

Mika Lillsund

Kaivinkoneen koneohjauksen tehokkuuden mitaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

14.2.2014

Tekijä(t) Otsikko	Mika Lillsund Kaivinkoneen koneohjauksen tehokkuuden mittaus
Sivumäärä Aika	43 sivua + 0 liitettä 14.4.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Kehityspäällikkö Pekka Ruuti Lehtori Mika Räsänen
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli tutkia koneohjausjärjestelmää kaivinkoneessa, sen mukana tulevia muutoksia ja selvittää työmaakohteessa, kuinka tehokasta järjestelmän käyttö on tällä hetkellä työmaatoteutuksessa.</p> <p>Työssä selvitettiin koneohjauksen taustoja siitä tehtyjen pilottihankkeiden perusteella ja esitettiin niistä saatuja tuloksia. Lisäksi selvitettiin koneohjausjärjestelmän roolia tuotannonhallinnan tasolla, miten järjestelmä tulee huomioida aikataulusuunnittelussa, kustannustenhallinnassa sekä selvitetään mitä on tietomallipohjainen suunnittelu, jossa koneohjauksella on merkittävä osa. Tämän jälkeen työ kohdistettiin kaivinkoneessa olevaan koneohjausjärjestelmään, tutustuttiin sen laitteistoon, mukanaan tuomiin muutoksiin työmaalla, sekä mitä järjestelmän saumattomaan toimimiseen vaaditaan ja miten siitä saadaan paras hyöty irti. Pääpaino tutkimuksessa oli selvittää, miten tehokasta koneohjausjärjestelmän käyttö kaivinkoneessa on tällä hetkellä verrattuna perinteiseen työtapaan.</p> <p>Työnseurannan tulosten sekä henkilöhaastatteluiden perusteella voidaan todeta koneohjausjärjestelmän myötä työtehokkuuden kasvavan radikaalisti. Edellyttäen kuitenkin, että työmaalla on huolellisesti tehty ennakoivat toimenpiteet koneohjauksen tulon kannalta ja että ympäristöolosuhteet ovat suotuisat järjestelmän käyttöön. Työn aikana ilmeni myös tietomallintamisen tehokkuus rakennushankkeiden läpiviennissä. Tämän insinööriyön perusteella voidaan todeta infra-alan tulevaisuuden näyttävän valoisalta. Kehitystyö on toki vielä jatkuvaa ja työtä on paljon, mutta suunta on tällä hetkellä ehdottomasti oikea.</p>	
Avainsanat	Koneohjaus, tietomalli, tuotannonhallinta, infra-ala

Author(s) Title Number of Pages Date	Mika Lillsund Measuring the effectiveness of machine control system in excavator 43 pages + 0 appendices 14 April 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Construction Engineering
Specialisation option	Civil Engineering
Instructor(s)	Pekka Ruuti, Development manager Mika Räsänen, Lecturer
<p>The aim of this thesis was to study a machine control system in an excavator and the changes it brings to working on the site. Most importantly, the aim was to find out how effective the system currently is in site operations.</p> <p>The thesis first presents backgrounds for using machine control systems by reviewing some pilot projects and results obtained from them. The thesis also examines the role of the machine control system in production management, for example, how the system should be taken into account in planning the schedule and in cost control. The information model-based design, where the machine control system has an important role, is also explained. Next, the work focuses on the actual machine control system in the excavator, for example, the equipment related to the system. I discuss the changes that the use of the system brings to the construction site, and how the system should be used in order get the greatest benefit from it. The key objective is to determine how effective the use of machine control system in an excavator currently is compared to the traditional way of working</p> <p>Based on the results obtained from work monitoring data as well as personal interviews; it can be concluded that the machine control system increases efficiency dramatically. This requires, however, that the site has been appropriately prepared for using a machine control system, and that the environmental conditions are favorable. The thesis clearly shows the increase in efficiency that can be obtained by utilizing information modeling in construction projects. The results suggest that the future of the infrastructure sector looks bright. There still is a lot of development work to be done, but development is clearly on the right track.</p>	
Keywords	Machine control system, model-based design, excavator.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	2
1.2	Työnantajan esittely	2
2	Koneohjaus	3
2.1	Koneohjauksen pilottihankkeet	4
2.1.1	Kansainväliset tutkimukset	5
2.2	Riskit koneohjauksessa	8
2.3	Tiedonsiirto	9
2.3.1	Tiedonsiirto työmaalla	10
3	Koneohjaus tuotannosuunnittelussa	11
3.1	Kustannussuunnittelu	12
3.2	Aikataulusuunnittelu	13
3.2.1	Yleiset periaatteet	13
3.2.2	Tehtävien välinen riippuvuus	14
3.3	Työmaalla tapahtuva tuotannonhallinta	15
3.4	Koneohjauksen tuotto-odotukset	17
3.5	Tietomallinnus	18
3.5.1	Tietomallinnuskoulutus	22
4	Kaivinkoneen koneohjaus	23
4.1	Toimintaperiaate	23
4.2	Laitteisto	24
4.2.1	Tukiaseman toimintaperiaate	25
4.2.2	Järjestelmän hankinta- ja käyttökulut	26
4.3	Muutokset työtapoihin työmaalla	28
4.3.1	Työnjohto	28
4.3.2	Kaivinkoneen perämies	29
4.3.3	Mittamies	29
4.3.4	Kaivinkoneenkuljettajan lisääntynyt vastuu	30
4.4	Saavutetut hyödyt työmaalla	31
4.5	Haasteet koneohjauksessa	32

5	Case	34
5.1	Espoon putkiurakka	35
5.2	Tulosten käsittely	Error! Bookmark not defined.
6	Yhteenveto	42
7	Omat johtopäätökset	43
7.1.1	Koneohjauksen tulevaisuus	43
	Lähteet	1
	Liitteet	

Sanasto

Arina	Maa-aineksesta tehty putkikaivannon pohja.
Asennusalusta	Putkikaivannon arinan päälle tehtävä asennusalusta putkelle
BIM	<i>Building Information Model</i> . Rakennuksen tietomalli.
Inframalli	Infrarakenteen tietomalli
Infrarakentaminen	Tuottaa ja pitää yllä kaiken muun rakennetun ympäristön paitsi talonrakennukset.
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. Järjestelmän luomiseksi ei tarvita maastomittauksia
LandXML-formaatti	Infrasuunnittelun XML-versio
Mallipohjainen	Tiedon käsittelyn soveltamistapa, jossa esim. tuotetta kuvataan tietokonesovelluksilla mallina ja sen muodostavina osina, ja sovellukset pystyvät automaattisesti tulkitsemaan mallin sisältämiä tietoja.
Massatalous	Maa- ja kalliomassojen hankinnasta ja käsittelystä aiheutuvat kustannukset.
Perämies	Perämies on kaivinkoneen työpari, joka huolehtii kaivannon korkojen seurannasta, putkien ja kaivojen asentamisesta sekä kaapelien että viemärien etsimisestä

Tietomalli

Tiettyä tuotetta (esim. rakenneosaa) kuvaavat tiedot tuote-tietomallin mukaisesti jäsennettyinä, ja tallennettuna tiedostona, tietokone-sovelluksilla tulkittavissa olevassa muodossa.

1 Johdanto

Teknologian kehitys näkyy vahvasti rakennusalalla ja entistä enemmän myös infrarakentamisen puolella. Kovan kilpailun kohteena olevan alan kehityssuunta mahdollistaa rakentamisen toteuttamisen entistä tehokkaammin menetelmin. Infrarakennushankkeissa kyetään hyödyntämään työkoneen paikannustekniikoita ohjaamaan tai opastamaan niiden liikkeitä. Työkoneisiin asennetuilla koneohjausjärjestelmillä voidaan toteuttaa perinteisiä maanrakennustöitä entistä tehokkaammin vähemmillä resursseilla. Suurena muutoksena on mittaus työn luonne, joka ei sinällään poistu työmailta, vaan muuttuu enemmän kontrollimittaamiseksi sekä siirtyy osittain työkoneisiin.

Opinnäytetyön alkuluvuissa esitellään koneohjausta yleisesti, käydään läpi varhaisia tutkimuksia sen käytöstä, sekä pohditaan siihen liittyviä riskejä. Lisäksi työssä käsitellään tuotannonhallintaa ja sitä, minkälainen rooli koneohjauksella on infrahankkeen läpiviennissä, sekä esitellään tulevaisuuden näkymiä tietomallintamisen muodossa. Tämän jälkeen työssä käydään läpi kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä, siinä olevaa laitteistoa, käsitellään sen tuomia muutoksia työmaalla, sekä mitä sen saumattomaan toimimiseen vaaditaan ja miten siitä saadaan paras hyöty irti. Pääpaino tutkimuksessa on saada selville työmaatoteutuksessa, miten tehokasta koneohjausjärjestelmän käyttö kaivinkoneessa on tällä hetkellä verrattuna perinteiseen työtapaan. Työssä keskitytään kaivinkoneeseen asennettuun koneohjausjärjestelmään, eikä oteta kantaa muissa maarakennuskoneissa oleviin vastaaviin järjestelmiin. Tarkkoja kustannussummia ei ilmoiteta, vaan tulokset osoitetaan prosentuaalisesti sekä omien johtopäätöksien pohjalta.

Tutkimukseen liittyvä työnseuranta suoritettiin YIT:n työmaakohteessa Espoossa, seuraamalla koneohjausjärjestelmän asennetun kaivinkoneen työntekoa reaaliaikaisesti. Tutkimusalustana toimi pontitettu putkikaivanto, jonka kaivutyötä mitattiin perinteisesti kellottamalla työvaiheet ja laskettiin niistä saatuja hyötyjä tehollisesti. Tutkimusta varten ei lavastettu erillistä kaivutilannetta, vaan suoritettiin normaaleissa työtilanteissa, puutumatta työntekoon. Työssä otetaan huomioon myös rakentamiseen liittyvän mittaus työn tarve ja miten mittausalan ammattilaisen toimenkuva on muuttunut koneohjausjärjestelmän myötä. Tulokset saatiin työnseurannalla sekä työmaavierailuiden yhteydessä suoritetuista henkilöhaastatteluista, joissa kerättiin tutkimusaineistoa järjestelmän parissa työskenteleviltä asiantuntijoilta.

Tutkimustuloksilla vastataan kysymykseen miten tehokasta kaivinkoneessa olevan koneohjausjärjestelmän käyttö on tällä hetkellä työmaatoteutuksessa.

1.1 Tausta

Opinnäytetyön aihe perustuu tarpeeseen selvittää työmaatoteutuksessa saatavat säästöt uuden järjestelmän tulon myötä. Työ tehdään YIT Rakennus Oy:n infrapalveluille. Lähtökohtaisesti tavoitteena oli saada luotua kattava selvitys kaivinkoneessa olevasta koneohjausjärjestelmästä ja tutkia miten tehokasta järjestelmän käyttö on verrattuna perinteiseen kaivutyöhön, kustannusten osalta sekä ajallisesti. Työssä tuli huomioida myös mittaustöiden vähentynyt tarve koneohjausjärjestelmän hyödyntämisessä ja sitä myötä tulevat työmaan kokonaiskustannus säästöt. Aiempi yhteistyö YIT:n kanssa järjestelmän parista loi loogiselta tuntuvan jatkumon aiheen kehittymiselle. Lopullinen aihe ja työntavoitteet muovautuivat YIT:n kehityspäällikkö Pekka Ruudin toimesta.

1.2 Työnantajan esittely

YIT on rakentamisen ja sen kunnossapidon monialayritys, jonka toimialueena ovat 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. Kesäkuussa 2013 YIT Oyj jakautui kahdeksi erilliseksi pörssiyhtiöksi, rakennustoimintaan keskittyvään YIT:hen sekä uuteen, kiinteistöpalveluita tarjoavaan Caverion Oyj:hin. [1.]

Suomen rakentamisen liiketoiminta-alue jakautuu asuntorakentamisen, toimitilarakentamisen ja infran 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 maanmuokkauksessa esimerkiksi kallion louhinnassa.

2 Koneohjaus

Koneohjauksella tarkoitetaan työkoneen opastamista tai sen osittaista ohjaamista. Koneohjaus perustuu työkoneen satelliittipaikannukseen. Työkoneessa oleva satelliittivastaanotinantenni vastaanottaa tukiasemalta korjaussignaalia, jonka avulla paikannetaan työkone kohdealueelta. Koneohjauksen hyöty perustuu siihen, että työsuunnitelmia voidaan seurata reaaliaikaisesti työkoneesta käsin näyttöpäätteeltä, suunnitelmat päivittyvät välittömästi työn edetessä ja kaikki tieto tehdystä työstä tallentuu järjestelmään. Koneohjauksen hyödyntäminen edellyttää, että suunnitelmat on tehty järjestelmälle yhteensopivassa formaatissa. Koneohjauslaitteisto koostuu työkoneessa olevasta näyttöpäätteestä, tietokoneyksiköstä, antureista, virtalähteestä, radiomodeemista ja satelliittivastaanotinanteista, sekä tukiasemasta korjaussignaalin lähettämiseksi. Laitetoimittajasta riippuen saattaa laitteistoissa esiintyä jonkinasteisia eroja.

Infrahankkeiden toteutuksessa joudutaan yleisesti käsittelemään merkittäviä määriä maa-ainesta eri tavoin, jotta saavutetaan riittävät olosuhteet maanpäällisille rakenteille. Tietomallipohjaiseen suunnitteluun perustuvan koneohjauksen avulla saavutetaan perinteistä rakennusprosessia tehokkaampi työtapa ja laadullisesti parempi tulos. Mitavat säästöt ajallisesti sekä kustannusten osalta saadaan koneohjauksen myötä tulevalle tehokkaalla massataloudella. Tässä työssä keskitytään vain kaivinkoneessa olevaan järjestelmään, mutta sitä voidaan hyödyntää kaikilla infrarakentamisen osaluilla mm. puskutraktoreissa, tiivistyskoneissa, poravaunuissa, tiehöylissä, asfaltinlevittimissä ja jyrsimissä.

Ensimmäiset kokemukset koneohjauksesta ylettyvät vuosikymmenten taakse, mutta järjestelmän radikaali kehittyminen sekä sen päivittäinen käyttö on alkanut vasta viime vuosien aikana. Järjestelmätuottajien välinen kilpailu alkaakin jo käydä kovana. Koneohjauksen kehitystyö on silti vielä jatkuvaa ja siinä käytetään apuna kansainvälisiä standardeja ja suunnittelutyötä. 2000-luvulla käynnistettiin erinäisiä julkisesti rahoitettuja tutkimus- ja kehityshankkeita infra-alan kehittämiseksi. Näiden tutkimusten myötä koneohjaus myös alkoi nostaa vahvasti itseään esiin. Järjestelmällä tehdyissä pilottihankkeissa saaduista tuloksista huomattiin koneohjauksen käytön hyötyjen olevan merkittävät verrattuna perinteiseen rakennustapaan.

Koneohjaus alkaa olla jo suhteellisen arkipäiväistä rakennustyömaalla. Järjestelmän sisäänajo on ollut koko ajan nousujohteista ja yhä useampi rakennusalan yritys onkin ottanut järjestelmän käyttöönsä. Hieman sen käyttöönottoa rajoittaa vielä epätietoisuus koneohjauksesta, mitä sillä voidaan saavuttaa, mitä siltä voidaan vaatia ja miten järjestelmän varsinainen käyttö tapahtuu työmaalla. Pienemmille yrityksille sen käyttöönotto on hieman haastavampaa jo sen käyttökustannukset huomioiden, joita käsitellään myöhemmin työssä, mutta suuremmissa yrityksissä sen hyödyntämien on jo varsin normaalia hankkeen läpiviennissä.

2.1 Koneohjauksen pilottihankkeet

Koneohjausjärjestelmien käyttöä on tutkittu lukuisien pilottikohteiden muodossa kansainvälisesti sekä kotimaisesti. Ensimmäisiin kotimaisiin selvityksiin lukeutuu vuonna 2004 valmistunut VTT:n Älykäs Tietyömaa, joka käsittelee erilaisia automaation käyttösovelluksia ja edellytyksiä tietyömaalla. [2.] Viimeisimpiin laajempiin tutkimushankkeisiin lukeutuu infraTM- sekä infraFINBIM-hankkeet. Hankkeissa panostetaan vahvasti tietomallintamisen kehittämiseen ja hyödyntämiseen infra-alalla, joiden kokonaisuudessa koneohjaus näyttelee suurta osaa. [6.] Pilottihankkeista tehdyissä kokeissa on havaittu koneohjausjärjestelmän tehokkuus ja näin ollen kehitystä onkin jatkettu taukoamatta. Infra FINBIM:in sisältämiin pilottihankkeisiin kuuluu koneohjausjärjestelmän testausta infrarakentamisen jokaisella osa-alueella:

- Kadut
- Tiet
- Rata-alueet
- Vesiväylät
- Sillat ja taitorakenteet.

Piloteista laaditut pilottikortit ovat julkisesti esillä ja luettavissa verkko-osoitteessa www.rts.fi/infrabim/. Sivustolla on listattuna lukuisia pilottihankkeita, joista osa ei ole vielä käynnistynyt niiden toteutusmuodon ollessa määrittelemätön tai hankkeeseen ei ole vielä löydetty tarvittavia resursseja.

2.1.1 Kansainväliset tutkimukset

Tutkimukset maailmalta ovat hyvin positiivisia koneohjausjärjestelmän kannalta. Vuonna 2006 maanrakennuskoneisiin erikoistunut Caterpillar toteutti Malagan koulutuskeskuksessaan kaksi identtistä tietä vierekkäin, toisen perinteisellä työtavalla ja toisessa hyödynnettiin koneohjausjärjestelmää. Tiet sisälsivät kaikkia yleisimpiä tiegeometrioita eli suoria, kaaria ja siirtymäkaaria sekä pituus- ja sivukaltevuuksia, pituudeltaan tienpätkät olivat 80 metriä. Massojen käsittelyn osalta tiet olivat myös identtiset toisiinsa nähden. Molemmissa oli leikattavaa maa-ainesta 357 m³ ja täytettävää 347 m³. Ainoa erona työkoneissa oli koneohjaus. Tutkimuksessa vertailun kohteena oli rakentamiseen käytettyä aika, kuormattujen kuormien ja ajokertojen lukumäärä, polttoainekulut sekä rakennekerrosten tarkkuus. Taulukoissa 1 ja 2 esitetyistä tuloksista on havaittavissa, että koneohjauksella on päästy selkeästi parempiin lukemiin. Taulukoissa olevat työkoneet ovat puskutraktori (D6N), kaivinkone (330D) ja tiehöylä (140H). [18.]

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. Malagan koekohteessa käytetyt työajat.

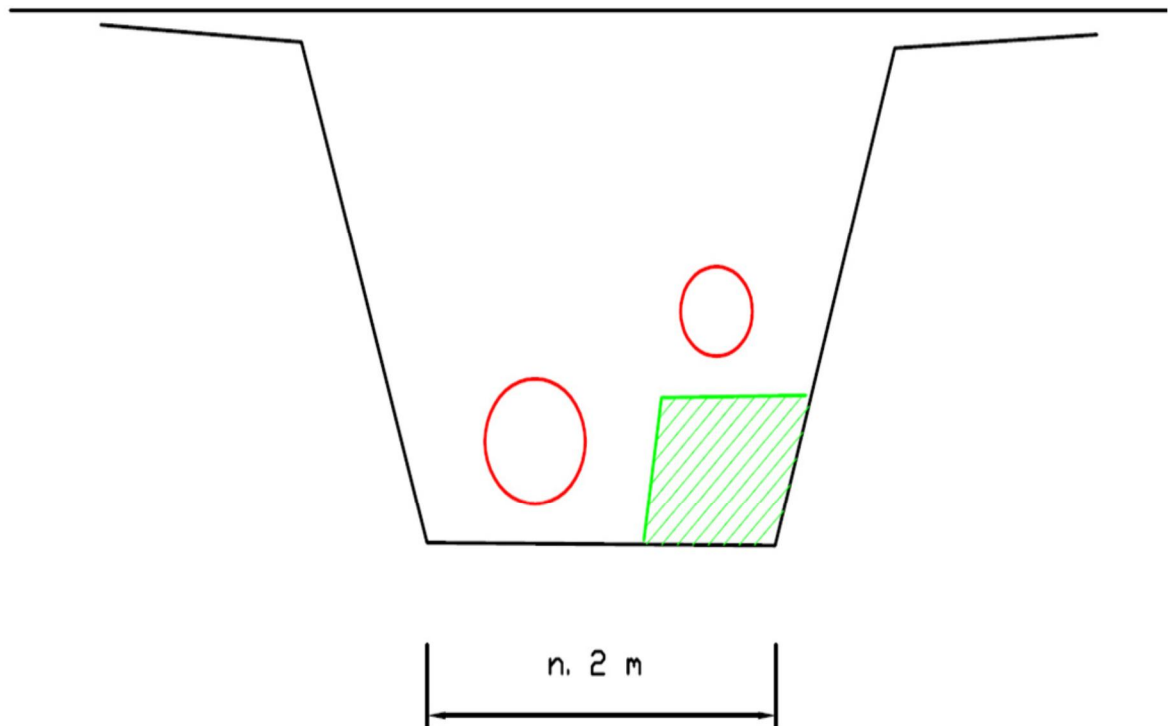
Käytetty työ-aika				
		Työtapa	Työtapa	
	Työkone	Perinteinen (h:min)	Koneohjaus (h:min)	Saavuttu tehokkuus
Mittaustyö	-	7:31	0:54	Säästetty työ-aika 6:37
Maansiirto, pintamaa	D6N 330D	4:40 2:23	4:18 1:53	+ 9 % + 27 %
Tasaus, jakava	D6N 330D	3:48 2:56	1:28 2:43	+ 159 % + 8 %
Tasaus, kantava	D6N	2:24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

Taulukko 2. Malagan koekohteessa saadut polttoainesäästöt.

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

Reykjavikin yliopiston suorittamassa tutkimuksessa puolestaan tutkittiin kaivettujen ja täytettyjen massojen tilavuuksien eroja sekä käytettyä aikaa niin työkoneiden kuin työntekijöiden panoksen osalta. Tutkimuksessa toteutettiin kaksi identtistä 160 metrin pitkä putkilinjaa, jossa putkien vesijuoksut olivat eri tasoilla eli toinen putkista sijoittui toista ylemmäksi.

Kuvassa 1 on havainnollistettu kaivannon poikkileikkauksella putkien sijoittuminen luis-katussakaivannossa. Kuvassa on alempana esitetty viemäriputki ja ylempänä salaoja-putki. Reykjavikin tutkimuksessa koneohjauksella kyettiin välttämään niin sanottu turha kaivaminen, joka johtui ylemmän putken arinan turhasta massanvaihdoista, vihreä rasteri. Vähemmän kaivamista tarkoittaa myös samalla vähemmän poiskuljetettavia massoja. Yhtenä koneohjauksen suurimpana valttikorttina voidaankin pitää tehokasta mas-sataloutta. [25.]



Kuva 1. Reykjavikin yliopiston tutkimuksen putkikaivannon periaate, poikkileikkaus.

Yliopiston tutkimuksen perusteella koneohjauksella päästiin säästöihin 23 % kaivinkoneen työajassa, n. 22 % polttoaineessa, 97 % mittaustyössä, 14 % pois kuljetetuissa massoissa ja 60 % putkiarinan materiaalissa [25].

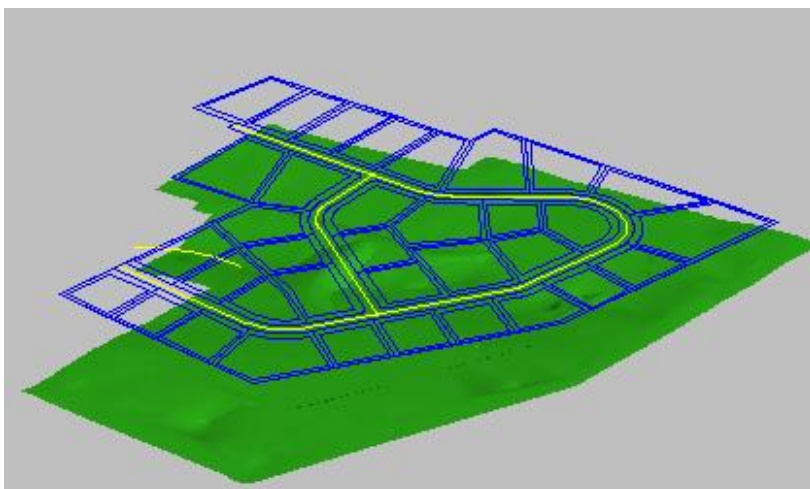
2.2 Riskit koneohjauksessa

Tekniikkaan liittyy aina omat riskinsä, etenkin kun järjestelmän toimivuus on kiinni useiden eri teknisten osien yhtäaikaisesta toiminnasta. Koneohjausjärjestelmän laitteiston toimintavarmuus on kuitenkin saatu hyvälle tasolle. Toimivuuden kannalta suurimmat riskit piilevät signaalien kantavuudessa sekä inhimillisistä käyttövirheistä johtuvista asioista. Tukiaseman vioittumista voi pitää laitteiston toimivuuden kannalta kriittisimpänä riskinä. Mikäli työmaalla on koneohjaus asennettu useampaan työkoneeseen, tukiaseman vioittuessa järjestelmän käyttö estyy kaikilta näiltä työkoneilta. Muut signaalien laatuun vaikuttavat häiritteijät, kuten suuret massakasat tai puut, tulisi huomioida jo varhaisessa vaiheessa työmaan ennakoivia toimenpiteitä tehdessä. Näin ollen häiriötekijöitä havaitessa pystytään niihin varautumaan ennakkoon tai hankkiutua niistä eroon. Inhimillisistä riskitekijöistä suurimmat ovat varmasti epätietoisuus sekä välinpitämättömyys. Järjestelmän kokonaisvaltaisen toimivuuden kannalta asennustyöt erityisesti tulee suorittaa huolellisesti. Itse järjestelmän käyttö on yksinkertaista, mutta siihen pisteeseen pääsemiseksi tulee ennakoivien töiden olla tehtynä huolellisesti.

2.3 Tiedonsiirto

Infraprojekteissa tiedonsiirto on merkittävässä roolissa. Suunnittelijoita ja suunnitelmia on usealta eri osa-alueelta ja näin ollen tiedon tulisi liikkua sujuvasti projektin eri tahojen välillä. Infra-alalla onkin käynnistetty viimevuosien aikana useita eri hankkeita tiedonsiirron kehittämiseksi. Yhtenä ensimmäisistä näistä oli 2000-luvun alkupuolella Tekesin toimesta käynnistetty Inframodel-hanke, jonka tavoitteen oli parantaa ja kehittää tiedonsiirtoa infraprojekteissa eri suunnittelujärjestelmien välillä. Inframodel perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin, joka on kaikille avoin menetelmä suunnitelmätietojen siirrossa. Inframodelin ensimmäinen 1.0 versio julkaistiin maaliskuussa 2006, jonka jälkeen Tiehallinto ja Ratahallinto ovat edellyttäneet kaikkien suunnitelmatiedostojen toimittamista Inframodel-formaatissa.[14, s.46.]

LandXML on merkintä- ja koneohjausformaatti, jolla pystytään kuvaamaan infrasuunnitelmassa piste, viiva ja pinta (Kuva 10). Koneohjausohjelmistot, takymetrit ja suunniteluohjelmistot tukevat tätä kyseistä formaattia. LandXML perustuu XML-standardiin, jossa tavoitteena on saada käyttöön tiedostojen käsittelyyn yhdenmukainen tallennusmuoto riippumatta ohjelmistotoimittajasta. Yhtenäisellä formaatilla saadaan parannettua sisältöjen monikäyttöisyyttä ja taataan myös tiedon pitkäikäisempi säilyminen, joka luonnollisesti tehostaa suunnittelutyötä. Kansainvälisestä LandXML-formaatista muokattiin ja täydennettiin versio, joka palvelee kansainvälistä versiota paremmin kotimaan olosuhteissa. Muita jo pitkään hankkeissa käytettyjä tiedonhallinta menetelmiä ovat mm. projektipankit, jossa projektin eri osapuolet voivat käsitellä suunnitelmia ja muita hankkeeseen liittyviä dokumentteja yhtenäisestä tietokannasta. [14, s.47, 24, s34.]



Kuva 10. LandXML-formaatin suunnitelmakuva. [23.]

2.3.1 Tiedonsiirto työmaalla

Työmaatoteutuksessa käytettävien suunnitelmien siirto koneohjausjärjestelmään on varsin yksinkertaista. Suunnitelmien ollessa työmaalla oikeassa formaatissa, voidaan ne viedä työkoneeseen usb-muistitikun avulla suoraan näyttöpäätelaitteeseen, josta ne tallennetaan kiintolevylle (kuva 11). Toisena vaihtoehtona tiedonsiirtoon on palvelinsovellus, jonne suunnitelmat ladataan. Tällöin koneohjausjärjestelmä on tiedonsiirtoyhteydessä palvelimeen gsm-verkon tai Internetin välityksellä, ja lataa sen välityksellä työkoneelle tarkoitetut suunnitelma-aineistot. Palvelimen välityksellä toimivan tiedonsiirron edut huomataan parhaiten ajallisina säästöinä sekä. Esimerkiksi suunnitelmapäivitysten yhteydessä ei mittamiehen tarvitse mennä työkoneen luokse, joka voi sijaita useiden kilometrien päässä hänen toimipisteestään. Palvelimelta tehtävä tiedonsiirto voidaan tehdä myös tilanteessa jolloin työkoneen laitteisto ei ole kytkettynä. Laitteiston kytkemisen jälkeen tarkistaa se automaattisesti työkoneelle tarkoitetut suunnitelmat suoraan palvelimelta ja päivittää muutokset käyttöön.



Kuva 11. Tiedonsiirto työkoneen koneohjausjärjestelmään usb-muistitikulla.

3 Koneohjaus tuotannosuunnittelussa

Tässä luvussa käsitellään rakennusprojektin tuotannosuunnittelun peruskäsitteitä, pohditaan, miten koneohjaus tulee huomioida tuotannosuunnittelussa sekä selvitetään infrarakentamisen uusinta trendiä tietomallinnusta.

Päätökset koneohjauksen valitsemisesta mukaan hankkeeseen tulee tehdä jo tuotannosuunnittelun varhaisessa vaiheessa, sillä sen vaikutuksen ovat oleellisessa osassa kustannus- sekä aikataulusuunnitelmia valmistaessa. Suunnittelijoilla tulee olla hyvissä ajoin tieto käytetäänkö koneohjausta rakennusprosessissa. Näin ollen osataan tehdä suunnitelmat koneohjaukselle yhteensopivassa formaatissa. Todellinen hyöty koneohjauksella saavutetaan tilanteessa jossa koko rakennushankeen tuotanto on suunniteltu ja toteutettu tietomallipohjaisena sekä hyödyntäen koneohjausta mahdollisimman monessa työkonessa.

Tuotannosuunnittelu toimii perustana tuotannonhallinnalle. Sen tarkoituksena on määrittää rakennusprojektin sisältämä työmäärä ja osoittaa, miten kyseinen työ on tarkoitettu toteuttaa. Oleellinen osa infrahankkeen tuotannosuunnittelua on massatalous, eli kaivettujen ja kuljetettavien maa- ja kalliomassojen käsittelyn suunnittelu ja hallinta. Massatalous on jaettavissa kahteen pääryhmään, tuotanto- sekä suunnitteluvaiheen massatalous. [5.] Tuotannosuunnittelussa on otettava huomioon myös tuotannon valvonnan ja ohjauksen näkökulmat, jota voidaankin pitää edellytyksenä sille, että suunnitelmista tulee toteuttamiskelpoisia. Tuotannon valvonnan tehtävänä on hankkia tietoa jo toteutuneesta tuotannosta ja verrata sitä suunniteltuun tuotantoon, ja raportoida tehdyt havainnot projektinjohdolle ohjaustoimenpiteitä varten. Tuotannonohjauksella pyritään estämään tuotannon poikkeamat suunnitellusta tuotannosta ja mahdollisesti palauttamaan poikennut tuotanto takaisin suunniteltuun.

3.1 Kustannussuunnittelu

Rakennushankkeen kustannusten kannalta hankkeen laajuuteen, aikatauluun ja resursointiin liittyvät päätökset ovat merkittäviä, koska niistä määräytyy projektin kustannusten rakenne. Siksi on tärkeää pyrkiä tasapainottamaan resurssien, aikataulun ja kustannusten suunnittelu keskenään. Erityisen tärkeää se on projektin määrittely- ja suunnitteluvaiheissa, joissa määritellään valtaosa projektin kokonaiskustannuksista. Vaikutusmahdollisuudet kustannuksiin heikkenevät radikaalisti toteutuksen alkaessa kuvion 2 mukaisesti. [3, s.151.]

Infrarakennusprojekteissa olosuhdetekijät vaikuttavat merkittävästi projektin välisiin kustannuseroihin. Siksi Infrahankkeiden kustannusten arvioinnissa tulisi kiinnittää huomiota pohjaolosuhteisiin, rakennettuun ympäristöön, työaikarajoituksiin ja ympäristötekijöihin. Puutteellisista olosuhdetiedoista aiheutuu aina riski, johon pitää varautua kustannusarviossa. [13, s17.] Kustannusten arvioinnin avulla pyritään selvittämään projektin todennäköisen kokonaiskustannuksen. Arviointia tarvitaan kaikissa projektin vaiheissa, kuten tarjouksen teossa, budjetin asettamisessa ja projektin toteutusvaiheessa. Kustannusten arviointia jatketaan projektin edetessä, jolloin puhutaan projektin lopullisten kustannusten ennustamisesta. Käytännössä ennuste päivitetään kuukausittain raportointijakson yhteydessä. [3,s.158.], [4, s.31.]

Uuden hankkeen alkaessa tulee kustannussuunnitelmaa tehdessä huomioida mahdollinen koneohjauksen hankinta. Järjestelmän hankintaa voidaan pitää kohtuullisen suurena kustannuseränä ja suuri kynnys sen hankinnalle onkin sen käyttökulut, joita käsitellään myöhemmin työssä. Järjestelmän ollessa toistaiseksi suhteellisen uusi tuttavuus rakennusalalla vallitsee siitä vielä lievä epätietoisuus, kyseenalaistetaan sen tuottavuutta ja pelätään uuden järjestelmän mukaan ottamista, ei uskalleta ottaa riskiä sen hankkimisella. Pienemmillä yrityksillä varmasti edellä kuvattu ajattelumalli korostuu vielä enemmän.

3.2 Aikataulusuunnittelu

Lähtökohtaisesti voidaan olettaa koneohjauksen tuovan merkittäviä ajallisia säästöjä rakennushankkeeseen ja tämä tulee huomioida aikataulusuunnittelu vaiheessa. Aikataulusuunnittelussa tulee kuitenkin pitää mielessä, että täysin riskitöntä järjestelmän käyttö ei ole, ja voidaankin olettaa, että työmaan läpiviennin aikana tulee myös vastoinkäymisiä. Ongelmatilanteisiin varautuminen on kuitenkin hyvin vaikeaa aikataulusuunnitelmaa tehdessä, sillä niiden suuruusluokkaa on haastava arvioida. Järjestelmään voidaan kuitenkin pitää luotettavana ja pahimmassa tapauksessa koneohjauksen ollessa pois käytöstä voidaan aina siirtyä takaisin perinteiseen työtapaan, jolloin ajalliset tappiot saadaan suuremmilta osin hallittua.

3.2.1 Yleiset periaatteet

Rakennusprojektin tuotannon ajallinen hallinta on keskeisin ja tärkein osa tuotannonhallintaa. Ajallisen hallinnan onnistumien on edellytys muun tuotannonhallinnan onnistumiselle ja siinä ilmenevät ongelmat vaikuttavat suoraan tuotannon laatuun ja kustannuksiin. Ajalliseen hallintaan oleellisesti liittyvä aikataulusuunnittelu asettaa ajalliset reunaehdot projektille. [10.] Aikataulusuunnittelulla pyritään vastaamaan kysymykseen, milloin projektille määritetty laajuus aiotaan toteuttaa?

Rakennusprojekteissa aikataulu toimii projektin toteutuksen mallina. Sen tarkoituksena on kuvata ja ohjata työmaan hallintaa ja valvontaa. Aikataulu toimii kommunikaation välineenä projektin osapuolten välillä ja se antaa osapuolille käsityksen projektin suunnittelusta edistymisestä. Lisäksi aikataulu mahdollistaa projektiin liittyvien ajankohtien sitomisen sopimuksiin. Projektille laadittu aikataulu vaikuttaa ajankäytön lisäksi moniin projektin oleellisiin tekijöihin, kuten kustannuksiin, resurssien käyttöön ja hankintoihin, joten aikataulusuunnittelulla on merkittävä vaikutus projektin onnistumisen kannalta.

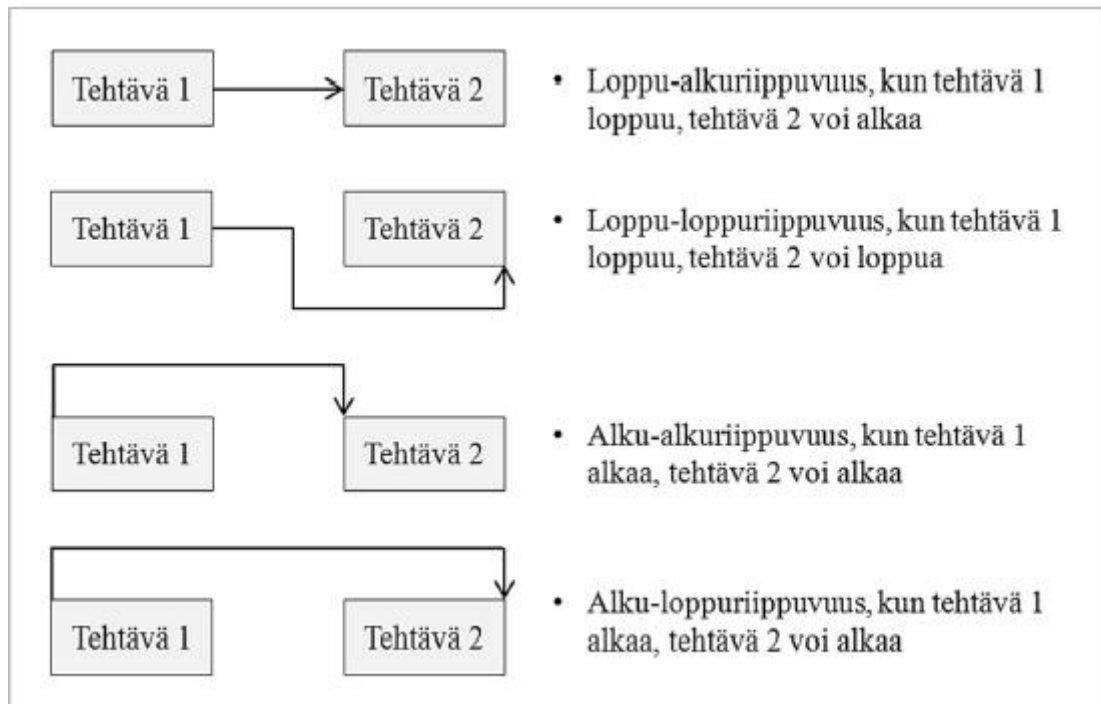
3.2.2 Tehtävien välinen riippuvuus

Työtehtävien välisten riippuvuuksien määrittäminen on erittäin oleellisessa osassa, kun mietitään koneohjauksen jalkautumista työmaalle. Sillä sen vaikutukset tuovat muutoksia mittaustyöhön, suunnitteluun, perämiehen työnkuvaan sekä kaivutyöhön. Oleellisena muutoksena onkin työkokonaisuuden huomattava ajallinen säästö. Työmaalla tulee osata arvioida koneohjauksella käytettävä aika työvaiheiden suorittamiseen ja suunnitella työjärjestykset sen mukaisesti.

Tehtävien välisten riippuvuuksien määrittämisellä pyritään tunnistamaan ja dokumentoimaan tehtävien väliset riippuvuudet, niihin liittyvät viiveet ja limitykset [5, s.130]. Rakennusprojektissa tehtävien välisten riippuvuuksien määrittäminen toimii työjärjestyksen suunnittelun pohjana. Tehtävien välinen riippuvuus voi olla työjärjestyksen määräävä, valittu tai ehdoton rajoitus. Erilaisten tehtävien väliset riippuvuudet aiheutuvat taulukossa 3 esitetyistä syistä. [15, s.81.] Tehtävien väliset riippuvuudet voidaan jakaa neljään erilaiseen riippuvuustyyppiin kuvan 2 mukaisesti [3, s.133].

Taulukko 3. Tehtävien välisten riippuvuuksien syyt [15, s.81]

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Loogiset riippuvuudet – tehtävät voidaan toteuttaa vain tietyssä järjestyksessä2. Olosuhderiippuvuudet – sopimukset, sääolosuhteet, työmaajärjestelyt3. Tekniset riippuvuudet – toteutustekniset asiat4. Resurssiriippuvuudet – projektiin varatut resurssit ja niiden käyttö |
|---|



Kuva 2. Tehtävien väliset riippuvuustyypit [3]

Tehtävien välille voidaan määrittää riippuvuuksien lisäksi viiveitä ja limityksiä. Tehtävien välinen viive siirtää seuraavan tehtävän aloitusajankohtaa myöhemmäksi. Viiveen asettamisella voidaan varmistaa esimerkiksi betonirakenteen jälkihoidon vaatima aika. Tehtäviä limittämällä aikaistetaan seuraavan tehtävän aloitusajankohtaa. Esimerkiksi limittämällä betonirakenteen muotti- ja raudoitustyö, aloitetaan raudoitustyö ennen muottityön valmistumista.

3.3 Työmaalla tapahtuva tuotannonhallinta

Varhaisilla perusselvityksillä voidaan selvittää koneohjausjärjestelmän käytettävyys ja soveltuvuus kyseisen työmaan työvaiheisiin. Perusselvityksissä tulisi käydä läpi satelliittien kuuluvalualueella. Mahdolliset ympäristötekijät, kuten signaalia haittaavat suuret rakennelmat, massakasat, korkeat puut tai sähkölinjat tulee ottaa huomioon. 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.

Työmaan toimivuuden kannalta on tärkeää ohjata suunnittelua, jotta koneohjauksesta saadaan mahdollisimman suuri hyöty. Työnjohdon tulee huolehtia siitä, että suunnitelmat tulevat työmaalle koneohjausjärjestelmälle sopivana, eli käytännössä täytyy varmistaa, että suunnitelmista löytyy syvyyden kertova z-koordinaatti. Suunnitelmien täytyy olla siltä osin valmiita, että niiden siirto työkoneisiin onnistuu ongelmitta. Suunnitelmien siirto työkoneeseen onnistuu langattomasti tai esimerkiksi muistitikun avulla. Suunnitelmien muutokset ovat hyvin yleisiä työmailla. Työnjohdon tulee huolehtia, että miehistöllä on käytössä uusimmat suunnitelmat.

Ennakointi on tärkeässä roolissa koneohjauksen kannalta. Mittaoperaattoreiden kanssa on hyvä käydä läpi kaikki tulevat ja alkavat työvaiheet, jotta he myös tiedostavat heille tulevat työvaiheet. Suunnitelmien tulee olla valmiina ennen seuraavan vaiheen alkua, jolloin vältetään turhilta viivästymisiltä.

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.

3.4 Koneohjauksen tuotto-odotukset

Laitteiston hankinta työmaalle on sijoitus paremman laadun takaamiseksi. Yrityksen suuruusluokasta riippuen se saattaa olla suurikin menoerä, mutta sijoitus, joka varmasti maksaa itsensä takaisin ajan kuluessa. Koneohjausjärjestelmän avulla pystyy yritys parantamaan työmaan kannattavuutta sekä sitä myöten tuottoa. Infrahankkeessa paremman kannattavuuden potentiaali perustuu työmaan massankäsittelyyn. Koneohjauksen tuotto-odotukset piilevätkin maa-ainesten käsittelyssä, pyritään välttämään turhat maamassojen kaivutyöt sekä niiden kuljetuksista aiheutuvat kulut. Peruspilarina on huolellisesti toteutettu työvaihesuunnittelu, jossa resurssit kohdistetaan mahdollisimman tarkasti niille parhaiten sopiviin kohteisiin. Koneohjausjärjestelmä sisällyttäen työvaihesuunnittelun, voidaan olettaa myös merkittäviä säästöjä työvoimakuluihin, sillä järjestelmällä varustettu kaivinkone ei ole enää niin vahvasti sidoksissa perämieheen vaan vapauttaa tätä myötä työvoimaa muihin tehtäviin.

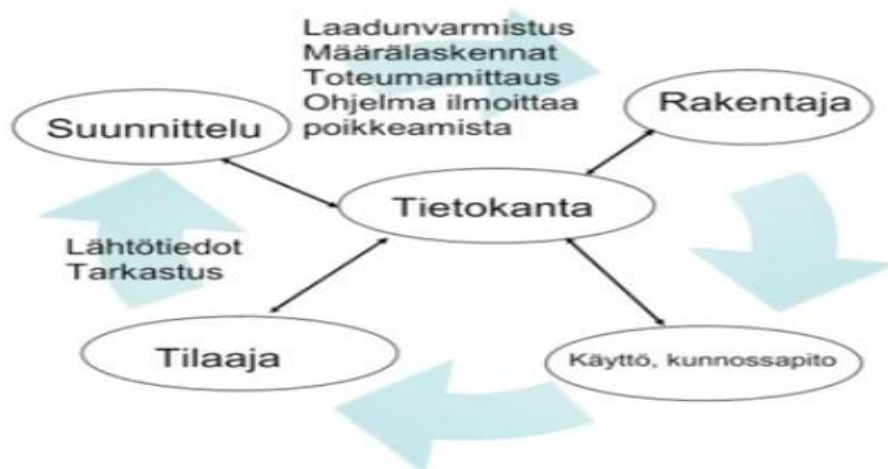
Koneohjauksella saavutetaan merkittävästi tehokkaampi massatalous, tätä voidaankin lähtökohtaisesti pitää sen suurimpina hyötyinä. Esimerkiksi kuusi metriä leveällä ja kilometrin pituisella tielinjalla voidaan saada säästöjä maa-ainesten kuljetuksen osalta 300 kuutiota, kun saavutetaan 5 cm:n parannus rakennuskerroksen leikkauksen tarkkuudessa. Lopulta säästöt kasinkertaistuvat kun huomioidaan samalla tarkkuudella suoritettavat täyttötöyt. Järjestelmän avulla turhia massasiirtoja sekä maanleikkaustöitä voidaan karsia siis merkittävästi. Tämän seurauksena saavutetaan luonnollisesti kustannussäästöjä polttoaineiden, materiaalien sekä työtuntien osalta. Tehdyistä massanvaihdosta saadaan myös määrät entistä tarkemmin ylös. Ajan kuluessa saatava kokemus järjestelmästä ja toimintavarmuus takaavat, että työmaan toteutusaika tulee myös lyhenemään merkittävästi.

Kokonaisuutena voidaankin siis pitää koneohjausjärjestelmän tuotto-odotuksia korkealla. Järjestelmä on vielä kohtalaisen uusi tuttavuus työmailla ja onkin vielä niin sanotusti sisäänajo prosessissa. Tietoisuuden sekä käytettävyyden parantuessa, saa yritys myös koneohjauksen tuottavuuden korkealle tasolle.

3.5 Tietomallinnus

Infra-alalla on otettu suunta määrätietoisesti kohti tietomallintamisen tehokasta hyödyntämistä suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Tietomallintaminen on rakennushankkeen tiedonhallintamenetelmä, jossa yhdistetään kaikki hanketta koskeva tieto digitaaliseen formaattiin. Yksittäinen tietomalli voi olla esimerkiksi jokin tietty rakenteen osa. Tietomalli pitää sisällään tuotettavan rakenteen geometrian ja on näin ollen sähköinen malli toteutuneesta rakenteesta. Suunnittelija tekee rakenteen suunnitelmat 3D-mallina, mutta siitä tulee tietomalli vasta kun siihen kirjataan kaikki rakennetta koskeva tieto. Toisin sanoen pelkkä rakenteen piirtäminen kolmiulotteisena ei tee siitä vielä tietomallia. Suunnitteluprosessin lopuksi kaikki hanketta koskevat tietomallit yhdistetään koko rakennusprojektin kattavaan inframalliin.

Tietomallintamisen avulla infra-alalla tähdätään tuottavuuden ja laadun merkittävään parantamiseen. Tietomalleista saadaan jatkuvasti ajan tasalla olevaa tietoa suunnittelusta ja työn edistymisestä. Hankkeen kustannukset ja muiden reunaehtojen hallinta on helpompaa, kun pinta-alat, määrät ja mitat ovat jatkuvasti tiedossa. Rakennushankkeen läpiviennissä oleellista on, että kaikki hankkeen osapuolet tietävät, mitä tietomallipohjaisella suunnittelulla on tarkoitus saavuttaa ja mihin tilattua mallia voidaan käyttää.[16.] Tietomallipohjaisen suunnittelun ehdottomia valtteja piilee siinä, että sillä mahdollistetaan työmaalle yhteinen suunnittelumaailma josta eri osapuolet voivat reaaliaikaisesti seurata työvaiheiden edistymistä (kuva 3.). Näin mahdollistetaan rakentamisprosessista suoriutuminen kerralla oikein, josta saadaan huomattavat säästöt sekä ajallisesti että kustannuksien osalta.



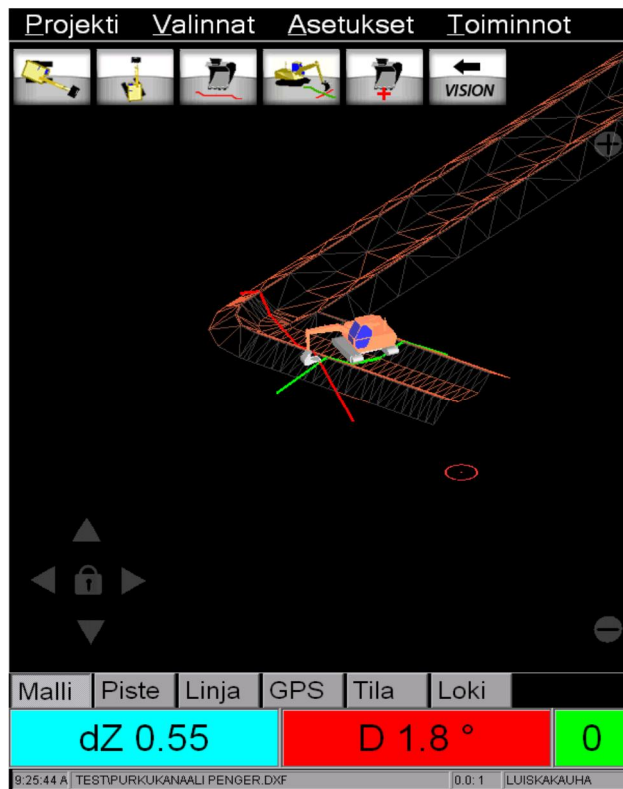
Kuva 3. Yhtenäinen tietokanta. [20.]

Tietomalleihin tallentuvat tiedot eivät katoa rakentamisprosessin eri vaiheista ja kaikkiin yksityiskohtiin voidaan palata milloin vain. Tietomallin luonti käynnistetään keräämällä lähtötietoja ja sisältö kerääntyy suunnitteluprosessin läpiviennissä. Tietomallilla mahdollistetaan myös rakennusprojektin tehokas ylläpito (kuvio 1). Tietomalleissa rakennettavan kohteen osa-alueet kuvataan realistisen kokoisina toisiinsa nähden ja näin eri suunnittelualueiden suunnitelmia voidaan tarkastella päällekkäin. Suunnittelijan tulee pitää huoli siitä, että tietomallin sisältö on hankkeen eri vaiheissa sovitun mukainen. [16.] Päällekkäisellä tarkastelulla voidaan selvittää mahdolliset törmäyskohdat ja siten vähentää rakentamisaikaisen muutossuunnitelmien laatimista. Tietomallintamisen yhtenä oleellisena osana on koneohjaus, jossa voidaan tehokkaasti hyödyntää tietomallisuunnitelmia (kuva 4.).

Kuvassa 1 esitetään, miltä tietomallipohjainen työsuunnitelma näyttää kaivinkoneessa olevalta näyttöpäätteeltä. Näkymät ovat muokattavissa kuljettajan mieltymysten mukaisesti, ja näin suunnitelmista saa itselleen helpoiten luettavan version. Suunnitelmien selaus laitteesta (kuva 5.) on hyvin samantapaista kuin tiedostojen selaus tietokoneen käyttöjärjestelmästä. Kovalevyasemalta valitaan työkohteen mukainen suunnitelma, jonka jälkeen työt voidaan aloittaa.



Kuvio 1. Infraprojektin elinkaaren kattava inframalli

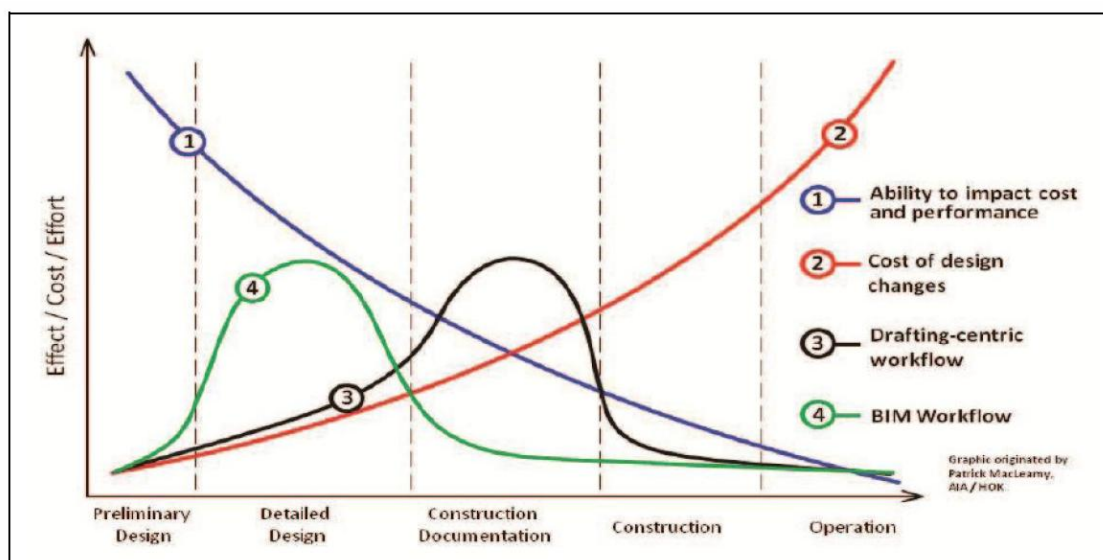


Kuva 4. Suunnitelma kuva näyttöpäätteeltä. [19.]



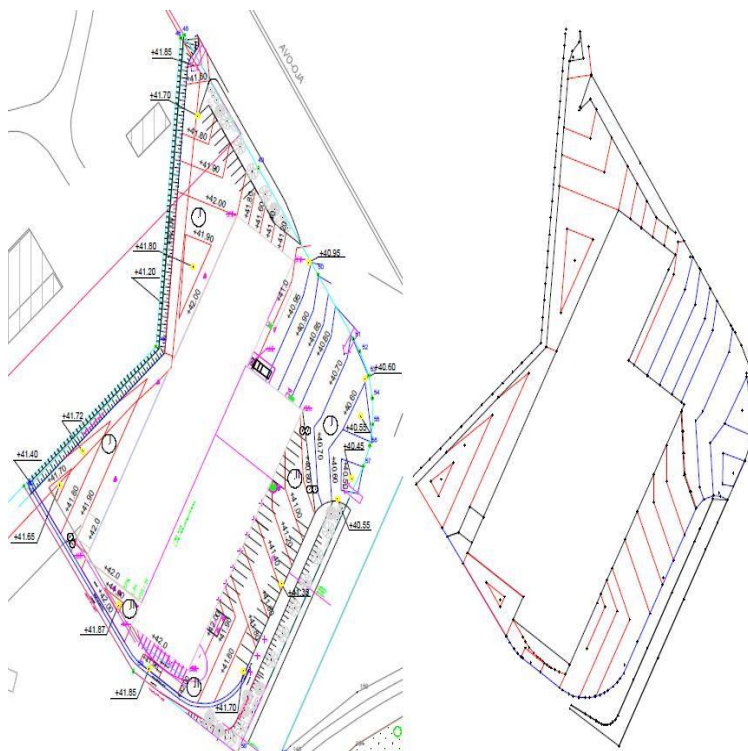
Kuva 5. Suunnitelmien selaus laitteen sisäisestä muistista.

Kuviosta 2 nähdään, millainen vaikutus tietomallipohjaisella suunnittelulla on rakennushankkeen läpivientiin. Vaaka-akselilla on jaettuna suunnittelun eri vaiheet rakentamisprosessissa. Vaiheet pitävät sisällään yleissuunnittelun, yksityiskohtaisen suunnittelun, rakentamisen eri dokumenttien teon, rakentamisen ja viimeisenä kohteen käyttöönoton ja sen ylläpidon. Käyrä 4 osoittaa, miten tietomallipohjainen toimintatapa kohdistaa suunnittelutyön rakennushankkeen alkuvaiheeseen. Käyrän 1 avulla huomataan että hankkeen varhaisessa vaiheessa on mahdollista vaikuttaa parhaiten projektin kokonaiskustannuksiin ja työmenetelmiin. Käyrä 2 osoittaa, että mitä pitemmälle projekti etenee, sitä enemmän muutokset suunnitelmissa aiheuttavat kuluja. Käyrästä 3 taas huomataan miten piirustuskeskeinen työtapa kohdentaa suunnittelutyöt projektin keskivaiheille.



Kuvio 2. Suunnittelutyön eri muodot. [7.]

Tietokonepohjaista suunnittelua on tehty jo vuosikymmeniä, mutta tästä huolimatta suunnittelijan tuottama aineisto on voinut sisältää tasosijainnin määrityksen osalta vain kaksi koordinaattia ja kolmas, korkeus-koordinaatti, on kuvattu esimerkiksi tekstinä. Näin ollen voidaankin puhua kaksiuotteisesta suunnittelusta. Suunnitelmien luominen koneohjausjärjestelmälle yhteensopivaksi edellyttää, että suunnitelman kohteet on osoitettu kolmella koordinaatilla (kuva 6.). Tietomallipohjainen suunnittelu mahdollisesti lisää suunnittelutyötä ja sen sisäistäminen vie aikansa, mutta lopputulos on sitäkin parempi ja helpommin käytettävissä.



Kuva 6. Vasemmalla suunnitelma kuva pihantasauksesta ja editoitu taiteviiva-aineisto koneohjausta varten oikealla. [19]

3.5.1 Tietomallinnuskoulutus

Tietomallinnuksen puolesta puhuu myös se, että opetus- ja kulttuuriministeriö on myöntänyt rahoituksen infra-alan tietomallinnuskoulutukselle. Infra- ja rakennusalan ammattilaisille tarkoitettu 30 opintopisteen laajuinen oppisopimuskoulutus toteutetaan vuoden 2014 aikana. Koulutuksesta vastaa Metropolia Ammattikorkeakoulu yhteistyössä Aalto-yliopiston kanssa, Tampereen ammattikorkeakoulu yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston kanssa sekä Oulun yliopisto. Jokaiselta taholla aloituspaikkoja on 20.

Koulutus antaa valmiudet ymmärtää ja toteuttaa infra-alan ja rakennusalan käynnissä olevaa merkittävää toimintatapojen muutosta eli dokumenttipohjaisen projektinhallinnan muuttamista tietomallipohjaiseksi. Koulutuksen avulla myös viedään ajankohtaista tutkimustietoa käytäntöön ja yrityksille. [22.]

4 Kaivinkoneen koneohjaus

Koneohjausjärjestelmän hyödyt verrattuna perinteiseen kaivutyöhön ovat kiistattomat, mutta tuo se mukanaan myös haasteita. Suurimpana haasteena tuntuu olevan uuden järjestelmän vierastaminen. Valtaosa kommenteista järjestelmän parissa työskenteleviltä koneenkuljettajilta ovat olleet positiivisia, mutta joukkoon mahtuu myös mielipiteitä, jotka antavat uskoa järjestelmän käytön vain vaikeuttavan työntekoa. Tässä on varmasti kyse hyvin pitkälti ennakoasenoitumisesta järjestelmää vastaan, mutta myös sen sisällä pitämästään tekniikasta. Koneenkuljettajalla saattaa olla usean vuosikymmenen kokemus perinteisestä kaivutyöstä, joten on ymmärrettävää, että täysin avosylin ei modernia tekniikkaa sisältävää järjestelmää oteta vastaan. Uuden tekniikan sisäänajo harvoin sujuu täysin ongelmitta ja niin on myös koneohjauksen tapauksessa. Tässä luvussa paneudutaan koneohjausjärjestelmään kaivinkoneessa, mitä sen laitteisto pitää sisällään, sen tuomia kustannuksia, työtapojen muutoksia sekä loppuun kiteytetään omiin havaintoihin perustuvia koneohjauksen hyötyjä sekä haasteita.

4.1 Toimintaperiaate

Koneohjausjärjestelmän keskeinen toimintaperiaate on työkoneen paikantaminen suunnittelu- tai kohdealueelle ja kuljettajalle ohjaamossa havainnollistetaan näyttöpäätteeltä kaivinkoneen kauhan sijainti suhteessa suunnitelmaan (kuva 7). Jokainen kaivinkoneen käytössä oleva kauha tulee erikseen asentaa tarkkoine mittoineen järjestelmään, jolla vältytään mittausvirheiltä korkeusaseman suhteen. Kuvasta 7 nähdään vasemmassa alareunassa oleva lukema dZ, jolla kuvataan kauhan korkeusasemaa suhteessa suunnitelmaan. Lukeman taustaväriin ollessa punainen on kauhan mittapiste halutun tasosuunnitelman alapuolella. Vihreä väri kertoo korkeussijainnin olevan asetetuissa toleransseissa ja edelleen sininen tarkoittaa kauhan sijaintia halutun tason yläpuolella. Näin ollen kuvasta 7 huomataan kaivinkoneen kauhan olevan 0,21 m mallinnetun anturan alapinnan alapuolella. Toiminnan kannalta koneohjausjärjestelmä vaatii kaivinkoneen geometrian ja satelliittien geometrian määrittämisen. Geometrialta tarkoitetaan tässä yhteydessä mittojen määrittämistä suhteessa työmaan ympäristöön. Lisäksi tarvitaan laitteisto yhdistämään suunnitelma-aineisto tai toteutusaineisto suhteessa paikannukseen.



Kuva 7. Korkeusasemat näyttöpäätteeltä. [19.]

4.2 Laitteisto

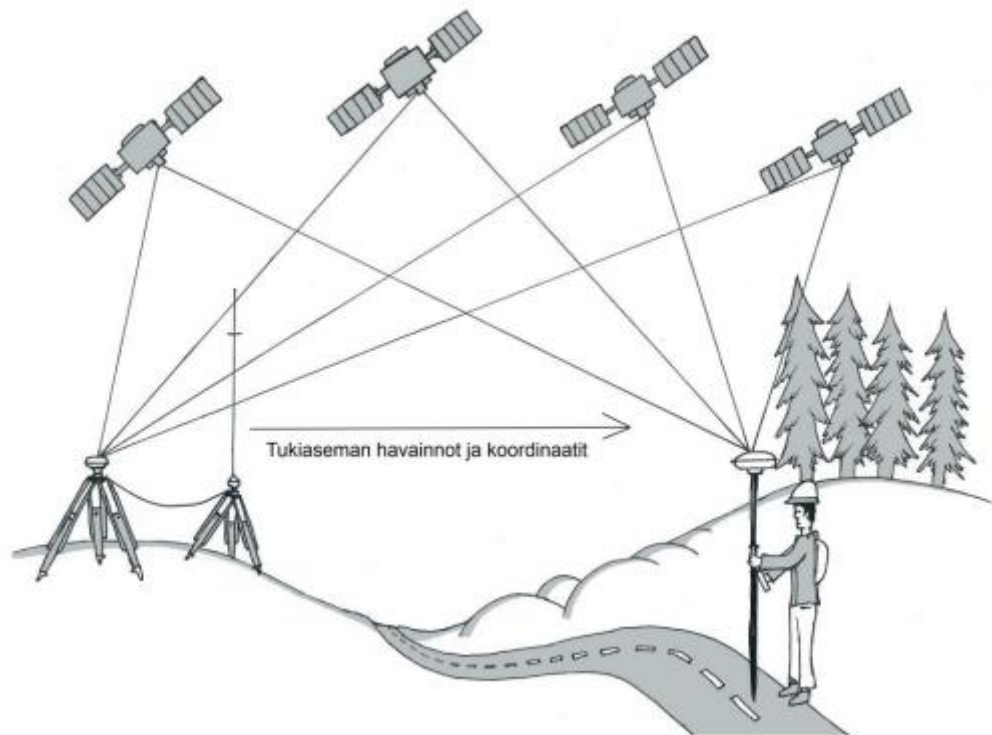
Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä koostuu antureista (kuva 8.), tietokoneyksiköstä, näyttöpäätelaitteesta (kuva 7.), radiomodeemista, satelliittivastaanotinantenneista ja virtalähteestä. Anturit sijoitetaan kuvan 8 mukaisesti kaikkiin kaivupuomin nivelosiin ja kaivinkoneen runkoon. Laitetoimittajasta riippuen järjestelmissä voi olla eroja laitemoduulitasolla. Yhteen laitemoduuliin voidaan sisällyttää useampi toiminto, esimerkiksi näyttöpäätelaite voi käsittää sekä tietokoneyksikön että näyttöpäätteen. Muutoin koneohjausjärjestelmät ovat rakenteellisilta ratkaisuiltaan hyvin samankaltaisia toisiinsa nähden.



Kuva 8. Kaivinkone ja koneohjausjärjestelmän antureiden paikat. [19.]

4.2.1 Tukiaseman toimintaperiaate

Koneohjausjärjestelmän käyttö edellyttää työkoneessa olevan laitteiston lisäksi rinnalleen toimivan tukiaseman. Tukiaseman toiminta perustuu RTK (*Real Time Kinematic*) -paikannukseen (kuva 9), jossa tukiasema lähettää havaintonsa ja koordinaatit työkoneeseen korjaussignaalin avulla. Työkone pystyy omalla koneohjauslaitteistolla paikantamaan itsensä kohdealueelta, mutta tarvitsee silti tukiaseman lähettämää korjaussignaalia tarkkuuden varmistamiseksi. Korjaussignaali voidaan lähettää joko internet-, matkapuhelinverkko- tai radiosignaalina, riippuen käyttäjän tarpeista sekä työmaan ympäristöolosuhteista. Tukiasemalaitteisto koostuu antennivastaanotimesta, virtalähteestä ja gsm- tai radiomodeemista. Vaihtoehtona on myös VRS (*Virtual Reference Station*) -tukiasemapalvelu, jolloin omaa laitteistoa ei tarvita ja kaikki tukiasematoiminta tapahtuu Internet-palvelimen välityksellä. VRS-tukiasemapalvelun käyttö on yrityksen ulkoistettua toimintaa ja siitä koituu lisenssipalvelumaksut palvelutoimittajan mukaan.



Kuva 9. RTK-paikannuksen periaatekuva. Tukiasema lähettää havaintonsa ja koordinaatit liikkuvaan kohteeseen

4.2.2 Järjestelmän hankinta- ja käyttökulut

Järjestelmän kokonaiskulut rakentuvat laitteiston hankintakuluista sekä ylläpidon aikaisista huolto- ja lisenssisopimuksista. Mikäli työmaalle hankitaan oma tukiasema korjussignaalin tuottamiseen, täytyy ottaa huomioon tukiaseman laitteiston hankintakulut, käytöstä ja sen ylläpidosta aiheutuvat kulut. Tukiaseman pystyttämiseen kuluva aika tulee myös huomioida ylläpitokuluissa. VRS-tukiasemapalvelun käyttö edellyttää lisenssisopimusta tai vastaavan käyttöluvan. Tukiasemapalvelu hinnoitellaan palvelutarjoajasta riippuen kuukausittaisilla maksuilla tai vuosilisenssillä. Lähtökohtaisesti pidempiaikaiset sopimukset tulevat halvemmaksi, kun tarkastellaan hintaa käyttöpäivältä. Laitetoimittajasta riippuen voidaan yrityksen tarjoamat palvelut koneohjausmallien tiedonsiirtoihin sisällyttää ylläpitosopimukseen tai voivat ne voi olla hinnoiteltu erikseen. Luvussa esitetyt laitteistohinnat perustuvat Novatronin Oy:n tarjoamiin listahintoihin huhtikuussa 2014. Muita koneohjausjärjestelmä markkinoijia Suomessa on mm. Geotrim Oy, Topgeo Oy, Scanlaser ja Geosam Oy.

Laitteiston kokonaiskulut riippuvat siitä, minkälainen laitteisto hankitaan. Kahden antennin koneohjausjärjestelmät ovat tällä hetkellä noin 30 000 e:n hintaisia ja yhden antennin hinta alkaen noin 23 000 euroa. Laitteiston asennuskulut ovat 1090 euroa. Yhden tukiaseman hintakulut ovat alkaen noin 12 500 euroa. Tukiasemapalvelua käytettäessä tiedonsiirto tapahtuu koneohjauslaitteessa olevan GPRS-modeemin kautta Internetin välityksellä, jolloin asiakkaan tehtäväksi jää ainoastaan matkapuhelin operaattorilta saatavan SIM-kortin hankinta dataliittymällä. Ulkoistetun tukiasemapalvelun hinta on 600 e/vuosi/työkone, tai mikäli työkoneita on enemmän kuin 5 kappaletta niin kustannukset ovat 400 e/vuosi/työkone. Näiden kulujen lisäksi tulevat koneohjausjärjestelmän huolto- ja ylläpitosopimuksen kulut. Novatronin laitteistoilla on kahden vuoden takuu, joka kattaa etätuen ja ohjelmistopäivitykset. Kahden vuoden takuuajan jälkeen tarjolla on kaksi eri sopimusvaihtoehtoa. Halvempaan sopimukseen kuuluu etätuki ja ohjelmistopäivitykset, joka on hinnaltaan 60e/kk/työkone. Toiseen kattavampaan pakettiin kuuluu näiden lisäksi myös mm. varaosat ja kustannuksia kertyy 160 e/kk/työkone. [8.]

Koneohjausjärjestelmän kuluja punnitessa tulisi vertailla tukiasemapalvelusta aiheutuvia kuluja oman tukiasemalaitteiston hankintakuluihin. Omalla tukiasemalaitteistolla pystytään palvelemaan paikallisesti kaikkia sitä lähellä toimivia työkoneita, tällöin kulut jaetaan näiden kesken. Omaa tukiasemaa hankkiessa tulee huomioida työmaa-alueen laajuus. Välimatkan kasvaessa tukiaseman ja työkoneen välillä liian suureksi ilmenee laitteiston käytettävyydessä tarkkuuden heikentymistä sekä signaalikatkoksia. Radio-signaalilla optimaalinen välimatka tukiaseman ja työkoneen välillä on noin 0-30 kilometriä, kun taas matkapuhelinverkolla tuotettavalla korjaussignaalilla etäisyyden ei tulisi olla yli 10 kilometriä. Signaalin laatuun vaikuttaa radikaalisti myös maasto- ja ilmasto-olosuhteet. Omia tukiasemia voi joutua hankkimaan useampia, mikäli välimatkat laitteistojen välillä kasvavat liian suuriksi. Tukiasemapalvelua käyttäessä lisenssikulut voidaan sopia palvelutarjoajan kanssa joko työkonekohtaisiksi tai projekti-kohtaisiksi riippuen työkohteen tai urakan luonteesta. [9.]

Yhteenvetona voidaan todeta koneohjausjärjestelmän hankintakulujen muodostuvan yrityksen omien tarpeiden mukaan. Tulee huomioida vaatimukset työkoneenlaitteiston suhteen, sekä miten tukiasema järjestetään korjaussignaalin takaamiseksi. Näin ollen voidaan todeta huolellisen ennakkosuunnittelun vähentävän turhia kustannuksia.

4.3 Muutokset työtapoihin työmaalla

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 opettelu- 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.

4.3.1 Työnjohto

Työnjohdon on tiedostettava koneohjauksen luomat mahdollisuudet sekä työntekijöiden muuttuvat työnkuvat. Ensisijaisesti työnjohdon tulee huolehtia, että koneohjausjärjestelmän käyttö työmaalla sujuu ongelmitta eri osa-alueilla. Työnjohdon tulee varmistaa kaikilta osapuolilta, että järjestelmän käyttöön liittyvät toimenpiteet ovat hallinnassa. Työmaan sujuvuuden kannalta on tärkeää, että jokainen tietää koneohjausjärjestelmän tulon myötä tulevat uudet ja muuttuneet työnkuvansa. Lähtökohtaisesti ei voida olettaa, että järjestelmän käyttö on tuttua kaikille osapuolille.

Käytännön asioita, joita työnjohdon tulee tarkastaa mittauspuolen kanssa ovat:

- Tukiaseman oikein asennus
- Suunnitelmien kääntäminen työmaan koordinaatiston mukaiseksi
- Kaivinkoneelle tehtävät tarkistuspisteet.

Kaivinkonekuljettajan kanssa olisi hyvä käydä läpi, että kuljettaja tietää koneohjausjärjestelmän vaatimat tarkastukset ja milloin ne tulee suorittaa.

4.3.2 Kaivinkoneen perämies

Onnistunut kaivutyö on ryhmätyötä, joka vaatii sujuvaa yhteistyötä kaivinkoneenkuljettajalta sekä perämieheltä. Perämiehen, myös ennen vanhaa lapiomieheksi kutsutun, tehtävä perinteisessä maarakennustyössä on olla kaivinkoneen ohjeistaja sen ulkopuolella. Perämies näyttää mittamiehen merkitsemien korko- ja sijaintipisteiden perusteella, mistä kaivaa ja kuinka paljon, tai kuinka paljon täyttöä tulee. Ilman perämiestä kaivinkonekuljettajan on lähes mahdoton toimia itsenäisesti tarkkuutta vaativissa kohdissa.

Koneohjauksen tulo vaikuttaa näkyvästi myös perämiehen työnkuvaan. Koneohjaus mahdollistaa sen, että kaivinkonekuljettaja pystyy itse seuraamaan reaaliaikaisesti työn etenemistä. Esimerkiksi putkikaivantojen syvyyden seurantavaiheessa, perämiehen ei tarvitse olla kaivannossa näyttämässä korkoa. Täysin tämä ei poista perämiehen tarvetta, vaikka koneohjaus siirtää mittauksen seurantaan enemmän konekuskin vastuulle. Perämies joutuu silti suurta tarkkuutta vaativissa kohdissa tarkastamaan korot. Voisikin sanoa, että perämiehen työ muuttuu koneohjauksen tulon myötä enemmän valvontaluonteiseksi työvaiheissa, joissa ennen oltiin mittatikun kanssa kaivannoissa tarkastamassa oikeaa kaivussyvyyttä.

4.3.3 Mittamies

Tärkeässä roolissa koneohjausjärjestelmän käytön kannalta on myös mittausalan ammattilainen (kuva 21). Mittauspuolen oletetaan olevan hyvin perillä työmaan edistymisestä, sillä rakentaminen tapahtuu mittaushenkilön merkintöjen perusteella. Tästä syystä mittausmerkinnät tehdään aina ennen työsuoritusta. Tärkeintä koneohjausjärjestelmän oikean toiminnan kannalta on koordinaattijärjestelmien erojen ymmärtäminen. Keskeisimmät mittamiehen tehtävät koneohjauksen eri vaiheissa ovat suunnitelmien siirto koneohjausjärjestelmään, suunnitelmien muokkaus ja suunnitelmien koordinaation kääntäminen työmaan mukaiseksi. Koneohjauksella on mahdollista suorittaa suuri osa työmaan maarakennustöiden mittauksista, mutta siitä huolimatta äärimmäistä tarkkuutta vaativissa kohdissa turvaudutaan työmaalla koneohjauksesta huolimatta vielä mittamiehen merkintöihin.



Kuva 12. Mittaustyö maarakentamisessa. [21.]

4.3.4 Kaivinkoneenkuljettajan lisääntynyt vastuu

Koska perämiehen ja mittamiehen työnkuva on muuttunut ja koneohjausjärjestelmä on mahdollistanut töiden siirtymisen kaivinkonekuljettajalle, on tätä myötä myös konekuljettajan vastuu lisääntynyt merkittävästi. Konekuljettajan täytyy myös tietää nykyistä enemmän ja tarkemmin omat työvaiheet. Huomion arvoinen asia on myös kuljettajien ammattitaito. Esimerkiksi sairastapauksissa tuuraavan kuljettajan tulee osata käyttää järjestelmää, jotta työt voivat jatkua ilman ajallisia viivästyksiä. Työmaalla tulisikin ottaa huomioon kaivinkoneenkuljettajan uusi vastuullinen työnkuva, ja tehdä sen tukemiseksi huolellista laadun tarkkailua. On kohtuutonta vaatia koneenkuljettajan yksin vastaavan työn tuloksista.

4.4 Saavutetut hyödyt työmaalla

Saavutettuja hyötyjä koneohjauksesta tulee käytännössä jokaisella rakentamisprosessin osa-alueella. Koneohjauksen avulla saadaan huomattavasti tehokkaampi massatalous. Näin ollen turhia massasiirtoja sekä maanleikkaustöitä voidaan karsia merkittävästi. Tämän seurauksena saavutetaan luonnollisesti kustannussäästöjä polttoaineiden, materiaalien sekä työtuntien osalta. Tehdyistä massanvaihdosta saadaan myös määrät entistä tarkemmin ylös.

On hyvin tyypillistä, että työmaalla ei ole omaa mittamiestä. Mittamiehellä on usein kaksi tai useampi työmaa, joilla hän tekee tarpeen mukaan töitä. Hyvin usein tästä voi seurata ongelmia, kun mittamiestä tarvittaisiin useassa kohteessa samanaikaisesti. Koneohjauksen ansiosta mittamiehen tarve vähentyy. Työnteko on myös kaikin puolin nopeampaa, työkoneenkuljettajan ei tarvitse viivästyttää töitä odottamalla mittamiehen saapumista ja tarkkeiden ottamista. Näin ollen työt voivat jatkua sulavammin ilman keskeytyksiä. Merkittävänä hyötynä voidaan pitää myös koneohjauksella saavutettava työajan laajeneminen. Aamun tai illan pimeys eivät enää hidasta niin radikaalisti työntekoa sillä töiden etenemistä voi seurata työkoneen näyttöpäätteeltä. Tästä saadaan myös merkittävä parannus työmaan työturvallisuuden näkökulmasta.

Koska mallit kertovat koneohjausta käyttävälle kuljettajalle tarvittavan syvyyden sekä suunnan, karsivat ne perämiehen ja työnjohdon tarvetta kaivinkonetta ohjaavana henkilönä. Osista työvaiheista, kuten kaivannon pohjatyön tekemisestä perämiehen tarve poistuu kokonaan. Tämän johdosta suunnitelmien ja työvaiheiden seuranta jakautuu enemmässä määrin konekuljettajalle itselleen. Mikäli seuraavan työvaiheen malli on valmiina, esimerkiksi kiireellisessä työtilanteessa ei tarvita työnjohtoa selvittämään seuraavaa työvaihetta ja vapauttaa näin työvoimaa muihin tehtäviin. Myös nämä tekijät ilmenevät kustannus- ja aikataulusäästöinä.

4.5 Haasteet koneohjauksessa

Uuden järjestelmän tuonti työmaalle saattaa aina tuottaa erinäisiä haasteita. Yhtenä näistä tekijöistä voidaan pitää konekuljettajien vaihtuvuutta. Vaihtuvuus voi aiheuttaa haasteista tilanteissa, joissa tuuraava kuljettaja ei ole saanut perehdytystä koneohjausjärjestelmään ja työtehtävä on suunniteltu suoritettavaksi ilman perämiestä. Koneohjauksen suurimmat haasteet liittyvät inhimillisiin virheisiin ja erehdyksiin, mutta vaikeuksia voi tuottaa myös tekniset tekijät. Tietomalleihin ei voi voida suoraan luottaa, vaan ne täytyy tarkistaa ennen työkoneeseen vientiä. Uuden suunnitelmamallin tullessa työmaalle täytyy työnjohdon varmistaa, että tiedonsiirto laitteistoon sujuu ongelmitta ja että koordinaattijärjestelmä on käännetty työmaan mukaiseksi. Konekuljettajalle yksi helpoiten sattuvista virheistä on käyttöönotetun kauhan vaihtaminen toiseen järjestelmästä. Käytettävistä olevista kauhoista täytyy jokaisesta syöttää tarkat mitat järjestelmään, jonka jälkeen nämä tulee tallentaa koneen muistiin. Kauhojen kulumista täytyy muistaa myös tarkkailla, koska se vaikuttaa osaltaan kauhan antamaan korkolukemaan. Työnjohdolle suurimpia haasteita on työmaan seuraaminen. Maalin tai muiden merkkien tarve poistuu, jolloin työvaiheiden seuranta tulee suorittaa kaivinkoneesta käsin.

Yleisimpien virheiden eliminointi on suhteellisen helppoa, koska ne johtuvat usein vain pienistä inhimillisistä erehdyksistä:

- Kaivinkonekuljettajan tulee muistaa tehdä päivittäinen tarkastus kauhan koron asemasta
- Tulee huomioida, että tuuraava kaivinkoneenkuljettaja ei ole välttämättä perehdyntynyt koneohjausjärjestelmän käyttöön
- Kaivinkoneen eri kauhojen lisääminen järjestelmän tietokantaan, sekä tässä yhteydessä myös kauhojen kulumisen huomiointi
- Kauhaa vaihtaessa oikean kauhan valitseminen järjestelmästä
- Satelliittisignaalin saatavuus tulee varmistaa alueilla, joissa on signaalia haittaavia tekijöitä, kuten sähkölinjoja, suuria puita tai isoja massakasoja (kuva 14.)
- Tukiasemanantennin asennus oikeaoppisesti: Tukevalle alustalle ja paikkaan jossa ei ole signaalin kuuluvuutta heikentäviä häiriötekijöitä (Kuva 13.)
- Mittaoperaattorin kanssa tulee huolehtia siitä, että seuraavan työvaiheen suunnitelmat ovat koneohjausjärjestelmässä ennen töiden alkua.



Kuva 13. Tukiasemanantennin huolimaton asennus. [17.]



Kuva 14. Suuri massakasa heikentää signaalin kuuluvuutta.

5 Case

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyön työmaakohde, jossa varsinainen tutkimustyö suoritettiin, käydään läpi työnseurantamenetelmiä ja olosuhteita sekä paneudutaan niissä saatuihin tuloksiin.

Koulunaikaisista työharjoitteluista hankittu työkokemus YIT:llä tarjosi hyvät lähtökohdat tutkimuksen tekemiselle. Työmaavierailuista ja muista käytännön asioista sopiminen oli vaivatonta, YIT:n toimintatapojen sekä henkilöstön ollessa tuttua. Koneohjausjärjestelmän hyödyntäminen kaivinkoneissa on YIT:llä jo oleellinen osa tuotantoprosessia, näin ollen työmaakohteen löytäminen ei tuottanut haasteita.

Työnseuranta suoritettiin normaalityöolosuhteissa, eikä erikseen sitä varten lavastetussa ja suunnitellussa tilanteessa. Työnseurannan tarkoitus oli saada selville koneohjauksen käyttöä työmaalla, ja mitata ajallisesti koneohjauksella tehtäviä työvaiheita ja verrata niitä perinteisellä kaivutyöllä saataviin aikoihin. Käytännössä mittaus tehtiin kellottamalla eri työvaiheet ja laskemalla niistä saatujen aikojen keskiarvot. Työmaan mittamiehen kanssa selvitettiin hänen rooliaan työmaatoteutuksessa koneohjausta hyödyntäessä. Työmaavierailuiden yhteydessä tehtiin myös työntekijähaastatteluita henkilöiden kanssa joiden työntekoon koneohjaus vaikuttaa.

5.1 Espoon putkiurakka

Espoon putkiurakka on YIT:n kokonaisurakka, jonka tilaajana toimii HSY. Työmaan esivalmistelut käynnistettiin vuoden 2013 lopulla ja itse työt alkoivat 2014 tammikuussa. Työmaan henkilöstöresurssit ovat vastaava mestari, mittaooperaattori, neljä rakennusammattimiestä, neljä kaivinkonetta sekä kuljettajaa, panostaja ja poravaunukuljettaja. Urakan edetessä henkilöstörakenne saattaa jossakin määrin muuttua, tutkimus tehtiin keväällä 2014. Henkilöstö on pääosin YIT:n omaa, mutta sisältää myös joitakin alirakkoitsijoita. Urakkaan kuuluu noin 2,7 kilometriä DN800 mm vesiputkilinjan asennusta (kuva 15). Työt pitävät myös sisällään noin 4000 kuutiota louhintaa sekä noin kuusi kilometriä syvästabilointia. Stabiloinnissa hyödynnettiin myös työkoneeseen asennettua koneohjausjärjestelmää.



Kuva 15. Asennettava putki

Koneohjauksenjärjestelmän toimivuuden kannalta oleellinen asia on signaalin kuuluvuus, eli toisin sanoen yhteys tukiasemasta työkoneen antennivastaanottimeen. Tämä osoittautui haasteeksi Espoon työmaalla, huomioiden putkilinjan sijainnin. Linja kulkee moni paikoin keskellä metsää, jolloin puut häiritsevät huomattavasti korjaussignaalin vastaanottoa (kuva 16). Paikoin putkilinjan välittömässä läheisyydessä molemmin puolin oli tiheää puustoa.



Kuva 16. Putkilinjaa ympäröivät puut loivat haasteet radiosignaalin kuuluvuudelle

Pohjaolosuhteet putkilinjalla toivat myös omat haasteensa koneohjauksen hyödyntämiselle. Pohjavesi on paikoin lähes maantasossa, ja pohjamaa onkin näissä kohdin hyvin löyhää savea (kuva 18). Tämän kaltaisissa pohjaolosuhteissa kaivannot pitää tehdä tuettuna, jotta maamassat eivät valu välittömästi kaivutyön jälkeen takaisin kaivantoon (kuva 17). Kaivinkoneen käsittely vastaavissa paikoissa on hyvin haastavaa ja tulee kolhujen välttämiseksi suorittaa äärimmäisen huolellisesti. Espoossa kaivantojen tukemiseen käytettiin larssen-pontteja. Putkilinjan teossa edettiinin ponttauksen johdolla. Pontit lyötiin maahan kaivinkoneen päähän asennetulla movax-ponttivaralla. Ponttien maahan lyönnin jälkeen putkilinjan kaivuun tarkoitettu koneohjauksellinen kaivinkone kaivoi linjan auki, jota seurasi arinan ja asennusalustan täytöt, putkien asennus ja viimeisenä jälkitäytöt. Jälkitäytöjen jälkeen valmiista linjasta poistettiin pontit ja vietiin jälleen linjassa eteenpäin odottamaan seuraavaa asennusta. Kuvassa 19 on kuvattuna tilanne valmiista putkilinjasta.



Kuva 17. Tuettu putkikaivanto



Kuva 18. Savimaa toi haasteita maamassojen käsittelyssä



Kuva 19. Valmis putkilinja

Espeen putkiurakan työmaa-alueen ympäristöolosuhteet eivät siis luoneet lähtökohtaisesti ihanteellista tilannetta koneohjauksen hyödyntämiselle ja näin ollen järjestelmän käyttöönotto ei sujunutkaan täysin ongelmitta. Noin kahden kuukauden käytön jälkeen ilmeni virhe satelliittien yhteensovittamisessa kaivinkoneen laitteiston ja tukiaseman välillä. Tämä tarkoittaa käytännössä, että kaivinkoneen laitteisto ja tukiasema eivät havainneet tarpeeksi yhteisiä satelliitteja laitteistojen yhteensovittamisen kannalta. Tästä johtuen kaivinkoneeseen ei saatu yhteyden vaatimaa radiosignaalia, joka estikin lopulta järjestelmän käytön noin kahden viikon ajalta. Ongelmatilanteisiin osattiin kuitenkin varautua henkilöstön sekä kaluston puolesta, ja näin ollen siirryttiin takaisin perinteiseen kaivutyöhön. Työmaan oman mittamiehen merkintöjen perusteella töitä päästiin jatkamaan ja näin vastoinkäymiset jäivät lopulta varsin pieniksi. [12.]

Tukiaseman asennustyöt oli työmaalla suoritettu huolellisesti (kuva 20), mutta siitä huolimatta puista johtuvat häiriöt signaalin kantavuuden kannalta olivat ylivoimaiset. Ongelmat saatiin kuitenkin korjattua vaihtamalla tukiaseman sijaintia ja näin ollen laitteistojen yhteensovittaminen onnistui jälleen. Haastavassa maastossa kuten Espoossa, tukiaseman oikein sijoittaminen on ratkaisevassa asemassa.



Kuva 20. Työmaalle asennettu oma tukiasema-antenni

Perinteisessä maarakennustyössä putkilinjan teossa edetään mittamiehen korkomerkintöjen perusteella. Ensimmäisenä kaivetaan putkikaivanto raakapohjatasolle, jonka jälkeen tehdään putkelle arina ja asennusalusta sekä viimeisenä kaivanto täytetään. Perämies seuraa kaivun ja täytön korkoja putkilaserin tai tasolaserin avulla. Yleisesti perämiehellä on apunaan myös mittatikku, johon on merkattu apuviivoja koron seurantaan. Putken asennuksen jälkeen peitetään linja täyttömaalla, mutta jätetään putkea paikoin hieman näkyviin, jotta saadaan otettua lopulliset tarkkeet linjasta. Mittamies ottaa linjasta tarkkeet kohdista joissa putki vielä näkyy, jolloin saadaan merkinnät tietokantaan missä lopullisessa syvyydessä putki on asennettuna ja verrataan sitä suunnitelmassa olevaan korkoon. Näin edettiin myös Espoon putkiurakassa, koneohjausjärjestelmän ollessa poissa käytöstä.

Lähes poikkeuksetta Espoossa kuitenkin saatiin hyödynnettyä koneohjausta kaivannon teossa. Satelliittien yhteensovittamisongelmien jälkeen vastoinkäymiset jäivät hyvin pieniksi, pahimmillaan kohdattiinkin vain hetkellisiä keskeytyksiä näytön jähmettymisestä tai yksittäisten satelliittien havaintovirheestä johtuen. Ongelmat saatiin toisin sanoen pääosin korjattua siirtämällä tukiasemaa.

Putkilinjanteko koneohjauksella aiemmin käsitellyistä vaikeuksista huolimatta oli sujuvaa. Suurimmat hyödyt havaittiin tulevan raakapohjan kaivuvaiheessa. Raakapohjaa kaivaessa koneenkuljettava pystyi järjestelmällä tarkasti seuraamaan kaivannon korkoa vaikka näköyhteys kaivannon pohjalle olikin erittäin huono. Pohjan korko saatiin siis kerralla oikein ja tällä välttyttiin turhilta täyttöiltä arinan tekoon siirryttäessä. Tästä johtuen myös arinan täyttö sujui koneohjauksella noin puolet perinteistä menetelmää nopeammin.

Putken asennusalustan täytöissä ei havaittu ajallisia hyötyjä koneohjauksella tehtäessä, joka valtaosin johtui vaikeista kauhankäsittely olosuhteista. Asennusalustan täyttö vaatii jo hyvin tarkkaa työtä ja jatkuvaa koron seurantaa. Näin ollen vaikeat olosuhteet neutralisoivat käytännössä kokonaan koneohjauksen hyödyn ja perinteisin menetelmin päästinkin lievästi parempaan lopputulokseen.

Putkenasennusta seuraavissa jälkitäytöissä ei ilmennyt hyötyä koneohjauksen käytöstä. Jälkitäytöt suoritettiin pääasiallisesti silmämääräisesti ja näin ollen ei vaadittu koron seurantaa koneohjauksella tai perinteisesti tasolaserilla.

Mittaustyössä säästöt tulivat suunnitelmien seurannasta. Perinteisellä menetelmällä valmiista putkilinjasta otetaan tarkkeet, jotka tallennetaan tietokantaa ja katsotaan samalla seuraaville putkilinjoille kaadot. Kaadot merkitään tämän jälkeen suunnitelmiin ja suunnitelmat toimitetaan paperisina kaivinkoneen perämiehelle, joka pystyy näin määrittämään linjan täytöt putkilaserin ja mittatikun avulla. Koneohjausta hyödyntäessä mittamiehen tarvitsee vain ottaa tarkkeet valmiista linjasta. Kaadon seuranta tapahtuu täysin järjestelmässä olevien suunnitelmien perusteella. Näin ollen koneohjauksella saadaan yksi työvaihe kokonaan pois mittaustyöstä.

5.2 Tulosten käsittely

Putkikaivantotyön ajan mittaukseen käytettiin kahta putken mittausta, jolloin välimatkaksi tuli 14 metriä. Mittaustuloksista lasketut kustannussäästöt esitetään prosentuaalisesti. Ajallisia lukemia tuloksissa ei ilmoiteta, eikä mittaustuloksissa ei huomioida ponttaustyön osuutta.

Työvaiheet	Kustannussäästöt koneohjauksella %
Raakapohja	44
Arina	52
Asennusalusta	0
Jälkitäyttö	0
Polttoainekulutus	29
Mittaustyö	17
Yhteensä	29

6 Yhteenveto

Espoon putkiurakka ei luonut ideaalia työtilannetta koneohjauksen hyödyntämiselle ja näin ollen sen käytön hyödyistä ei saatu täyttä tehoa irti. Koneohjauksen käytön kannalta ihanteellinen työkohte on jossa kaivinkoneen käyttöä ei rajoita ympäristö, ja kaivu- ja täyttötöitä voidaan tehdä olosuhteissa jossa liikkuminen on vapaata ja massakasaamiselle ja poiskuljetukselle luotu hyvät mahdollisuudet. Massankäsittelyn kannalta savimaa on huonoimpia mahdollisia vaihtoehtoja, sillä sen kasassa pysyvyys on erittäin huonoa. Työmaalla oli kuitenkin koneohjauksen kannalta ennakoivat työt tehty huolellisesti ja ongelmatilanteeseen osattiin varautua niin henkilöstön, kuin kalustonkin puolesta. Vastoinkäymisistä huolimatta kokonaisuutena järjestelmän käyttö osoittautui kuitenkin varsin hyödylliseksi työmaalla.

Luvun 6 tulosten käsittelyssä osiossa tulee ottaa huomioon, että mittaustuloksissa on laskettu koneohjauksen tehoja hyvin lyhyeltä matkalta. Todellisia mittaustuloksia ja saatuja hyötyjä arvioidessa tulisi ottaa laskentaan koko työmaan kattavat arviot. Näihin laskelmiin tulee myös liittää koneohjauksesta koituvat hankinta ja käyttökulut, esimerkiksi Espoon työmaalla YIT:illä on käytössä kahden antennin laitteisto, jonka hankinta kuluja käsiteltiin luvussa 4.2.2. Nämä asiat huomioiden saadaan laskettua kokonaisuudessaan järjestelmän tehokkuus työmaan toteutuksessa ja pystytään tekemään päätelmät onko koneohjauksen mukaan liittäminen kustannustehokas ratkaisu juuri kyseiselle työmaalle.

Huomionarvoista on myös se, että mittauksia tehdessä perinteisellä menetelmällä kaivinkoneenkuljettaja oli paikoin tuuraava henkilö, jolloin työnteko on luonnollisesti hiekan erilaista kuin vakituisella kuljettajalla. Pohjaolosuhteet myös vaihtelivat radikaalisti putkilinjalla, jolloin tietyissä kohdissa linjaa kaivannon teko oli haastavampaa kuin toisessa.

7 Omat johtopäätökset

Toistaiseksi tehokkuusmittausten arviointi on vielä haastavaa. Yleisesti ottaen käyttökokemukset koneohjauksesta ovat rajalliset, mutta tulevaisuudessa järjestelmän käytön yleistyessä ja tietoisuuden kasvaessa, saadaan arviot ja laskelmat tehtyä huomattavasti tarkemmin ja helpommin. Kuten tässä tutkimuksessa kävi ilmi, arvioinnissa tulee myös ottaa huomioon työmaan ympäristöolosuhteet, tarkastella pohjatutkimus karttoja ja selvittää muutenkin maasto olosuhteet työmaan ympärillä. Näiden perusteella saadaan arvioitua mahdollisia ympäristöstä koituvia vastoinkäymisiä järjestelmän käytön kannalta ja niihin osataan varautua ennakkoon. Todelliset koneohjauksen tehokkuus arvioitua saadaan siis huomioimalla kokonaisvaltaisesti työmaakohtaisesti työolosuhteet, järjestelmästä koituvat kulut, kalusto ja henkilöstö kulut sekä arvioimalla ajallisesti töiden kesto.

7.1.1 Koneohjauksen tulevaisuus

Yhtenäisistä tiedonsiirtostandardeista tulee olemaan infra-alalla suurin hyöty suunnittelutyössä ja hankkeen läpiviennissä kokonaisuudessaan. Tietomallipohjaisen suunnittelun kehittyessä ja laajentuessa vahvistuu sitä myötä myös koneohjauksen asema infrarakentamisessa. Tietoisuus koneohjauksesta rakennusalan yrityksissä kasvaa hyvää vauhtia ja näin ollen myös yhä useampi yritys liittyy sen projektiensa läpivientiin. Koneohjauksen jalkautumisen myötä perinteiseen työtapaan tai suunnitteluun ei tulla varmasti enää palaamaan. Teknologian kehitys tulee siis hyväksyä ja ottaa vastaan jonka myötä myös työtuloksiin saadaan radikaalia parannusta.

Lähteet

1. Wikipedia verkkosivu. Luettu 15.2.2014. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/YIT>>
2. Kilpeläinen, P., Nevala, K., Tukeva, P., Rannanjärvi, L., Näyhä, T., Parkkila, T. 2004. Älykäs tietyömaa -Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. Verkkodokumentti VTT Elektroniikka. Luettu 15.3.2014. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf>
3. Artto K, Martinsuo M, Kujala J., 2006 projektiliiketoiminta. WSOY, Helsinki. Luettu 30.2.2014. http://pbgroup.aalto.fi/en/the_book_and_the_glossary/projektiliiketoiminta.pdf.
4. Lindholm, Mika. Kustannushallinta rakennushankkeessa. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy, 2009. ISBN 978-952-5785-00-5
5. Lindholm, Mika. Infrahankkeen tuotannonsuunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy, 2009. ISBN 978-952-2690-65-4
6. Mäkelä, Harri. 2010. InfraTM-hanke ja InfraBIM-kehitystyö. Verkkodokumentti. Luettu 20.3.2014. http://www.rts.fi/infrabim/Tietomalli_muuttaa_toimintatavat.pdf.
7. Verkkodokumentti. Luettu 20.3.2014. http://www.cenews.com/article/6098/what_does_bim_mean_for_civil_engineer
8. Niippa, Ari. Novatron Oy. Puhelin haastattelu 09.04.2014
9. Pelkonen, Jari. YIT, mittaustyönjohtava. Puhelin haastattelu 20.3.2014.
10. Junnonen, Juha-Matti. Talonrakennushankkeen tuotannonhallinta. 2010. Suomen Rakennusmedia Oy. ISBN 978-952-5785-62-3
11. De Marco, Alberto. Project Management for Facility Construction. 2011. ISBN 978-364-2170-92-8
12. Lindqvist, Antti. Työmaan vastaava mestari, YIT. Työmaa haastattelu 6.3.2014.
13. RIL 231-1-2006. Infrarakentamisen kustannusten hallinta. 2006. ISBN 951-758-462
14. Junnonen, Juha-Matti. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. 2009. ISBN-978-952-5472-97-4

15. Ratu KI-6021. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. 2011. ISBN 978-951-682-994-7
16. Liukas, Juha. Kempainen, Liisa. PRE/inframallin vaatimukset ja –ohjeet, osa 2.0. 2014.
17. Tulkki, Ville. YIT, Projekti insinööri.
18. Road Construction Production Study. 2006. Verkkodokumentti. Malaga Demonstration and learning Center, Caterpillar. Luettu 30.2.2014. <http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportCATRoadConstruction2006.pdf>
19. Pelkonen, Jari. YIT, mittaustyönjohtaja
20. InfraBIM, verkkojulkaisu. Luettu 27.3.2014. <http://www.infrabim.fi/tietomallintaminen-tulee-infra-alalle/>
21. Mittaustyö. Luettu 2.3.2014. < <http://www.centimen.com/mittaukset.html>>
22. InfraBIM, verkkojulkaisu. Luettu 20.3.2014. http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/InfraBIM_tiedote_15082013.pdf.
23. Verkkosivusto. Luettu 1.4.2014 <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/3ds-Max-Help/index.html?url=files/GUID-1520AE4F-8B0D-44FD-B471-36606780DC51.htm,topicNumber=d30e117683>
24. Penttilä, Nissinen, Niemenoja. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa. 2006. ISBN 951-682-796-9
25. Aðalsteinsson, Daði Hrannar. 2008. GPS machine guidance in construction equipment. Verkkodokumentti. Luettu 30.2.2014. <http://www.trimble-productivity.com/media/pdf/ProductivityReportGPForExcavators2008.pdf>