

Jari Pelkonen

Koneohjausjärjestelmän käyttö ja hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
13.3.2012

Tekijä(t) Otsikko	Jari Pelkonen Koneohjausjärjestelmän käyttö ja hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä
Sivumäärä Aika	56 sivua + 5 liitettä 13.3.2012
Tutkinto	insinööri
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaaja Ohjaava opettaja	kalustopäällikkö Jouko Nissi yliopettaja Vesa Rope
<p>Tämän insinöörityön aiheena oli perehtyä koneohjausjärjestelmän toimintaympäristöön ja sen toiminnan edellytyksiin sekä toteuttaa maanrakennussuunnitelmia kaivinkoneella ilman perinteisiä maastomerkintöjä.</p> <p>Koneohjauksella tarkoitetaan työkoneen opastamista tai sen osittaista ohjaamista. Koneohjausjärjestelmällä työkone voidaan paikantaa suunnittelu- tai kohdealueelle ja havainnollistaa suunnitelmat kuljettajalle ohjaamossa näyttöpäätteellä. Koneohjausjärjestelmiä voidaan käyttää perinteisissä infrarakentamisen kohteissa, ja sillä on mahdollista tehostaa työmaan massataloutta ja parantaa lopputuotteen laatua.</p> <p>Työssä selvitettiin tietomallipohjaisen suunnittelun kehitysympäristöä ja sen nykytilaa, koneohjausjärjestelmien laitteistotoimittajia Suomessa, satelliittipaikannuksen osatekijöitä ja vaihtoehtoja koneohjausjärjestelmän kannalta. Lisäksi selvitettiin kaivinkoneen järjestelmän toimintaperiaate. Työn keskeisimmässä osassa tuotettiin perinteisistä suunnitelmista koneohjausmalleja ja muuta suunnitelma-aineistoa käytettäväksi kaivinkoneessa. Työssä painotetaan koordinaattijärjestelmien tuntemista, sillä koordinaatistomuunnokset ovat merkittävässä osassa toiminnan laatutekijöiden täyttymisen kannalta. Työn loppuosassa esitellään osaltaan muuttuvia käytäntöjä työmaalla, kesän 2011 työnaikaisia havaintoja sekä kuvataan koneohjausjärjestelmän taloudellisia vaikutuksia</p> <p>Työssä käytetyn lähdeaineiston ja kesän 2011 aikana hankitun kokemuksen perusteella koneohjausjärjestelmillä voidaan tehostaa työkoneiden käyttöä, säästää maanrakennuksen materiaalimenekissä ja saavuttaa lopputuotteessa parempi laatu. Tämän työn pohjalta on mahdollista saada kattava kokonaiskuva koneohjausjärjestelmistä ja niiden edellytyksistä. Työn aikana ilmeni myös, että tietomallien tehokas hyödyntäminen ja sitä kautta myös koneohjauksen luonteva käyttäminen on tulevaisuuden menestyjäyrityksen avaintekijöitä. Menestyminen edellyttää yrityksen panostamista henkilöosaamiseen sekä käytettävien laitteistojen ja kaluston hallintaan.</p>	
Avainsanat	koneohjaus, työkoneautomaatio, tietomalli, infrarakentaminen

Author(s) Title	Jari Pelkonen The utilization of a machine control system in a civil engineering company
Number of Pages Date	56 pages + 5 appendices 13 March 2012
Degree	Land Surveying
Degree Programme	Bachelor of Engineering
Instructor(s)	Jouko Nissi, Equipment Manager Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>The objective of this final year project was to study the operational environment of machine control systems and to execute excavation work plans with an excavator, without the traditional field surveying markings.</p> <p>Machine control systems provide guidance for the excavator pilot. Some systems are also able to drive the machines. The machine control system is able to locate the machine to the site and visualize plans for the pilot on a video terminal. The systems can be used for executing traditional excavation work plans. It is possible to improve mass economy and enhance the quality of work at the worksite with the machine control system.</p> <p>The final year project examines the development environment of data model based planning, its current state, the vendors of machine control equipment in Finland, the components of satellite navigation and the options for machine control systems. The final year project also explains the operating principle of an excavator. The main part of the project was to produce machine control models from the traditional plans and other planning material to be used in an excavator. Having knowledge on coordinate systems is emphasised in the project because changing the coordinate systems has a significant role in fulfilling the quality factors in the operations. The latter part of the final year project introduces the changing practices in a worksite, and the observations from working life in summer 2011 as well as describes the economic effects of the machine control system.</p> <p>Based on the reference material used in the final year project and the experience acquired during summer 2011 it can be said that machine control systems can improve the use of work equipment, bring savings on the material consumption and help in reaching better quality in the end product This final year project provides a comprehensive general picture of the machine control systems and their requirements. According to the results, the effective utilization of data models and using machine control systems based on the models are the key factors for being a successful enterprise in the future. Succeeding requires investments in the staff's skills as well as in the management of equipment.</p>	
Keywords	information model, machine control system, earth work

Lyhenteitä ja käsitteitä:

attribuutti	Ominaisuus, ominaisuustietoa kuvaava tieto esim. tekstinä
BIM	(engl. building information model). Talonrakennusalan tuotemalli-käsitteen synonyymi rakennuksen tietomalli.
datumi	Datumilla tarkoitetaan parametreja, jotka kiinnittävät koordinaatiston tarkastelun kohteena olevaan kokonaisuuteen
ellipsoidi	Maan pinnanmuotoihin sovitettu matemaattinen malli
epookki	Ajanhetki johon jonkin koordinaatiston koordinaatit on sidottu.
formaatti	Tiedon esitysmuoto jonkin tietyn jäsentelytavan mukaan
geoidi	Maan painovoimakentän samanarvopinta, fysikaalinen muoto. Geoidikorkeuden ollessa 0 kuvaa sitä muotoa, johon vapaana oleva merenpinta asettuisi. Määritelmä perustuu mittauksiin ja on realisoitu tietyssä ajanhetkenä.
InfraBIM	(engl. Infra Built Environment Information Model) Infratietomalli, joka kuvaa tietyn infrakohteen tuotemallia .
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset: toimivuusvaatimukset ja tekniset vaatimukset.
kolmiomalli	Muodostuu vierekkäisistä epäsäännöllisen kokoisista kolmioiden muotoisista tasopinnoista.

kolmiointi	Suunnitelma-aineiston käsittelytoimenpide, jossa hajapisteistä ja/tai taiteviivojen sisältämistä hajapisteistä muodostetaan kolmiotasoja, pintoja.
koordinaatisto	Kohteen sijainnin määritelmä; kolmiulotteisen suorakulmaisen, kaksiulotteisen kulmamittoihin perustuvan maantieteellisen tai kaksiulotteisen kartan suorakulmaisen koordinaatiston mukaan. Erityyppisiä koordinaatistoja ovat esimerkiksi suorakulmainen koordinaatisto, geodeettinen koordinaatisto, pallokoordinaatisto, lieriökoordinaatisto, tasokoordinaatisto ja napakoordinaatisto.
koordinaattijärjestelmä	Koordinaatiston määrittely parametrein (ks. datumi). Järjestelmän luomiseksi ei tarvita maastomittauksia.
korkeusjärjestelmä	Realisoitujen eli mitattujen kiintopisteiden joukko, joille on määritetty korkeusarvo.
korkeusmalli	Pintamalli, joka kuvaa maastonpinnan korkeuseroja
LandXML-formaatti	Infasuunnittelun XML-versio
maastomalli	Kuvaa maastonpinnan korkeuserojen lisäksi myös kaikki maanpäälliset rakenteet, rakennukset ja mahdollisesti myös kasvillisuuden.
pintamalli	Kolmioista muodostuva yhtenäinen, jatkuva pinta, joka kuvaa esim. tien tiettyä rakennekerrosta.
reaalisaatio	Maastoon mitattujen kiintopisteiden joukon muodostama verkko on kyseisen koordinaattijärjestelmän reaalisaatio.

tuotetieto	(engl. product data). Tuotetta (esim. infrakohdetta) koskevien tietojen esitysmuoto, joka soveltuu ihmisten ja tietokonesovellusten toimesta tapahtuvaan kommunikointiin, tulkintaan ja prosessointiin. Tuotetta ja siihen liittyviä asioita kuvaava tieto, joka on digitaalisessa, tietokonesovelluksilla tulkittavassa muodossa.
tuotetietomalli	(engl . product data model). Tuotetietoja määrittelevä käsitelmä. Tuotetietojen muotoja koskeva määrittely, joka määrittelee tuotetietojen tietosisällön. Tuotetietomallin pohjalta voidaan toteuttaa tuotemallia käsitteleviä ohjelmistoja ja niiden välisiä rajapintoja.
tuotemalli, tietomalli	(engl. product model) Tiettyä tuotetta (esim. infrakohdetta) kuvaavat tiedot tuotetietomallin mukaisesti jäsennettynä, ja tallennettuna tuotetietona, tietokone-sovelluksilla tulkittavissa olevassa muodossa.
XML-formaatti	eXtensible Markup Language, merkintäkieli, jolla tiedon merkitys, ts. attribuuttitiedot, on kuvattavissa tiedon sekaan. XML-dokumentti koostuu elementeistä, ja niitä voi olla rajattomasti sisäkkäin.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Insinööriyön lähtökohdat	1
2.1	Tausta	1
2.2	Työnantajan esittely	2
3	Infrarakentaminen ja koneohjaus	3
3.1	Perinteinen rakennusprosessi	3
3.2	Tuotemalliin perustuva suunnittelu	4
4	Kehitys koneohjauksen taustalla	6
4.1	Nykytila	6
4.2	Tulevaisuus	8
5	Työkoneohjausjärjestelmät ja laitetoinittajat	9
5.1	Järjestelmien lisäpalvelut ja edut	10
5.2	Julkistetut pilottihankkeet ja kokemukset	10
6	Satelliittipaikannus koneohjausjärjestelmän kannalta	13
6.1	Suhteellisen paikannuksen erityispiirteet	14
6.2	Koneohjausjärjestelmän toimintaan liittyvät virhetekijät	16
6.2.1	Satelliittimittauksen virhetekijät	17
6.2.2	Koneohjausjärjestelmän sisäiset virhetekijät	19
6.2.3	Tiedonkäsittelyyn liittyvät virheet	19
6.3	Tukiasemaverkosto ja sen edut	19
7	Koneohjausjärjestelmä kaivinkoneessa	21
7.1	Laitteisto	21
7.2	Toimintaperiaate	23
7.2.1	Ulkoinen orientointi	24
7.2.2	Sisäinen orientointi	25
8	Koneohjausjärjestelmän käytön perusedellytykset	25

8.1	Suunnitelmat	25
8.2	Koordinaatiston ja koordinaattijärjestelmän merkitys	26
8.3	Korkeuden määrittäminen	28
8.4	Suunnitelma-aineistosta toteutusaineisto	29
9	Työmaahenkilöstön osaaminen	30
10	Käytännön toiminta	31
10.1	Työmaan ennakoivat toimenpiteet	31
10.2	Koneohjausmallit suunnitelmista	34
10.2.1	Suunnitelma-aineiston editointi	34
10.2.2	Pintamallit	37
10.2.3	Viiva- ja pistemäinen aineisto	40
10.3	Koordinaattimuunnokset	41
10.4	Tiedostojen siirtäminen	42
10.5	Aloittaminen ja oikea toiminnan varmistaminen	43
10.6	Tarkemittaukset	45
11	Empiiriset kokemukset ja havainnot	45
11.1	Käyttökokemukset	45
11.2	Havainnot tarkkuudesta	47
11.3	Kokemukset laadusta	48
12	Taloudelliset vaikutukset	50
12.1	Työmaan kulurakenne	50
12.2	Laitteiston hankinta- ja käyttökulut	50
12.3	Laitteiston tuotto-odotukset	51
13	Pohdinta	52
	Lähteet	54

Liitteet

Liite 1. Trimble Planning -ohjelman kuvaaja

Liite 2. Kuva VRS-tukiasemista Suomessa

Liite 3. Suunnitelmakuva pihantasauksesta

Liite 4. Pihantasauksen suunnitelmasta editoitu taiteviiva-aineisto

Liite 5. Ote 3D-Win ohjelman ohjeesta

1 Johdanto

Suomessa eletään rakentamisessa murroskautta. Kovan kilpailun kohteena olevan alan viimeisin kehityssuunta on mahdollistamassa rakentamisen toteuttamisen entistä tehokkaimmin menetelmin. Infrarakentamisen kohteissa voidaan hyödyntää satelliittipaikannustekniikkaa ohjaamaan työkoneen liikkeitä tai opastamaan niitä. Työkoneiden koneohjausjärjestelmillä voidaan toteuttaa perinteisiä maanrakennussuunnitelmia vähemmällä fyysisellä mittaustyöllä. Mittaustyö ei sinällään poistu työmailta, vaan mitaamisen luonne muuttuu enemmän kontrollimitaamiseksi sekä siirtyy osittain työkooneisiin. Samalla rakennusprojektit on mahdollista toteuttaa entistä tehokkaammin.

Tässä insinööriyössä tutkitaan keskeisenä osana satelliittipaikannukseen perustuvaa kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän käyttöä ja hyödyntämistä maanrakennuskohteessa. Työn alkuluvuissa selvitetään koneohjauksen taustatietoja, kuvaillaan kehitysympäristöä ja havainnollistetaan rakentamisen suunnittelun kehitystä tällä hetkellä. Työn yhtenä osana selvitetään satelliittipaikannuksen käyttöön ja tarkkuuteen liittyviä tekijöitä. Pyritään myös havainnollistamaan mittaustyön muutoksia käytännössä. Tavoitteena on kuvata myös käyttöönoton edellytyksiä, uusia työvaiheita ja työmenetelmien muutoksia sekä havainnollistaa toimintatapoja. Lopuksi pohditaan koneohjausjärjestelmän tehokkuutta ja taloutta suhteessa rakennusprojektin laajuuteen.

2 Insinööriyön lähtökohdat

2.1 Tausta

Insinööriyön aihe on lähtöisin työelämän tarpeista ja toteutettu tukemaan maanrakennusliikkeen kehitystä. Tämän työ on tehty YIT Rakennus Oy:n Infrapalvelulle. Esimies rohkaisi syksyllä 2010 aiheen pariin ilmoittamalla allekirjoittaneen koneohjausseminariin. Seminaarissa esiteltiin koneohjausta niin suunnittelijoiden, tilaajien kuin rakentajienkin näkökulmista. Seminaarin jälkeen aloitin aiheeseen tutustumisen tarkemmin yleisiä taustoja selvittellen. Työn tarkempaa rajausta mietittiin palaverissa tammikuussa 2011 yhdessä esimieheni sekä kalustohankinnoista vastaavan kanssa. Ensimmäisten

ideointien perusteella työssä oli tarkoitus tutkia eri koneohjausjärjestelmien valmistajien laitteistoja ja niiden toimintaperiaatteita. Työn luonnetta päätettiin kuitenkin muuttaa käytännön toiminnan ja edellytyksien kuvaamiseen, joka pohjautuisi käytännön toiminnan kokemuksiin. YIT Kalustolla oli ennestään jo muutamassa stabilointikoneessa käytössä Novatronin koneohjausjärjestelmä, ja siltä pohjalta päätettiin hankkia järjestelmän asennus myös tela-alustaiseen kaivinkoneeseen.

Hankinnan ja laitteiston asennuksen jälkeen maaliskuussa 2011 päästiin toteuttamaan ensimmäisiä kokeiluja kaivinkoneen koneohjausjärjestelmällä. Itsenäisen laitteiston käytön ja toimintaympäristön opiskelun ohella apua ja ohjeistusta saatiin mm. laitteistotoimittajan Novatronin tuotekehityksen puolelta ja ohjelmistoyritys 3D-System Oy:n Jarmo Muukkoselta ja Markku Salorannalta. Kesän aikana koneohjausjärjestelmää hyödynnettiin kahdella eri työmaalla ja kaikki toteutuksessa käytetty aineisto luotiin itsenäisesti.

2.2 Työnantajan esittely

YIT on rakentamisen ja sen kunnossapidon monialayritys, jonka toimialueena on Pohjoismaat, Keski-Eurooppa, Venäjä ja Baltian maat. YIT tarjoaa palveluita kaikilla rakentamisen ja kiinteistötekniikan osa-alueilla ja koko elinkaaren eri vaiheissa. YIT rakentaa asuntoja, toimitiloja, kokonaisia alueita sekä infrastruktuuria, ja tämän lisäksi yritys panostaa kiinteistötekniisiin ratkaisuihin ja kiinteistötekniikan huoltopalveluihin.

Suomen rakentamisen liiketoiminta-alue jakautuu asuntorakentamisen, toimitilarakentamisen ja infrastruktuurin rakentamisen palveluihin. YIT on ollut kehittämässä kotimaan infrastruktuuria rakentamalla mm. siltoja, satamia, teitä ja väyliä sekä urheilukenttiä ja vapaa-ajan halleja. Useasti infrastruktuurin rakentaminen edellyttää erikoiskalustoa vaativissa rakennuskohteissa, kuten pohjanvahvistusmenetelmissä ja maan muokkauksessa esim. kallion louhinnassa.

3 Infrarakentaminen ja koneohjaus

Infrastruktuurilla tarkoitetaan pohjarakennetta, johon laajemman kokonaisuuden toiminta perustuu. Infrarakentaminen puolestaan käsittää kaiken yhteiskunnan yhteisten toimintojen perusrakenteiden rakentamista. Liikenne-, tietoliikenne-, energia- ja vesihuoltoverkostot ovat infrakohteita. Infraan kuuluvat myös lentokentät, kaatopaikat, puistot ja muut alueeltaan rajatut kohteet. Talonrakenteista infraan kuuluvat perustukset ja pohjarakenteet. Aikaisemmin infrarakentamisesta on käytetty termiä yhdyskuntatekniikka, mutta viime aikoina alalla on ryhdytty käyttämään termiä ympäristörakentaminen. Suppeampi yleisnimitys voisi olla myös maa- ja vesirakentaminen. Pääpaino nimityksestä riippumatta on aina liikenne-, vesi- ja ympäristöasioissa. [1.]

Koneohjauksella tarkoitetaan työkoneneen opastamista tai sen osittaista ohjaamista. Koneohjauksesta käytetään myös nimitystä koneautomaatio. Karkeasti koneohjausjärjestelmät voidaan jaotella automaatioasteen tai siihen liittyvän mittaustekniikan mukaan [2, s. 16–19]. Infrakohteiden toteutuksessa joudutaan yleisesti käsittelemään merkittävässä määrin maa-ainesta eri tavoin, jotta saavutetaan riittävät olosuhteet maanpäällisille rakenteille. Työmenetelmää, jossa huonosti kantava tai kokoonpuristuva maa-aines poistetaan ja korvataan kantavalla materiaalilla, kutsutaan massanvaihdoksi [3, s. 7]. Massanvaihto voidaan tehdä esimerkiksi rakennettavan putkilinjan alle. Teoreettiset vähimmäisvaatimukset määritellään infrarakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa, InfraRYL:ssä, johon viitataan usein myös rakennussuunnitelmien työselostuksissa. Vähimmäisvaatimukset ylittävä maa-aineksen kaivu aiheuttaa ylimääräisiä kuluja ja sen osuus voi olla kokonaismäärästä useita, jopa kymmeniä, prosentteja. Koneohjausjärjestelmiä voidaan käyttää perinteisissä infrarakentamisen kohteissa, ja sillä on mahdollista tehostaa työmaan massataloutta ja parantaa lopputuotteen laatua.

3.1 Perinteinen rakennusprosessi

Infrahankkeet edellyttävät yleisesti useiden eri suunnittelualojen ammattiosaamista riippumatta kohteesta, hanketyypistä tai suunnittelutarkkuudesta [4, s. 11]. Suunnittelussa perinteinen tapa on ollut luoda suunnitelmat kaksikulotteisina kuvina lähtötietoa-ineistoa apuna käyttäen. Aikaisemmin suunnitelmat luotiin vanhan paperikartan päälle, ja nykyisin toteutuksessa käytetään tietokoneavusteisia CAD-suunnitteluohjelmistoja

(CAD, Computer Aided Design). Perinteiset suunnitelmat koostuvat piirrosobjekteista, jotka eivät sisällä ominaisuustietoa vaan edellyttävät oikeanlaista tulkintaa. Tulkinnan viitteellisenä apuna on projektin työselostus, jolla kuvataan ja ohjataan toteutusta.

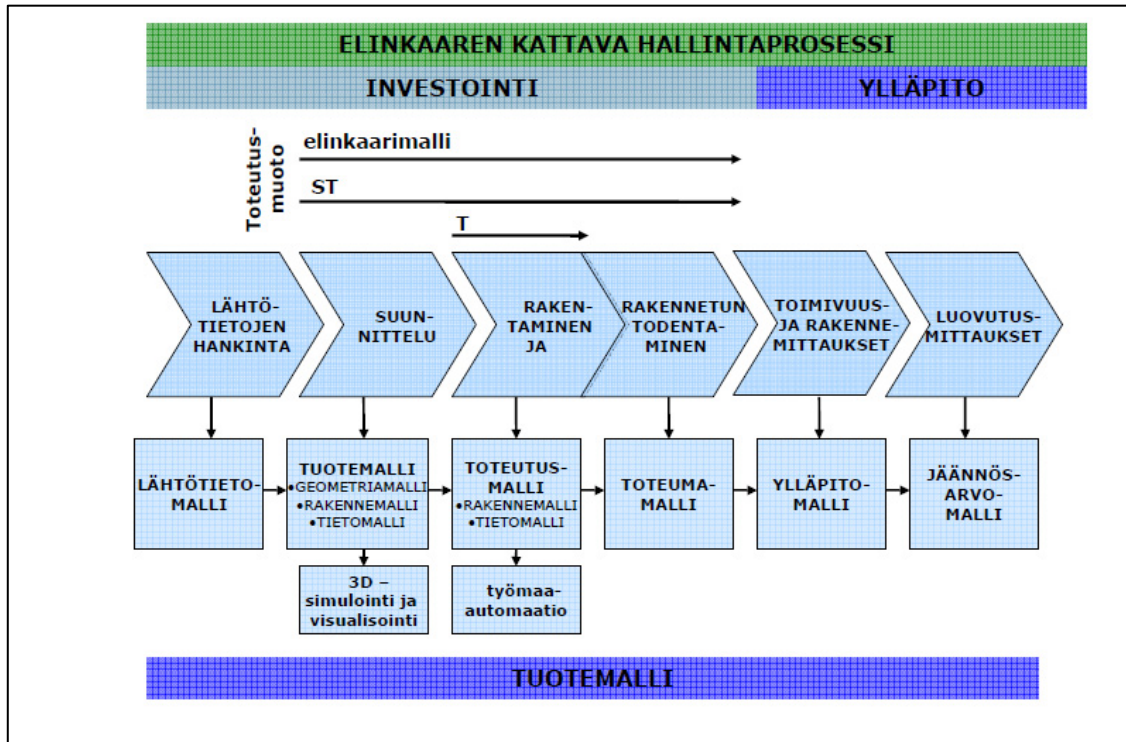
Prosessin edetessä seuraavaan vaiheeseen uusia suunnitelmia tuotetaan joko manuaalisesti aiempien suunnitelmien päälle tai niitä muokataan kyseistä suunnittelualaa vastaavaksi. Tietoa katoaa suunnitelmia siirrettäessä järjestelmässä toiseen, ja tietojen uudelleen syöttäminen teettää ylimääräistä työtä. Tilaajilla ei myöskään ole aina riittäviä edellytyksiä saada suunnittelua kilpailutettua, kun tietojen siirto järjestelmästä toiseen on ollut tehotonta tai mahdotonta. [5, s. 5.] Toteutuksen eli rakentamisen, erityisesti mittaustyön kannalta, suunnitelmien laatu vaihtelee ja saattaa edellyttää merkittävästi työtä ennen suunnitelman hyödyntämistä. Rakentamisen aikaiset muutokset suunnitelmissa aiheuttavat usein myös viivästyksiä, varsinkin jos muutoksen tarve havaitaan vasta työmaalla toteutusvaiheessa.

Suunnitelmat merkitään maastoon toteutusta varten. Rakentamisen toteutukseen liittyvien merkintöjen säilyminen maastossa on rajallista ja merkintätyö joudutaan usein toistamaan. Työtä joudutaan tekemään turhaan, kun sama merkintätyö tehdään kahdesti tai useammin ennen varsinaista toteutusta. Infrakohteen toteutuksen tulos, esimerkiksi kaivon asennus todennetaan tarkemittauksella ja mittauksista tehdään tarkepiirustukset. Lopputuotteen luovutuksessa tilaajalle luovutetaan tarkepiirustukset vähintään maanalaisista putkistoista ja johdoista sekä muista tilaajan edellyttämistä asennuksista.

3.2 Tuotemalliin perustuva suunnittelu

Nykyisellä tekniikalla on mahdollista toteuttaa infrakohteiden suunnittelu tuotemallipohjaisena. Tuotemallipohjaisella suunnittelulla tarkoitetaan kohteen kuvaamista yksittäisten tietomallien avulla, jotka ovat kolmiulotteisia attribuutti- eli ominaisuustietoa sisältäviä kokonaisuuksia. Tuotemalli käsittää rakennusprosessin elinkaaren aikaisen tiedonhallinnan ja toimintamallin, jolla rakennushankkeen kaikki tiedot, suunnitelmat, rakentaminen sekä kohteen ylläpito voidaan mallintaa ja hallita tieto- ja informaatiotekniikoilla. Kuviossa 1 on havainnollistettu tuotemallin sisältöä. Keskeinen ajatus tuotemalliajattelussa on jatkuvuus. Tietoa ei katoa missään prosessin vaiheista, vaan kaik-

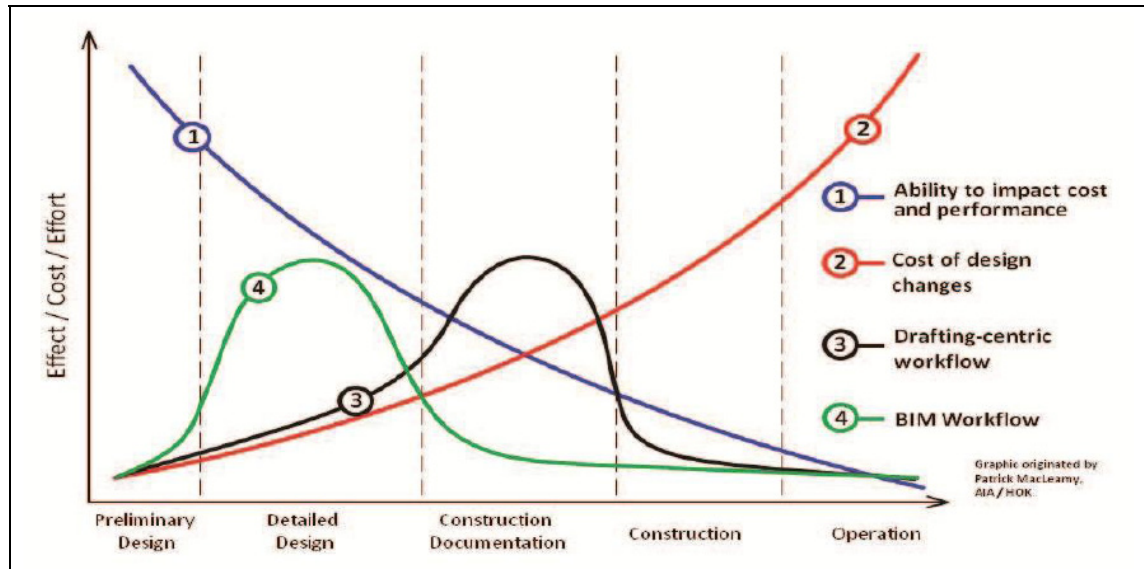
ki tallennetaan ja pienimpiinkin yksityiskohtiin voidaan palata jälkeenpäin. Tuotemallin luominen käynnistyy lähtötietojen keräämisellä ja sen sisältö täydentyy prosessin edetessä. Tuotemallilla pyritään myös mahdollistamaan infrakohteen tehokkaampi ylläpito. [6.] Useimmat nykyisin käytössä olevat suunnitteluohjelmistot tukevat tuotemallintamisen vaatimuksia.



Kuvio 1. Infrakohteen tuotemallipohjainen elinkaarenhallinta [6].

Tietomallissa rakennettavan kohteen osatekijät kuvataan realistisen kokoisina toisiinsa nähden ja eri suunnittelualojen suunnitelmia voidaan tarkastella päällekkäin. Päällekkäisellä tarkastelulla voidaan selvittää törmäyskohdat ja siten vähentämään rakentamisen aikaisten muutossuunnitelmien laatimista. Tuotemallin yhtenä osana on työ-koneautomaatio eli koneohjaus, jossa voidaan tehokkaasti hyödyntää tuotemallissa tuotettavia suunnitelmia. Kuviosta 2 on nähtävissä, miten tietomallipohjainen hallinta-prosessi vaikuttaa suunnittelutyöhön. Vaaka-akselilla on jaettu rakentamisen prosessi eri vaiheisiin suunnittelutyön kannalta. Näitä vaihteita ovat varhaisen vaiheen yleis-suunnittelu, yksityiskohtainen suunnittelu, rakentamisen dokumenttien luonti, raken-taminen ja lopulta rakennetun kohteen käyttöönotto ja sen ylläpito. Tietomallipohjai-nen toimintatapa, käyrä 4, keskittää suunnittelutyötä varhaisempaan vaiheeseen, jol-loin voidaan myös parhaiten vaikuttaa rakentamisen kokonaiskustannuksiin ja työme-

netelmiin, 1. Muutokset suunnitelmissa aiheuttavat suhteessa enemmän kuluja, 2, mitä pidemmälle rakennusprosessi etenee. Perinteinen piirustuskeskeinen työtapa, 3, kohdistaa suunnittelutyötä rakennussuunnitteluvaiheeseen. [5, s. 6–7.]



Kuvio 2. Tuotemallin vaikutukset suunnittelutyöhön [5, s. 7].

4 Kehitys koneohjauksen taustalla

Rakennusalalla tietomallipohjainen käytäntö on sisäistetty ensimmäisenä talonrakennuspuolella. Kansainvälisesti tietomallinnusta on käytetty talon- ja erikoisrakentamisen kohteissa menestyksekkäästi jo useiden vuosien ajan. Tietomallit ovat kasvavassa määrin infrarakentamisen tulevaisuutta. Yksi mainittavista kotimaisista tietomallinnuksella toteutetuista infraprojekteista on Helsingin Jätkäsaaren ja Ruoholahden välinen Crusellin silta [7].

4.1 Nykytila

Työkoneohjaus on pieni osa hyvin suurta kehityskokonaisuutta, jossa kehitetään koko rakentamisen alan tehokkuutta. Kehitystyössä käytetään apuna kansainvälisiä standardeja. Rakennusalalla on ollut tietoteknisen kehityksen myötä moninaistumista ohjelmistojen osalta ja täten myös mm. formaattien osalta. Rakennusprojekteissa on ylimääräisiä työvaiheita ja kustannuksia ohjelmistojen välisestä tiedonsiirrosta johtuen [4, s.

91]. On tavallista, että tiedonsiirtoa edellyttävässä formaattien välisessä muunnoksessa katoaa tietoa tai se jää käyttämättä [4, s. 92]. Alalle on kaivattu toimintamallien yhtenäistymistä ja vakiintuneita tiedonsiirtostandardeja jo jonkin aikaa. 2000-luvulla on käynnistetty erinäisiä julkisesti rahoitettuja tutkimus- ja kehityshankkeita alan kehittämiseksi. Hankkeet keskittyvät yhtenäistämään alan toimintatapoja standardoinnin avulla rakentamisen koko elinkaaren ajalle.

Parhaillaan käynnissä olevalla InfraTM-hankkeella pyritään vauhdittamaan infra-alan kehitystä kohti tuotemallipohjaista elinkaaritiedon yhteiskäyttöä. InfraTM-hankkeella pyritään luomaan InfraBIM-tietomalli, jossa määritellään tietomallinnuksen ohjeet ja vaatimukset infra-alalle. InfraTM-ohjeistus koskee lähtötietojen tuottamista, suunnittelua, rakentamista ja ylläpitoa eli koko infrakohteen elinkaarta. Tietomallinnuksella tarkoitetaan kolmiulotteisen tietokonemallin luomisen lisäksi tiedonsiirtoa ja tiedon jakamista rakennusprosessin eri osapuolten välillä. [4, s. 38]. InfraTM-hankkeen taustalla ovat InfraModel 1- ja 2 -hankkeet, joissa keskityttiin nimenomaan tutkimaan suunnitteluvaiheen tiedonsiirtoon liittyviä haasteita. InfraModelissa määriteltiin tiedonsiirtostandardi väylähankkeiden suunnittelun tehostamiseksi [9, s. 4]. Standardi perustuu kansainväliseen LandXML-kuvaukseen, jonka taustalla on kansainväliset maarakennusalan ohjelmistotalot [5, s. 6]. Kansainvälisestä LandXML-formaatin jäsentelystä muokattiin ja täydennettiin versio, joka palvelee kansainvälistä versiota paremmin kotimaisia tarpeita [10, s. 4]. Käynnissä oleva InfraTM-hanke rakentuu ohjaavista ja kolmella panostusalueella toteutettavista tutkimus-, kehitys- ja pilottihankkeista. Panostusalueita ovat lähtötietoaineiston saatavuuden kehittäminen, suunnittelun ja rakentamisen tuotemallinnuksen edistäminen sekä infraomaisuuden hallinta ja kehitys. [9.]

Kaikkien hankkeiden taustalla on Valtioneuvoston periaatepäätös 7.4.2005, jossa todetaan julkisen tutkimusjärjestelmän uudistumistarve kansallisen kilpailukyvyyn ylläpitämiseksi. Tämän periaatepäätöksen johdosta Suomeen on perustettu tieteen, teknologian ja innovaatiotoiminnan strategisia huippuosaamisen keskittymiä. Nämä edellä mainitut SHOK:it kattavat Suomen kannalta toiminta-alueet, joilla suomalaiset yritykset voivat kilpailla kansainvälisesti. Kunkin SHOK:n toiminnan ohjaamiseksi on perustettu voittoa tavoittelematon osakeyhtiö, jossa osakkaina on yrityksiä, oppilaitoksia ja tutkimuslaitoksia. [11; 12; 13.]

Yksi näistä huippuosaamisen keskittymistä on rakennetun ympäristön SHOK-yhtiö, RYM Oy. RYM Oy:llä on kolme tutkimushanketta, joista ensimmäinen, PRE-ohjelma (Built Environment Process Re-engineering) on jo käynnistetty ja se on tarkoitus toteuttaa vuosina 2010–2013. PRE-ohjelman tavoitteena on kehittää aivan uusia toimintatapoja ja liiketoimintamalleja kiinteistö-, infra- ja rakennusalueelle. PRE-ohjelma koostuu kuudesta osa-alueesta, joilla kaikilla on oma veturiyhtymänsä. [14.]

RYM Oy:n PRE-ohjelman veturiyhtymät ja osa-alueet ovat seuraavat:

1. Tekla Oy, Tietomallit ja standardit (Transaction based information sharing and distributed information management)
2. Skanska Oy, Tietomallipohjainen tuotetiedonhallinta teollisen rakentamisen toimitusketjussa (Building information model based product data management in industrialized construction supply chain)
3. VR-Track Oy, Infra-alan tulevaisuuden innovaatiopohjainen toimitusketju (FINBIM)
4. Senaattikiinteistöt, Tietomallin käyttö kiinteistön elinkaaren aikana kiinteistöomistajan näkökulmasta (New Business Model based on Process Network and BIM)
5. Rapal Oy, Tietotyön muuttuva luonne ja vaatimukset sekä seuraukset organisaation ja tilojen johtamiseen (New Ways of Working)
6. FCG Oy, Yhdyskuntatasoisen rakennetun ympäristön digitaalisten mallien jakamisen, arvioinnin ja kehittämisen alusta (BIMCity)

4.2 Tulevaisuus

Yhtenäisistä tiedonsiirtostandardeista tulee todennäköisesti olemaan alalla suurin hyöty suunnittelutyössä. Ohjelmistojen välinen vuorovaikutus tulee paranemaan, ja samalla suunnittelutyön resurssit kyetään optimoimaan. [5, s. 5.] Näin ollen saadaan yksityiskohtaisempia suunnitelmia, työn laatu paranee ja laatu välittyy tilaajalle sekä käyttäjille kohteen elinkaaren aikana. Optimistisin näkemys tietomallikehityksestä on sujuva tuotemallin yhteiskäyttö, jossa infran eri osapuolet voivat hyödyntää samaa mallia. Tällöin rakennushanketta hallinnoidaan ja toteutetaan mallipohjaisesti.

On oletettavaa, että julkinen rahoituskoneisto tulee jatkossakin edistämään alan kehittymistä, mutta alan yksityisten toimijoiden on sisäistettävä uudet toimintatavat. Tuo-

temallin käyttö muuttaa olennaisesti koko infrasektorin käytössä olevia toimintatapoja ja sen myötä täytyy luoda myös uusia. Keski-Euroopassa ja mm. Norjassa ja Ruotsissa kehitys on Suomen tilannetta pidemmällä [15]. VR-Track Oy:n vetämässä FINBIM-ohjelmassa on käännetty Norjan infrasektorilla käytössä olevat mallinnusohjeet, ja parhaillaan tutkitaan näiden ohjeiden soveltuvuutta Suomen käytäntöihin. Rakentaminen on toimialana toimintatapoineen kuin suuri laiva, jonka kääntäminen vie aikansa. On selvää, että standardointityöllä ja mainituilla panosalueiden tuloksilla on suuri merkitys uusien toimintatapojen vakiintumisessa infra-alalle.

Työkoneohjausjärjestelmät edellyttävät suunnitteluaineistoja, jotka ovat geometrisesti eheitä ja joissa riippuvuussuhteet toisiin objekteihin on määritelty. Siten edellä mainitut tutkimus- ja kehityshankkeet luovat edellytyksiä järjestelmien käytölle.

5 Työkoneohjausjärjestelmät ja laitettoimittajat

Koneohjausjärjestelmien markkinoita ovat helpottaneet tekninen kehitys yleisesti ja satelliittipaikannuksen tarkkuuden parantuminen. Suomessa koneohjausjärjestelmiä markkinoivat Geotrim Oy, Topgeo Oy, Scanlaser, Novatron Oy ja Geosam Oy. Työkoneohjausjärjestelmiä on markkinoilla lähinnä maanrakentamisen työkoneisiin, joilla siirretään ja muokataan maa-aineksia. Jotkin koneohjausjärjestelmät on hyödynnettävissä myös maataloudessa. [16; 17.]

Työkoneohjausjärjestelmät voidaan jakaa automaatioasteen mukaan kahteen luokkaan opastaviin ja ohjaaviin järjestelmiin. Opastavat vertaavat työkoneen sijaintia suhteessa suunnitelmaan. Ohjaavat puolestaan sananmukaisesti ohjaavat työkoneen toimintoja automaattisesti suhteessa suunnitelmaan. Työkoneohjausjärjestelmät perustuvat paikannukseen ja tietokoneeseen ohjelmineen, joilla yhdessä saadaan luotua yhteys suunnitelman ja työkoneen sijainnin välille. Laitteistokokonaisuuksia on saatavilla kairavinkoneen lisäksi puskukoneeseen, tiehöylään, asfaltinlevittimeen, stabilointikoneeseen, pyöräkuormaajaan ja kaatopaikkapakkaajaan. [2, s. 16–19.]

5.1 Järjestelmien lisäpalvelut ja edut

Useiden laitetoimittajien palvelukonseptit sisältävät laitteiston ohella myös projektinhallintaan soveltuvan projektipankin tapaisen palvelun. Palvelun ideana on palvelin, jonne ladataan toteutusaineistot. Työkoneen järjestelmä on langattomassa yhteydessä verkossa toimivaan palveluun, ja pystyy siten lataamaan toteutusaineistoja työkoneenjärjestelmän kiintolevylle. [16; 18; 19.] Hohtolabs Oy:llä on ratkaisu infratyömaan hallintaan ja koneohjausjärjestelmiin soveltuvan langattomaan tiedonsiirtoon. Kuura-nimisen sovelluksen avulla työnjohto voi esimerkiksi paikallistaa itsensä tiehankkeessa, jossa koneohjauksen tapauksessa ei välttämättä ole lainkaan maastomerkintöjä. [20.] Nova-tronin järjestelmän erikoisuutena on etätukipalvelu, jolla koneenkuljettaja kykenee pyytämään laitetoimittajan etätukea koulutukseen, suunnitelmamallien siirtämisen sekä ohjelmistopäivityksiin [18; 19].

Tutkimuksiin perustuen koneohjausjärjestelmän käytöllä pystytään parantamaan rakentamisen laatua ja työn tehokkuutta. Työn tehokkuus kasvaa, kun turhat maa-ainesten kaivu ja siirto jää pois. [21; 22.] Työkoneilla voidaan työskennellä pimeänä aikana ilman maastomerkintöjä, jolloin työn toimintakatkokset minimoituvat. Tehokkuuden ja talouden tulokset näkyvät myös polttoaineen kulutuksessa ja kyseiseen työhön käte-tyssä ajassa. Lopulta koneohjausjärjestelmän käytöstä hyötyvät sekä urakoitsija että tilaaja. [10, s. 9.]

5.2 Julkistetut pilottihankkeet ja kokemukset

Koneohjausjärjestelmien käyttöä on tutkittu pilottikohteiden muodossa ja näistä on tuotettu erinäisiä selvityksiä. VTT ja Destia Oy ovat yhdessä Oulun ja Tampereen kaupunkien kanssa toteuttaneet infrahankkeita, joissa on käytetty koneohjausjärjestelmiä mm. kaivinkoneissa, asfaltinlevittimissä ja puskukoneissa. Ensimmäisiin selvityksiin koneohjauksesta lukeutuva VTT:n Älykäs Tietyömaa käsittelee erilaisia automaation käyttösovelluksia ja edellytyksiä tietyömaalla. [2.]

Oulu ja Tampere ovat ottaneet tilaajina ja toteuttajina ensi askeleet koneohjauksen hyödyntämisessä. Kaupungit olivat mukana InfraTM-pilottihankkeessa, jossa tutkittiin tietomallien ja koneohjauksen käyttöä tiehankkeissa. Tekesin rahoittamaan kehitys- ja

pilotointihankkeeseen kuului tietomallikäytäntöjen testaaminen kadunrakentamisprosessissa. Projektin päätavoitteeksi määritettiin katuhankkeeseen sovellettu tietomallipohjainen hankinta-, suunnittelu- ja toteutusprosessi, jolla saadaan tuottavuutta parannettua huomattavasti perinteiseen toimintatapaan verrattuna. Hanke kattoi kaksi erillistä pilottityömaata, joissa rakennettiin tavallisia katuja. Pilottityömailta saatiin myönteisiä havaintoja niin koneenkuljettajien käyttökokemuksina, laadun parantumisena kuin paremman tuottavuudenkin osalta. Tuottavuuden parantuminen havaittiin työmaan massataloudessa ja mahdollisuudessa työskennellä koneohjausjärjestelmällä pimeänä aikana. Oulun kaupungin suunnitteluinsinöörin Markku Mustosen mukaan koneohjausjärjestelmällä ei saavutettu merkittäviä säästöjä rakentamiseen kuluvas-
ajassa tai kustannuksissa. Tämä johtui lähinnä siitä, että kyseessä oli pilottihanke, jossa haluttiin tutkia järjestelmän toimivuutta ja toimintaympäristöä. [23.]

Kokemukset maailmalta puhuvat koneohjausjärjestelmien puolesta. Maansiirtokoneisiin erikoistunut Caterpillar toteutti Malagan koulutuskeskuksessaan kaksi identtistä tietä vierekkäin, toisen perinteisellä metodilla ja toisen koneohjausjärjestelmiin turvautuen. Tiet olivat vain 80 metriä pitkät, mutta sisälsivät kaikkia yleisimpiä tiegeometrioita eli suoria, kaaria ja siirtymäkaaria sekä pituus- ja sivukaltevuuksia. Tiet olivat identtisiä massojen käsittelynkin osalta. Molemmissa oli leikattavaa maa-ainesta 357 m³ ja täytettävää 347 m³. Työkoneiden erona oli vain koneohjaus, muutoin käytettävät koneet olivat samankokoisia, ja niitä oli käytössä yhtä monta. Tutkimuksessa vertailtiin rakentamiseen käytettyä aikaa, kuormattujen kuormien ja ajokertojen lukumäärää, polttoaineen kulutusta sekä rakennekerrosten tarkkuutta. Taulukoista 1 ja 2 on havaittavissa että työkoneet on saatu tehokkaampaan käyttöön koneohjauksella toteutetussa tienrakennuksessa. Taulukoissa esitetyt työkoneet ovat puskutraktori (D6N), kaivinkone (330D) ja tiehöylä (140H). [22].

Huomionarvoista tutkimuksessa on koneohjauksella saavutettu parempi laatu. Molempien teiden rakennekerroksista otetut tarkemittaukset osoittavat, että koneohjauksella toteutettu tie on lähempänä suunniteltua kuin perinteisellä tavalla toteutettu. Alusrakenteen tarkkuusvaatimuksen (+/- 30 mm) täytti perinteisessä toteutuksessa vain 35 % mittaustuloksista ja koneohjauksella toteutetun 86 %. Kantavan kerroksen tarkkuusvaatimukset (+/- 20 mm) täytti 45 % perinteisessä vaihtoehdossa ja koneohjauksella 98 %.

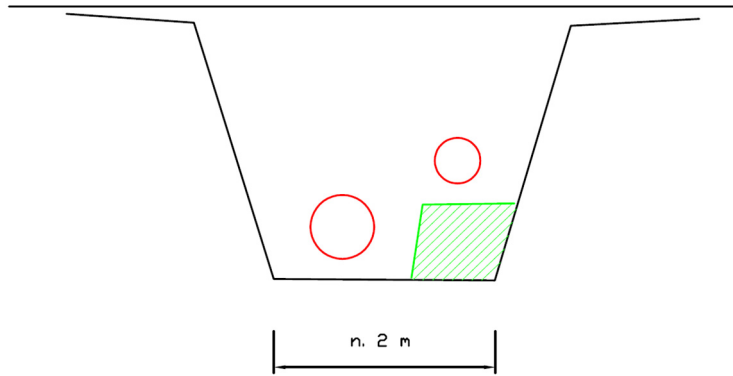
Taulukko 1. Työaikavertailu Caterpillarin tienrakennus tutkimuksessa [22.]

Käytetty työaika				
	työkone	Työtapa		Saavuttu tehokkuus
		Perinteinen	Koneohjaus	
Mittaustyö		h:min 7:31	h:min 0:54	Säästetty työaika 6:37
Maansiirto, pintamaa	D6N	4:40	4:18	+ 9 %
	330D	2:23	1:53	+ 27 %
Tasaus, jakava	D6N	3:48	1:28	+ 159%
	330D	2:56	2:43	+ 8 %
Tasaus, kantava	D6N	2:24	0:53	+ 172 %
Viimeistely, kantava	140H	1:49	0:32	+ 241%
Yhteensä		24h 32min	11h 50min	+ 101 %

Taulukko 2. Polttoaineen kulutusvertailu Caterpillarin tienrakennustutkimuksessa [22.]

Käytetty polttoaine			
Työkone	Työtapa		Saavuttu säästö
	Perinteinen	Koneohjaus	
D6N	210 L	136 L	35 %
330D	231 L	123 L	47 %
140H	22 L	7 L	68 %

Reykjavikin yliopiston tutkimuksessa puolestaan tutkittiin kaivettujen ja täytettyjen massojen tilavuuksien eroja sekä käytettyä aikaa niin työkoneiden kuin työtekijöiden panoksen osalta. Tutkimuksessa toteutettiin kaksi samanlaista 160 m pitkää putkilinjaa, jossa putkien vesijuoksut olivat eri tasoilla eli toinen putkista sijoittui toista ylemmäksi. Kuviossa 3 on havainnollistettu kaivannon poikkileikkauksella putkien sijoittumista kaivantoon. Reykjavikin yliopiston tutkimuksessa koneohjauksella pystyttiin välttämään niin sanottu turha kaivaminen, joka johtui ylemmän putken arinan turhasta massanvaihdosta, vihreä rasteri. Vähemmän kaivamista tarkoittaa myös samalla vähemmän poiskuljettavia massoja. [24].



Kuvio 3. Reykjavikin yliopiston tutkimuksen putkikaivannon periaate, poikkileikkaus.

Yliopiston tutkimuksen mukaan koneohjauksella kyettiin säästämään 23 % kaivinkoneen työajassa, n. 22 % polttoaineessa, 97 % mittaustyössä, 14 % pois kuljetetuissa massoissa ja 60 % putkiarinan materiaalissa. [24.]

6 Satelliittipaikannus koneohjausjärjestelmän kannalta

Tässä insinöörityössä tarkasteltavan 3D-koneohjausjärjestelmän toiminta perustuu satelliittipaikannukseen ja sen reaaliaikaiseen RTK-paikannustekniikkaan. RTK-paikannus mahdollistaa työkonen sijainnin määrittämisen senttimetritarkkuudella, joka on riittävä ja soveltuu näin ollen infrarakentamiseen.

GPS (Global Positioning System) on tavallisimmin satelliittipaikannuksesta käytetty termi, vaikka se on alun perin amerikkalaisten sotilaskäyttöön kehittämä paikannusjärjestelmä. Maailmanlaajuisesta paikannusjärjestelmästä yleisesti puhuttaessa käytetään yhtälailla termiä GNSS (Global Navigation Satellite System). Eurooppalaisten kehittämä satelliittijärjestelmä on Galileo ja venäläisten Glonass. Järjestelmät eroavat toisistaan hieman satelliittien ratojen lukumäärän ja inkliinaatiokulmien osalta. Satelliittijärjestelmien ja satelliittien määrän kasvaessa satelliittipaikannuksen toimintavarmuus paranee. [25, s. 18; 27.]

Satelliittipaikannus perustuu satelliitin ja paikannettavan kohteen välisen etäisyyden mittaamiseen. Paikannus voidaan suorittaa eri tavoin, ts. paikannusmoodein. Tarkkuus

riippuu käytettävästä moodista. Moodit jaotellaan käytettävän mittaussuureen, havaintolaitteiden lukumäärän ja mittausvirheiden korjaustavan mukaan. Mittaustavan monitkaistuesssa ja toisaalta samalla paikannuksen tarkkuuden parantuessa myös paikannuslaitteistojen hinnat kasvat. [26; 27, s. 8.]

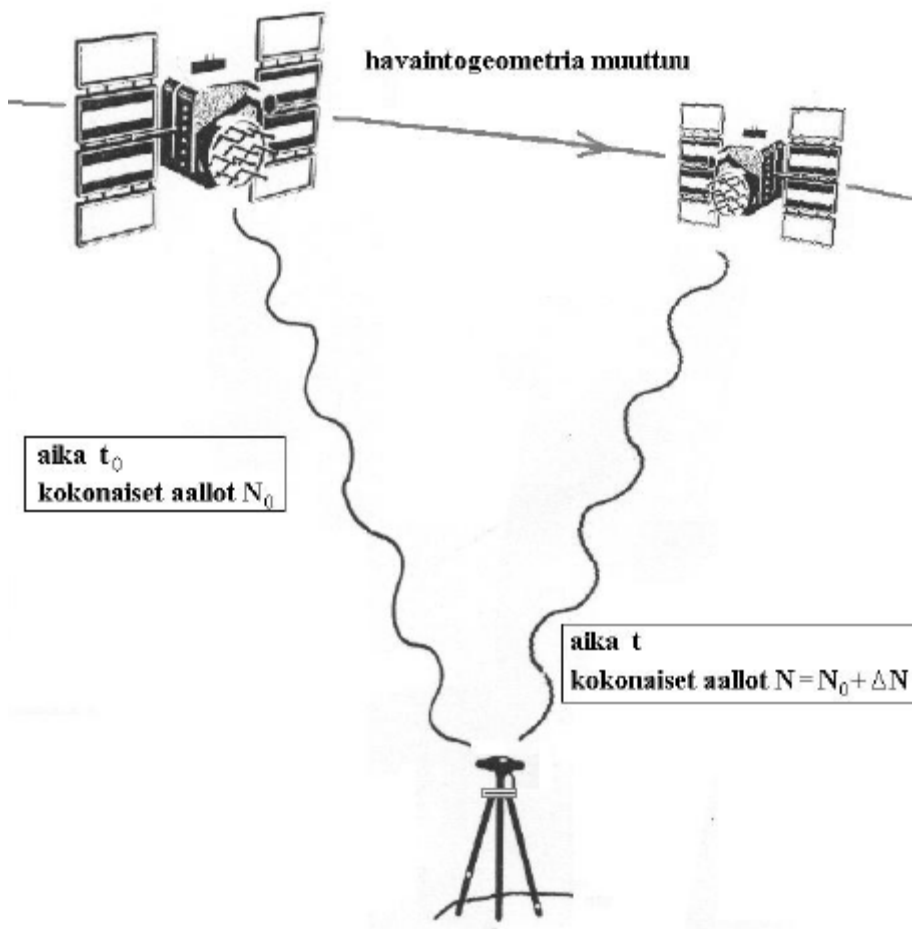
Siviilikäytön mittaussuureita ovat signaalin paikannuskoodi, C/A-koodi ja satelliitin kantoaallot. Tämä absoluuttinen, C/A-koodiin perustuva paikannus on tarkkuudeltaan kymmenien metrien luokkaa ja soveltuu lähinnä vain harrastelijoille ja autojen navigointilaitteisiin. Koodihavaintoa voidaan tarkentaa differentiaalisella paikannuksella, jolloin tarvitaan tietoliikenneyhteys jonkin palvelun tarjoajan tukiasemaan. Tietoliikenneyhteyden avulla koodihavaintoja on mahdollista tarkentaa metriluokan paikannukseen, joka soveltuu hyvin mm. meriliikennöintiin. Kolmantena moodina on interferometrinen (suhteellinen) paikannus, joka on differentiaalisen mittauksen erikoistapaus ja perustuu kantoaallon vaihehavaintoihin. Tämä kahta edeltävää paikannusmoodia tarkempi edellyttää käyttäjältä kahta vastaanotinta, joista toisen tulee olla sijainniltaan tunnetulla pisteellä sekä pysyä tukevasti paikoillaan. Suhteellisen paikannuksen erikoissovellus RTK-mittaus (Real Time Kinematic) edellyttää reaaliaikaisen korjausviestin vastaanottamiseksi radioyhteyttä tukiasemaan tai tiedonsiirtoyhteyttä matkapuhelinverkkoon. [27, s. 9.] Paikannuksen saavuttamiseksi tarvitaan tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen lisäksi havaintoja vähintään neljään molemmille vastaanottimille näkyvään satelliittiin. Tämä ei kuitenkaan takaa riittävää paikannuksen luotettavuutta, ja havaintojen ylimäärityksen vuoksi laitteistot edellyttävät havaintoja vähintään kuuteen yhteiseen satelliittiin.

6.1 Suhteellisen paikannuksen erityispiirteet

Suhteellinen paikannus perustuu satelliittien lähettämän kantoaallon vaihe-eron havaitsemiseen. Kuten nimestä voi päätellä, paikannus toteutetaan suhteessa johonkin koordinaateilta tunnettuun pisteeseen. Tunnetulla pisteellä olevaa vastaanotinta kutsutaan tukiasemaksi tai vertailuvastaanottimeksi ja liikkeessä olevaa paikantavaksi vastaanottimeksi. Paikantavan vastaanottimen sijainnin määrittämisessä molemmat vastaanottimet havaitsevat samoja satelliitteja. Riittävällä määrällä yhteisiä havaintoja voidaan laskea paikantavan ja tukiaseman vastaanottimen välinen matka eli paikkavektori (ΔX , ΔY , ΔZ). [27, s. 57.] Suhteellista mittauksa käytetään mm. geodeettisten runkopisteiden

mittaamisessa, tällöin käytössä on useita vastaanottimia, joista osa on koordinaateiltaan tunnetuilla pisteillä ja osa uusilla, mitattavilla pisteillä. Havaintojaksot ovat kullakin mittausjaksolla vähintään tunnin, ja uusien pisteiden koordinaattilaskenta suoritetaan jälkikäteen. Suhteellisen paikannuksen RTK-mittausta käytetään kartoitus- ja merkintätehtävissä sekä myös työkoneautomaatiossa. [26.]

Kantaaallon vaihehavaintoihin perustuvassa mittauksessa on laskennallinen haaste, joka liittyy kokonaisten aallonpituuksien määrittämiseen. Kokonaisten aallonpituuksien ratkaisemisesta käytetään myös nimitystä alkutuntemattomien ratkaisu. Osa-aallon pituus eli vaihe-ero voidaan ratkaista yksinkertaisesti mittaamalla. Kokonaiset aallonpituuudet edellyttävät riittävän pitkää havaintojaksoa samaan satelliittiin, jolloin havaintogeometrian muutoksesta saadaan kokonaisaallonpituuksien lukumäärä (kuvio 4). Alkutuntemattomien ratkaisun jälkeen järjestelmä on toimintavalmis. Alkutuntemattomien ratkaisua kutsutaan myös alustukseksi sekä FIX-tilaksi. Satelliittipaikannuksen kehityksen alkuvaiheessa suhteellisen mittauksen paikkavektoreiden laskenta oli tietoteknisille laitteille työlästä ja aikaa vievää, joten paikkavektorit ratkaistiin vain jälkilaskentana. Jo 1990-luvun lopulta lähtien laitteet ovat mahdollistaneet paikantamisen reaaliaikaisena RTK-mittauksena. [26.] Nykyään tämä reaaliaikainen kinemaattinen mittaus vaatii tietotekniikalta enemmän, koska laitteiston täytyy ratkaista sijainti nopeasti, niin sanotusti lennosta (On the Fly), mikä myös vaikuttaa laitteiston hintaan. RTK-mittaus on yhtenä edellytyksenä koneohjausjärjestelmälle, jotta paikannus on mahdollista ja sen tarkkuus soveltuu infrarakentamisen työkohteisiin. Yleisesti RTK-mittauksen tarkkuutta käsitellessä, täytyy tarkkuus jakaa taso- ja korkeuskomponentteihin. Tekniikan ja satelliittipaikannuksen ominaisuuksien vuoksi tarkkuus on tasolla parempi kuin korkeuden mittauksen osalta.

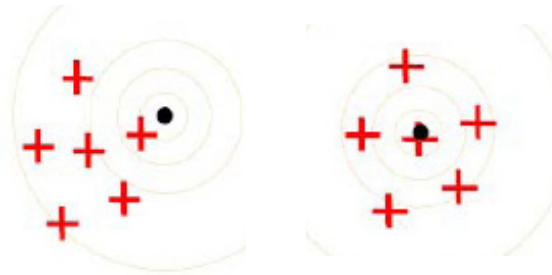


Kuvio 4. Havaintogeometrian muutoksella ratkaistava kokonaisaallonpituus N_0 [27, s. 58].

6.2 Koneohjausjärjestelmän toimintaan liittyvät virhetekijät

Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjausjärjestelmä sisältää useita osa-alueita, joissa voi olla käytännön toiminnan kannalta ratkaisevia virheitä ja paikannusta vääristäviä tekijöitä. Yleisesti virheet voidaan luokitella kolmeen osaan; karkeisiin, systemaattisiin ja satunnaisiin virheisiin. Karkeat virheet johtuvat yleensä inhimillisestä erehdyksestä, ja ne ovat ehkäistävissä ennakkovalmisteluilla ja huolellisella työskentelyllä. Karkeat virheet pyritään aina poistamaan mittauksista. Systemaattinen virhe on luonteeltaan toistuva ja säännöllinen, ja aiheutuu mittauslaitteistosta tai väärästä mittausmenetelmästä. Systemaattiset virheet voidaan välttää laitteiston säännöllisellä kalibroinnilla tai mittausmenetelmän kehittämisellä. Systemaattinen virhe aiheuttaa tuloksiin niin kutsuttua siirtymää (kuvio 5), joka voidaan korjata kalibroinnilla. Satunnainen virhe

sisältyy aina mittaustuloksiin, mutta se on luonteeltaan vaihteleva, yleensä vähäinen ja sen vaikutusta voidaan vähentää riittävällä määrällä toistoja. [26.]



Kuvio 5. Systemaattisen virheen idea

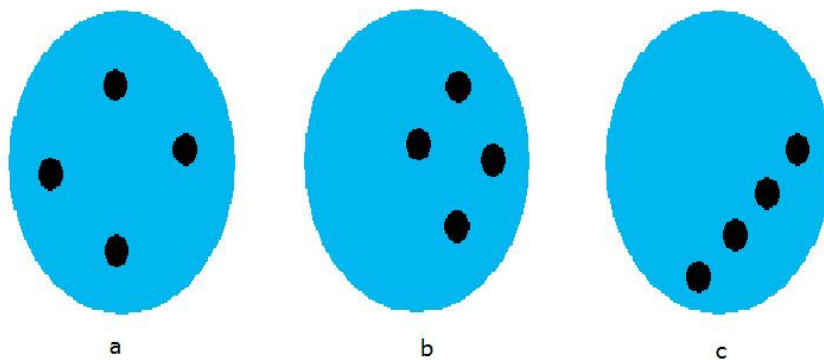
6.2.1 Satelliittimittauksen virhetekijät

Satelliittimittauksen virheitä käsiteltäessä puhutaan myös satelliittipaikannuksen olosuhteista. Olosuhteiden ollessa epäedulliset paikannukseen liittyy epävarmuutta eli virhettä. Virhettä paikannukseen aiheuttavat ilmakehän tila, satelliittien rata ja kellovirheet, satelliittien geometria ja mahdolliset monitieheijastukset ympäristötekijöistä. Mikäli paikannuksen korjausviesti vastaanotetaan radiosignaalina, voi myös ympäristötekijät vaikeuttaa sen vastaanottamista. Radiosignaalin vastaanottamista voivat häiritä muut samoilla aallonpituusalueilla lähetettävät signaalit tai muut voimakkaan sähkömagneettisen säteilyn lähteet, kuten voimalinjat. [26.]

Ilmakehän kerroksista ionos- ja troposfääri vaikuttavat satelliitin lähettämän signaalin kulku-aikaan. Ionosfäärin vaikutukset johtuvat sähköisesti varautuneista hiukkasista, ja vaikutukset ovat paikallisesti ja ajallisesti vaihtelevia. Vaikutus on suurinta satelliittien signaaleihin, jotka ovat lähellä horisonttia, eli niiden lähettämä signaali kulkee pidemmän matkan ilmakehässä. Ionosfäärin ja troposfäärin vaikutuksia voidaan hallita laitetekniikalla ja tukiasemaverkkopalvelulla, joka kykenee tehokkaaseen ilmakehätekijöiden virheenmallinnukseen. [26; 28; 29 s. 24.] Yksittäinen tukiasema ei kykene poistamaan ilmakehästä aiheutuvia virheitä. Kun paikantavan vastaanottimen ja tukiaseman välimatka kasvaa, kasvaa myös virhe kahden etäisyyden välillä. [29]. Tällöin puhutaan myös ppm-virheestä (Part Per Million), joka on miljoonasosa mitatusta oikeasta matkasta. Esimerkiksi 10 km:n matkalla 5 ppm:n virhe on 5 cm.

Satelliittien lähettämä signaali sisältää satelliitin ratatiedon ja tarkan kellonajan, mutta näissäkin voi olla virheitä. Kellovirheet tosin poistuvat kokonaan kahden vastaanottimen paikannuksessa eli myös RTK-paikannuksessa.

Satelliittigeometrialla tarkoitetaan satelliittien sijoittumista näkyvälle taivaalle. Hyvällä geometrialla satelliitteja on havaittavissa tasaisesti näkyvän taivaan alueelta. Satelliittigeometriaa voidaan ennustaa Internetistä saatavilla ennustusohjelmilla ja sinne ladattavalla almanakkatiedostolla. Satelliittien näkyvyyttä ja geometriaa kuvataan erilaisin epätarkkuutta ilmaisevien DOP (Dilution Of Precision) -luvuin. Position Dilution Of Precision eli PDOP kuvaa satelliittien sijainnista johtuvaa epätarkkuutta. [27, s. 43–45.] Kuviossa 6 on esitetty pyöreällä sinisellä pallolla taivasta ja siinä olevat satelliitit, a:ssa on hyvän geometrian idea ja c:ssä huonon. Aiheeseen palataan käytännön toiminnan luvussa 9.



Kuvio 6. Satelliittien geometrinen sijoittuminen taivaankannelle.

Monitieheijastumisella tarkoitetaan paikantavan vastaanottimen lähiympäristössä olevia signaalin kulkuun vaikuttavia ympäristötekijöitä. Tällöin satelliitin lähettämä signaali ei saavu vastaanottimeen suorinta reittiä vaan heijastuu ympäristöstä. Monitieheijastumista ja sen vaikutuksia voidaan pienentää erilaisin ohjelmisto- tai antenniteknisin ratkaisuin. Antennit voidaan suunnitella vastaanottamaan vain kelvollista, heijastumatonta signaalia tai ohjelmisto voidaan toteuttaa tunnistamaan heijastunut signaali ja hylkäämään se sijainnin määrittämisessä. [28; 29, s. 24–25.]

6.2.2 Koneohjausjärjestelmän sisäiset virhetekijät

Koneohjausjärjestelmä voi itsessään sisältää virheitä eli paikannusta väärentäviä tekijöitä. Koneohjausjärjestelmän tulee kyetä ratkaisemaan alkutuntemattomat ja saavutamaan alustus eli fix-tila luotettavasti. [28.] Tässä voi olla ajallisia ja laitteiston teknisestä toteutuksesta johtuvia eroja. Virheellisen alustuksen johdosta paikannuksessa voi olla metriluokan virhe. Asennuksessa pyritään määrittämään työkonen fyysiset mitat mahdollisimman tarkasti, jotta ohjelmisto kykenee määrittämään oikein koneen geometrian muutokset [18]. Mittausvirhettä voi muodostua järjestelmän sisäisen orientoinnin osalta tai väärin kauhan mittojen käyttämisessä. Järjestelmän sisäiset karkeat virheet pyritään minimoimaan järjestelmän asennuksen yhteydessä tehtävässä kalibroinnissa. Järjestelmän käytännön toimintaa selvennetään jäljempänä tässä työssä.

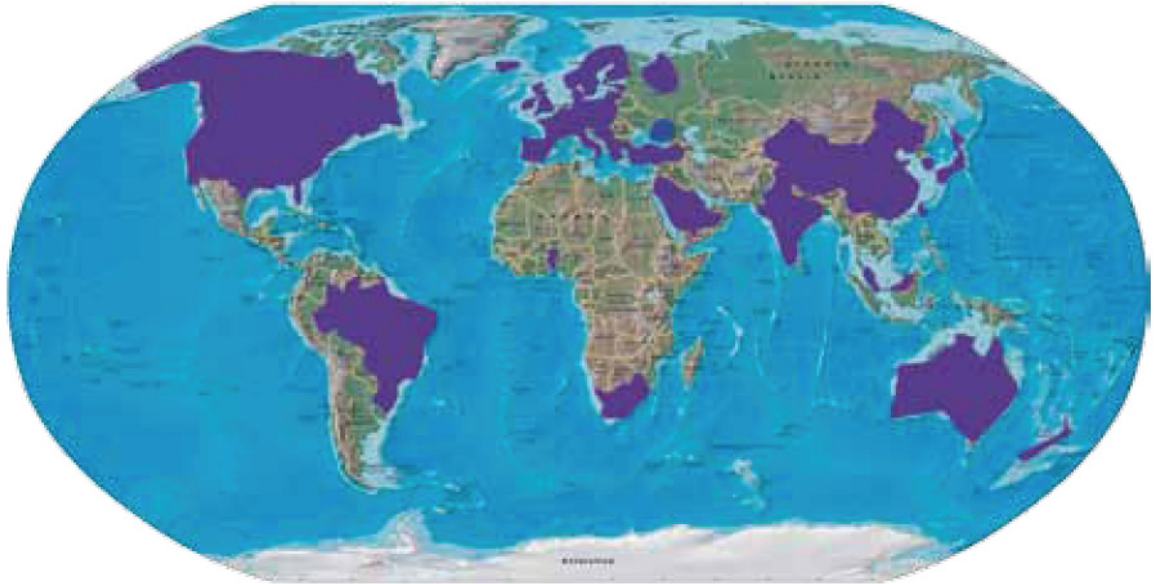
6.2.3 Tiedonkäsittelyyn liittyvät virheet

Yksi suurimmista virhelähteistä ovat koordinaatistomuunnokset, joita tarvitaan suunnitelmien ja paikannuksen välillä. Väärillä muunnoksilla voidaan aiheuttaa suurempia systemaattisia virheitä kuin millään laitteistoon tai satelliittipaikannuksen olosuhteisiin liittyvillä tekijöillä yhteensä. [25, s. 75.] Erot joidenkin koordinaattijärjestelmien välillä ovat vain metrin suuruiset, ja väärän koordinaatiston kanssa toimiminen voi olla vaikea tunnistaa [30]. Muunnosten suhteen tulee olla tarkkana, ja vain aiheeseen perehtynyt ammattilainen on oikea henkilö suorittamaan aineiston käsittelyn ja työkonen paikannukseen liittyvät muunnokset.

6.3 Tukiasemaverkosto ja sen edut

RTK-paikannukseen tarvittavan korjausviestin tuottamiseen voidaan käyttää oman tukiaseman sijasta myös erityisen palvelun tarjoajan tukiasemaverkostoa. Tukiasemaverkosto koostuu kiinteistä tukiasemista ja laskentakeskuksesta. Laskentakeskus määrittelee tukiasemien mittaamien havaintojen perusteella korjauksen ja korjausviesti lähetetään mobiili-internetyhteyden kautta. [27, s. 67–68; 28.] Tukiasemaverkkopalvelua Suomessa tarjoavista palveluntuottajista Geotrim Oy:llä on pisin historia ja kokemus. Geotrim Oy on Trimblen laitteistojen maahantuoja, markkinoija ja valtuutettu huoltoliike Suomessa. VRS-tekniikkaan perustuva tukiasemaverkkopalvelu on laajalti käytössä

joka puolella maailmaa, kuten kuvasta 1 voi havaita [31, s. 9–13]. Myös Leica-Geosystems on ilmoittanut rakentavansa koko Suomen kattavan SmartNet-tukiasemaverkoston, jonka pitäisi olla käytettävissä lähiaikoina [32].



Kuva 1. Trimblen VRS-tekniikan käytön yleisyys maailmalla [31, s. 11]

VRS tulee sanoista Virtual Reference Station ja tarkoittaa nimensä mukaisesti järjestelmää, jossa käyttäjälle määritellään virtuaalinen tukiasema. Palvelu muodostaa käyttäjän likimääräisen sijainnin perusteella käyttäjän sijainnin lähelle ns. virtuaalisen tukiaseman. Tälle sijainnille laskentakeskus määrittelee yksilöllisen korjausviestin ja lähettää sen paikantavalle vastaanottimelle. Korjausviestin määrittäminen perustuu kiinteiden tukiasemien satelliittihavaintoihin, jotka lähetetään ja prosessoidaan erillisessä laskentakeskuksessa. Laskentakeskus prosessoi kaikki vastaanotetut havainnot, tunnistaa joukosta virheelliset ja poistaa karkeat virheet. Kun havaintojen oikeellisuus on tarkistettu, laskentakeskus laskee ionos- ja troposfäärin vaikutukset sekä satelliittien rataparametreista johtuvat virheet ja lähettää korjausviestin paikantavalle vastaanottimelle eli käyttäjälle. Palvelussa käytetään koko tukiasemaverkoston dataa palvelun ja virheenmallinnuksen tuottamiseen. [27, s. 67–69; 28.]

Laskentakeskus tarkkailee reaaliaikaisesti myös kiinteiden tukiasemien tilaa ja toimintaa. VRS-palvelussa ei olla sidottuja yksittäisten tukiasemien toimintaan vaan VRS käyt-

tää hyväkseen koko tukiasemaverkkoa palvelun tuottamiseen. Yhden tukiaseman järjestelmässä virheet kasvavat merkittävästi tukiaseman ja paikantavan vastaanottimen välimatkan kasvaessa. Sen sijaan tätä välimatkan kasvamisesta johtuvaa virhettä ei ole VRS-tukiasemapalvelussa. Lisäksi etuna on myös ilmakehän tilan mallinnus ja sen vaikutuksen minimoiminen. [28.]

Geotrim Oy:n perustaman tukiasemien verkko kattaa koko Suomen (liite 2) ja mahdollistaa koko alueella homogeeniset mittaustulokset [28; 34]. VRS-palvelun käyttöä ja luotettavuutta on tutkittu Suomessa Geodeettisen laitoksen toimesta. Tutkimuksessa selvitettiin mm. taso- ja korkeussijaintitarkkuuksia, alustusaikoja ja ympäristötekijöiden vaikutuksia näihin. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että VRS-verkolla voidaan mitata muutaman senttimetrin tarkkuudella, kun satelliittimittauksen yleiset edellytykset täyttyvät. [34.] VRS:n toimintavarmuutta ja luotettavuutta Suomessa kuvaa myös se, että Maanmittauslaitos on ohjeissaan rajamerkkien mittaamisesta hyväksynyt RTK-mittauksen VRS-verkon avulla [35].

Käytettäessä tukiasemaverkkoa, kuten Geotrimin VRS-palvelua, sen eduksi voidaan todeta myös oman tukiaseman pystyttämiseen kuluvan työajan poistuminen. Oman tukiaseman käyttämisessä tulee huomioida myös ammattiosaamisen tarve, tukiasemalaitteiston hankintakustannukset ja huoltotarve. [28.] VRS-verkon käyttäminen koneohjauksessa vapauttaa myös työkoneen liikkuvuuden rajoitteita, sillä työkoneet voivat vaihtaa työmaata joskus hyvin lyhyellä varoitusaikalla, jolloin tarvitaan tukiasemaratkaisu yhtä nopeasti.

7 Koneohjausjärjestelmä kaivinkoneessa

7.1 Laitteisto

Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä koostuu antureista, tietokoneyksiköstä, näyttöpäätelaitteesta, radiomodeemista, satelliittivastaanotinanteista ja virtalähteestä. Laitetoimittajien järjestelmät eroavat toisistaan laitemoduulitasolla, eli yksi laitemoduuli voi sisältää useamman toiminnon. Esim. näyttöpäätelaite voi käsittää sekä tietokoneyk-

sikön että näyttöpäätteen. Muutoin koneohjausjärjestelmät ovat rakenteellisilta ratkaisuiltaan toistensa kaltaisia. [16; 19].

Antureita sijoitetaan kaivinkoneessa kaikkiin nivellettyihin kaivupuomin osiin ja kaivinkoneen runkoon. Kuvassa 2 on esitetty antureiden sijainti ja lukumäärä kaivinkoneessa. Mikäli kaivinkoneen varusteisiin kuuluu ns. luiskakauha eli kallistuva kauha, asennetaan kauhaan kiinteästi erillinen sivuttaiskallistusta mittaava anturi (kuva 2/ anturi 1) [19]. Tässä kyseissä kuvassa on käytössä kynsikauha, jossa ei ole kallistusta. Antureina käytetään pääosin MEMS-kiihtyvyysantureita (Micro-Electro-Mechanical-System). Kiihtyvyysanturin toiminta perustuu piikiteeseen, joka on ominaisuuksiltaan tunnettu ja sen käyttäytymistä on tutkittu paljon. Piikiteeseen perustuvia antureita pidetään mekaanisesti ja ajallisesti hyvin kestävinä. Kiihtyvyysanturit mittaavat liikkeen muutosta analogisesti, joka muunnetaan AD-muuntimella digitaalseksi, digitaalista signaalia käsitellään ja se stabilisoidaan, minkä jälkeen se lähetetään CAN-väylätekniikalla (Controller Area Network) päätelaitteelle. CAN-väylätekniikka mahdollistaa koko kaivinkoneen puomin anturoinnin yhdellä kaapelilinjalla, aina puomin ensimmäisestä anturista päätelaitteelle. Stabiloitu signaali kulkee kaapelilinjassa seuraavan anturin läpi. [19.]



Kuva 2. Koneohjausjärjestelmän anturit ja antennit kaivinkoneessa

Tietokoneyksikkö sisältää käyttöjärjestelmän ja ohjelmat, joilla toteutetaan käyttäjälle näkyvät toiminnallisuudet ja näkymät näyttöpäätteellä. Tietokoneyksikkö on yhdistetty kaikkiin muihin järjestelmän osiin tai laitemoduuleihin. Tietokoneen laskentaohjelma vastaanottaa paikannuksessa tarvittavat satelliittihavainnot järjestelmän antenneilta. RTK-paikannukseen tarvittava korjaussignaali vastaanotetaan radiosignaalina antennilla tai tukiasemaverkoston tapauksessa gsm-modeemilla, ja se huomioidaan alustuksessa sekä koneen sijainnin määrittämisessä. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä on mahdollista toteuttaa myös yhden antennin järjestelmänä. Yhden antennin toteutuksella kaivinkoneen ylävaunua pitää kääntää noin 30 astetta, jotta järjestelmä pystyy määrittämään antennin suunnan suhteessa pyörähdysakseliin. Pyöräytys pitää tehdä aina, kun kaivinkonetta siirretään ajamalla tai kun kaivinkoneen pyörähdysakselin paikka muuttuu. [19.]

7.2 Toimintaperiaate

Koneohjausjärjestelmän keskeinen idea on paikantaa kaivinkone suunnittelu- tai kohdealueelle ja havainnollistaa kuljettajalle ohjaamossa näyttöpäätteellä, kuva 3, kaivinkoneen työterän eli kauhan sijainti suhteessa suunnitelmaan. Kuvan 3 vasemmasta alareunasta voidaan nähdä lukema dZ, joka tarkoittaa kauhan korkeusaseman suhdetta suunnitelmaan. Lukeman taustaväri on punainen, kun kauhan mittapiste suunnitelman alapuolella. Vihreällä tarkoitetaan korkeussijaintia asetetuissa toleransseissa ja edelleen sininen tarkoittaa kauhan sijaintia mallin yläpuolella. Kuvassa kaivinkoneen kauha on mallinnetun anturan alapinnan alapuolella 0,21 m. Toiminnan kannalta koneohjausjärjestelmä vaatii kaivinkoneen geometrian ja satelliittien geometrian määrittäksen. Geometrialla tarkoitetaan tässä mittojen määrittämistä suhteessa ympäristöön. Lisäksi tarvitaan laitteisto yhdistämään suunnitelma-aineisto tai toteutusaineisto suhteessa paikannukseen. [18; 19.]



Kuva 3. Novatronin koneohjausjärjestelmän näyttöpääte.

7.2.1 Ulkoinen orientointi

Ulkoinen orientointi koneohjausjärjestelmässä käsittää kaikki luvussa 6 käsitellyt satelliittipaikannuksen osatekijät. Tärkeimmät ulkoiset tekijät ovat satelliittigeometria ja tukiasemaratkaisu ja siihen liittyvät yksityiskohdat.

7.2.2 Sisäinen orientointi

Koneohjausjärjestelmän yhtenä osana määritellään kaivinkoneen geometria. Mittaus- tekniikan kannalta tässä toimenpiteessä määritellään kaivinkoneen sisäinen koordinaa- tisto ja siitä voidaan käyttää termiä kaivinkoneen sisäinen orientointi. Sisäisen orien- toinnin määräävinä tekijöinä ovat kaivinkoneen nivellettyjen puominosien ja antennijär- jestelmän sijainti suhteessa kaivinkoneen pyörähdysakseliin kuva 2. Kaivinkoneesta tulee määrittää jokaisen nivelletyn kaivupuomin pituus, aina kauhan kärjestä kaivu- puomin rungonkiinnityskohtaan asti. Puomin osien pituuksien ja antureiden avulla ko- neohjausjärjestelmän ohjelmisto määrittelee kauhan sijainnin. Kaivinkoneen geometri- assa tapahtuu muutos aina kun käytössä oleva kauha vaihdetaan toiseen. Kaikki kai- vinkoneen käytössä olevat kauhat tulee kalibroida laitteistotoimittajan ohjeiden mukai- sesti. Järjestelmään on mahdollista tallettaa useita erilaisia kauhoja ja määrittää niille omat asetuksensa. [18; 19.]

Sisäisen orientoinnin toisena osana on antennijärjestelmä ja sen sijainti. Varsinaista paikannusta ja sijaintia määrittävä antenni tai antennit asennetaan kaivinkoneen perän tai vastapainon päälle. Antennien sijainnit on myös määritettävä suhteessa kaivinko- neen pyörähdysakseliin. Kaivinkoneen ohjaamo aiheuttaa satelliittien kuuluvuuteen katvetta, joten antennit on tapana asentaa noin metrin korkuisen jalustan päähän es- teettömämmän sijainnin takaamiseksi. Väärällä tai virheellisellä sisäisellä orientoinnilla voidaan aiheuttaa järjestelmän virheellinen ja epätarkoituksen mukainen toiminta. [16; 19.]

8 Koneohjausjärjestelmän käytön perusedellytykset

8.1 Suunnitelmat

Infrakohteen suunnittelualasta riippumatta suunnitelmien täytyy sisältää tietoa toteu- tettavan kohteen paikasta. Paikka kuvaa kohteen sijainnin ympäristöön nähden. Ylei- simmin kohteen sijaintia kuvataan koordinaateilla, joista kaksi muodostavat tason (x,y) ja kolmas korkeusaseman (h). Suunnitelma toteutetaan koordinaatistoon, joka on läh- tötietoaineiston, kuten kantakartan mukainen. Tieto projektissa käytettävästä koordi- naattijärjestelmästä on saatavilla asemakuvasta, jonka reunassa järjestelmä ilmoite-

taan tekstillä. Projektin työselostuksessa on myös oltava tieto käytettävästä koordinaattijärjestelmästä. Suunnitelmat saadaan työmaalle paperikuvina ja sähköisessä muodossa. Tietokoneavusteisella suunnittelulla on tuotettu suunnitelmia jo jonkin aikaa, ja tästä huolimatta suunnittelijan tuottama aineisto voi sisältää tasosijainnin määrittelyn osalta vain kaksi koordinaattia ja kolmas (h-koordinaatti) on kuvattu esim. tekstinä. Näiden edellä mainittujen suunnitelmien osalta voidaan puhua kaksiulotteisesta suunnittelusta. Suunnitelmien hyödyntämisen kannalta koneohjausjärjestelmiin on olennaista, että suunnitelman kohteet on määritelty kolmella koordinaatilla. Näin ollen voidaan puhua kolmiulotteisesta suunnittelusta, joka on myös edellytyksenä kolmiulotteiselle tarkastelulle.

8.2 Koordinaatiston ja koordinaattijärjestelmän merkitys

Suunnitelmien ja koneohjausjärjestelmien yhteen soveltuvuuden kannalta on erityisen tärkeää ymmärtää eri koordinaatistojen erot. Muutoin työkoneella voidaan toimia täysin väärässä paikassa aineiston virheellisestä muunnoksesta johtuen. Joidenkin koordinaattijärjestelmien väliset erot ovat joitakin kymmeniä metrejä tai vain metrejä. Metrin suuruisen virheen tunnistaminen on hankalaa. Virhe voidaan havaita työmaan tarkistusmitauksilla esimerkiksi takymetrillä. Suuremman poikkeaman tapauksessa suunnitelma-aineistoa ei saada koneohjausjärjestelmän näyttöpäätteelle näkymään järjestelmän rajallisen piirtoalueen vuoksi. [19; 30.]

Satelliittipaikannuksessa mitataan lähtökohtaisesti geosentrisen eli maakeskeisen koordinaatiston koordinaatteja (X, Y, Z), jolloin koordinaatiston origo on maapallon keskipisteessä. Tämä käytettävä koordinaatisto on WGS84-järjestelmä (World Geodetic System 1984). [27, s. 17.] Koordinaatteja voidaan muuntaa maantieteellisiksi koordinaateiksi (φ, λ) ja ellipsoidikorkeudeksi (h), kun tiedetään kyseisen ellipsoidin määritelmä [27, s. 22]. Maantieteellisiä koordinaatteja voidaan edelleen muuntaa kartastotöissä käytettäviin eli suunnitelmien lähtöaineistojen mukaisiin koordinaatteihin (x, y, h). Tässä yhteydessä tulee huomata, että muunnos koordinaatistojen välillä on täysin eri asia kuin muunnos koordinaattijärjestelmien välillä. Siirtyminen koordinaatistosta toiseen on matemaattinen tehtävä, jonka suorittamiseen tarvitaan koordinaatistojen origojen erot ja koordinaattiakselien kiertoparametrit. Tässä ei ilmene virhettä, eli tulos on tarkka, koska muunnos perustuu järjestelmien määrittelyyn. [25, s. 100–101.] Koordinaatisto-

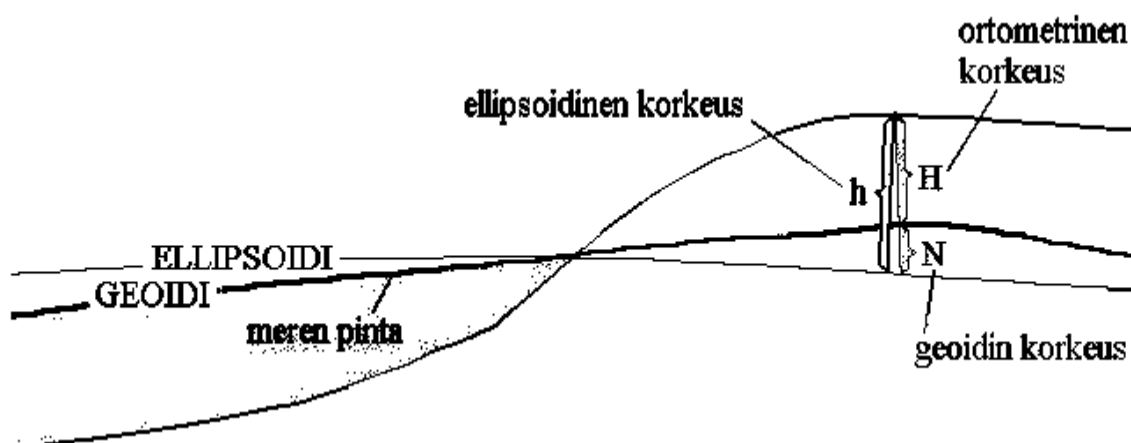
muunnoksista aiheutuvat virheet luokitellaan karkeiksi virheiksi, ja ne on syytä selvittää.

Käytännössä muunnos joudutaan kuitenkin tekemään koordinaattijärjestelmien välillä, jolloin mukaan tulevat kiintopisteiden virheet. Voidaan kuitenkin todeta, että nykyiset satelliittipaikannuksella määritetyt koordinaattijärjestelmät ovat sisäiseltä tarkkuudeltaan vanhoja koordinaattijärjestelmiä monta kertaluokkaa tarkempia. Näistä koordinaattimuunnoksista aiheutuvat jäännösvirheet ovat luonteeltaan satunnaisia ja kuvaavat käytännössä vanhojen koordinaatistojen virheitä. [25, s. 100.]

Koordinaatistomuunnos joudutaan tekemään ainakin koneohjausjärjestelmään, mutta myös suunnitelma-aineistolle, jos koneohjausjärjestelmään ei ole määritelty muunnosparametreja suunnitelman mukaiseen koordinaattijärjestelmään. Muunnoksista aiheutuu väistämättäkin virhettä, joten turhien muunnoksien tekemistä tulee välttää. Suoraviivaisin tapa on tehdä ns. paikallismuunnos työmaalle. Paikallismuunnos voidaan mitata koneohjausjärjestelmään erillisellä GPS-mittauskalustolla tai se voidaan suorittaa koneohjausjärjestelmän sisäisen ohjelman avulla. Tällöin koneohjausjärjestelmän antennin avulla mitataan samoja pisteitä kuin takymetrillä. Näin saadaan muodostettua niin sanotut vastinpisteet eli jokaisen pisteen koordinaatit kahdessa eri koordinaatistossa. Vastinpisteiden avulla koneohjausjärjestelmään tallennetaan muunnosparametrit. Toinen tapa on käyttää koneohjausjärjestelmän laitteiston sisäisiä muunnosparametreja, mikä edellyttää, että laitteisto sisältää joidenkin yleisten koordinaatistojen välisen muunnoksen, esim. WGS 84–KKJ 3-kaistan (kartastokoordinaattijärjestelmä) välisen muunnoksen. Tämä on riskialttiimpaa, sillä muunnos voi olla pätevä vain joillakin alueilla, kun puolestaan toisaalla se aiheuttaa suuriakin virheitä johtuen kartastokoordinaatiston projektiosta. Lisäksi joudutaan tekemään vielä muunnos suunnitelman koordinaatiston ja yleisen järjestelmän välillä, esim. Vantaan kaupungin VVJ-järjestelmästä KKJ:ään. [19.]

8.3 Korkeuden määrittäminen

Paikantamisen ja korkeuden mittaamisen kannalta korkeusasema voidaan määrittellä kahdella tavalla. Perinteisellä vaaituskojeella mitatuilla ortometrisillä korkeuseroilla on kuvattu Maan painovoimakentän pintaa eli geoidin pintaa. Geoidi on se pinnanmuoto, johon vapaana oleva merenpinta asettuisi, myös mantereilla. [25, s. 43; 36, s. 6.] Toinen korkeuden määritelmä pohjautuu matemaattiseen malliin, jolla pyritään mahdollisimman hyvin kuvaamaan geoidin muotoja. Tällöin käytetään käsitettä ellipsoidinen korkeus, ja geoidikorkeus on vertailuellipsoidin ja geoidin välinen ero. Satelliittipaikannuksella mitataan juuri näitä ellipsoidin korkeuksia eli koneohjausjärjestelmää varten tarvitaan muunnos suunnitelmien ortometristen ja paikannettujen ellipsoidikorkeuksien välille. Kuviosta 7 on havaittavissa korkeuden määritelmien erot. [25, s. 111–113; 36, s. 56–57.]



Kuvio 7. Korkeuden määritelmät [36, s. 56]

Käytännössä koneohjausjärjestelmän mittaama korkeus tulee tarkastaa paikallisesti ja säännöllisesti ja tarvittaessa korjata järjestelmän sisäisin siirtoparametrein. Toisaalta koneohjausjärjestelmän laitteistoon voidaan ladata geoidimalli, jolloin järjestelmän toiminta soveltuu paremmin hankkeisiin, jotka sijoittuvat poikittain projektiokaistaan nähden. Geoidimallin käyttö ei kuitenkaan korvaa tarkistustoimenpiteitä.

8.4 Suunnitelma-aineistosta toteutusaineisto

Koneohjausjärjestelmän yhtenä osana on tietokone ja ohjelmisto kuten suunnittelijan työpöydälläkin, ja molemmat pystyvät käsittelemään samankaltaisia viivamaisia, piste-mäisiä ja tasoa kuvaavia aineistoja. Koneohjausjärjestelmällä varustetulla kaivinkoneella voidaan kaivaa kaivon edellyttämä kaivanto. Kaivon objekti voidaan luoda esimerkiksi 3D-System Oy:n 3D-Win-maastomittausohjelmistolla ja siirtää koneohjausjärjestelmään, jolloin kaivanto on mahdollista kaivaa oikeaan paikkaan. [30; 37.] Tarvittavat tiedot - kaivon keskipisteen koordinaatit ja korkeusasema - voidaan ottaa perinteisistä kaivokorteista. Tämä on vanhanaikainen tapa eikä tuota koneohjausjärjestelmän kannalta parasta hyötyä. Yksinkertaisimmillaan ja parhaimmassa tapauksessa suunnittelijalta saatava suunnitelma-aineisto voidaan siirtää suoraan kaivinkoneen järjestelmään. [15.]

Eri suunnittelutoimistoilla on hieman eri tason valmiuksia ja kokemuksia tietomallipohjausten suunnitteluaineistojen toteuttamisesta ja tuottamisesta. Tietomallien käytön ja koneohjausaineistojen saatavuuden kannalta työn tilaajan rooli on merkittävin. Työn tilaajan eli hankkeen käynnistäjän on osattava vaatia tietomalleja, jotta suunnittelijat tuottaisivat niitä. [38.]

Kaivinkoneen työn luonteen kannalta on luontevinta, että sille luotu toteutusaineisto kuvaa jotakin tiettyä rakennekerrosta pintamalliin perustuen. Pintamallin käytössä koneohjausjärjestelmä vertaa kauhan mittapistettä mallin pintaan ja ilmoittaa korkeuseron. Näin kuljettaja saa tiedon kaivussyvyydestä näyttöpäätteelle (ks. kuva 3), voi ja työskennellä päätteen opastuksen mukaan. Pintamallit muodostetaan kolmioimalla hajapisteiden tai taiteviivojen sisältämien pisteiden joukko. Kolmioinnissa pinta muodostuu kolmen pisteen välille muodostaen tason. Kolmiointi suoritetaan matemaattisena tehtävänä tiettyjen määreiden mukaan ja taiteviivat ohjaavat kolmiointia siten, että kolmion sivut muodostuvat taiteviivoille. Kolmiointia varten suunnitelma-aineiston pitää olla matemaattisesti jatkuvaa, eli toistensa leikkaavia taiteviivoja ei sallita aineistossa [37].

9 Työmaahenkilöstön osaaminen

Koneohjausjärjestelmän käytön vaikutukset kohdistuvat sekä työmaahenkilöstöön että työtapoihin. Uusien työtapojen käyttöönotto edellyttää niiden sisäistämistä ja hyväksymistä. Kuten kaikkien uusien laitteiden, niin myös koneohjausjärjestelmän käyttöönotto vaatii uuden opettelua ja perehtymistä. Uuden laitteen käytön opetteluun on alussa hyvä varata sopeutumis- ja tutustumisaikaa. Lisäksi uuden järjestelmän ja laitteiston kanssa työskenteleville työmaahenkilöille on tarvittaessa järjestettävä koulutusta.

Työnjohtajan tai työmaan vastaavan mestarin tehtävänä on organisoida työmaalla käytössä oleva henkilöstö ja kalusto. Tämä vaatii suunnitelmallisuutta ja ajantasaista käsitystä työmaan tilanteesta. Riittävällä ennakkosuunnittelulla vältetään suuremmilta yllätyksiltä ja työmaata voidaan johtaa ja toteuttaa järjestelmällisesti. Lisäksi hyvän työnjohtajan ominaisuuksiin kuuluu nopea reagointikyky muuttuvissa tai yllättävissä tilanteissa. Koneohjausjärjestelmän hyödyntäminen tehokkaimmalla tavalla edellyttää työjärjestyksien huolellista suunnittelua. Järjestelmän avulla yksittäinen työvaihe voidaan tehdä kerralla valmiiksi. Esimerkiksi putkikaivannon massanvaihto on mahdollista kaivaa oikeaan paikkaan ja oikeaan syvyyteen yhdellä kertaa ja ilman niin sanottua kaivinkoneen perämiestä. Työnjohdon näkökulmasta koneohjausjärjestelmä vapauttaa työvoimaa muihin tehtäviin ja voi vaikuttaa myönteisesti työmaan valmistumisaikatauluun sekä talouteen. Jotta työnjohto osaa kohdistaa työvoiman oikein, on sen ymmärrettävä kohdistaa koneohjausjärjestelmällä varustettu kaivinkone sille parhaiten sopiviin työtehtäviin.

Tärkeimmässä roolissa koneohjausjärjestelmän käytön kannalta on mittausalan ammattilainen, kokenut mittaaja, mittaustyönjohtaja tai laajamittaisissa projekteissa mittausoperaattori. Perinteisen mittaustyön lisäksi hänen on ymmärrettävä ja hallittava aiemmin tässä työssä mainitut satelliittipaikannuksen osatekijät. Mittaajan ja mittaustyönjohtajan oletetaan yleisesti olevan perillä työmaan etenemisestä. Rakentaminen tapahtuu mittaushenkilön merkintöjen perusteella, ja tästä syystä merkintä tulee tehdä ennen työsuoritusta. Rakentamisen kokonaisvaltainen ymmärtäminen kuuluukin pätevän mittaushenkilön ominaisuuksiin. Perinteisen merkintä- ja mittaustyön edellyttämän mittausaineiston luomisen lisäksi hänen tehtäviinsä kuuluu suunnitelma-aineiston tarkistaminen ja editointi. Tärkeintä koneohjausjärjestelmän oikean toiminnan kannalta on koordinaattijärjestelmien erojen ymmärtäminen. Parhaimmassa tapauksessa suunnitte-

lijalta on saatavissa koneohjaukseen sopiva, valmis tai lähes valmis rakennekerroksen pintamalli.

Kaivinkone on ominaisuuksiltaan yleistyökone, joka soveltuu monenlaisiin työtehtäviin. Kaivinkoneen yleisimpiä tehtäviä ovat erilaiset maa-ainesten käsittelyt kuten kaivu-, täyttö- ja tasaustyöt sekä massanvaihdot [2, s. 35]. Louhintatyömaalla kaivinkoneilla pilkotaan räjäytyksessä jääneitä kallion lohkareita pienemmiksi hydraulisen vasaran avulla ja tätä kutsutaan rammeroinniksi. Koneohjausjärjestelmällä varustettu kaivinkone soveltuu hyvin työhön, joka kohdistuu jonkin tason tai rakennekerroksen muotoiluun tai kaivamiseen. Kaivinkoneenkuljettajien perusosaaminen käsittää koneen käytön ja sen ylläpidon toimenpiteet. Kuljettajien mittauserosaamisen tieto ja taito on vaihtelevaa. Osaaminen vaihtelee työkokemuksen mukaan. Alalla pidempään olleet kokeneet kuljettajat ymmärtävät rakentamisen mittauksista yleensä enemmän, sillä he ovat todennäköisesti tehneet putki- ja viemärintitöitä kaivinkoneen perämiehinä ennen kuljettajaksi ryhtymistä. Kuljettajien vaihteleva kokemus ja osaaminen vaikuttaa myös valmiuteen käyttää koneohjausjärjestelmää ja täten myös koulutustarpeeseen. Koneohjausjärjestelmän käytön perusedellytysten ja -toimintojen hallinta tulisi olla vakituksena koneenkuljettajan lisäksi myös hänen tuuraajillaan.

10 Käytännön toiminta

Tässä luvussa havainnollistetaan käytännön toimenpiteitä, joita koneohjausjärjestelmän käyttäminen edellyttää. Tässä työssä keskitytään lähinnä kuvaamaan työvaiheita, joita perinteinen suunnitelma-aineisto, eli tasolle piirretyt suunnitelmat, edellyttävät. Havainnollistamisessa käytetään uudisvarastorakennustyömaan infrasuunnitelmia eli suunnitelmia, jotka käsittävät varastorakennuksen perustukset, piha-alueen viemäroinnin ja piha-alueiden tasauksen. Suunnitelma-aineiston käsittelyssä käytettiin Autodeskin AutoCAD LT 2010 - ja 3D-system Oy:n 3D-Win-ohjelmaa.

10.1 Työmaan ennakoivat toimenpiteet

Urakoitsijan näkökulmasta varhaisin rakentamista edeltävä toimenpide on tarjouslaskenta. Työn ja työkohteen toteuttamisesta jätetään tilaajalle tarjous, jossa käydään

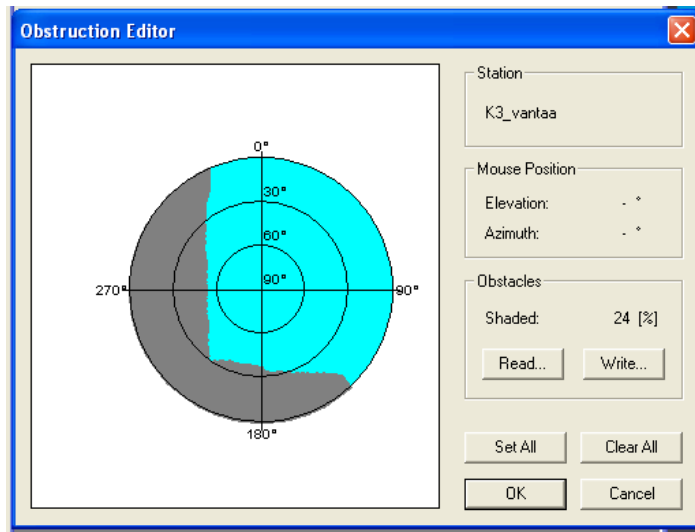
läpi työmaan toteutuksen kaikki kulut. Tarjouslaskennan perusteella tilaaja valitsee toteuttajan eli urakoitsijan. Valinnan jälkeen urakoitsija mitoittaa työmaan toteutukseen tarvittavat koneet ja miehistön. Riippuen työmaan laajuudesta ja tehtävistä työmaalle hankitaan konekalusto, ja tässä vaiheessa tulee viimeistään pohtia koneohjausjärjestelmän käyttöä. Mikäli koneohjausjärjestelmän käytöstä on enemmän kokemusta ja tietoa sen käytön vaikutuksista, sitä voidaan hyödyntää jo tarjousvaiheessa ja lukea mahdollisesti kilpailuetuihin.

Työmaan ympäristöllä on vaikutusta satelliittipaikannuksen käytettävyyteen. Ennen työkoneiden lopullista valintaa työmaalle on selvitettävä perusedellytykset satelliittipaikannuksen käytettävyyden suhteen. Varhaisilla perusselvityksillä voidaan selvittää koneohjausjärjestelmän käytettävyys ja soveltuvuus kyseisen työmaan työvaiheisiin. Työmaan toteutuksen kannalta oleelliset työvaiheet käydään läpi vastaavan mestarin kanssa ja mietitään, mihin tehtäviin ohjausjärjestelmällä varustettua kaivinkonetta voitaisiin käyttää. Joissakin tapauksissa myös koneenkuljettajan on hyvä olla mukana alkuvaiheen selvityksissä. Suunnitelmat ovat pääosassa, ja niiden osalta selvitetään kordinaatti- ja korkeusjärjestelmä, johon suunnitelmat on toteutettu.

Työmaan ympäristötekijät selvitetään katselmoinnilla. Katselmoinnissa kirjataan tai merkitään suunnitelmakarttaan työmaan välittömässä läheisyydessä olevat korkeat rakennukset tai muutoin korkea puusto yhdessä ympäröivien maastonmuotojen kanssa. Myös suuret heijastavat pinnat ja sähkömagneettisen säteilyn lähteet, kuten sähkölinjat, huomioidaan. Työmaan ympäristöstä laaditaan niin sanottu estepiirros. Estepiirrosta käytetään satelliittigeometrian ennustamisessa. Trimble Planning on Internetistä ilmaiseksi saatava satelliittigeometrian ennustusohjelma, ja sitä voidaan käyttää niin työmaan ennakoivaan suunnitteluun kuin viikoittaiseen tarkasteluun toteutuksen aikana.

Peittävistä ja näkyvyydestä muodostavista kohteista määritetään niiden maantieteellinen suunta ja korkeuskulma. Tähän voidaan käyttää käsisuuntakehää eli bussolia tai tavallista kompassia. Kirjattujen esteiden perusteella laaditaan likimääräinen estepiirros, kuva 4, työmaan ympäristöstä. Kuvan ympyrä simuloi vapaasti zenitistä horisonttiin näkyvää taivasta, jossa 0 astetta on pohjoissuunta horisontissa ja zenitti ristikon

keskellä. Riippuen työmaan laajuudesta voi olla tarpeen tehdä työmaan eri puolilta kutakin olosuhdetta kuvaava estepiirros.



Kuva 4. Trimble Planning-ohjelman estepiirros, harmaa alue muodostaa näköesteen.

Satelliittigeometrian määrittämiseksi tarvitaan myös työmaan sijainti eli kuvassa 5 kohta Position latitude ja longitude. Koordinaatit ovat maantieteellisiä ja syötetään Planning-ohjelmaan minuutin tarkkuudella. Ennustamiseen tarvitaan vielä almanakka-tiedosto, jonka voi myös ladata Trimblen Internet-sivuilta ilmaiseksi. Almanakka täytyy päivittää tietyin väliajoin Planning-ohjelmaan, sillä satelliittien liikkeen ennustaminen vanhalla almanakalla voi antaa vääriä tuloksia. Riittävänä päivitysvälinä voidaan pitää kahta viikkoa. Tämän työn liitteenä 1 on kuvaaja DOP-arvoista kyseisellä tarkasteluvälillä.

Station Editor

Station Name: K3_vantaa

Position

Latitude: N 60 18

Longitude: E 24 53

Height: 30 [m]

Elevation Cutoff: 10

Time

Start Date: 10.10.2011

Start Time: 07:00

Duration: 20 [h]

Interval: 10 [min]

Time Zone: Normaaliaika

DST Difference UTC: 3.0 [h]

Buttons: OK, Cancel, Apply, Delete, Obstacles..., Map..., City..., Today, Time Zone...

Kuva 5. Työmaan sijainnin (Station) määrittäminen Planning-ohjelmaan

10.2 Koneohjausmallit suunnitelmista

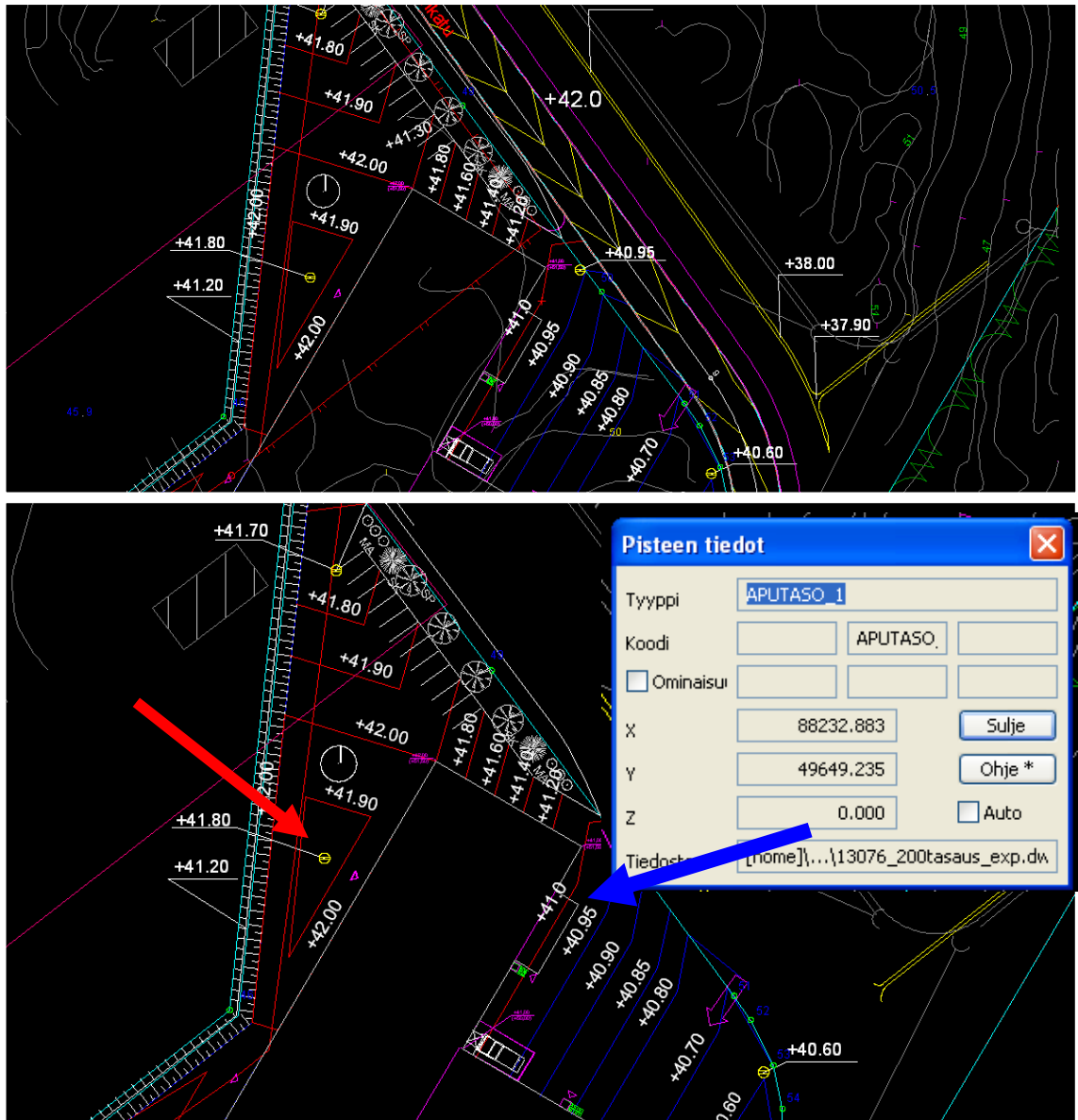
Koneohjausjärjestelmässä voidaan hyödyntää aineistoa, joka kuvaa jotakin tiettyä suunnitelman mukaista pintaa. Pistemäisellä tai viivamaisella aineistolla voidaan kuvata jonkin rakenne tai yksittäisen kohteen sijainti, kuten esimerkiksi kaivon paikka. Perinteiset suunnitelmat koostuvat pisteistä, taiteviivoista ja kaarista. Lisäksi perinteiset suunnitelmat sisältävät tekstiä, jolla kuvaan tuotetaan ominaisuustietoa kohteesta.

10.2.1 Suunnitelma-aineiston editointi

Työmaan suunnitelmat oli tuotettu AutoCAD-työympäristössä, ja suunnitelmat olivat saatavilla DWG-formaatissa. Perinteisestä suunnitelmasta tarvitaan vain osa tiedosta, kuten pihantasauksessa tasauksen taiteviivat. Tämä oleellinen tieto hyödynnetään ja siitä tuotetaan koneohjausmalli työtehtävää tai työvaihetta varten. CAD-suunnitelmissa on paljon turhaa tietoa, ja turha tieto poistetaan tai tasot, jotka sisältävät turhaa tie-

toa, sammutetaan. Tasojen sammuttaminen voidaan tehdä AutoCAD-ohjelmassa tasojen hallinta-asetuksilla ja 3D-Winiin luetaan vain päällä olevat tasot. Kuvassa 6 on kaksi otosta työmaan pihantasaussuunnitelmasta 3D-Win-ohjelmassa, alemmassa on toteutuksen kannalta vain oleellinen tieto. Suunnittelijan aineistosta on poistettu käytöstä 43 kuvatasoa. Turhaa tietoa tasauskuvassa ovat suunnittelun lähtötiedot, tässä maastonmuotoja kuvaavat korkeuskäyrät ja -lukemat sekä rinnakkaiset suunnitelmat, tässä viereisen tien taiteviivat. Huomion arvoista tässä kyseisessä suunnitelmassa on pihan korkeusasemaa kuvaavien taiteviivojen piirtotapa. Kuvan 6 sininen nuoli osoittaa, että kaikki taiteviivat on piirretty korkeusasemaan 0 ja koneohjausjärjestelmää varten niille on määritettävä korkeustieto.

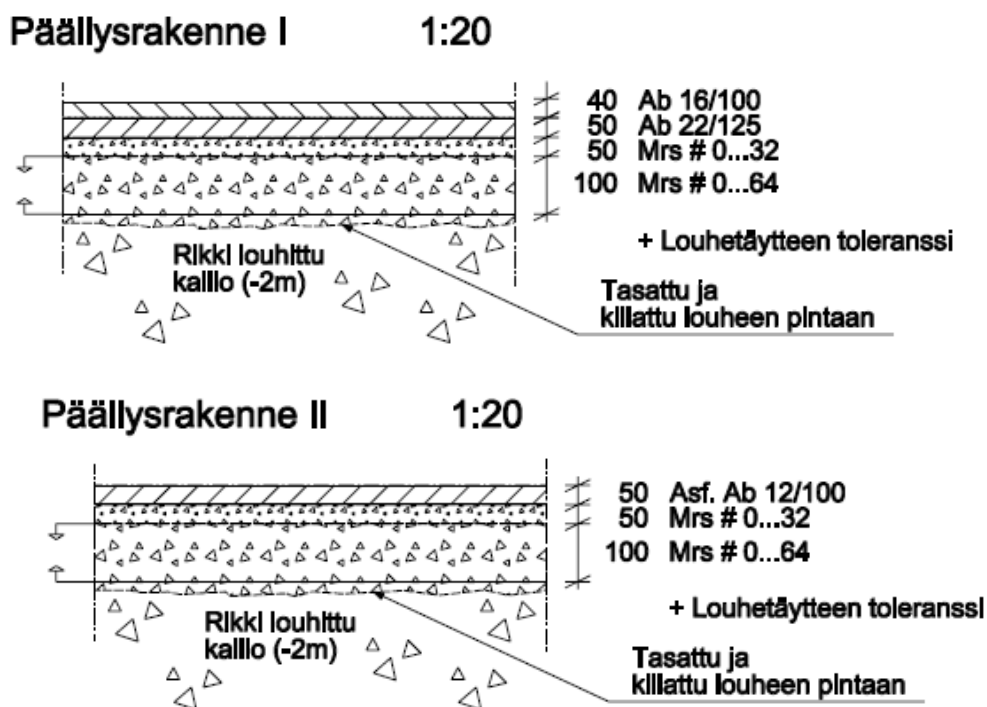
Pihantasauksen taiteviivat käsitellään 3D-Winssä, jossa ne poimitaan suunnitelma-aineistosta koodeilla, tässä aputaso_1-tiedon mukaan, erilliseen tiedostoon, jonka jälkeen korkeustieto muokataan jokaiselle taiteviivalle yksitellen. Tämän tapainen korkeustiedon muokkaaminen on takymetreissä käytetyn mittausaineiston luomisessa arkipäivää. Kuvan 6 suunnitelmassa tekstinä ilmoitetut korkeudet kuvaavat valmista, lopullista asfalttipintaa.



Kuva 6. Suunnittelijan tasaussuunnitelma (yllä) ja siitä editoitu versio 3D-Winissä (alla)

Koneohjausaineiston luomisessa tulee huomioida urakka-asiakirjoissa ja erillisissä sopimuksissa ilmoitetut urakkarajat. Tämän työmaan pihantasauksen urakkaraja oli kantavan rakennekerroksen yläpinnassa, joka oli toteutettava murskeella, jonka rakeisuus on 0–64 mm. Lisähaasteen tasausaineiston luomiseen aiheutti rakennekerrokset, joita piha-alueilla oli kahta erilaista. Rakennekerrokset on kuvattu kuvassa 7. Kuvasta 7 voidaan huomata, että urakkarajassa oli tältä osin 40 mm:n tasoero. Tasoero oli tehtävä koneohjausmalliin niille kohdin kuin suunnitelmissa oli esitetty. Käytännössä tämä toteutettiin siten, että valittiin vain päällysrakenteen 1 alueen taiteviivat ja editoitiin vain

niiden korkeustieto pisteryhmän editointityökalulla eli valmiin asfalttipinnan korkeuksista vähennettiin 0,14 m. Sama työvaihe tehtiin myös päällysrakenteen 2 kohdalla, vähentämällä 0,10 m. Aineistoon lisättiin pisteet kaivojen kohdalle, jotta saatiin suunnitelman mukainen kallistus kaivoille. Näille pisteille määritettiin suunnitelman mukainen kaivonkannen korkeus vähennettynä sen alueen rakennekerroksen korkeudella.



Kuva 7. Piha-alueen rakennekerrokset 1 ja 2

10.2.2 Pintamallit

Pihantasauksen aineiston äärilaidat rajattiin myös taiteviivoilla eli rakennuksen seinänvierusta ja piha-alueen rajat. Tämän työn liitteistä 3 ja 4 voidaan havaita, mitä tasaussuunnitelmasta hyödynnetään. Pinnan muodostamista koneohjausjärjestelmää varten taiteviiva-aineisto täytyy kolmioida. Mikäli suunnittelijan aineistosta hyödynnetään vain tietyt kohteet ja ne poimitaan koodeilla, on aineisto huolellisesti tarkastettava ja käytävä läpi. Kolmioitava aineisto ei saa sisältää kaaria eikä taiteviivoja, jotka leikkaavat toisensa, ilman että taiteviivoilla on piste leikkauskohdassa. Tiedoston tarkastamiseen on 3D-Winissä oma työkalunsa. Tällä toiminnolla voidaan havaita myös tiedostoon jääneet virheet, kuten pisteet, joiden korkeuden arvo on 0. Kolmioinnissa täytyy huomioida

käytettävät rajaavat ja ohjaavat ehdot. 3D-Winissä kolmiointia voidaan rajata esimerkiksi valitsemalla vain pisteet, joilla on tietty pintatunnus, tai vastaavasti useita eri pintatunnuksen pisteitä, lisäksi tulee määritellä maksimisivun pituus, jolla rajoitetaan muodostuvien kolmioiden sivun pituutta. Näiden lisäksi kolmiointiasetuksissa on toimintoja, joilla kolmiointia voidaan hallita ja tarkentaa. Työn liitteenä 5 on ote 3D-Win-ohjelman sisäisestä ohjeesta kolmioinnin asetuksista, jotka selventävät kolmioinnin yksityiskohtia. Kolmioidut pintamallit kirjoitetaan dxf-vektoritiedostoksi tai LandXML-formaattiin, jotka soveltuvat molemmat käytettäväksi koneohjausjärjestelmässä.

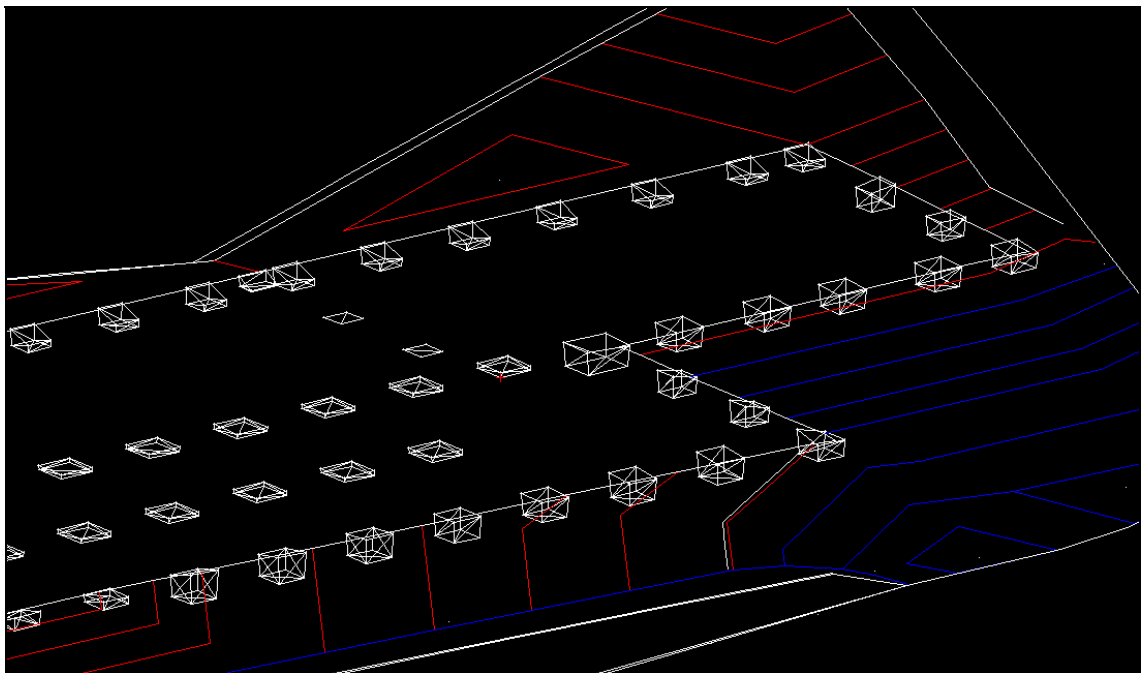
Pihantasauksen ohella koneohjausjärjestelmää päätettiin hyödyntää myös rakennuksen perustusten tekovaiheessa. Kyseisen rakennuksen perustuksen muodostavat yksittäiset suorakaiteen muotoiset anturat ja osin nauha-anturat, jotka yhdistävät muutoin yksittäiset anturat. Yksittäisten anturoiden sivujen pituudet ovat 600–1200 mm ja korkeuden osalta 600–800 mm. Mallintamisen vähäisestä kokemuksesta johtuen mietimme yhdessä koneenkuljettajan kanssa, mikä olisi työn tekemisen kannalta havainnollisin eli mitä koneohjausjärjestelmään kannattaisi mallintaa. Kokeneen kuljettajan näkemys anturoiden kaivantojen kaivamiseen oli, että mallinnetaan varsinainen antura ja kaivanto tehtäisiin kokemuseräisesti. Anturakaivanto täytyi kaivaa noin metriä suuremmaksi kauttaaltaan, sillä anturan pohjan taso oli puolisen metriä pihan tasoa alempana. Näin varmistuttiin työtilan riittävydestä valumuottien tekovaiheessa.

Yksittäisen pintamallin eli anturan mallintamisen kannalta täytyi saada muodostetuksi kuutio, laatikko tai anturan pohja. Sulkeutuvaa kuutiota ei voida 3D-Winillä muodostaa kolmioinnin matematiikan vuoksi. Kokeiluluonteisesti 3D-Winillä muodostettiin anturoiden ”laatikko”, vaikka pelkkä anturan pohjan taso olisi riittänyt. 3D-Win kykenee kolmioimaan taiteviivat, jotka ovat arvoltaan cm:n päässä toisistaan [30]. Näin ollen suunnitelmasta poimittiin kaikki taiteviivat, jotka kuvaavat anturan pohjaa. Tosin taiteviivojen korkeudet olivat 0, joten kaikkia taiteviivoja editoitiin korkeustiedon osalta. Anturan pohjaa kuvaava taiteviiva kopioitiin viivan kopiointi-työkalulla, kuva 8. B-mitan arvoksi annettiin 0.01 tai -0.01 riippuen viivan kulkusuunnasta ja z-eron arvoksi 0.5. Tällä toimenpiteellä saatiin luotua likimääräinen anturan yläpinnan sijainti. Kutakin anturaa kuvaa tämän jälkeen kaksi taiteviivaa, ja koko aineisto voidaan kolmioida. Kolmioinnin asetuksilla voidaan ohjata kolmiointi niin, ettei kolmiointia suoriteta anturoiden välille, ainakaan kaikille väleille. Näin vältetään liialta kolmioinnin editoinnilta. Kuvassa 9 on

osa rakennuksen anturoista mallinnettuna 3D-Winissä, kukin antura koostuu viidestä tahkosta ja kukin tahko kahdesta kolmiosta. Näkymä on havainnollisuuden vuoksi käännetty 3d-näkymäksi sivusta.



Kuva 8. Viivan kopiointi-työkalun toimintoikkuna 3D-Winissä.



Kuva 9. 3D-Winissä mallinnettuja anturoita

10.2.3 Viiva- ja pistemäinen aineisto

Taiteviivamainen, perinteinen suunnitelma-aineisto toimii pintamalla paremmin koneohjausjärjestelmässä taustana, referenssinä. Myös kesän aikana haastateltujen kuljettajien mukaan kaivinkoneessa olevalta näytöltä olisi hyvä olla nähtävissä likimain samanlainen näkymä kuin perinteisestä paperikuvastakin. Näin ollen perinteisen suunnitelman tapauksessa ohjausjärjestelmässä voidaan näyttää esimerkiksi pihan korkeuskäyrät taiteviivoina tai kaivojen sijainnit ympyröinä. Luiskaviivoitus on myös toteutettavissa näytölle. Kuvassa 10 kaivinkone on toisen pilottityömaan pintamallin päällä (keltainen alue), ja tauskartaksi on tuotettu taiteviiva-aineisto, jossa on tien korkeuskäyrät ja toisen puolen ojan luiskaviivat.



Kuva 10. Pintamalli ja taustakartta koneohjausjärjestelmän näytöllä.

10.3 Koordinaattimuunnokset

Perinteisistä suunnitelmista tuotettu koneohjausaineisto ei sovellu käytettäväksi ilman koordinaattimuunnoksia. Rakennussuunnitelmien toteuttaminen koneohjausjärjestelmällä tuo siis työmaan mittaushenkilön hallittavaksi koordinaatistomuunnoksia. Käytännössä muunnoksia on tehtävä tukiaseman pystyttämisen yhteydessä, työmaan koordinaatiston soveltamisessa koneohjausjärjestelmän käyttöön ja työmaan suunnitelmien käsittelyssä koneohjausjärjestelmää varten. Siten työmaalla, jossa käytetään koneohjausjärjestelmää, on hallittava useampaa koordinaatistoa kuin perinteisen mittauksen ja merkitsemisen tapauksessa.

Työmaan suunnitelmista piha-alueen tasauspiirustus, rakennuksen ulkopuolisten viemäreiden ja sähkösuunnitelmien asemapiirustukset olivat toteutettu VVJ-koordinaattijärjestelmään viidellä kokonaisella numerolla ja samassa järjestelmässä olivat myös työmaan apupisteet takymetrimittauksia varten. Erona varsinaiseen VVJ-järjestelmään oli siis kaksi ensimmäistä kokonaista lukua, jotka täytyi lisätä kaikkiin suunnitelman pisteisiin. Muut suunnitelmat, kuten rakennesuunnitelmista perustukset, olivat kunkin suunnittelijan omassa, mielivaltaisessa koordinaatistossaan. Moduuliverkko oli ainoa yhteinen tekijä eri suunnitelmien koordinaatistojen välillä, ja sen avulla oli mahdollista suorittaa koordinaatistomuunnokset suunnitelmille, jotka eivät olleet asemakuvien kanssa samassa koordinaatistossa. Suunnitelmille tehdään Helmert-muunnos, joka on yhdenmuotoisuusmuunnos tasossa, eli vastinpisteiden avulla kolmea koordinaattiakselia kierretään, siirretään toisen suunnitelman koordinaatiston origon paikkaa ja muutetaan mittakaavaa. [29, s. 49; 40, s. 76.] Helmert-muunnokselle on oma työkalunsa 3D-Win-ohjelmassa, ja tämän muunnoksen tekeminen on mittaustyötehtävissä toimiville henkilöille arkinen toimenpide. Yksinkertaisimmillaan Helmert-muunnos voidaan suorittaa moduliverkon avulla osoittaen moduliverkon risteyksissä olevia pisteitä kahdessa eri koordinaatistossa. Tällä menettelyllä saadaan käännettyä suunnittelijan mielivaltainen koordinaatisto asemakuvan koordinaatistoon, VVJ-järjestelmään.

Koneohjauslaitteiston toimittaja Novatron suosittelee, että paikalliselle yksittäiselle työmaalle lasketaan omat muunnosparametrit [19]. Novatronin koneohjausjärjestelmän sisäiset muunnosparametrit KKJ:n ja VVJ:n välillä voivat sopia käytettäväksi hyvin joillain alueilla ja vastaavasti toisaalla huonosti tai eivät ollenkaan. Toteutusmallin ja ko-

neohjauslaitteen koordinaatistomuunnosten yhteensopivuus tulee tarkistaa mittauksilla työmaalla ennen toteutuksen aloittamista. Luotettavan muunnoksen määrittämiseksi työmaan alueelle on mitattava apupisteitä esimerkiksi takymetrillä. Lähtöpisteinä on tällöin käytettävä kiintopisteitä, joiden tiedot voidaan hankkia kyseisen kaupungin tai kunnan mittausosastolta. Apupisteitä tulisi rakentaa siten, että ne ympäröisivät ja kattaisivat vähintään kyseisen työmaan. Tämän jälkeen apupisteet mitataan tai pikemminkin kartoitetaan RTK-paikannin laitteistolla, jolloin käytetään riittävää havaintoaikaa kullakin pisteellä. Muunnos saadaan määritettyä koneohjausjärjestelmään, kun apupisteiden koordinaatit ovat selvillä kahdessa eri järjestelmässä.

Suunnitelmien koordinaattimuunnoksiin ja muunnoksen tuottamiseen sain 3D-systemsin Markku Salorannalta ohjeeksi kääntyä kyseisen kaupungin mittausosaston puoleen. Vantaan mittausosaston paikkatietoinsinööri Tero Piiraiselta sain Helmert-muunnos-parametrit KKJ:n ja VVJ:n väille. Tällä Helmert-muunnoksella saadaan käännettyä VVJ:ssä olevat suunnitelmat KKJ-järjestelmän mukaisiksi. Muunnos on suoritettu viiden Vantaan kaupungin alueella sijaitsevan kiintopisteen mukaan. Muunnoksessa käytetyillä pisteillä on määritetty Maanmittauslaitoksen toimesta KKJ-koordinaatit ja Vantaan toimesta VVJ-koordinaatit. Jäännösvirheet ovat Piiraisen mukaan kolmen sentin suuruisia ja muunnosta voidaan käyttää koko Vantaan alueella. Tätä muunnosta käytetään Vantaalla erilaisten kartoitus- ja suunnitelmatietojen koordinaattimuunnoksissa. [39.]

10.4 Tiedostojen siirtäminen

Varsinaiset toteutuksessa käytettävät suunnitelmat voidaan siirtää koneohjausjärjestelmään usb-muistitikun avulla. Tiedonsiirto on tiedon kopioimista usb-muistista järjestelmän kiintolevyn muistiin. Edistyksellisempi vaihtoehto tiedonsiirtoon on palvelinsovellus, jonne suunnitelma-aineistot ladataan. Koneohjausjärjestelmät ovat gsm-verkon tiedonsiirtoyhteydessä palvelimeen tai Internetiin, ja järjestelmä lataa kyseiselle työkooneelle kohdistetut käytettävät aineistot. Verkossa toimivan langattoman palvelun edut muodostuvat juuri tiedonsiirron helpottumisesta. Esimerkiksi suunnitelma-aineiston päivityksen takia mittausoperaattorin ei tarvitse hankkiutua työkoneen luokse, joka voi olla kymmenienkin kilometrien päässä toimistolta, vaan aineisto voidaan päivittää toimistolla verkkosovellukseen ja siirtää sen avulla työkoneeseen. Tiedonsiirto voidaan

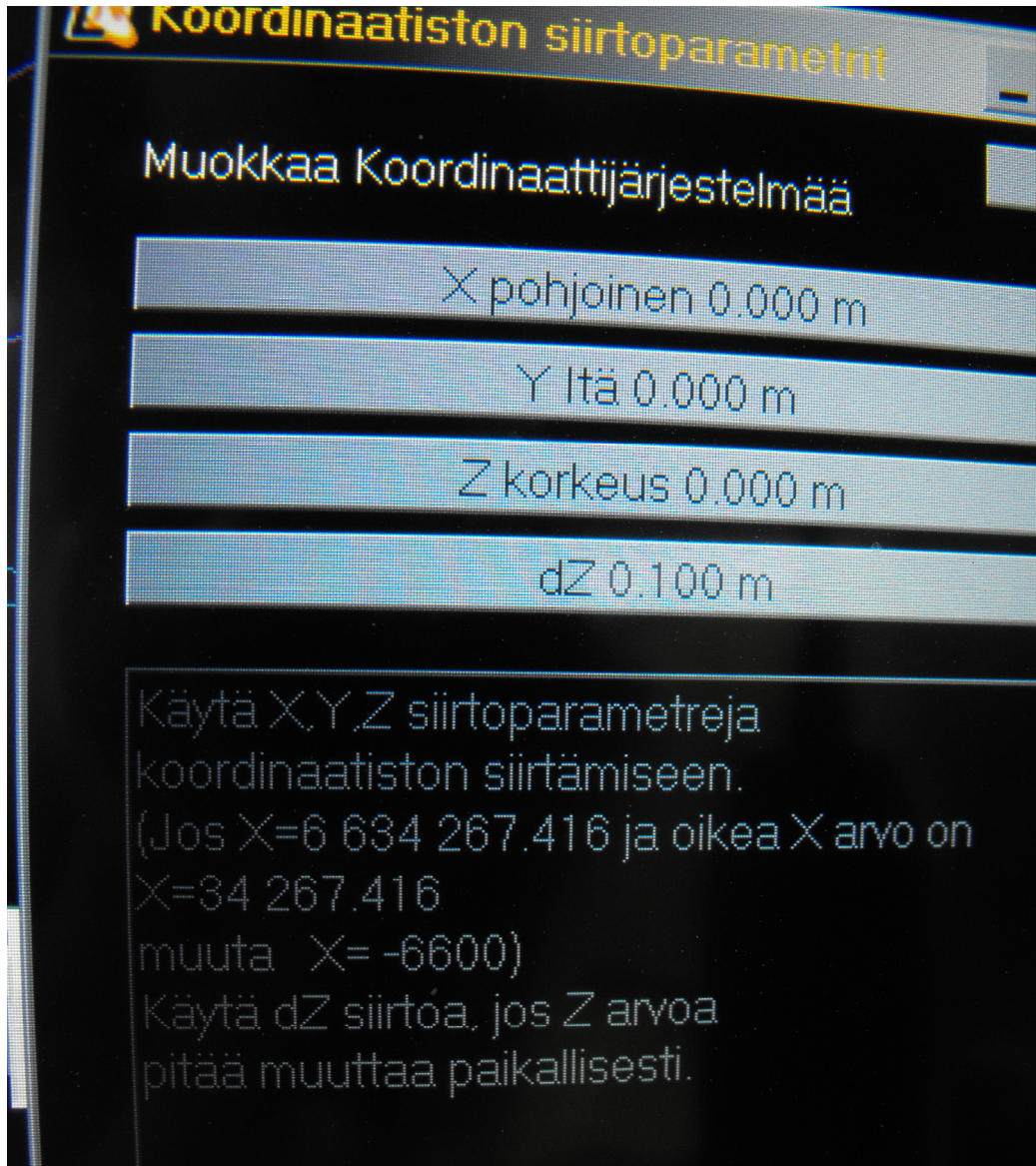
tehdä myös silloin, kun työkoneen laitteisto ei ole kytkettynä. Työkoneen laitteisto tarkistaa käytettävät mallit palvelimelta seuraavan käynnistyksen yhteydessä ja päivittää muutokset käyttöön.

10.5 Aloittaminen ja oikea toiminnan varmistaminen

Työmaan alussa aineistolle ja koneohjausjärjestelmään tehtyjen muunnosten oikeellisuudesta tulee varmistua ensimmäisillä käyttökerroilla. Yksinkertaisin ja varmin tapa tarkistaa koneohjausjärjestelmän paikannuksen luotettavuus on verrata järjestelmän mittaamia koordinaatteja takymetrillä mitatulla tarkistuspisteellä. Tarkistuspisteitä rakennetaan työmaan alueelle siten, että niitä on työmaan ympärillä tasaisesti ja niiden tavoittaminen työkoneella on mahdollista. Työmaan ollessa muodoltaan suorakulmainen paikannuksen luotettavuus on hyvä tarkistaa niillä tarkistuspisteillä, jotka ovat kaivimpana toisistaan. Näin voidaan varmistua, ettei muunnoksessa ole vääristymistä, joka johtuisi suunnitelma-aineiston kiertymisestä.

Käytettyjen muunnosten oikeellisuuden toteamisen jälkeen on riittävää, että päivittäinen tarkistus tehdään konetta lähimmällä pisteellä. Päivittäisellä tarkistuksella luodaan perustaso sille varmuudelle, että sinä päivänä paikannuksen tarkkuus on riittävä.

Jotta koneohjausjärjestelmän korkeuden tarkkuus voitaisiin varmistaa, työmaan mittaa- ja voi luoda erillisiä korkeuden tarkistuspisteitä kiinteisiin rakenteisiin varmistuen, etteivät ne jää näkyviin ja että ne ovat kaivinkoneella saavutettavissa. Korkeuden tarkistus suoritetaan vertaamalla mittaaajan korkeusarvoa koneohjausjärjestelmän korkeuteen. Korkeuden tarkkuus on kaivinkoneen työnkannalta tärkeä ja vastaavasti paikannusteknisesti haastava hallita. Järjestelmällä mitattua korkeusarvoa voidaan muuttaa paikallisesti offset-arvoilla tarvittaessa oikeaan suuntaan. Korkeuden tarkistus on suoritettava kahdella kauhan asennolla virheen minimoimiseksi. Kuvassa 11 on dZ-arvolla muutettu korkeutta 10 cm:n verran vastaamaan paremmin todellisuutta.



Kuva 11. Novatronin Vision 3D:n offset-parametri-ikkuna.

Suoritettaessa tarkistuksia vertaamalla koordinaatteja tai korkeusasemaa on hyvä ymmärtää kaivinkoneen mittasuhteet ja toimintaympäristö. Kaivinkone on kuitenkin kärkeän maa-aineksen käsittelyyn soveltuva työkone, jolle sijainnin tarkkuudeksi riittää +/- 10 cm ja korkeuden tarkkuudeksi +/- 2 cm. Vaikka korkeuden tarkkuus on tärkeä ja kaivinkoneella kyetään hyvään tarkkuuteen, lopputulos on kuitenkin kuljettajasta ja hänen ominaisuuksistaan riippuvainen.

10.6 Tarkemittaukset

Koneohjausjärjestelmä mahdollistaa yksittäisten pisteiden mittaamisen ja niiden tallentamisen järjestelmän muistiin. Kaivinkoneessa mittapiste on kauhassa, ja sillä voidaan käytännössä mitata karkeita pintoja tai kaivannon pohjaa esimerkiksi massanvaihdon tapauksessa. Massanvaihdon maaleikkauksen pintakartoitus lukeutuu tarkemittauksiin. Tilaaajat määrittelevät usein työselostuksissa tavan, jolla tarkemittaukset suoritetaan ja useasti selostuksissa mainitaan takymetrimittaukset. Näin ollen tilaajan kanssa tulee erikseen neuvotella siitä, voidaanko koneohjausjärjestelmällä mitata esimerkiksi maaleikkausten tasoja. Maaleikkausten tarkkuuteen koneen järjestelmän paikannus on riittävä, kun aiemmin mainitut tarkistustoimenpiteet on suoritettu ja oikeanlainen toiminnallisuus tarkastettu.

Koneohjausjärjestelmällä mitattaessa koneenkuljettajalla on mahdollisuus tallentaa mittaamilleen pisteille tietty koodi. Jälkieditointia helpottaa huomattavasti, kun mittaushenkilöt ja koneenkuljettajat sopivat ja käyttävät samoja koodilistoja.

11 Empiiriset kokemukset ja havainnot

Insinööriyön tavoitteena oli hankkia kokemusta koneohjausjärjestelmän toimintaympäristöstä ja oppia tuottamaan suhteellisen yksinkertaisia malleja toteutusta varten. Seuraavissa luvuissa käsiteltävät kohdat perustuvat vuoden 2011 aikana hankittuihin kokemuksiin ja työn aikana todettuihin tuloksiin.

11.1 Käyttökokemukset

Koneohjauksen toimintaympäristöä voidaan kutsua perinteisen mittauksen sukulaiseksi, mutta käytännön toiminnan kannalta se on suurelta osin kuin kaukainen serkku. Koneohjaus tuo mittausoperaattoriksi kutsuttavan henkilön toimenkuvaan uusia ulottuvuuksia, joita ei perinteisen maanrakennustyömaan mittauksissa ole edellytetty. Mittausoperaattorin on ymmärrettävä satelliittipaikannuksen osatekijät ja kyettävä pysymään ajan tasalla niin satelliittijärjestelmien, paikannustekniikan kuin yleisen laitteisto- ja sovelluskehityksen osalta. Paikannuslaitteet, esim. tukiasemalaitteistot, vanhenevat ja kehittyvät ajassa muun mittausmekaniikan mukana. Laitteistoille määritellään usein viiden vuo-

den takaisinmaksuaika, joten suunnilleen samalla aikavälillä niitä voidaan olettaa päivitettävän.

Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän käytöllä saavutetaan mittaustyön kannalta suurin tehokkuus, kun sen avulla tehdään muotoiluja tai tasauksia suhteellisen karkealla maa-aineksella. Maastomerkinnot ovat hankalia ja suhteellisen paljon työllistäviä, kun esimerkiksi pihan tasausta varten joudutaan pystyttämään puinen mittakeppi tiivistettyyn louhekerrokseen. Nämä perinteisen maastomerkinnot mittakepit eivät pysy kovinkaan kauan pystyssä, ja niiden toistuva uudelleen paikalleen mittaaminen on käytännössä turhaa. Koneohjausjärjestelmällä merkintöjä ei tarvita, ja työt voidaan aloittaa pimeänäkin aikana. Järjestelmän käytön vaikutuksista maastomittaustyöhön yleisesti voidaan todeta sen vähentävän fyysisten merkintöjen tarvetta.

Itse järjestelmän laitteiston käyttö kaivinkoneessa on yksinkertaista ja suhteellisen helppoa, varsinkin ennestään tietotekniikan kanssa toimineelle henkilölle. Novatronin Vision 3D-kosketusnäyttöpäätteen valikkojen käyttöä helpottaa kosketusnäytölle soveltuva kynä. Jo muutamien laitteiston käynnistyskertojen jälkeen uudellekin kuljettajalle muodostuu tekemisestä muistijälki. Ensimmäisillä kerroilla ja uuden kuljettajan, kuten lomatuuraajan tapauksessa on hyvä olla tukihenkilö suhteellisen lähellä tai muutoin tavoitettavissa. Novatronin etäkäyttömahdollisuus on ongelmatilanteissa arvokas apuväline.

Suunnitelmien muutoksien eli revisioiden havaittiin työllistävän suhteessa enemmän kuin ensimmäisen mallin tekeminen. Tämä tuli esille myös mittausoperaattorin kokemuksissa koneohjausseminaarissa syksyllä 2010. Työllistävyys johtuu mallin riippuvuussuhteiden muuttumisesta, erityisesti korkeuden osalta. Esimerkiksi pihan tasauksessa muuttuessa joudutaan lähtöaineistona olevaa taiteviiva-aineistoa editoimaan ja suorittamaan kolmiointi sekä editoimaan kolmioitu aineisto. Kolmiointi tuottaa vain harvoin ensimmäisellä kerralla tavoitellun tuloksen. Lisäksi suoritetaan aineistolle tarvittavat muunnokset ja siirretään työkoneseen. Tässä suhteessa perinteisen mittausaineiston editointi on yksinkertaisempaa, mutta perinteinen rakentamistapa edellyttää vielä maastoon merkinnän.

Pääosin kesän aikana sovellettujen käyttökohteiden ja niiden perusteella hankittujen käyttökokemusten perusteella kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän käyttö soveltuu mielestäni kaikkiin työvaiheisiin, jotka edellyttävät sijaintitietoa kohteesta ja joissa käsitellään massoja. Työmaat olivat pilottiluonteisia, ja niissä tehtiin yksittäisiä kokeiluja ja harjoitettiin osaamista myöhemmin sitä soveltaen. Luonteesta johtuen työmailla ei pyritty suoraanaisesti parantamaan työtehokkuutta vaan keskityttiin lähinnä välttämään turhat, tavallisesti toistettavat työvaiheet.

Hankitun kokemuksen mukaan työmaan koolla ei ole niin paljon merkitystä koneohjausjärjestelmän käytön kannalta. Määrävinä tekijöinä ovat rakentamisen edellyttämät työvaiheet ja -menetelmät sekä järjestelmän soveltuminen niihin. Kokemukset puoltavat Koneohjausseminaarissa syksyllä 2010 esitettyä näkemystä, että koneohjausjärjestelmä soveltuu vaikka pientalotyömaalle. [15.]

11.2 Havainnot tarkkuudesta

Koneohjausjärjestelmän ensimmäisillä käyttökerroilla suoritettiin kokeiluluonteisesti yksinkertaista tasausta, jolloin kaivinkoneella tasattiin kivilouhetta samaan tasoon +41,00. Muunnos korkeuden osalta suoritettiin paikallisesti vertaamalla takymetrillä mitattuun korkeuteen. Varmistuminen oikeasta korkeudesta oli yksinkertaista. Korkeuden tarkkuus oli riittävä kaikilla työmaan ympärille merkityillä tarkistuspisteillä. Myöhemmin kun pihan tasaussuunnitelmat saatiin suunnittelijalta, niistä tuotettiin aiemmassa luvussa esitelty aineisto, jota hyödynnettiin varsin luontevasti ja mielestäni myös tehokkaasti. Korkeuden vertaaminen tasaus-aineistoon on vakiotasoa luontevampaa, kun kuljettajan ei tarvinnut tarkkailla pelkkää korkeuslukemaa, vaan hänellä oli myös väri- ja ääni-indikaattori toleranssin ilmaisimena.

Koneohjausjärjestelmän käytön alkuvaiheissa päätettiin luottaa Novatronin laitteiston sisäiseen KKJ-VVJ-muunnokseen. Ratkaisuun päädyttiin vähäisestä kokemuksesta johtuen. Tarvittaessa mitattaisiin oma koordinaatistomuunnos kyseistä työmaata varten.

Vantaan kaupungilta saamaani koordinaatistomuunnosta ja sen käytettävyyttä testattiin rakennuksen perustusten yhteydessä. Kaivinkoneella kaivettiin rakennuksen perustusten eli anturoiden vaatimat pohjat. Anturat sijoituivat noin yhden metrin alemmas

tasatusta louhekentästä. Kaivinkoneen kauhan mittapiste, tässä tapauksessa kauhan huulilevyn keskipiste vietiin kyseisen mallinnetun anturan kulman kohdalle ja sitä verrattiin takymetrillä mitattuun ja maalilla merkittyyn pisteeseen. Kaivinkoneen työn luonteen kannalta sijainnin tarkkuudesta voidaan todeta, että järjestelmän sisäinen koordinaattimuunnos ja työmaan suunnitelmille tuotettu koordinaattimuunnos olivat riittäviä. Kaikkien kaivettujen anturoiden pohjien osalta ne mahtuivat kaivettuun kaivantoon.

Yksi tarkkuuteen ja varsinkin korkeustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä on kaivinkoneessa kulloinkin käytettävä kauha. Aiemmin tässä työssä (luku 5), mainitut sisäisen orientoinnin osatekijät, kauhan mitat ovat ainoat, joiden tiedetään muuttuvan kulumisen johdosta. Toisaalta kaivupuomin niveliin tulee ajan myötä väljyyttä, mutta kauhan huulilevy kuluu eniten, varsinkin pintamaiden poistossa kalliopinnoilta. Kulumisesta johtuva virhe on suhteellisen pieni, mutta se on huomioitava päivittäisissä tarkistuksissa. Huulilevyn kulumisen tarkkailu, kauhan kalibroiminen ja käytettävän kauhan valitseminen järjestelmän asetuksiin kuuluu kuljettajalle. Yhden kaivinkoneen varustukseen voi kuulua useita erilaisia kauhoja, ja jokainen niistä on kalibroitava vähintäänkin käyttöön otettaessa. Yleisimmin kauhoja on kahdesta neljään kappaletta.

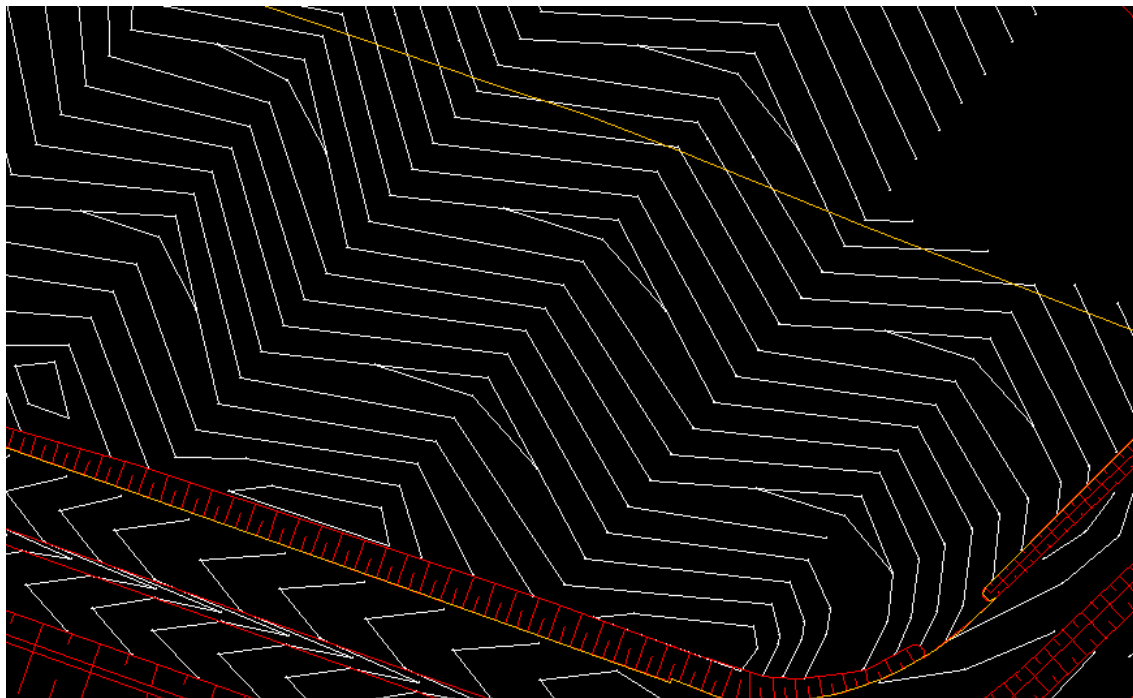
11.3 Kokemukset laadusta

Infrarakentamisen laatu muodostuu rakennussuunnitelmien rakennekerrosten pintojen suunnitelman mukaisuudesta. Rakennekerrosten korkeussijainnin toleranssit on määriteltä InfraRYL:ssä. Pihan tasauksen päällysrakenteen (ks. kuva 7), laatu todettiin takymetrimittauksin 100 mm:n murskekerroksen (# 0...64) mukaisesta pinnasta, joka oli myös urakkarajana. Koneohjausjärjestelmän laadun toteamiseksi osa piha-alueesta toteutettiin koneohjauksella ja osa niin sanotusti perinteisin menetelmin.

Koneohjauksella piha-aluetta tasattiin noin 2800 m² ja tarkemitattuja pisteitä mitattiin tiivistyksen jälkeen 83 kpl, joista 77 oli toleranssien +/-20 mm sisällä. Perinteisin menetelmin tasattiin noin 1500 m² ja vastaavasti mitattuja pisteitä 53 kpl, joista vain 20 oli toleransseissa.

Toisella pilotointityömaalla kaivinkoneella tasattiin kiilattua louhekerrosta, jossa laatuvaatimusten mukainen tarkkuus oli 0 – (-100) mm. Pinta-alaltaan asfalttikentän pohja-

töitä tehtiin 6500 m²:n verran. Kuviossa 8 on ote kyseisen työmaan tasaussuunnitelmasta, jossa tasauksen taiteviivat ja luiskaviivoitus 3D-Winissä. Taiteviivojen etäisyys on noin 4 metriä ja käyräväli eli korkeusero 10 cm.



Kuvio 8. Tasauksen taiteviiva-aineisto 3D-Winissä, taustakartan luiskaviivoitus punaisella.

Tarkemittaukset osoittivat, että koko kenttä täytti laatuvaatimukset. Tämän voidaan olettaa johtuvan osittain suuremmasta toleranssista. Tulokseen vaikutti myös tieto siitä, että viimeiset kerrokset tehdään tiehöylällä, jossa käytetään takymetriohjausta. Tiehöylä ei salli toleranssin ylityksiä, varsinkaan louhekentässä. Mikäli höylättävä pinta on toleranssien yläpuolella, tiehöylä nostaa herkästi louheen pintaan.

Viime kädessä ratkaisevin tekijä laatuvaatimuksien täyttymisen osalta on koneenkuljettaja. Kuljettajan kokemuksen myötä karttunut taito käsitellä työkonetta ja hänen asennoituminen työhön tuottavat varsinaisen tuloksen. Kuljettaja vaikuttaa eniten, sillä kyseessä on automaatioasteeltaan alkeellisin, opastava järjestelmä, joka ei ohjaa koneen liikkeitä. Kaiken kaikkiaan laatutekijöiden voidaan todeta täyttyvän, kunhan paikannuksen osatekijät ovat hallinnassa ja järjestelmän tarkkuutta kontrolloidaan säännöllisillä tarkistuksilla.

12 Taloudelliset vaikutukset

12.1 Työmaan kulurakenne

Työmaan kulut jaotellaan eri kululajeihin eli litteroihin. Litteroiden avulla työmaan kulut kohdistetaan erilaisille työvaiheille ja niissä käytettäville tarvikkeille. Työmaan työntekijöiden kulut erotellaan litteroihin myös. Litterointi toimii kustannus seurannan apuna ja helpottaa työmaan taloudellista jälkilaskentaa. Mittaustyö on usein omana litteranaan, mutta joskus se voi olla sisällytettynä työnjohdon litteraan. Mittaustyön kulujen voidaan olettaa muuttuvan ajan ja kokemuksen myötä koneohjausjärjestelmän käytöllä. Laitteiston käyttö ja kokemuksen myötä hankittu toimintavarmuus vähentävät mittaustyöhön käytettävää aikaa, minkä vuoksi työmaalle kohdistuvat mittaustyön kulut pienenevät. Laskentavaiheessa arvioidaan työmaan mittaustyön kokonaiskuluja ja ne huomioidaan urakkatarjousvaiheessa. Yksikköhintaisissa urakoissa kululajit erotellaan ja kullekin työvaiheelle määritellään hinta käytettävää yksikköä kohden.

Mittaustyön kulujen arviointia vaikeuttaa koneohjausmallien työllistyvyys. Ratkaisevaa kulujen muodostumisen kannalta on tieto suunnittelijan valmiuksista tuottaa koneohjausmalleja. Koneohjausjärjestelmän kanssa toimiminen työllistää mittaushenkilöä merkittävästi, jos mallit joudutaan tuottamaan työmaalla vaillinaisista suunnitelmista.

12.2 Laitteiston hankinta- ja käyttökulut

Koneohjausjärjestelmän kulut koostuvat laitteiston hankintakuluista ja ylläpidon aikaisista huolto- ja lisenssisopimuksista. Mikäli korjaussignaalin tuottamiseen käytetään omaa tukiasemaa, täytyy huomioida tukiaseman laitteiston hankintakulut, käytöstä ja sen ylläpidosta aiheutuvat kulut. Tukiaseman ylläpitokuluihin täytyy huomioida myös sen pystyttämiseen kuluva työaika. VRS-tukiasemapalvelun käyttö edellyttää lisenssisopimusta tai vastaavaa käyttö lupaa. Tukiasemapalvelu voi olla, palveluntarjoajasta riippuen, hinnoiteltu kuukausittaisella maksulla tai vuosilisenssillä. Pääsääntöisesti pidempiaikaisen sopimuksen hinta on edullisempi, kun tarkastellaan hintaa käyttöpäivältä [28; 33]. Laitteistotoimittajien tarjoamat palvelut koneohjausmallien tiedonsiirtoihin kuuluvat joillakin ylläpitosopimuksiin, toisilla toimittajilla ne voi olla hinnoiteltu erikseen.

Laitteiston kokonaiskulut riippuvat siitä, minkälainen laitteisto hankitaan ja miten tuotetaan RTK-mittaukseen tarvittava korjaussignaali. Kahden antennin koneohjausjärjestelmät ovat noin 30 000 €:n hintaisia ja yhden antennin jonkin verran halvempia. Yhden tukiaseman hankintakulut kulut ovat noin 10 000–15 000 euroa. Tukiasemapalvelua käytettäessä ei tarvita omaa tukiasemalaitteistoa. Tukiasemapalvelusta kertyy vuosittain lisenssikuluja 1500–2000 euroa. Näiden kulujen lisäksi tulevat koneohjausjärjestelmän huolto- ja ylläpitosopimuksien kulut, jotka vaihtelevat jonkin verran laitetoimittajien välillä ja ovat suuruudeltaan 100–200 euroa kuukaudessa. Pieni, mutta toiminnan kannalta tärkeä tekijä on VRS-tukiasemapalveluun ja langattomaan tiedonsiirtoon tarvittava gsm-liittymä. Nykyisten datapaketti-liittymien hinnat ovat noin 10–15 euroa kuukaudessa.

Koneohjausjärjestelmän kuluja pohdittaessa tulee verrata tukiasemapalvelun ja oman tukiasemalaitteiston kuluja toisiinsa. Omaksi hankittava tukiasemalaitteisto palvelee paikallisesti sitä lähellä toimivia työkoneita, ja tällöin kulut jakautuvat koneiden kesken. Oman tukiaseman käytettävyys alkaa huonontua tarkkuuden heikentymisen ja radio-signaalikatkosten myötä välimatkan kasvaessa työkoneen ja tukiaseman välillä. Oma tukiasema on käytännössä paikkaansa sidoksissa niin kauan kuin työmaalla on koneohjausjärjestelmällä varustettuja työkoneita. Tämä tarkoittaa, että omia tukiasemalaitteistoja voidaan joutua hankkimaan useampia. Tukiasemapalvelun lisenssikulut voidaan sopia palveluntarjoajan kanssa joko työkonekohtaisiksi tai projektikohtaisiksi riippuen työkohteen tai urakan luonteesta [28].

Yhteenvetona koneohjausjärjestelmän kulurakenne tarkoittaa, että työkoneen käytöstä tilaajalta laskutettava hinta muuttuu. Mikäli käytetään laitteiston osalta viiden vuoden takaisinmaksuaikaa ja käytetään tukiasemapalvelua korjausviestin tuottamiseen, pitäisi koneen laskutettavaa tuntihintaa korottaa noin viiden euron verran.

12.3 Laitteiston tuotto-odotukset

Koneohjausjärjestelmä ei ole ainoastaan lisäkulu työmaalle paremman laadun toivossa. Laitteiston avulla voidaan parantaa työmaan kannattavuutta ja sitä myöden tuottoa. Paremman kannattavuuden potentiaali piilee työmaan massoissa. Tuotto-odotus perustuu maa-ainesten käsittelyn optimointiin, eli kyetään välttämään turhien maamassojen

kaivamisesta ja kuljetuksesta aiheutuvia kuluja. Lähtökohtana on järkevä ja huolellisesti toteutettu työvaihesuunnittelu, jossa kuhunkin työvaiheeseen on kohdistettu siihen parhaiten sopiva työkonie. Työvaihesuunnittelussa voidaan havaita säästöä myös työvoimakuluissa, kun koneohjausjärjestelmällä varustettu kaivinkone ei tarvitse apumiestä.

Koneohjauksella voidaan saada parannettua työmaan massataloutta niin kaivettujen kuin täytettyjenkin massojen osalta. Ylimääräisistä kaivumassoista koituu massanvaihdon ja putkilinjojen tapauksessa myös ylimääräistä täyttöä. Esimerkiksi kymmenen metriä leveällä ja yhden kilometrin pituisella tielinjalla voidaan säästää maa-aineksen yhdensuuntaisessa kuljetuksessa 500 m³, kun saavutetaan rakennekerroksen leikkauksen tarkkuudessa 5 cm:n parantuminen. Lopulta säästöä tulee toiset 500 m³ täyttöaineksessa. Ajan myötä hankitun kokemuksen ja toimintavarmuuden voidaan olettaa lyhentävän myös työmaan toteutusaikaa [22; 24].

13 Pohdinta

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli perehtyä koneohjausjärjestelmän toimintaedellytyksiin ja -ympäristöön painottaen toteutusmallien luomista ja siihen liittyviä työvaiheita. Työ tukee koneohjausjärjestelmän ymmärtämistä, sen käytön oppimista sekä osallaan rakentamisen toimintatapojen kehittämistä jatkossa.

Teknisen toimintaperiaatteen selvitys tuotti lopputuloksen, jonka voi esitellä esimerkiksi rakennustyömaan vastaaville mestareille tai koneenkuljettajien koulutuksissa. Mittaus-työntekijöiden ja heidän työnsä luonteen kannalta työssä saatiin selvitettyksi toimintaympäristön osatekijät, joiden avulla on mahdollista saavuttaa infrarakentamisen laatuvaatimukset koneohjausjärjestelmää käyttäen. Työmaan toiminnan kannalta esitettiin työvaiheita, joihin koneohjausjärjestelmä soveltuu ja painotettiin työvaihejärjestelyiden tärkeyttä. Työssä esiteltiin myös koneohjausjärjestelmän kulurakennetta sekä mahdollisuutta nopeuttaa työmaan toteutusaikaa ja parantaa sen taloutta. Näiltä osin työn alkuvaiheessa määriteltyjen ja työn aikana tarkennettujen tavoitteiden voidaan todeta täyttyneen. Työssä ei ollut tarkoituksena esittää yksittäisiä tuloksia, vaan tuottaa kokonaisisuuden kattava insinööriyö, joka on itsessään toimintaa havainnollistava tulos.

Koneohjauksen toimintaympäristö kattaa mittaustekniikan osalta perinteistä maanrakennustyömaata laajemman alueen ja edellyttää samalla syvällisempää osaamista. Kokonaisuuden ymmärtäminen edellyttää tietomalliosaamista, satelliittipaikannuksen osatekijöiden hallintaa sekä tärkeimpänä kartasto- ja koordinaattijärjestelmien erojen ymmärryksen. Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa edellyttää lisäksi tuote- ja ohjelmistoteknistä osaamista. Suunnittelijoilta saatavat mallit tulee osata tulkita, tarkistaa ja tarvittaessa editoida käyttöä varten. Työmaalla tämä kokonaisuus edellyttää uutta näkökulmaa ja osaamista mittaushenkilöiden lisäksi työmaan johdolta ja työkoneiden kuljettajilta. Rakennusprojektien kannattavuuden kannalta on tärkeää, että tietomalliosaamista on käytettävissä myös rakentamista edeltävässä tarjouslaskentavaiheessa. Jatkotoimenpiteiden osalta tulevaisuudessa yritysten kannattaisi panostaa osaamisen ylläpitämiseen ja kehittämiseen yrityksen sisällä, sillä tietomallit tulevat olemaan keskeisenä osana rakennusprojektien toteutusta ja hallintaa.

Tämän insinööriyön aikana on havaittu myös kehitysideoita ja toimenpiteitä, joilla koneohjauksen toimintaympäristöä voitaisiin kehittää entisestään. Keskeisessä roolissa koneohjauksessa ovat suunnitelmien koordinaattimuunnokset. Suunnitelmien käsitteystä olisi hyvä laatia erillinen työohjeistus ja laadunvarmistusohje, joka olisi apuna myös mittaushenkilöiden koulutuksessa. Myös kuljettajien koulutusta varten olisi tarpeen laatia koulutusmateriaalia, joka voisi käsittää koneohjausjärjestelmän kannalta mittaustekniikan keskeisimpiä asioita ja lyhyen käyttöopastuksen valituille laitteistoille. Lisäksi tarvetta olisi kuljettajien ja mittaushenkilöiden yhteiselle kartoitustiedon lajikoordaus-ohjeelle, joka toimisi koneohjausjärjestelmällä mitattujen tarketietojen jatkokäsittelyn apuna.

Lähteet

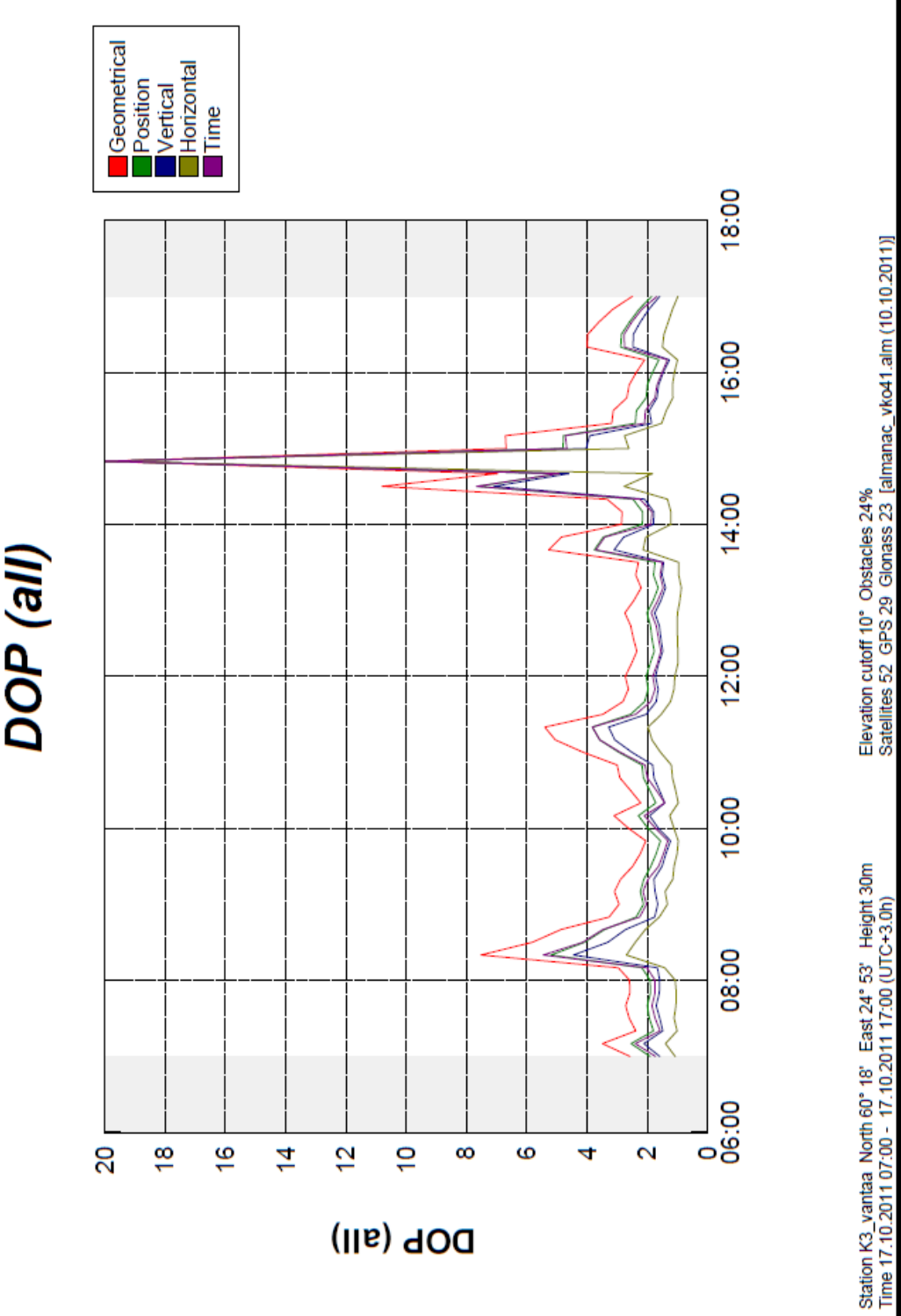
1. Pienimäki, Markku. 2011. Inrakentamisen perusteet. Kurssimateriaali, Rakennustekniikka. Metropolia-Ammattikorkeakoulu Helsinki.
2. Kilpeläinen, P., Nevala, K., Tukeva, P., Rannanjärvi, L., Näyhä, T., Parkkila, T. 2004. Älykäs tietömaa -Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. Verkkodokumentti. VTT Elektroniikka. < <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf> >. Luettu 12.3.2011.
3. Leppänen, M., Hoikkala S. 1993. Massanvaihto. Geotekniikan julkaisu. Tielaitos, Geopalvelut. Helsinki: Tielaitos
4. Junnonen, Juha-Matti. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.
5. Inframodel2 loppuraportti. 2006. Verkkodokumentti. < http://cic.vtt.fi/projects/inframodel2/material/Published/Reports/IM2_Loppuraportti_luonnos0_8.pdf >. Luettu 15.5.2011.
6. Mäkelä, Harri. 2010. InfraTM-hanke ja InfraBIM-kehitystyö. Verkkodokumentti. Rakennustietosäätiö. <http://www.rts.fi/infrabim/Tietomalli_muuttaa_toimintatavat.pdf>. InfraBIM seminaari 25.5.2010. Luettu 4.2.2011.
7. Järvinen, Aleks. 2010. Rakentamisen mittaukset Crusellin sillalla. Insinööritö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
8. Väisänen, Siru. 2011. Tietomallinnuksen ohjeet kehitteillä infran eri osa-alueilla. Rakennustaito 6/2010, s. 38–39.
9. InfraTM-hankkeen panostusalueet. 2011. Verkkodokumentti. Rakennustietosäätiö. <<http://www.rts.fi/infrabim/panostusalueet.htm>>. Luettu 15.2.2011.
10. Inframodel-spesifikaation päivitys, Loppuraportti. 2010. Verkkodokumentti. < http://www.rts.fi/infrabim/Inframodel_paivitys_v1_2_VTT_Loppuraportti.pdf >. Luettu 18.06.2011.
11. Strategisen huippuosaamisen keskittymien taustaa. 2010. Verkkodokumentti. Tekes <<http://www.tekes.fi/fi/community/Taustaa/529/Taustaa/1402>>. Luettu 13.2.2011.
12. Tekes ja strategisen huippuosaamisen keskittymät. 2010. Verkkodokumentti. Tekes. <http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0_201_321_530_1403_43/http%3B

- /tekesali1%3B7087/publishedcontent/publish/fi_content/content_pages/ohjelmat_ja_verkostot/osaamisen_keskittymat/tekes_ja_shok.pdf>. Luettu 13.2.2011.
13. Kilpailukykyiset tieteen ja teknologian strategisen huippuosaamisen keskittymät. 2006. Verkkodokumentti. Opetusministeriö. <http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Tiede/tutkimus_ja_innovaationeuvosto/TTN/erillisraportit/liitteet/osaamiskeskittyma_Strategia_2006.pdf>. Luettu 13.2.2011.
 14. Tutkimusohjelmat. 2011. Verkkodokumentti. RYM Oy. <<http://www.rym.fi/tutkimusohjelmat/PRE/>>. Luettu 13.2.2011.
 15. Koneohjauspäivät. 3.11.2010. Seminaaripäivä. Helsinki: Vianova Oy
 16. Paitsola, Janne. Tuotepäällikkö, koneautomaatiot. Geotrim Oy, Vantaa. Haastattelu 10.12.2010.
 17. Autoguide automaattiohjaus. Ei päiväystä. Verkkodokumentti. <http://www.valtra.fi/products/documents/Valtra_Autoguide_FI.pdf>. Suolahti: Valtra Oy Ab. Luettu 19.2.2011
 18. Vision 3D-laitteistoasennus, Novatron Oy. 23.2.2011. Asentajien haastattelu. Vantaa
 19. Hokkanen, Visa. Tuotekehittäjä; 3d-koneohjausjärjestelmät. Novatron Oy, Tampere.
 20. Kiviniemi, Teemu, Pitkäranta, Joni. 17.5.2011. Haastattelu. Kuura-ohjelmisto pala-veri.
 21. Parkkari, Juha. 2011. 3D-tietomalleja hyödyntävän automatisoidun maarakentamisjärjestelmän kehittäminen. Diplomityö. Oulun yliopisto
 22. Road Construction Production Study. 2006. Verkkodokumentti. MALAGA Demonstration & Learning Center, Caterpillar. <<http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf>>. Luettu 15.5.2011.
 23. Tietomallit ja koneohjauskatuhankkeissa. 2010. Verkkodokumentti. Rakennustietosäätiö. <http://www.rts.fi/infrabim/InfraTM_pilotti_Tampere_Oulu_loppuraportti.pdf>. TEKES 31.12.2010. Luettu 20.6.2011.
 24. Aðalsteinsson, Daði Hrannar. 2008. GPS machine guidance in construction equipment. Verkkodokumentti. <<http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportGPForExcavators2008.pdf>>. Luettu 10.8.2011
 25. Poutanen, Markku. 1998. GPS-paikanmäärittäminen. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa

26. Kråknäss, Pasi. 2010. Satelliittimittaukset. Kurssimateriaali. Maanmittaustekniikka, Metropolia ammattikorkeakoulu.
27. Laurila, Pasi. 2005. GPS-paikannuksen perusteet. Maanmittaustekniikka, Tekniikka ja Liikenne, Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
28. Tötterström, Seppo. 2011. Tuotepäällikkö, VRS-palvelu, Geotrim Oy, Vantaa. Haastattelu 14.10.2011
29. Vermeer, Martin. 2010. Kurssimateriaali. GIS ja geodeettiset mittaukset. Geomatiikka, TKK, Espoo.
30. Saloranta, Markku. 2011. 3D-Win ohjelmisto kehittäjä. 3D-system Oy. Vantaa. Haastattelu 3.3.2011
31. Tötterström, Seppo. 2010. Katsaus VRS-teknologian nykytilaan ja tulevaisuuteen. Maankäyttö, 3/2010, s. 9-13.
32. Leica Geosystem. 2011. Verkkodokumentti. Leica. <http://www.leica-geosystems.fi/fi/Ajankohtaista_91541.htm>. Luettu 10.10.2011
33. Wikman, Esa. 2011. Toimitusjohtaja, Leica Geosystems Oy. Espoo. Puhelinkeskustelu 22.11.2011.
34. Häkli, Pasi. 2004. Practical Test on Accuracy and Usability of Virtual Reference Station Method in Finland. Verkkodokumentti. < http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts11/TS11_4_Hakli.pdf>. Luettu 10.10.2011.
35. Määräys mitausten tarkkuudesta ja rajamerkeistä kiinteistötoimituksissa. Voimaantulo päivämäärä 1.8.2011. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/Maarrays_mittaus_rajamerkit_21_4_2011.pdf>. Luettu 17.10.2011.
36. Laurila, Pasi. 2005. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Maanmittaustekniikka, Tekniikka ja liikenne. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
37. Muukkonen, Jarmo. 2011 Toimitusjohtaja, 3D-System Oy. Vantaa. Haastattelu 15.2.2011.
38. Tietomalliseminaari. 2011. Tilaaja avainasemassa tietomallien käytölle. RIL. Helsinki, 13.10.2011.
39. Piirainen, Tero. 2011. Paikkatietoinsinööri, Vantaa. Keskustelu 6.5.2011.
40. Häkli, P., Puupponen, J., Koivula, H., Poutanen, M. 2009. Suomen geodeettiset koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset. Geodeettinen laitos. Tiedote 30. Verkkodokumentti. <<http://www.fgi.fi/julkaisut/pdf/GLTiedote30.pdf>>. Luettu 20.9.2011.

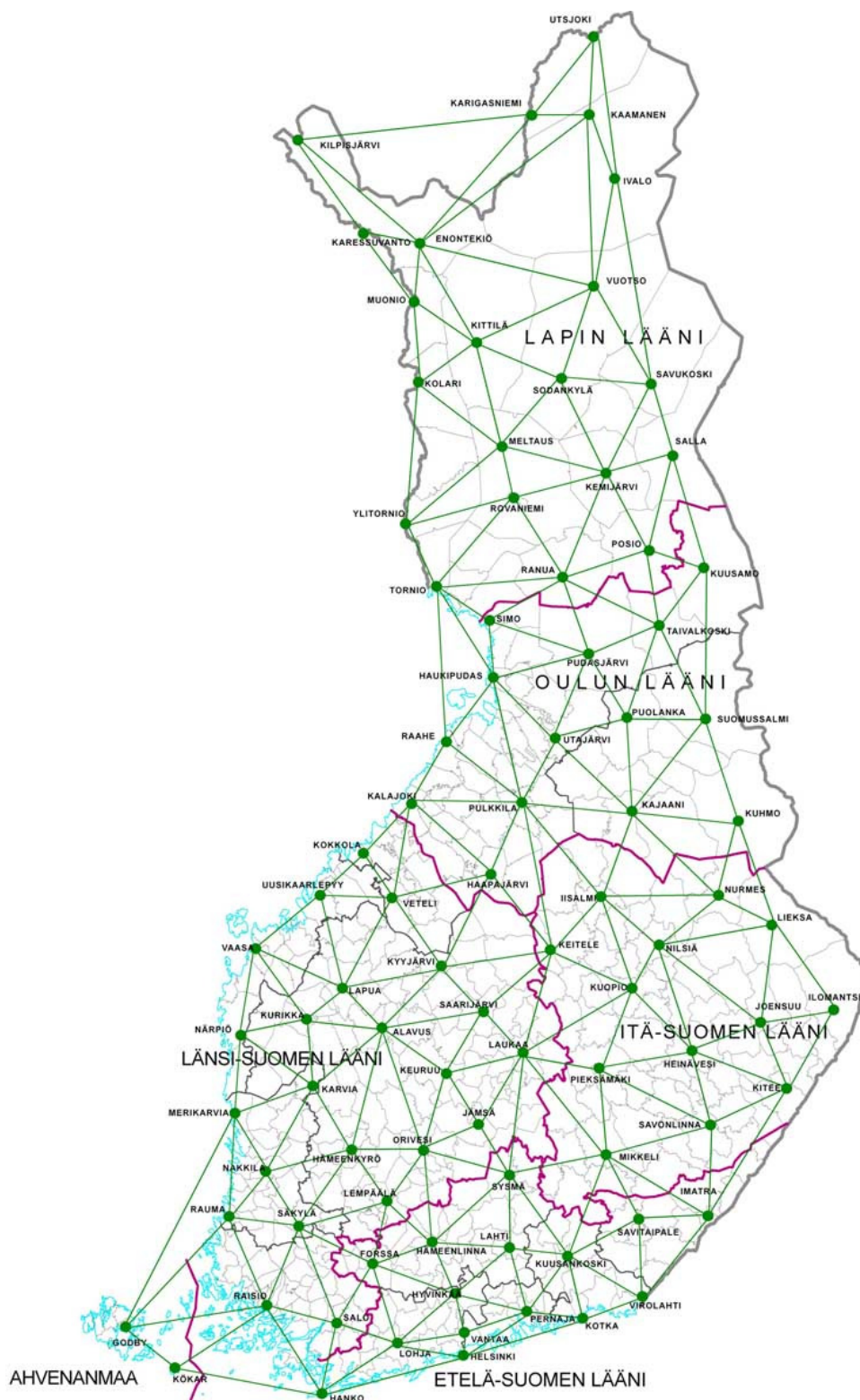
Trimble Planning -ohjelman kuvaaja

Pystyakselilla epätarkkuus-arvot, vaaka-akselilla kellonaika



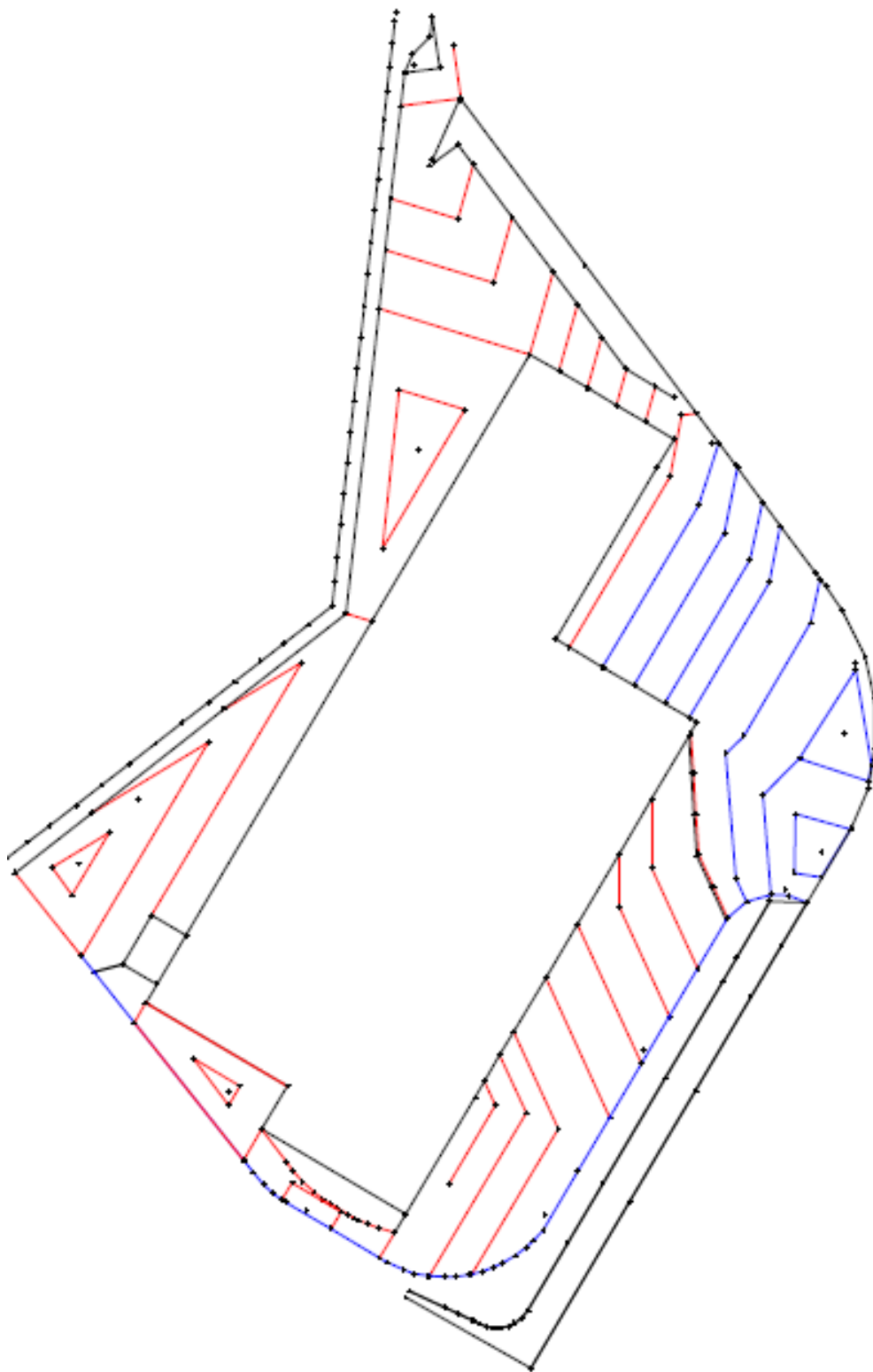
Kuva VRS-tukiasemista Suomessa

Geotrim:in VRS-palvelun tukiasemat Suomessa



Pihantasaussuunnitelmasta editoitu taiteviiva-aineisto

Taiteviivat pihantasaussuunnitelmasta koneohjausjärjestelmää varten



Ote 3D-Win-ohjelman ohjeesta

Kolmioinnin asetukset



Kolmiointi

Maastomalli muodostetaan kolmioimalla joko aktiivinen vektorielementti ([tiedoston valinta](#)) tai ryhmässä olevat merkityt pisteet. Tuloksena syntyy elementtilistaan uusi kolmioverkkoelementti 3D-mallitiedoston oletustiedostopäätteellä.

Ennen kolmiointia aineistolle tehdään tarkistus käyttäen samaa menetelmää kuin [tiedoston tarkistuksessa](#), mutta omilla erillisillä [asetuksilla](#). Kaaret tarkistetaan aina, mutta muut tarkistukset ja rajat voi itse määrätä. Jos tarkistus löytää virheitä, se näyttää virheiden määrän tyypeittäin. Jos kaaria ei löytynyt, voidaan jatkaa kolmiointiin varmistuksen jälkeen.

Aineistosta tulisi korjata ainakin [leikkaavat taiteviivat](#) ja [ositettava](#) mahdolliset kaaret murtoviivoiksi.

Kolmioverkon voi tallettaa myös pintamallina DXF-muodossa toiminnolla [Tiedosto/Formaatit/Kirjoita](#).

Kolmiointi dialogi näyttää seuraavat asetukset:

- Pinta: 1
- Mukaan: ☐ (ei valittu)
- Poista: ☒ (valittu)
- Valitut: ☐ (ei valittu)
- Heijasteina: ☐ (ei valittu)
- Poista lähtötiedosto: ☐ (ei valittu)
- Maksimivu: 500
- Jaa viivat osiin: 5.0
- Minimikulma: 0.0
- Käännä kolmiot: 0.0
- Lähellä viivaa: 0.000
- Asetukset: [Asetukset]
- OK, Peruuta, Ohje *

Pinta

Muodostettavan kolmioverkon pintatunnus. Oletusarvona on aineiston ensimmäinen pisteen pintatunnus, joka ei ole 9. Jos tätä ei löydy, käytetään oletuksena arvoa 1. Muuten alkuperäisen aineiston pintatunnuksilla ei ole väliä mitä ne ovat. Syntyvä maastomalli nimetään käyttäen tätä tunnusta ja tunnus siirtyy suoraan mallista laskettuihin elementteihin kuten poikki- ja pituusleikkauksiin pintatunnuksena. Pinta voidaan hakea listasta tai antaa vapaasti.

Mukaan / Poista

Määrää mitkä pintatunnukset tulevat mukaan tai jätetään pois. Esim. pintatunnus 9 (yleensä maastomalliin kuulumattomat pisteet) voidaan joko automaattisesti poistaa kolmioinnista tai ottaa tarvittaessa mukaan. Mikäli käytetään 'Mukaan'-optiota, mallin pintatunnuksen vaihtaminen päivittää tähän automaattisesti vastaavan tunnuksen. Tarpeen vaatiessa tässä voidaan antaa useitakin pintoja välilyönnillä erotettuna.

Valitut

Otaa kolmiointiin mukaan valitut pisteet kaikista tiedostoista. Jos rasti ei ole päällä, kolmioidaan aktiivinen elementti. Yllä oleva Mukaan/Poista-asetus vaikuttaa myös edelleen.

Hajapisteinä

Valittu aineisto (aktiivinen tiedosto tai valitut pisteet) kolmioidaan hajapisteinä, eli viivat muutetaan hajapisteiksi ennen kolmiointia. Tämä ei vaikuta alkuperäiseen aineistoon.

Yhden pisteen viivat muunnetaan aina automaattisesti hajapisteiksi.

Poista lähtötiedosto

Poistaa lähtötiedoston kolmioinnin aikana. Tällä voidaan säästää tietokoneen muistia suuria aineistoja kolmioitaessa. Toimii vain, kun valitut-rasti ei ole päällä, eli kun kolmioidaan aktiivinen tiedosto.

Maksimisivu

Pituus, jolla rajoitetaan muodostuvien kolmioiden sivunpituutta. Sivun pituus voidaan hakea listasta tai antaa vapaasti. Käytetty sivun pituus tallentuu maastomalliin ja sitä voidaan muuttaa jälkeinpäin mallin [editoinnilla](#).

Jaa viivat osiin

Jakaa taiteviivat osiin käyttäen valittua maksimipituutta. Viivan kukin väli jaetaan tasamittaisiin osiin, joista mikään ei ole pidempi kuin valittu maksimipituus.

Yleisin syy maastomallin kolmioinnin epäonnistumiseen on pitkät taiteviivat, joiden läheisyydessä (muutaman sentin päässä) on hajapisteitä. Taiteviivojen jakaminen osiin ratkaisee useimmat ongelmatapaukset. Normaaliaineistolla maksimipituudeksi valitaan 4-10 metriä.

Minimikulma

Ohjelma merkitsee piilotetuiksi kaikki reunakolmiot, joissa on yksikin tätä pienempi kulma.

Käännä kolmiot

Koko kolmioverkko käydään läpi ja käännetään kolmiot siten, että lyhimmän sivun sääntö toteutuu.

Käyttämällä kerrointa (viereinen lista) voidaan sääntöä muuttaa. Jos kerroin on nolla, käytetään lyhimmän sivun sääntöä, mutta arvo voi olla välillä 1.0 - 10.0, jolla pyritään saamaan 'huonon malliset' kolmiot pois. Mitä lähempänä arvo on 1.0:aa, sitä herkemmin kolmioita käännetään.

Lähellä viivaa

Poistaa hajapisteet, jotka ovat taiteviivasta alle annetun etäisyyden päässä. Nämä hajapisteet voivat muuten aiheuttaa lähes pystysuoria kolmioita ja siten ongelmia jatkossa mm. korkeuskäyrien ja poikkileikkausten laskennassa.

Tässä voidaan käyttää myös vahvempaa toimintoa, joka hakee viivojen läheisyydessä olevat pisteet (hajapisteet ja viivojen pisteet) ja siirtää ne tarkasteltavalle viivalle muuttamatta korkeutta. Katso Erikoisasetukset (PointOnLine) sivun alareunasta.