuksen periaatteet.....	9
2.2	Paikannus.....	9
2.2.1	Työkoneen paikannuksen periaatteet	9
2.2.2	Leikkuuterän paikannus	10
2.2.3	RTK-mittaus.....	10
2.2.4	Verkko-RTK-mittaus	11
2.2.5	VRS-järjestelmä	11
3	KONEOHJAUSMALLIT	13
3.1	Koneohjausmallit yleisesti	13
3.2	Käytettävät tiedonsiirtoformaatit	13
3.2.1	Inframodel.....	13
3.2.2	LandXML	13
3.3	Tarvittava lähtöaineisto	14
4	NOVATRON 3D-KONOHJAUSJÄRJESTELMÄ	15
4.1	Yleiskuvaus järjestelmästä	15
4.2	Koneohjausjärjestelmä kuljettajan näkökulmasta	16
5	KONEOHJAUS ESIMERKKIKOhteESSA	17
5.1	Koneohjauksen käyttö esimerkkikohteessa	17
5.2	Käytetty laitteisto.....	17
5.3	Koneohjauksella saavutetut hyödyt ja haasteet esimerkkikohteessa	18
5.4	Kohteessa käytetyt koneohjausmallit.....	19
6	KONEOHJAUksen KUSTANNUKSET	21
6.1	Kustannukset yleisesti	21
6.1.1	Hankintakustannukset	21
6.1.2	Käyttökustannukset.....	21
6.2	Kustannukset esimerkkikohteessa	21

7 POHDINTA.....	23
7.1 Koneohjauksen vertaus perinteisiin menetelmiin	23
7.2 Koneohjaus tulevaisuudessa yrityksen toiminnassa	23
LÄHTEET	25

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön aiheena on koneohjauksen hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä. Työsäni tarkastellaan koneohjausjärjestelmän toimintaa ja tehokkuutta talonrakennushankkeen kohteessa Karstulan yhtenäiskoulun työmaalla kesällä 2020. Nykyisin koneohjausjärjestelmien käyttö on yleistynyt huomattavasti muutaman viime vuoden aikana myös pienemmissä rakennuskohteissa. Pelkän koneohjausjärjestelmän toiminnan lisäksi on hyvä ymmärtää laajemmin koneohjauksen vaatiman satelliittitekniikan toimintaa, joka auttaa hahmottamaan kokonaisuutta ja helpottaa malleihin tai koneohjaukseen liittyvissä ongelmatilanteissa ratkaisun löytämistä. Työssä selvitetään työkoneautomaation ja satelliittitekniikan peruseräotteita ja syvennyttään aiheeseen käytännön työskentelyn ja urakoitsijan näkökulmasta.

Toimeksiantajayrityksessä on otettu käyttöön koneohjausjärjestelmiä viime vuosien aikana, mutta laitteiden käyttö ja tarvittavien mallien hankkiminen on koettu vaikeaksi yrityksessä, jossa on totuttu perinteisiin ja hyviksi todettuihin menetelmiin. Toimeksiantajayrityksellä on käytössä neljä kappaletta Novatron Xsite PRO 3D-koneohjausjärjestelmiä. Tutkimuksessa syvennyttään Novatronin järjestelmään hieman pintaa syvemmälle. Aikaisempaa kokemusta koneohjauksen hyödyntämisestä yrityksellä on suuremmilta mallipohjaisesti toteutetuilta maanrakennushankkeilta, mutta tässä työssä tarkastellaan satelliittitekniikkaan perustuvan koneohjauksen hyödyntämistä talonrakennushankkeen maanrakennusurakassa.

Tutkimusmenetelminä käytän työmaalla tapahtuvaa omaa havainnointia, raportointia ja kustannusten seuranta. Havainnointia on suoritettu Karstulan koulun pohjarakennustöissä, jossa pääsimme tosissaan testaamaan järjestelmän soveltuvuutta kohteeseen. Hyödynnän opinnäytetyössäni aikaisempaa kokemustani koneenkuljettajan työtehtävissä. Opinnäytetyön tuloksena syntyvä raportti antaa yrityksen käyttöön kirjallisen dokumentin, joka selventää koneohjauksen toimintaa, helpottaa koneohjauksen käyttöä pohjarakennuskohteessa, sekä selventää tarvittavien mallien hankintaa, kuin myös järjestelmällä tehtävää laadunvalvontaa. Opinnäytetyö selkeyttää koneohjauksen käyttöä yrityksen tulevaisuudessa työkohteissa.

1.2 Yrityksen esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii maanrakennusalan yritys nimeltä Maanrakennus Pertti Kärnä Oy. Yrityksen toiminta ulottuu Keski-Suomesta Joutsasta noin 200 km säteelle. Yritys urakoi erityyppisiä maanrakennusalan kohteita, kuten talonrakennuskohteiden maanrakennustöitä, pohjarakentamista, vesihuoltoa, maansiirtoa sekä tie- ja katuhankkeita. Yrityksen historia ulottuu 1960-luvulle, jolloin yritystoiminta on alkanut. Yrityksen toiminta perustuu pitkään kokemukseen, tehokkaaseen toimintaan ja laadukkaaseen lopputulokseen, josta kertoo myös pitkäaikaiset asiakassuhteet. Yrityksen asiakkaita ovat rakennusliikkeet, kunnat, kaupungit ja muut yritys- ja yksityisasiakkaat. Yritys työllistää tällä hetkellä noin 15 työntekijää. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Pertti Kärnä.

1.3 Määritelmät ja lyhenteet

- Koneohjausjärjestelmä, koneohjausmallia ja sijaintitietoa hyödyntävä työkoneen ohjausjärjestelmä
- GNSS, (Global Navigation satellite system) eri maiden ylläpitämien paikannusjärjestelmien muodostama kokonaisuus
- GPS, (Global positioning system) on yhdysvaltain puolustusministeriön ylläpitämä maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
- Glonass, (Global Navigation Satellite System) on Venäjän ylläpitämä GPS-tyyppinen satelliittipaikannusjärjestelmä
- Galileo, Galileo on Euroopassa kehitetty GPS-tyyppinen satelliittipaikannusjärjestelmä
- RTK-mittaus (Real Time Kinematic) Reaaliaikainen senttimetritarkkuudella toimiva satelliittimittaus
- VRS, (Virtual Reference Station) RTK-mittauksen sovellus, jossa käytetään virtuaalista tukiasemaa satelliittitarkkuuden parantamiseksi
- LandXML, Infra-alan kansainvälinen tiedonsiirtoformaatti
- Inframodel, suomalainen laajennos kansainvälisestä LandXML-formaatista
- Novatron, Suomalainen koneohjauslaitteistojen toimittaja
- Xsite Pro 3D, Novatronin kehittämä 3D-koneohjausjärjestelmä

2 SATELLIITTITEKNIikka JA TYÖKONEAUTOMAATIO

2.1 Satelliittipaikannuksen periaatteet

Satelliittipaikannusta on pitkään pidetty vain GPS-paikannuksena. Nykyisin puhutaan yleisemmin GNSS-paikannuksesta tai satelliittipaikannuksesta. GNSS-lyhenteellä tarkoitetaan eri valtioiden paikannusjärjestelmistä muodostuvaa kokonaisuutta. Laajimmillaan GNSS-järjestelmän voidaan ajatella muodostuvan kaikista paikannusta palvelevista järjestelmistä ja toimijoista. GNSS-järjestelmä voidaan mieltää myös paikannuksen infrastruktuuriksi. Valtiot ylläpitävät omia paikannusjärjestelmiään, koska kyseessä on myös sotilaalliset, poliittiset ja taloudelliset edut. GNSS-järjestelmään kuuluu USA:n ylläpitämä GPS-paikannussatelliittijärjestelmä, Venäläinen Glonass-järjestelmä sekä Euroopan unionin rakentama Galileo-paikannusjärjestelmä. (Laurila 2012, 289.)

Satelliittipaikannus perustuu siihen, että havaitaan satelliittien lähettämiä signaaleja. Satelliiteista saatujen havaintoihin perustuen mitataan etäisyys vähintään kolmeen satelliittiin. Kun havaintohetkellä tapahtuvan mittauksen aikana tunnetaan satelliittien sijainti, voidaan havaintosijan paikka laskea matemaattisesti. Voidaan siis todeta, että satelliittipaikannus perustuu etäisyyksien ja etäisyyserojen mittaamiseen. Paikannuksen geometrian kannalta on riittävää, että mittaus suoritetaan kolmeen satelliittiin, mutta käytännössä mittauksen ja virheiden hallinnan takia tulee mitata etäisyydet vähintään neljään satelliittiin. (Laurila 2012, 290.)

Satelliittipaikannusmenetelmät voidaan ryhmitellä mittaustapojen eli mittaussuhteiden mukaan. Mittaustapojen ryhmittely pohjautuu esimerkiksi mittauksissa käytössä oleviin havaintosuureisiin, systemaattisten virheiden korjaamistekniikoihin ja havaintolaitteiden lukumääriin. Perusmittausmenetelmiä ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. Tässä työssä käsiteltävä koneohjaus perustuu lähes poikkeuksetta suhteelliseen eli interferometriseen mittaukseen. Suhteelliselle mittaukselle tyypillisiä tunnusmerkkejä ovat kaksi samanaikaisesti toimivaa havaintolaitetta, paikan määrittäminen toisen havaintolaitteen suhteen, toinen havaintolaitte sijaitsee usein tunnetulla pisteellä, etäisyyden mittaus toiseen vastaanottimeen tapahtuu kantoaalton avulla ja paikannustarkkuus vertailuvastaanottimen suhteen on yleisesti alle viisi senttimetriä, parhaimmillaan muutamien millimetrien luokkaa. (Laurila 2012, 294.)

2.2 Paikannus

2.2.1 Työkoneen paikannuksen periaatteet

Koneohjauksen toimintaidea perustuu työkoneen paikantamiseen satelliittitekniikan tai robottitaky-metrin avulla. Työkoneen sijainnin paikannuksesta käytetään nimitystä ulkoinen paikannus. Työkoneen paikannus satelliittitekniikan avulla perustuu työkoneen sijainnin paikannukseen maapalloa kiertävien satelliittien avulla. Satelliittitekniikkaan perustuva paikannus on kuitenkin herkkä erityyppisille häiriötekijöille, jotka johtuvat satelliittien lähettämän signaalin pitkistä kulkumatkasta. Satelliittipaikannukselle tyypillisiä häiriötä aiheuttavia tekijöitä ovat puuston tai korkeiden rakennusten aiheuttama katvealue. Maanrakennustyömaalla työskennellään usein olosuhteissa, joissa paikannussignaali saattaa heikentyä esteiden takia. Tyypillisiä häiriötekijöitä maanrakennustyömaalla voivat

olla työmaata ympäröivä puusto, työskentely kaupunkiympäristössä korkeiden rakennusten ympäröimänä tai työskentely esimerkiksi korkeassa kallioleikkauksessa. Satelliittipaikannus on hyvin tyyppillinen paikannusmenetelmä maanrakennuskoneissa ja kaivinkoneissa. Satelliittipaikannuksella saavutettava tarkkuus riittää yleensä hyvin kaivinkoneella tehtävien töiden tarkkuusvaatimuksiin. (Kivinen 2016, 35–36.)

Maanrakennuskoneet voidaan varustaa yhdellä tai kahdella satelliitivastaanottimella. Mikäli kaivinkone on varustettu yhdellä satelliitivastaanottimella, on kaivinkoneen ylävaunua pyöräytettävä kauhan sijainnin varmistamiseksi. Kahdella vastaanottimella varustettuna kaivinkone ei vaadi ylimääräistä työhön kuulumatonta koneen pyöräytystä, vaan koneohjausjärjestelmä pystyy paikantamaan koneen sijainnin suhteessa karttapohjaiseen reaaliajassa. Nykyisin työkonien koneohjausjärjestelmiin kuuluu lähes poikkeuksetta kaksi satelliitivastaanotinta. (Kivinen 2016, 37.)

Työkoneen paikannus voidaan toteuttaa myös robottitakymetrin avulla. Takymetripaikannuksessa työkoneen sijainnin paikannuksessa hyödynnetään etäisyyden mittausta lasertekniikan avulla, sekä takymetrin määrittämien pysty- vaakasuuntaisia suuntakulmia. Takymetripaikannuksessa työkoneen sijainnin paikannuksessa saavutetaan $\pm 2\text{--}15$ millimetrin tarkkuus riippuen työkoneen liikenopeudesta. Työkoneen paikannuksessa on myös mahdollista käyttää yhdessä sekä satelliitti- että takymetripaikannusta, jolloin paikannustarkkuudeksi saavutetaan jopa ± 1 millimetriä, myös työkoneen liikkuessa. Todennäköisesti suurin haaste robottitakymetrin käyttämisessä työkonepaikannuksessa on se, että takymetri vaatii jatkuvan näköyhteyden liikkuvaan työkoneeseen. Tyypillisiä robottitakymetrillä ohjattuja työkoneita ovat esimerkiksi tiehöylä ja asfaltinlevitin, kyseisten työkoneiden työskentely soveltuu robottitakymetrillä ohjattavaksi, koska työssä ei synny katvealuetta takymetrin ja työkoneen välille. (Kivinen 2016, 37.)

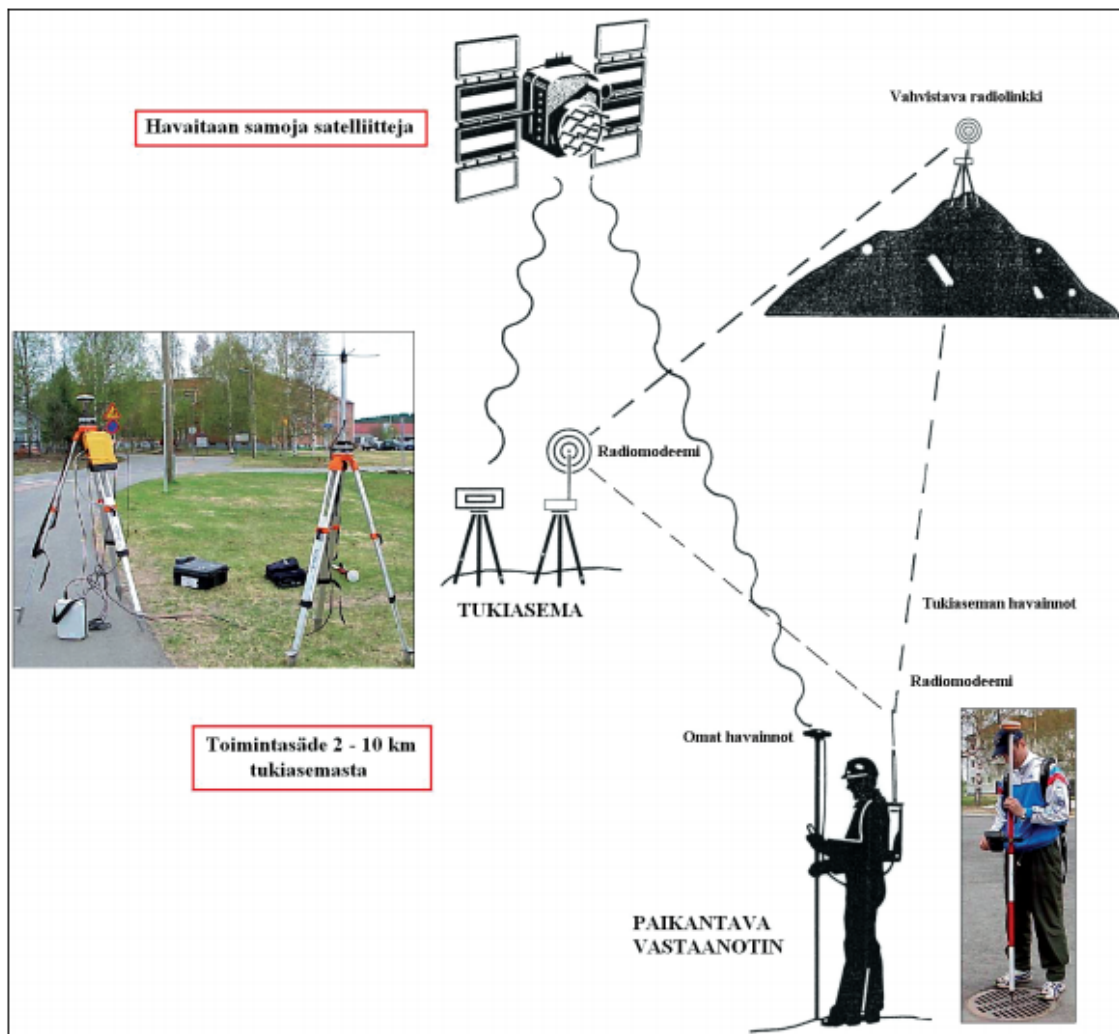
2.2.2 Leikkuuterän paikannus

Leikkuuterällä tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä työkoneen osaa, jolla maanrakennustyö tapahtuu. Kaivinkoneessa leikkuuterällä tarkoitetaan tyypillisesti kauhan huulilevyä. Työkoneen leikkuuterän paikannus tapahtuu työkoneen ulkoisen, sekä sisäisen paikannuksen avustuksella. Ulkoisella paikannuksella tarkoitetaan työkoneen sijainnin paikannusta. Sisäisellä paikannuksella tarkoitetaan työkoneen leikkuuterän paikannusta työkoneen sisäisessä koordinaatistossa. Tällä tavoin työkoneen leikkuuterän sijainti voidaan esittää työkoneen kuljettajalle reaaliajassa koneohjauslaitteiston näytöllä koneohjausmallin suhteen. (Kivinen 2016, 38.)

2.2.3 RTK-mittaus

RTK-mittaus (Real Time Kinematic) eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus on mittaus- ja kartoitustekniikassa yleisesti käytössä oleva perusmenetelmä. Mittausmenetelmällä saavutetaan senttimetri- luokan tarkkuus, jolloin se soveltuu hyvin kartoitus- ja maastomallimittauksiin. RTK-mittaus soveltuu hyvin myös merkintämittaukseen ja koneohjaukseen. Perinteiseen RTK-mittaukseen tarvitaan tunnetulla pisteellä sijaitseva vertailuvastaanotin, jota kutsutaan tukiasemaksi. Tukiasemalla sijaitseva vastaanotin lähettää mittaamansa vaihehavainnot paikantavalle vastaanottimelle. Paikantava vastaanotin pystyy ratkaisemaan alkutuntemattomat ja muut tarvittavat suureet reaaliajassa. Työkonekäytössä paikantavalla vastaanottimella tarkoitetaan työkoneen koneohjausjärjestelmää.

Tukiaseman ja paikantavan vastaanottimen välille tulee muodostaa tiedonsiirtoyhteys. Tiedonsiirtoyhteys voidaan muodostaa joko radiomodeemin tai matkapuhelinverkon avulla. Pääsääntöisesti toimintasäde radiomodeemin avulla rajautuu muutaman kilometriin, enimmillään kymmeneen kilometriin. Matkapuhelinverkkoa hyödyntämällä välimatkalla ei ole merkitystä, mutta itse mittaustapa rajoittaa välimatkan enintään kahteenkymmeneen kilometriin. (Laurila 2012, 319.)



Kuva 1. Perinteisen yhteen tukiasemaan perustuvan reaaliaikaisen kinemaattisen mittauksen periaatekuva (Laurila 2012, 320)

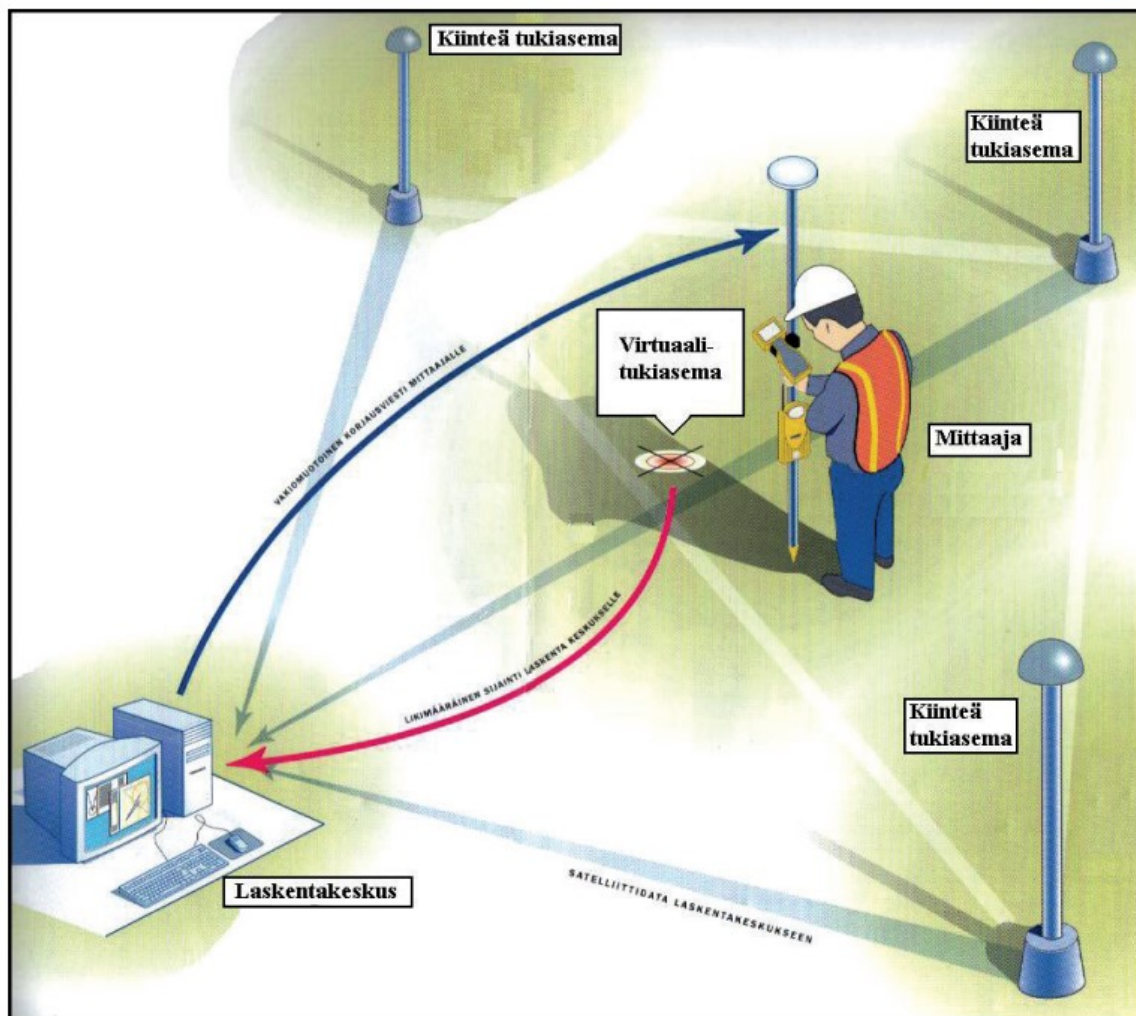
2.2.4 Verkko-RTK-mittaus

Verkko-RTK-mittauksella tarkoitetaan mittauksia, jotka tehdään usean tukiaseman muodostamassa verkossa. Tällä tavoin pystytään korjaamaan ilmakehän ionosfäärin ja troposfäärin aiheuttamia virheitä. Mittaustapa mahdollistaa pidemmät etäisyydet tukiasemiin verrattuna perinteiseen RTK-mittaukseen. Mittaustavalla päästään nopeisiin ja luotettaviin mittaustuloksiin. (Laurila 2012, 320) Suomessa kaupallisia Verkko-RTK palveluita tarjoavat Geotrim Oy ja Leica Geosystems Oy. (Toivonen, Ylikoski, 2013, 11.)

2.2.5 VRS-järjestelmä

VRS-järjestelmä eli (Virtual Reference Station System) tarkoittaa kiinteistä tukiasemista muodostuvaa tukiasemaverkkoa. Tukiasemat lähettävät satelliiteista saamansa tiedon laskentakeskukseen.

Mittaaja tai koneohjausjärjestelmä lähettää sijaintinsa matkapuhelinverkon avulla laskentakeskukseen. Laskentakeskus käyttää saamaansa dataa hyväkseen ja muodostaa virtuaalisen tukiaseman mittaajan tai työkoneen lähelle ja lähettää korjausdatan mittaajalle tai työkoneelle. Virtuaalitukiasema tarkoittaa kuvitteellista tukiasemapistettä, joka lasketaan erikseen jokaisessa mittaustilanteessa. VRS-järjestelmän tavoitteena on tuottaa mahdollisimman samankaltaista korjausdataa, mitä samassa paikassa sijaitseva kiinteä tukiasema tuottaisi. (Laurila 2012, 321–322.)



Kuva 2. Trimblen VRS-järjestelmän toimintaperiaate (Laurila 2012, 321)

3 KONEOHJAUSMALLIT

3.1 Koneohjausmallit yleisesti

Koneohjausmallit ovat suunnitelmien pohjalta tuotettuja, oikeassa tiedostomuodossa olevia suunnitelmia. Suunnittelijoilta saatava aineisto on harvoin oikeassa tiedostomuodossa, varsinkaan talonrakennuskohteiden maanrakennustöissä tarvittavia suunnitelmia on harvoin saatavilla suoraan koneohjausjärjestelmälle soveltuvassa muodossa. Tämä tarkoittaa sitä, että koneohjausmallit tehdään usein olemassa olevien 2D-muodossa olevien suunnitelmien pohjalta. Koneohjausmalli muodostuu usein yhdistelemällä taso- ja poikkileikkaussuunnitelmista saatavaa tietoa. Koneohjausmalli luodaan antamalla suunnitelmien objekteille x-, y- ja z-koordinaatit. (3D-koppi.fi.)

Koneohjausmallit voivat olla pinta-, viiva-, tai pistemuotoisia malleja. Tyypillisesti pintamalleja luodaan esimerkiksi tie- ja piha-alueen rakennekerroksista, rakennuskaivannoista, anturanpohjista, luisista ja viheralueista. Pinta-mallit luodaan taiteviivojen kai kolmioiden avulla. Tyypillisesti viivamalleja voivat olla putki- ja johtorakenteet. Tyypillisiä pistetiedostoja malleissa ovat kaivot, valaisinpylväät ja liikennemerkkit. (3D-koppi.fi.)

3.2 Käytettävät tiedonsiirtoformaattit

Eri valmistajien koneohjauslaitteistoilla on erityyppisiä erityistarpeita ja laitekohtaiset vaatimukset tiedonsiirtoformaatin osalta saattavat vaihdella eri merkkisten laitteiden osalta. Vaihtelevien tiedonsiirtoformaattien takia rakennussuunnitteluvaiheessa syntyvä aineisto ei aina sovellu suoraan koneohjausaineistoksi. (Yleiset inframallivaatimukset YIV 2019, 19, 35.)

3.2.1 Inframodel

Inframodel on kansainväliseen LandXML-standardiin perustuva avoin menetelmä infratietojen siirtoon. Inframodel-standardi on tarkoitettu käytettäväksi Infra-alalla niin suunnitteluohjelmissa kuin koneohjausjärjestelmissäkin. Inframodel-standardi on Suomessa kehitetty avoin tiedonsiirtoformaatti. (Yleiset inframallivaatimukset YIV 2019, 10.)

3.2.2 LandXML

Nykyisin infrarakentamisessa avoin tiedonsiirtoformaatti on inframodel-sisällön ja määrittelyn mukainen LandXML ja siltojen sekä taitorakenteiden osalta IFC (Industry Foundation Classes). (Yleiset inframallivaatimukset YIV 2019, 35.)

LandXML tiedonsiirtoformaatti on vuonna 2000 maanrakennus ja maanmittausalan käyttöön suunniteltu avoin tiedonsiirtoformaatti. LandXML-standardin tavoitteena on vähentää muiden tiedonsiirtoformaattien käyttöä ja yhtenäistää suunnitteluohjelmistojen välistä tiedonsiirtoformaattia. LandXML-formaatti on avoin formaatti ja tavoitteena on olla ohjelmistosta riippumaton, joka helpottaa esimerkiksi tiedoston käytönottoa eri ohjelmistoissa, koska tiedostoa ei tarvitse muuttaa erikseen ohjelmiston vaatimaan tiedostomuotoon. (Kivinen 2016, 15–16.)

LandXML-tiedonsiirtoformaatti on yhteensopiva yleisesti myös suomessa käytettävissä koneohjausjärjestelmissä esimerkiksi Leican ja Novatronin laitteissa. LandXML-tiedoston tiedostopäätte on

(.xml). Yksi LandXML-formaatin eduista on myös tiedon tallennustapa, tiedosto voidaan avata ja lukea tekstitiedostona, joka mahdollistaa tiedoston avaamisen jokaisesta tietokoneesta löytyvällä tekstieditorilla tai verkkoselaimella. Tekstieditorissa avattua tiedostoa voidaan myös tarvittaessa muokata. (Kivinen 2016, 15–16.)

3.3 Tarvittava lähtöaineisto

Työmaalla tarvittavat mallit vaihtelevat kohteen mukaan. Suurimmilla mallipohjaisesti suunnitelluilla hankkeilla pystytään valmiita malleja hyödyntämään myös koneohjauksessa. Olemassa olevat mallit tarkastetaan ja muutetaan koneohjaukselle sopivaan formaattiin.

Pienemmissä maanrakennuskohteissa, kuten talonrakennuskohteissa 3D-mallinnus tehdään usein 2D-muodossa olevien suunnitelmien pohjalta. Mikäli kohteesta on saatavilla suunnittelijan valmiiksi tekemät suunnitelmat, on koneohjausmallit mahdollista saada nopeallakin aikataululla työkoneeseen.

Koneohjausmallit tehdään aina oikeaan projektin koordinaatistoon. Koneohjausmalleja varten tarvitaan työmaan asemapiirustus tai tontinkäyttösuunnitelma, jotta koneohjausmallit saadaan kohdistettua oikeaan paikkaan. Rakennuskohteissa voidaan sijainnin kohdistuksessa apuna käyttää esimerkiksi tontin rajapyykkejä ja niille määritettyjä koordinaatteja.

Yleensä rakennuskohteista suunnitelmat on saatavilla DWG-tiedostoina, joka tarkoittaa AutoCad-piirroksia. DWG-tiedostojen pohjalta voidaan aloittaa koneohjausmallien luominen kohteeseen. (Koneviesti 2019.)

4 NOVATRON 3D-KONOHJAUSJÄRJESTELMÄ

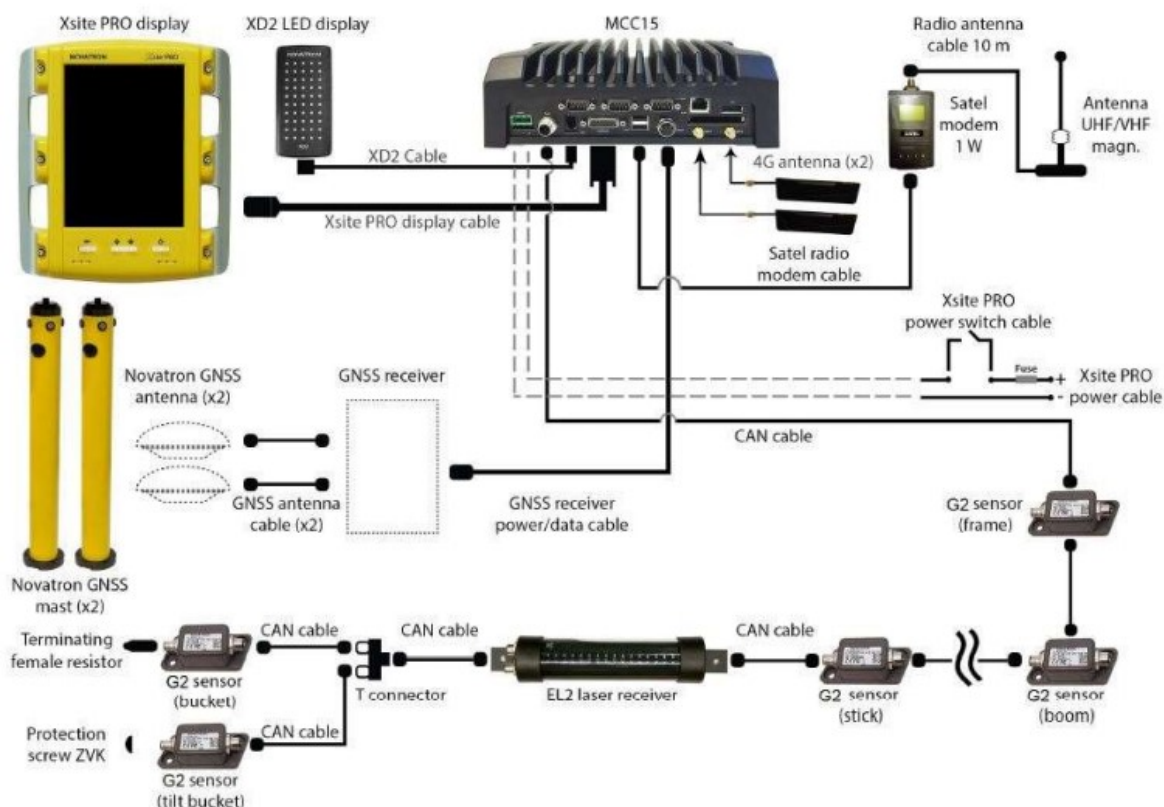
4.1 Yleiskuvaus järjestelmästä

Koneohjausjärjestelmä muodostuu työkonteen anturoinnista, satelliittipaikannuksesta sekä näytön ja tietokoneen muodostamasta kokonaisuudesta. Järjestelmän avustuksella työkonteen leikkuuterän sijainti paikannetaan työkonteen sisäisessä koordinaatistossa sekä työkonne paikantaa sijaintinsa käytävässä koordinaatistossa.

Koneohjausjärjestelmiä on saatavissa kaikentyyppisiin maanrakennuskoneisiin, kuten kaivin- ja puskukoneeseen, tiehöylään, pyöräkuormaajaan, maantiivistyskalustoon, paalutuskoneeseen ja poravaunuun.

Koneohjausjärjestelmät voidaan jakaa ohjaaviin ja opastaviin järjestelmiin. Tässä opinnäytetyössä käsitellään kaivinkoneen koneohjausjärjestelmää, joka on tyypillisesti kuljettajaa opastava järjestelmä. Kuljettaja näkee koneohjauslaitteen näytöltä kauhan huulilevyn sijainnin suhteessa suunnitelmaan. Koneen kuljettaja hoitaa työkonteen ohjaamisen ja vastaa siitä, että työ tehdään suunnitelman mukaisesti.

Ohjaavalla järjestelmällä tarkoitetaan työkonteen hydraulikkaan yhteydessä olevaa järjestelmää, joka ohjaa työkonteen leikkuuterää automaattisesti ilman, että kuljettajan tarvitsee koskea työkonteen hallintalaitteisiin. Tämän tyyppisiä järjestelmiä on käytössä tiehöylissä ja puskukoneissa. Ohjaavia järjestelmiä on kehitetty myös kaivinkoneeseen, jotka ohjaavat automaattisesti kauhan pyöritystä ja kallistusta. Tämän tyyppiset järjestelmät eivät ole kovin yleisiä vielä kaivinkoneen koneohjauksessa.



Kuva 3. Novatron koneohjausjärjestelmän rakenne ja komponentit (Kolari 2018, 18)

4.2 Koneohjausjärjestelmä kuljettajan näkökulmasta

Koneohjausjärjestelmien yleistyminen työkoneissa on helpottanut työntekoa työmailla, mutta se on myös lisännyt kuljettajien vastuuta mittaamisen osalta työmailla. Kaivinkoneen koneohjauslaite on opastava, joka nimensä mukaisesti opastaa työkoneen kuljettajaa tekemään vaatimusten mukaista työtä. Työn toteuttaminen siten, että työ tehdään oikein ja vaatimusten mukaisesti on kuitenkin kuljettajan vastuulla. Koneen kuljettajan on pystyttävä työskentelemään itsenäisesti koneohjauslaitteen avustuksella.

Kuljettajan tehtäviin kuuluu koneohjauslaitteen tarkastaminen työmaalla. Yleensä työmaalta löytyy mittaushenkilön tuomia kontrollipisteitä yksi tai useampi. Kontrollipisteet sijaitsevat samassa koordinaatistossa kuin muutkin työmaan suunnitelmat. Mikäli kontrollipisteitä ei ole, on syytä tarkastaa koneohjauslaitteen tarkkuus yhteistyössä mittaushenkilön kanssa.



Kuva 4. Koneohjausjärjestelmän näyttö kuljettajan näkökulmasta (Kärnä 2021)

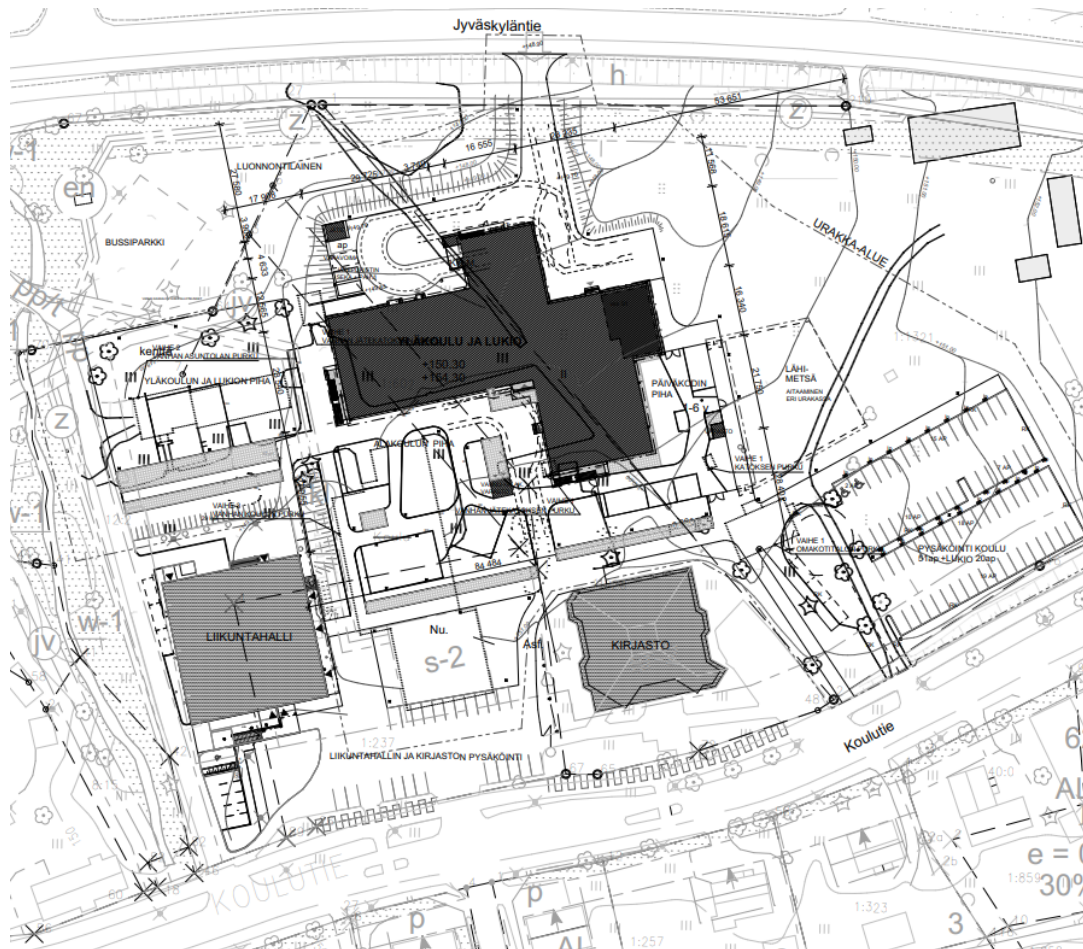
5 KONEOHJAUS ESIMERKKIKOHITESSA

5.1 Koneohjauksen käyttö esimerkkikohteessa

Esimerkkikohteena tässä opinnäytetyössä käytän Karstulan koulun maanrakennusurakkaa. Kohde sijaitsee Karstulan keskustan läheisyydessä, vanhan koulukeskuksen, liikuntahallin ja kirjaston läheisyydessä.

Urakka käsittää uuden koulurakennuksen pohjarakennustyöt, ulkopuoliset putkikaivannot putkiasennuksineen, piha-alueen rakennekerrokset ja pihatyöt pintarakenteineen. Kohteen pihatyöt toteutetaan kesällä 2021, joten koneohjauksen käyttöä kohteen piha- ja viherrakentamisen töissä ei ehditty tarkemmin selvittämään.

Maanrakennusurakoitsijana kohteessa toimi Maanrakennus Pertti Kärnä Oy, yrityksellä on pitkä kokemus vastaavanlaisista maanrakennusurakoista ja pohjarakennuskohteista. Kohde oli kuitenkin yrityksen ensimmäinen talonrakennuskohteen maanrakennusurakka, jossa hyödynnettiin 3D-koneohjausta.



Kuva 5. Karstulan koulun asemapiirustus (Kärnä 2021)

5.2 Käytetty laitteisto

Kohteessa pääkoneena oli 30 tonninen tela-alustainen kaivinkone, joka oli varustettuna Novatron Xsite Pro 3D-koneohjausjärjestelmällä. Työmaalla maanrakennustöissä käytettiin myös toista 23 tonnista kaivinkonetta, jota ei ollut varusteltu 3D-koneohjauslaitteistolla. Lisäksi maanrakennustöissä

käytettiin pyöräkuormaajaa, dumperia, valssiyrää, bobcattia ja 6 tonnista tela-alustaista kaivinkonetta. Näitä koneita ei ollut varusteltu koneohjausjärjestelmillä.

Opinnäytetyöntekijällä oli käytössä työmaalla Trimblen gnss-mittauskalusto, jota käytettiin koneohjauksen tukena työmaan mittauksissa ja koneohjauslaitteiston kontrollipisteen luomisessa.



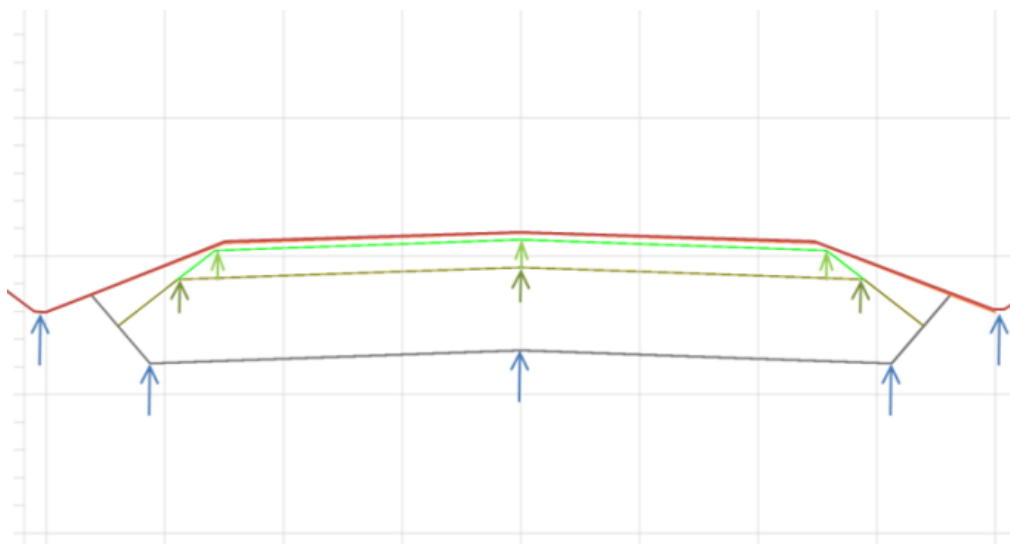
Kuva 6. Koneohjauksella varustettu kaivinkone Karstulan koulutyömaalla (Kärnä 2021)

5.3 Koneohjauksella saavutetut hyödyt ja haasteet esimerkkikohteessa

Toimeksiantajayrityksen tyypillisiä työkohteita ovat rakennusten pohjaurakat pienistä suuriin kohteisiin. Yleensä työkohteita on useita samanaikaisesti käynnissä, mikä tarkoittaa, että työnjohto ei ole jatkuvasti paikalla jokaisella työmaalla työn ollessa käynnissä. Mittaaja käy työmaalla satunnaisesti merkitsemässä tai kartoittamassa tarvittavia asioita. Mikäli työmaa olisi toteutettu perinteisin menetelmin maastonmerkintää apuna käyttäen, olisi työmaa sitonut jatkuvasti mittajaan kiinni kyseiselle työmaalle. Työkohde pystyttiin toteuttamaan lähestulkoon kokonaan ilman maastonmerkintää. Koneohjausjärjestelmän avustuksella mittajaan tarve jäi hyvin vähäiseksi maanrakennustöiden osalta. Työn toteuttamiseen ja sujuvuuteen vaikuttaa merkittävästi työkoneen kuljettajan ammattitaito. Kaivinkoneenkuljettajalta vaaditaan suunnitelmien lukutaitoa, jotta pystyy tulkitsemaan suunnitelmia koneohjauslaitteen näytöltä. Tässä kohteessa kaivinkoneenkuljettajalla oli pitkä kokemus alan töistä, sekä usean vuoden kokemus koneohjauslaitteiden käytöstä.

Koneohjausjärjestelmän avustuksella on mahdollista tallentaa toteumatietoa valmiista rakenteesta. Toteumapisteitä voidaan käyttää apuna työn laadunvarmistuksessa. Toteumapisteitä voidaan hyödyntää toteutuneiden määrien laskennassa ja yksikköhintaperusteisissa töissä.

Toteumapisteitä tulee ottaa riittävästi ja oikeista paikoista. Maan alle jäävistä rakenteista, kuten putkista ja kaapeleista voidaan tallentaa myös toteumapisteitä, jolloin mittajaan ei tarvitse välttämättä käydä erikseen mittaamassa tarkepisteitä ennen rakenteiden peittämistä. Tämä tehostaa ja sujuvoittaa työtä työmaalla. Kaikilla työmailla ei välttämättä hyväksytä koneohjauksella tallennettuja toteumapisteitä tarketiedoksi, tämä asia kannattaa varmistaa työn tilaajalta.



Kuva 7. Ohje väylärakenteesta tehtävistä toteumamittauksista kaivinkoneella. (Yleiset inframallivaatimukset 2019)

Koneohjauslaitteiston avustuksella suoritettiin myös merkintämittauksia työmaalla. Pistemäisiä kohteita, kuten kaivoja pystytettiin merkitsemään senttimetriluokan tarkkuudella. Merkintämittauksissa tuli huomioida, että kauha oli varmasti kalibroitu ja tarkkuus oli riittävä mittausten suorittamista varten.

Ongelmia ja haasteita esiintyi myös koneohjauslaitteiston käytössä. Pääasiassa koneohjauksen haasteet liittyivät satelliittipaikannukseen. Huomattiin, että työskentely korkeiden rakennusten sekä puuston läheisyydessä vaikuttivat koneohjauslaitteiston tarkkuuteen. Huomattiin myös, että sään vaihtelu vaikutti laitteiston tarkkuuteen. Koneohjauslaitteisto tarkastettiin päivittäin mittajaan tekemästä kontrollipisteestä. Työmaalla esiintyvät haasteet pystyttiin selvittämään pääsääntöisesti itse. Laitteistoon liittyvissä teknisissä ongelmissa käytettiin apuna Novatronin etätukea, jolloin työhön ei tullut suuria katkoksia koneohjauslaitteistoon liittyvien ongelmien takia.

5.4 Kohteessa käytetyt koneohjausmallit

Kohteessa ei ollut käytettävissä valmiita koneohjausmalleja tilaajan toimesta, joten mallit jouduttiin teettämään itse. Kohteen koneohjausmallit päätettiin teettää 3D-koppi Oy nimisellä yrityksellä, joka on erikoistunut koneohjausmallien tekemiseen. Mallit tehtiin 2D-muotoisten rakennussuunnitelmien pohjalta. Mallintajalle toimitettiin tarvittava aineisto, jonka pohjalta mallit saatiin tehtyä. Koneohjausmallien tekoon varattiin aikaa noin kaksi viikkoa ennen työn aloitusta työmaalla.

Koneohjausmallit siirrettiin koneohjausjärjestelmään etäyhteyden avulla. Mallien siirtoon käytettiin Novatronin FTP-palvelinta, jonne mallin tekijä siirsi koneohjausmallin ja työkoneenkuljettaja pystyi itse lataamaan valmiit mallit koneohjausjärjestelmään. Novatronin FTP-palvelinta hyödynnettiin myös, kun suunnitelmiin tuli muutoksia ja malleja jouduttiin päivittämään. Koneenkuljettaja pystyi lataamaan päivitettyt mallit itsenäisesti Novatronin FTP-palvelimelta.

Kohteeseen päädyttiin tekemään pintamalli pelkästään valmiista pinnasta piha-alueiden osalta. Erillisiä pintamalleja ei tehty suodatin-, jakavasta-, tai kantavasta kerroksesta. Tällä säästettiin hieman ajassa ja kohteen mallinnuskustannuksissa. Kaivinkoneenkuljettajan näkökulmasta myös pelkkä valmiin pinnan pintamalli oli riittävä. Valmiin pinnan pintamallia pystyttiin siirtämään koneohjauslaitteiston mallin siirto työkalun avulla, jolloin erillisiä pintamalleja kaikista rakennekerroksista ei tarvittu. Koneohjausmallit kohteeseen luotiin dwg-muotoisten toteutus suunnitelmien pohjalta.

Kohteessa käytetyt koneohjausmallit listattuna:

- Anturan_alapinta.xml
- Anturan alapinta-300 mm.xml
- Lattia+150.3.xml
- Ylin_yhdistelmäpinta.xml
- Anturan_pohjat.dxf
- Asemakuva.dxf
- Jatevesikaivot.xml
- Jatevesilinjat.dxf
- Lvi.dxf
- Lvi_sisäpuoliset.dxf
- Moduulilinjat.dxf
- Perustukset.dxf
- Pinnantasaussuunnitelma.dxf
- Rannikaivot.xml
- Sadevesikaivot.xml
- Sadevesilinjat.dxf
- Salaoja.dxf
- Sok.xml
- Vj63.xml

6 KONEOHJAUKSEN KUSTANNUKSET

6.1 Kustannukset yleisesti

6.1.1 Hankintakustannukset

Koneohjausjärjestelmän kustannukset muodostuvat yleisesti muutamasta eri tekijästä. Ensimmäinen vaikuttava asia on koneohjausjärjestelmän tyyppi. Kyseessä voi olla joko 2D- tai 3D-koneohjaus. 3D-koneohjaus hyödyntää satelliittipaikannusta, joka on jo hankintahinnaltaan huomattavasti kalliimpi, kuin 2D-järjestelmä, joka ei hyödynnä satelliittipaikannusta ollenkaan. Tämän opinnäytetyön kannalta olennaista on tarkastella 3D-koneohjauksen hankinta ja kustannuksia yleisesti. Myös kone-tyyppi, johon järjestelmä asennetaan vaikuttaa olennaisesti hankintakustannuksiin. Kone-tyyppi määrittelee tarvittavien kallistusantureiden määrän ja paikannusantennien mallin (Novatron 2021).

Hankintahintaan vaikuttaa olennaisesti valittava järjestelmä ja sen komponentit. Esimerkiksi Novatronin perustason syvyysmittari Xsite EASY 2D-koneohjaus kaivinkoneeseen kustantaa 4990 euroa, kun taas kosketusnäytöllinen, 3D-valmiuden sisältävä X-site Pro 2D-Koneohjauksen hankintahinta alkaa 9000 eurosta. Täydellinen X-site Pro 3D-koneohjaus on huomattavasti kalliimpi, puhutaan noin 30 000 euron hankinnasta (Novatron 2021.)

6.1.2 Käyttökustannukset

Riittävän paikannustarkkuuden saavuttamiseksi tarvitaan 3D-koneohjausjärjestelmään korjaussignaali. Korjaussignaali saadaan joko tukiasemasta tai käyttämällä kaupallista VRS-palvelua. 2D-koneohjaukseen ei tarvita korjausta, koska ne eivät käytä satelliittipaikannusta. Koneohjausjärjestelmät ovat yleensä yhteensopivia muiden alan toimijoiden ja tukiasemien kanssa. Yleisimmät verkkokorjauspalveluiden tarjoajat Suomessa ovat Leican Smartnet ja Geotrimmin Trimnet. Verkkokorjaussopimuksen hinnat vaihtelevat valitusta palveluntarjoajasta ja valitusta sopimuksesta. (Novatron 2021)

3D-koneohjaus vaatii myös langattoman tiedonsiirron esimerkiksi koneohjausmallien ja toteumapisteiden siirtoon langattomasti. Langattoman tiedonsiirron käyttö edellyttää, että laitteistossa on SIM-kortti dataliittymällä. Suositeltavaa on käyttää 4G-liittymää. SIM-kortti asetetaan koneohjausjärjestelmän tietokoneyksikköön. SIM-kortti mahdollistaa myös etäyhteyden ja VRS-palvelun toimivuuden. Järjestelmät tukevat kaikkia Suomessa toimivia teleoperaattoreita, joista jokainen voi valita itselleen sopivan. 2D-koneohjaus ei tarvitse SIM-korttia toimiakseen. (Novatron 2021)

Koneohjausjärjestelmässä käytettävät aineistot, eli koneohjausmallit ovat osa järjestelmän käyttökustannuksia. Suurissa kohteissa koneohjausmallien tuottaminen on yleensä rakennuttajan tai pääurakoitsijan vastuulla. Pienemmissä kohteissa on mahdollista teettää siihen erikoistuneella yrityksellä. Esimerkiksi omakotitalon pohjan mallinnus on sadasta eurosta ylöspäin. (Novatron 2021.)

6.2 Kustannukset esimerkkikohteessa

Karstulan koulun maanrakennusurakassa kustannukset koostuivat koneohjauslaitteistosta, koneohjausmalleista, Leica Smartnet verkkokorjauspalvelusta ja laitteiston vaatimasta 4G-dataliittymästä. Tarkkoja kustannuslaskelmia koneohjauksella saavutetuista kustannussäästöistä ei koettu tarpeel-

liseksi selvittää. Mikäli olisi haluttu selvittää tarkat kustannussäästöt, se olisi edellyttänyt tarkkaa kirjanpitoa työtunneista ja materiaaleista, jotta sitä olisi voitu verrata ilman koneohjausta tehtävään työhön.

Suurin kertaluontoinen kustannus on koneohjauslaitteiston hankinta. Toinen vaihtoehto hankinnalle on laitteiston vuokraus, joka tarkoittaa yleensä, että kaivinkone varustellaan laitteistolla, jossa on valmius täydelliselle 3D-koneohjauslaitteistolle ja tarvittavat puuttuvat komponentit vuokrataan laite-toimittajalta. Tässä kohteessa koneohjauslaitteisto oli urakoitsijan oma. Hankintakustannuksia ei voida kohdistaa pelkästään tähän kohteeseen, koska laitteisto on hankittu jo aikaisemmin ja käyttöä on tarkoitus jatkaa myös muissa työkohteissa.

Kohteen mallinnuskustannukset pysyivät hyvin maltillisina. Koneohjausmallien tekoon kului aikaa vain 14 tuntia, jolloin kustannukset eivät nousseet kovin korkealle. Suhteellisen lyhyen mallinnusajan mahdollisti koneohjausmallien tekijän ammattitaito sekä sähköisessä muodossa saatavilla ollut lähtöaineisto. Ulkopuolista apua ei tarvittu juurikaan koneohjauslaitteiston käytössä tai käytön opastuksessa, koska työnjohdolla sekä kaivinkoneenkuljettajalla oli jo aikaisempaa kokemusta laitteiston käytöstä, jolloin tästäkään ei aiheutunut lisäkustannuksia.

Työmaalla ei ollut käytössä tukiasemaa, vaan koneohjauslaitteiston vaatima korjaussignaali ostettiin palvelun toimittajalta. Kohteessa käytettiin Leican Smartnet korjauspalvelua. Korjauspalvelusta tehtiin määräaikainen sopimus tarvittavalle aikajaksolle palvelun toimittajan kanssa, jolloin tiedettiin tarkasti korjauspalvelusta aiheutuvat kustannukset.

Työkoneessa käytetty koneohjauslaitteisto vaati 4G-tiedonsiirtoyhteyden. Laitteistossa käytettiin Telian 4G-dataliittymällä varustettua SIM-korttia. Liittymän kustannukset ovat hyvin maltilliset, eikä niitä ole tarvetta huomioida tarkemmin urakan kustannuksissa.

Työmaalla tarvittiin myös perinteistä mittausta koneohjauksen lisäksi, mittaukset suoritettiin yrityksen oman henkilöstön avulla, joten ulkopuolista mittauspalvelua ei tarvittu. Koneohjauksen kustannukset ovat varsin pieni osa koko urakan kustannuksista, joten koneohjauslaitteella saavutettavaan hyötyyn nähden kustannushyöty on merkittävä ja laite maksaa pidemmällä aikavälillä varmasti itsensä takaisin.

7 POHDINTA

7.1 Koneohjauksen vertaus perinteisiin menetelmiin

Perinteisesti maanrakennustyömaalla työmaan merkintä on hoidettu mittakeppien avustuksella. Työmaalla mittaaja on perinteisesti merkinnyt suunnittelijoiden tekemien suunnitelmien pohjalta tarvittavat linjat ja korot työmaalle keppien, korkolappujen ja maalimerkintöjen avulla. Etäisyyksiä on mitattu paperisista suunnitelmista ja mittoja on siirretty työmaalla mittanauhan avulla. Perinteisissä työtavoissa ongelmana on mahdolliset mittausvirheet sekä maastoon tehtyjen merkintöjen häviäminen. Perinteiset maastoon merkinnät ovat yleensä mittakeppejä työmaalla. Yleensä työmaalla mittakepit häviävät kaivutyön yhteydessä ja mikäli keppejä on paljon, joutuu työkoneenkuljettaja varomaan mittakeppejä työmaalla, joka hidastaa työntekoa. Mikäli mittakepit ja merkinnät työmaalla häviävät, joudutaan usein kaivamaan kaivannot ylisuuriksi, joka aiheuttaa ylimääräistä maankaivua ja täyttöä, joka luonnollisesti aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia verrattuna työskentelyyn koneohjauksen avustuksella.

Koneohjausta hyödyntävällä työmaalla koneen kuljettaja pystyy tekemään itsenäisesti mittauksia, jopa kokonaan ilman mittaajan avustusta. Työmaalla, jossa koneohjausta ei ole käytössä, tarvitaan mittaajaa jatkuvasti avustamaan työkoneenkuljettajaa mittaustöissä. Koneohjausjärjestelmä auttaa myös aloittelevaa työkoneenkuljettajaa hahmottamaan työmaan rakenteita paremmin, kuin pelkät paperiset suunnitelmat.

Koneohjausjärjestelmä mahdollistaa myös olemassa olevien putkien ja kaapelien näyttämisen koneohjauksen näytöllä, jos putkien ja kaapelien sijaintitieto on saatavilla. Järjestelmään voidaan ohjelmoida lähestymisvaroitusta, kun työkoneen leikkuuterä lähestyy varottavia rakenteita. Tämä on hyödyllinen ominaisuus, koska on tärkeää välttää käytössä olevien putkien ja kaapeleiden vaurioitamista. Kaapelien korjaukset ovat yleensä työläitä ja aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia.

Koneohjaus mahdollistaa valmiiden rakenteiden dokumentoinnin, jolloin mittaajan ja tarkemittauksen tarve vähenee työmaalla. Työkoneella mitattuja pisteitä voidaan hyödyntää laadunvarmistuksessa ja tarvittaessa yksikköhintoihin perustuvien töiden määrien laskennassa.

7.2 Koneohjaus tulevaisuudessa yrityksen toiminnassa

Työn tarkoituksena oli perehtyä koneohjauslaitteistoon, laitteiston toimintaan ja siihen tarvittaviin koneohjausmalleihin, korjausdataan ja niiden hankintaan Karstulan koulun maanrakennusurakassa. Tarkoituksena oli myös perehtyä laitteiston hankinnasta, käytöstä ja ylläpidosta muodostuviin kustannuksiin. Työmaan koneohjausmallit saatiin toteutettua suunnitelmien pohjalta ja koneohjausta päästiin hyödyntämään todella hyvin kohteen maanrakennustöissä. Kohteen mallit olivat todella hyvät ja kattavat, joka auttoi työn toteutuksessa. Koneohjaus todettiin todella käyttökelpoiseksi menetelmäksi myös talonrakennuskohteen maanrakennustöissä. Koneohjauksen käyttöä aiotaan ehdottomasti jatkaa yrityksen toiminnassa.

Tulevaisuudessa voitaisiin yrityksen toimintaa ja osaamista kehittää mallintamisen osalta. Kannattaa tietysti miettiä käytetäänkö yrityksen henkilöstöresursseja koneohjausmallien tekemiseen vai teetetäänkö mallit ulkopuolisella siihen erikoistuneella yrityksellä, jolloin mallit saadaan kerralla kuntoon.

Näitä asioita kannattaa tarkastella mallinnuskustannusten tai toisaalta saavutettavan kustannus-hyödyn näkökulmasta.

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen itselleni ja hyödyllinen yrityksen käyttöön. Ennen tämän opinnäytetyön tekemistä, yrityksellä ei ollut kokemusta koneohjauksen hyödyntämisestä talonrakennushankkeen maanrakennustöissä, vaan töitä oli tehty perinteisin menetelmin ja mittaaajan avustuksella vuosikausia. Tällä hetkellä koneohjausta hyödynnetään yrityksen toiminnassa usean eri talonrakennushankkeen maanrakennusurakassa ympäri Keski-Suomea.

LÄHTEET

Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Viitattu 18.2.2021. Viitattu 18.2.2021.

Kivinen, Tommi 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Diplomityö. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma, liikenne- ja tietekniikka. Aalto-yliopisto. <https://aalto-doc.aalto.fi/handle/123456789/20529?show=full>. Viitattu 1.3.2021.

Toivonen, Tuomas ja Ylikoski, Juho 2013. Verkko-RTK-mittaus. Insinöörityö. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/57475>. Viitattu 15.3.2021.

Kolari, Markku. Tietomallipohjainen laadunvarmistus: Perehdytysmateriaalia koneenkuljettajille. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Savonia-ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/handle/10024/155810>. Viitattu 24.5.2021.

3D-koppi. Koneohjausmalli. Verkkajulkaisu. <https://www.3dkoppi.fi/koneohjausmalli/>. Viitattu 4.3.2021.

Novatron. Koneohjauksen kustannukset. Verkkajulkaisu. <https://novatron.fi/koneohjauksen-kustannukset/>. Viitattu 25.5.2021.

Building smart Finland, Infra-toimialaryhmä 2019. Yleiset inframallivaatimukset 2019. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2.5.2019. <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>. Viitattu 9.3.2021.

Turpeinen, Arto 2019. 3D-mallin hankkiminen koneohjausjärjestelmään – paperilta käytäntöön. Koneviesti 28.03.2019, Maarakennus. Viitattu 12.3.2021.