



INFRAHANKKEEN KUSTANNUSTE- HOKKUUDEN KEHITTÄMINEN 3D- KONEOHJAUSTA HYÖDYNTÄEN

Arto Hyvärinen

Opinnäytetyö
Marraskuu 2014
Rakentaminen
Ylempi amk-tutkinto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakentamisen koulutusohjelma
Rakentamisen ylempi ammattikorkeakoulututkinto

HYVÄRINEN ARTO:

Infrahankkeen kustannustehokkuuden kehittäminen 3D-koneohjausta hyödyntäen

Opinnäytetyö 60 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Marraskuu 2014

3D-koneohjausjärjestelmät ja niiden nopea kehittyminen viime vuosina ovat luoneet täysin uudenlaisen lähestymistavan kaiken kokoisten infrahankkeiden suunnitteluun, toteutukseen ja valvontaan. Urakoitsijat, suunnittelijoiden ja rakennuttajien ohella, ovat erittäin kiinnostuneita 3D-koneohjausjärjestelmien tuomista hyödyistä ja haasteista projektin eri vaiheissa.

Tämän kehittämistehtävän tavoitteena oli tutkia koneohjausjärjestelmien tuomia hyötyjä ja ongelmia infrahankkeiden toteutuksessa urakoitsijan kannalta. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, saavutetaanko koneohjausjärjestelmiin investoimalla kustannustehokkuutta hankkeen toteutusvaiheessa, ja onko kalliisiin järjestelmiin investoiminen järkevää. Työn tilaajana toimi Keski-Suomen Kuljetus Oy.

Kehittämistehtävässä hankittiin kaivinkoneeseen soveltuva 3D-koneohjausjärjestelmä, jonka toimivuutta ja kustannustehokkuutta testattiin pilottityömaalla Jyväskylän Laajavuoren uuden kevyenliikenteenväylän rakentamisen yhteydessä. Hankkeen tilaajana toimi Keski-Suomen ELY-keskus ja urakoitsijana Keski-Suomen Kuljetus Oy. Yhteistyössä tilaajan kanssa Keski-Suomen Kuljetus Oy testasi myös InfraKit Oy:n tarjoamia palveluita tietomallipohjaiseen rakentamiseen.

Tietoa kerättiin aktiivisesti omakohtaisten havaintojen avulla ja haastatteleamalla hankkeen tilaajaa, konekuskaja sekä työnjohtoa projektin eri vaiheissa. Tutkimuksessa suoritettiin myös vertailulaskelma Keski-Suomen Kuljetus Oy:n vuonna 2013 toteuttamaan saman kokoluokan kevytväylähankkeeseen, joka toteutettiin ilman koneohjausjärjestelmiä.

Näiden haastattelujen, eri tahojen tekemien työmaahavaintojen sekä vertailulaskelman perusteella voidaan todeta, että työkoneautomaation etuja ovat mm. pienentynyt materiaalihukka, kasvaneet työsaavutukset sekä työteknisen laadun paraneminen. Tulosten perusteella koneohjaus tuo kustannustehokkuutta sekä merkittäviä hyötyjä infrahankkeiden eri osapuolille.

Kehittämistehtävässä tehtiin havaintoihin vedoten tietomallipohjainen rakentaminen luo lukemattomia mahdollisuuksia tulevaisuuden rakentamiseen.

Asiasanat: 3D-koneohjaus, työkoneautomaatio, tietomallipohjainen rakentaminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction Engineering
Master's Degree Program in Construction Engineering

HYVARINEN ARTO:

Improving Infra Project Cost-efficiency with 3D-Machine Control Systems

Master's thesis 60 pages, appendices 12 pages
November 2014

3D-machine control systems and their rapid development in recent years have created a completely new approach to infrastructure projects in all sizes. Contractors, designers and developers in addition, are very interested in 3D-machine control systems benefits and challenges of the different project phases.

The purpose of this thesis was to gather information about the benefits and challenges of the 3D-machine control systems. In addition, the aim was to determine how much cost-efficiency can be achieved by investing machine control systems in the implementation phase. The work was ordered by Keski-Suomen Kuljetus Oy.

Suitable 3D-machine control system for excavator was obtained and functionality and cost-effectiveness was tested in a pilot site in Jyväskylä, Laajavuori. The project was ordered by Keski-Suomen ELY-keskus and the contractor was Keski-Suomen Kuljetus Oy. In co-operation with the client, Keski-Suomen Kuljetus Oy also tested the information model-based construction services provided by InfraKit Oy.

Information was collected by interviewing the subscribers, machine drivers, as well as the project managers at the various stages of the project. Comparative calculation was also made of the project of same size, which was carried out without machine control systems in 2013.

Based on these studies it can be concluded, that the 3D-machine control benefits are substantial material savings, increased work efficiency and work quality improvement. Based on the results, machine control systems brings cost-effectiveness, as well as significant benefits to the various project participants.

Key words: 3D-machine control, work machine automation, information model-based construction

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	9
1.1	Työn tausta.....	9
1.2	Työn tavoitteet	9
1.3	Tutkimusmenetelmät	10
2	KEHITTÄMISTEHTÄVÄN TAUSTAA	11
2.1	Keski-Suomen Kuljetus Oy	11
2.2	Keski-Suomen ELY-keskus.....	12
3	3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT TEORIASSA.....	14
3.1	Yleistä	14
3.2	Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus	15
3.3	Takymetripaikannukseen perustuva koneohjaus	16
3.4	3D-koneohjausjärjestelmällä saavutettavat hyödyt.....	17
3.5	Merkittävimmät laitevalmistajat ja vaihtoehdot	17
4	LAAJAVUOREN KEVYTVÄYLÄ, KU, JYVÄSKYLÄ.....	20
4.1	Pilottihankkeen tausta ja esittely.....	20
4.2	Suunnittelu	21
4.3	3D-koneohjauslaitteiston valinta ja esittely	22
4.4	Toteutus	24
4.4.1	Aikataulu ja resurssit.....	24
4.4.2	Työvaiheet.....	24
4.4.3	Erikoisrakenteet.....	25
4.4.4	Toteutusvaiheen havainnot	28
4.5	InfraKit –ohjelmisto.....	29
4.6	Työmaakäynnit ja haastattelut	30
4.6.1	Haastattelumenetelmät	30
4.6.2	Konekuskin yhteenvedo.....	31
4.6.3	Työnjohdon yhteenvedo.....	31
4.6.4	Tilaajan yhteenvedo	32
5	VERTAILULASKELMAT.....	34
5.1	Taustaa	34
5.2	Aikataululliset laskelmat työvaiheittain.....	36
5.3	Massalaskelmat	37
5.4	Mittauskustannukset	38
5.5	Yhteenvedo	40
5.5.1	Aikataulu	40
5.5.2	Työtarkkuus	41

5.5.3 Mittauskustannukset.....	41
6 KEHITTÄMISTEHTÄVÄN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	42
6.1 Koneautomaation havaitut hyödyt	42
6.2 Koneautomaation haasteet	42
6.3 Johtopäätökset.....	43
6.4 Tulosten luotettavuus ja pätevyys	44
7 KEHITTÄMINEN JA TULEVAISUUS.....	46
LÄHTEET.....	47
LIITTEET	49
Liite 1. Laajavuoren hankkeen määräluettelo	49
Liite 2. Laajavuoren hankkeen yleisaikataulu	53
Liite 3. Kannonkosken hankkeen määräluettelo	54
Liite 4. Kannonkosken hankkeen yleisaikataulu	57

LYHENTEET JA TERMIT

3D-koneohjaus	Työkoneeseen asennettava järjestelmä, joka paikannustekniikoita hyväksikäyttäen näyttää työkoneen sijainnin kolmiulotteisessa koordinaatistossa.
Anturi	Mittalaitteen osa, joka reagoi ympäristön kanssa.
Avoin haastattelu	Keskustelun omainen tilanne, jossa haastattelun kulku ohjautuu tilanteen mukaisesti aiheeseen liittyen.
CAD	Computer Aided Design tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelutyötä.
CE-merkki	Osoittaa, että tuote täyttää EU-direktiivien täyttämät vaatimukset.
Galileo	Eurooppalainen, kehitteillä oleva satelliittipaikannusjärjestelmä.
GLONASS	Venäläisten kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System tarkoittaa kaikkien satelliittijärjestelmien muodostamaa kokonaisuutta.
GPS	Global Positioning System on yhdysvaltalainen satelliittijärjestelmä.
Koneohjaus	Infra-hankkeissa käytettävä koneohjausmalliin ja paikannukseen perustuva koneautomaatio.
Koneohjausmalli	Työkoneen ohjausjärjestelmään ladattava digitaalinen 3D-pintamalli.

KTK	Kuorma-autojen Tilauskeskus.
Kvalitatiivinen tutkimus	Laadullinen tutkimusmenetelmä, jossa pyritään ymmärtämään kohteen laatua, ominaisuuksia ja merkityksiä kokonaisvaltaisesti.
Prisma	Takymetripaikannuksessa käytettävä optinen laite.
RALA	Rakentamisen Laatu ry.
Signaali	On tietoa välittävä ilmiö tai merkki, jolla välitetään tieto lähettäjältä vastaanottajalle.
Reliaabelius	Tutkimuksen luotettavuuden arviointi.
RTK	Real-Time Kinematic eli reaaliaikainen kinemaattinen mitaus, joka tarvitsee vähintään kaksi vastaanotinta. Yksi toimii liikkuvana ja toinen toimii tukiasemana, ja lähettää differentiaalikorjausdataa, kun se sijaitsee ennestään tunnetussa sijainnissa.
Takymetri	Maanmittauksessa käytettävä elektro-optinen mittalaite
Tarkemittaus	Valmiiksi saatetun työn toteutuman mittaus, joka suoritetaan joko takymetrillä tai satelliittipaikannuksella. Mitatut pisteet ovat nimeltään tarkepisteitä
Teemahaastattelu	Keskustelutyypinen haastattelumuoto, jossa haastattelu etenee ennalta mietittyjen teemojen mukaisesti.
Tietomallipohjainen rakentaminen	Rakentamisen kokonaisvaltainen prosessi, joka toteutetaan digitaalista mallia hyödyntäen.

Toteutumapiste	Koneohjauksen avulla otettu mittapiste toteutuneesta työsuo- ritteesta.
Tukiasema	Mittausasema, joka lähettää koneohjausyksikölle korjaussig- naalia tarkemman tuloksen saavuttamiseksi.
Validius	Tutkimuksen pätevyyden arviointi.
Ylisyvä	Liian syväälle kaivamista suunnitellusta leikkaustasosta.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Mittaustyöt ovat elintärkeä tekijä kaiken kokoisten rakennushankkeiden onnistuneeseen läpivientiin. Infra-alan alati tiukentuvassa markkinatilanteessa on lähdetty kehittämään rakentamismittauksiin liittyviä vaihtoehtoisia ratkaisuja työtehon, kustannusten ja laadullisten tekijöiden parantamiseksi. Viimeisen kymmenen vuoden aikana mittaustekniikat ja laitteistot ovat kehittyneet huimasti, mikä on tuonut työkoneohjauksen ja koneautomaation osaksi nykypäivän rakentamista.

Perinteisen maastoon merkitsemisen sijaan on yleistä, että työkoneisiin asennetaan nykyään koneohjausjärjestelmät, jotka mahdollistavat suunnittelijan luoman digitaalisen mallin tuonnin suoraan työkoneen ohjausjärjestelmään. Tällöin koneen kuljettaja pystyy seuraamaan sijainti-, kallistus- ja korkotietoja suoraan työkoneen hyttiin asennettavalta näyttöltä reaaliaikaisesti.

Kehittämistehtäväni toimeksiantaja ja nykyinen työnantajani, Keski-Suomen Kuljetus Oy, on valtakunnallinen toimija kuljetuksien, kiviaineskaupan ja maarakennusurakoinnin sektoreilla. Yhdessä työnantajani kanssa haluamme kehittää maarakennusurakoinnin sektoria tämän päivän vaatimuksia vastaavaksi. Kehittämisen taustavaikuttajana ja suurena yhteistyötahona toimii Keski-Suomen ELY-keskus, joka on tällä hetkellä urakointisektorin suurin ja merkittävin asiakas.

1.2 Työn tavoitteet

Koneohjauksen toimivuutta ja haasteita kartoitetaan yhteisen pilottihankkeen kautta, jossa urakoitsija investoi tarvittaviin kaivukoneen koneohjausjärjestelmiin. Yhdessä tilaajan kanssa havainnoidaan kokemusperäisesti laitteiden toimivuutta. Lisäksi tilaaja hankkii pilottiprojektiin käyttöönsä InfraKit Oy:n lanseeraaman ohjelmiston tietomallipohjaiseen rakentamiseen.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on testata kaivukoneen 3D-koneohjausjärjestelmää käytännön pilottihankkeessa ja kerätä tietoa sekä kokemuksia järjestelmän käytöstä, haas-

teista ja kustannustehokkuudesta. Tietoa kerätään omien havaintojen, kokemusten, työmaakäyntien sekä haastattelujen avulla koko pilottihankkeen keston ajan aina laskennasta luovutukseen. Tilaajan hankkimaa InfraKit-ohjelmistoa testataan ja havainnoidaan sen käytännön toimivuus ja mahdollisuudet uusissa hankkeissa. Lisäksi suoritetaan vertailulaskelmia kustannusten, ajan ja massamäärien suhteen vuonna 2013 toteutuneeseen, luonteeltaan hyvin samankaltaiseen hankkeeseen, joka toteutettiin ilman koneohjausta.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työssä käytetään kvalitatiivista tutkimusmenetelmää, jossa aineistoa hankitaan laadullisin menetelmin haastatteleamalla tutkimuksen kannalta oleellisia avainhenkilöitä. Tilaajan projektipäällikkö, urakoitsijan työnjohtaja sekä työkoneen kuljettaja ovat tässä tutkimuksessa haastateltavina, koska he ovat päivittäin tekemisissä koneohjausjärjestelmien kanssa. Haastattelumenetelmänä käytetään teemahaastattelua sekä avointa haastattelua. Tarkoitus on tehdä haastatteluja avainhenkilöille projektin aloitus-, toteutus- ja luovutusvaiheessa. Haastatteluiden aikana tehdään kirjalliset muistiinpanot, jotka jäsennellään selkeäksi yhteenvedoksi tämän työn tuloksiin.

Vertailulaskelmat kahden toteutetun hankkeen osalta laaditaan taulukkomuotoon. Taulukoissa vertaillaan toteutuneita aikatauluja, massamääriä, työsaavutuksia sekä mittauskustannuksia keskenään. Näiden tietojen ja tulosten perusteella laaditaan työn johtopäätökset.

Pilottihankkeen aikana kerätyt tiedot, tulokset ja laskelmat analysoidaan ja raportoidaan tässä opinnäytetyössä, jotta sekä tilaaja että urakoitsija voisivat tulevaisuudessa kehittää vastaavanlaisten projektien läpivientiä entistä tehokkaammaksi ja toimivammaksi.

2 KEHITTÄMISTEHTÄVÄN TAUSTAA

2.1 Keski-Suomen Kuljetus Oy

Keski-Suomen Kuljetus Oy on vuonna 1962 perustettu, perinteinen KTK-tyyppinen osakasautoilijoiden omistama yritys, jonka toiminnan perusta luodaan erilaisilla kuljetuspalveluilla, kiviainesten jalostamisella ja myynnillä, maa-ainesalueiden hallinnalla sekä maarakennusurakoinnilla. Yritys, yhdessä 2012 perustetun tytäryhtiönsä KSK Logistiikka & Infra Oy:n kanssa, tarjoaa palveluitaan koko Suomessa.

Emoyhtiö Keski-Suomen Kuljetus Oy:n ydintoiminta keskittyy kuitenkin keskiseen Suomeen Muuramessa sijaitsevan pääkonttorin sekä neljän eri aluetoimiston avulla. Aluetoimistot sijaitsevat Jämsässä, Jyväskylässä, Saarijärvellä ja Viitasaarella. KSK Logistiikka & Infra Oy:n toiminta kattaa Etelä-Suomen, toimiston sijaitessa Lohjalla.

Konsernin ensisijaisena tehtävänä on tuottaa erilaisia palvelukokonaisuuksia valtiolle, kaupungeille, kunnille, yrityksille sekä yksityisille ihmisille. Keski-Suomen Kuljetus Oy pyrkii näihin tavoitteisiin yhdistämällä osakasyrittäjien voimavarat yhteisen ohjauksen alaiseksi, hankkimalla maa-ainesottopaikkoja ja ylläpitämällä riittävää osakasyrittäjäkuntaa, käyttämällä ammattitaitoista henkilökuntaa ja yhteistyökumppaneita sekä edistämällä jatkuvaa oppimista.

Yrityksen toiminnan ja laadullisen vastuun takeena on oma ISO 9001:2008 –sertifikaatilla varustettu toiminnanohjausjärjestelmä sekä RALA:n myöntämä pätevyys. Keski-Suomen Kuljetus Oy:llä on myös oikeus merkitä raidesepele-, asfaltti- ja sitomattomat jakavat ja kantavat kiviainekset CE-merkillä SFS-EN standardien mukaan ja betonin kiviainekset FI-sertifikaatilla. (Keski-Suomen Kuljetus Oy, 2014).

Yritys työllistää kausivaihteluista riippuen noin 20 toimihenkilöä. Konsernin liikevaihto viime tilikaudella oli 25 milj. euroa, joka jakautui siten, että rahti- ja kuljetuspalveluiden osuus kokonaisliikevaihdosta oli noin 50 %, maa-ainesalueiden hallinnan ja kiviainemyynnin 30 % ja maarakennusurakoinnin 20 %.

Maarakennusurakoinnin osuus kokonaisliikevaihdosta on melko pieni, mutta se muodostaa kokonaisuutena yrityksen kivijalan. Urakointi mahdollistaa yrityksen koko toiminnan yhteensovittamisen siten, että omien kiviainesalueiden materiaaleja pystytään hyödyntämään omissa projektikohteissa omien osakasyrittäjien kuljetus- ja konekalustoa hyödyntäen. Tämä takaa kokonaisvaltaisen hyödyn yrityksen liiketoimintaan.

”Maarakennusurakointi liiketoimintana on ollut kasvuhakuista viime vuosina. Eri hankkeita Keski-Suomen alueella on tyypillisesti käynnissä yhtäaikaaisesti 5-10 kappaletta vuosittain. Tästä johtuen urakointiin liittyviä toimintoja on haluttu lähteä kehittämään uusimman teknologian ja erityisesti koneohjauksen avulla, jotta tuottavuutta ja kustannustehokkuutta saataisiin parannettua. Lisäksi tilaaja- ja rakennuttajatahojen kiristyneisiin laadullisiin ja toiminnallisiin vaatimuksiin halutaan pystyä vastaamaan ensimmäisten joukossa kiristyvillä markkinoilla, jotta yrityksen kilpailukyky turvataan tulevaisuudessakin.” (Kempainen, 2014).

2.2 Keski-Suomen ELY-keskus

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset hoitavat valtionhallinnon alueellisia toimeenpano- ja kehittämistehtäviä Suomessa, sekä kehittävät ja tukevat taloudellista, sosiaalista ja ekologisesti kestävästä hyvinvointia. ELY-keskus on merkittävä alueiden kehittäjä ja EU-rahoituksen myöntäjä. Yhteistyö on tiivistä maakunnan liittojen ja muiden tahojen kanssa. ELY-keskus ohjaa työ- ja elinkeinotoimistoja. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus).

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset perustettiin vuonna 2010. Ne korvasivat aiemmat työ- ja elinkeinokeskukset, Tiehallinnon tiepiirit, alueelliset ympäristökeskukset ja niihin siirrettiin eräitä lääninhallitusten koulutus- ja liikennelupatehtäviä. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus).

ELY-keskuksen tehtävät:

- Yritysten rahoitus- ja kehittämispalvelut, työllisyysperusteiset tuet ja työvoimakoulutus, maatala- ja kalatalousasiat, maahanmuuttoasiat ja EU:n rakennerahastohankkeet
- Keksintöjen valtakunnalliset kehittämis- ja edistämispalvelut

- Ammatillinen koulutus, osaaminen ja luova talous
- Maanteiden kunnossapito, tiehankkeet, liikenteen lupa-asiat, liikenneturvallisuus, joukkoliikenne ja saaristoliikenne
- Ympäristönsuojelu, alueiden käytön ja rakentamisen ohjaus, luonnonsuojelu, ympäristön tilan seuranta, vesivarojen käyttö ja hoito
- Siviilipalveluksen toimeenpano työ- ja elinkeinoministeriön ohjeiden ja siviilipalveluslain mukaisesti
(Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus).

ELY-keskuksia on 15, joissa yhdeksässä on kaikki kolme vastuualuetta, neljässä kaksi ja kahdessa yksi vastuualue.

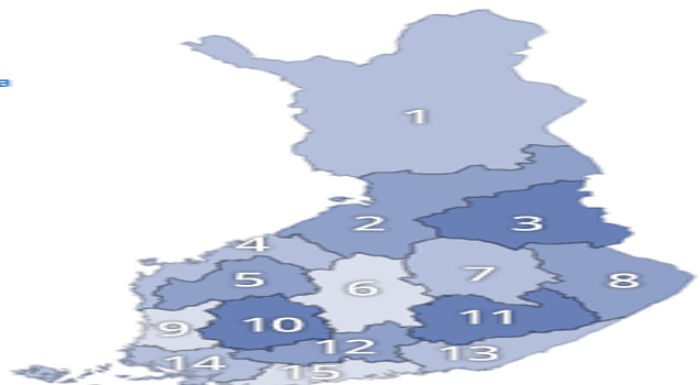
Vastuualueet ovat:

- elinkeinot, työvoima ja osaaminen (työ- ja elinkeinoministeriö)
 - liikenne ja infrastruktuuri (liikenne- ja viestintäministeriö)
 - ympäristö ja luonnonvara (ympäristöministeriö)
- (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus).

Keski-Suomen ELY-keskus haluaa olla mukana kehittämässä uusia ja nykyaikaisia toimintamalleja tulevaisuuden infrahankkeiden läpiviemiseksi yhdessä projektin eri tahojen kanssa. Tästä johtuen haluttiin toteuttaa yhdessä urakoitsijan kanssa pilottityyppinen työmaa Jyväskylässä, jotta työkoneohjaukseen liittyvät hyödyt ja haasteet saataisiin selville. Lähitulevaisuudessa ELY-keskusten urakoiden kilpailuttamisprosessissa ja tarjouspyynnöissä tulee olemaan tietynlaiset vaatimukset koneohjausjärjestelmien käytöstä. Lisäksi Jyväskylän pilottikohteessa testataan InfraKit Oy:n tarjoamaa tietomallipohjaisen rakentamisen palvelua, johon urakoitsijan koneohjausjärjestelmillä tehdyt toteutumamittaukset tallentuvat reaaliaikaisesti. (Jaatinen, 2014)

Valitse alue

- 1 Lappi
 - 2 Pohjois-Pohjanmaa
 - 3 Kainuu
 - 4 Pohjanmaa
 - 5 Etelä-Pohjanmaa
 - 6 Keski-Suomi
 - 7 Pohjois-Savo
 - 8 Pohjois-Karjala
 - 9 Satakunta
 - 10 Pirkanmaa
 - 11 Etelä-Savo
 - 12 Häme
 - 13 Kaakkois-Suomi
 - 14 Varsinais-Suomi
 - 15 Uusimaa
- > Koko Suomi



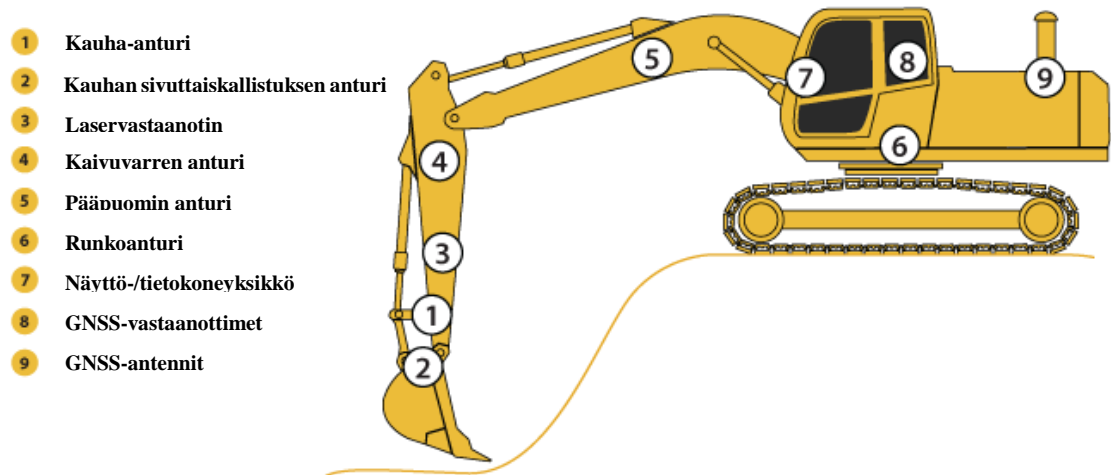
KUVA 1. ELY-keskukset Suomessa. (Kuva: ELY-keskus).

3 3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT TEORIASSA

3.1 Yleistä

3D-koneohjausjärjestelmä tarkoittaa sitä, että suunnittelijan tietokoneella tekemä 3D-malli ladataan työkoneeseen asennettuun tietokoneeseen. Anturit, jotka työkoneeseen ovat asennettu, seuraavat reaaliaikaisesti koneen liikkeitä ja vertaavat niitä suunnittelijan tekemään malliin. Tätä prosessia työkoneen kuljettaja voi seurata koneeseen asennetulta näytöltä ajantasaisesti työn edetessä. Järjestelmä mahdollistaa haasteellistenkin pintojen muotoilun koneella siten, että ne tulevat kerralla oikein.

3D-koneohjauksen käyttö edellyttää jatkuvaa reaaliaikaista paikkatietoa koneen sijainnista. Paikkatietoa tuotetaan satelliittipaikannuksen avulla tai jatkuvalla takymetriseurannalla. Koneohjausjärjestelmän mittaustarkkuus riippuu paikkatiedon oikeellisuudesta. Eri paikannustekniikoiden välillä on eroja tarkkuudessa ja käytettävyydessä. (Nieminen 2011, 11).



KUVA 2. Periaatekuva koneohjausjärjestelmän komponenteista (Kuva: Novatron Oy).

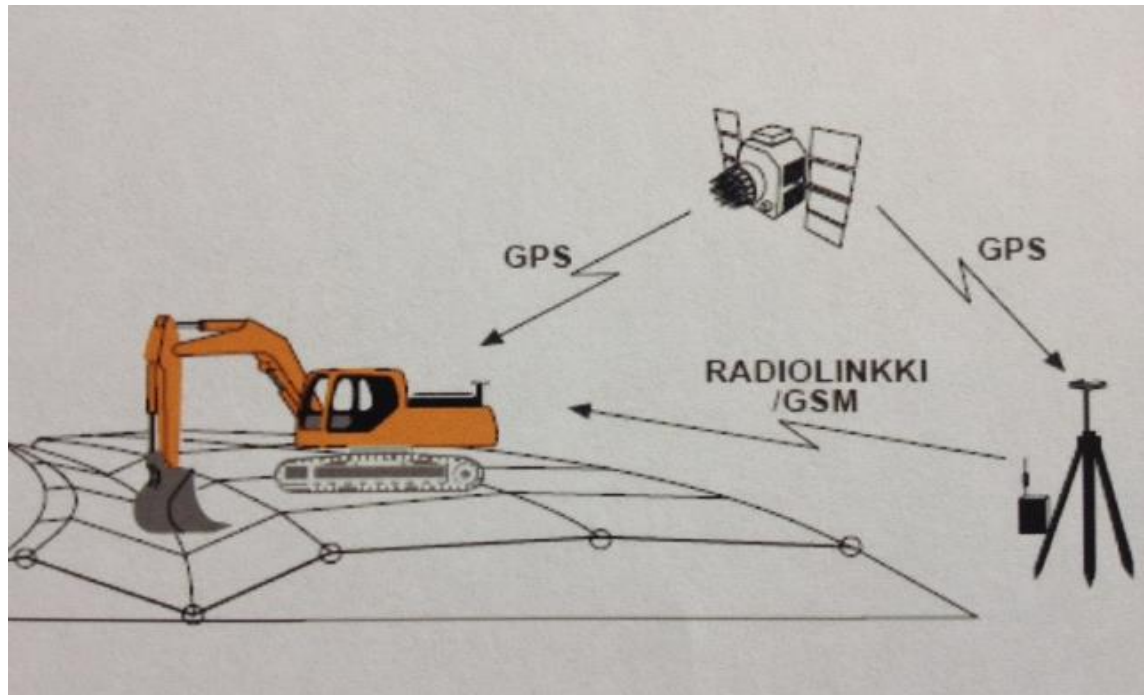


KUVA 3. Näkymä koneohjausjärjestelmän näytöltä (Kuva: www.koneporssi.fi)

3.2 Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus

Työkoneen sijaintitietoa kerätään satelliittien avulla. Olemassa olevia satelliittipaikannusjärjestelmiä on kolme; GPS, GLONAS ja Galileo. Kokonaisuutena näitä kolmea järjestelmää kutsutaan GNSS-järjestelmäksi. Koneeseen kiinnitetty satelliittivastaanotin eli kartoitusyksikkö määrittää sijaintiaan maapallolla. Koneohjausjärjestelmät yhdistävät kartoitusyksikön tuottaman paikkatiedon ja antureiden tuottamat tiedot koneen puomin asennosta ja pystyvät siten määrittämään koordinaatit kauhan sijainnille. (Nieminen 2011, 16).

Paikannussatelliitit kiertävät maata n. 21 000 km korkeudessa. Signaalin kulkumatka on pitkä ja näin ollen altis erinäisille häiriötekijöille. Nämä tekijät vähentävät mittauksien tarkkuutta. Tukiasemaa apuna käyttäen virheet voidaan minimoida tänä päivänä erittäin tehokkaasti. Yksi vastaanotin (tukiasema) sijoitetaan tunnetulle pisteelle, jolla havaitaan tunnettujen ja havaittujen koordinaattien välistä eroa. Korjausdata tukiasemalta kartoitusyksikköön voidaan lähettää radio- tai GSM –modeemia apuna käyttäen. Tällaista tarkkaa GPS –mittausta kutsutaan nimellä RTK–mittaaminen. (Topgeo: Perinteisistä koneohjausjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin, 2014).



KUVA 4. RTK-GPS-mittauksen periaate (Kuva: Novatron Oy).

3.3 Takymetripaikannukseen perustuva koneohjaus

Takymetri on maanmittauksessa käytettävä mittalaite, jolla mitataan säteittäisesti eli polaaraisesti pisteiden sijainteja kojeeseen nähden. Laite toimii säteittäisessä koordinaatistossa, mutta erilaisten ohjelmien avulla mittaustiedosta saadaan laskettua pisteille sijainnit suorakulmaisissa koordinaatistoissa. (Takymetri 2014).

Takymetripaikannukseen perustuvassa koneohjauksessa koneohjattuihin työkoneisiin on kiinnitetty aktiiviprisma, joka paikantaa työkoneen takymetristä. Sen jälkeen koneohjausyksikkö sijoittaa koneen käytettävään koordinaatistoon ja työkoneesta valitun koneohjausmallin päälle. Takymetriohjaus on yleisesti käytössä tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä korkean tarkkuutensa vuoksi. Tiehöylät olivat ensimmäisiä työkoneita, joille koneohjausta on alettu kehittämään. Samaa takymetriä käyttäen voidaan myös tarkemitata tiehöylän tai asfaltinlevittimen tekemä rakenne. (Määttänen 2014, 33-34).

3.4 3D-koneohjausjärjestelmällä saavutettavat hyödyt

3D-koneohjauksen käytöllä on havaittu olevan monenlaisia hyötyjä projektin eri vaiheissa. Saavutettavia hyötyjä ovat:

- mittakepitön työmaa
- suunnitelmätietojen lukeminen suoraan koneohjausnäytöltä
- työn tehostuminen, joka saa aikaan säästöjä aikataulussa, polttoainekustannuksissa, mittauskustannuksissa
- työn tarkkuus paranee saaden aikaan säästöjä massataloudessa
- työturvallisuuden parantuminen, koska työkoneen läheisyydessä ei tarvitse mittatai apumiehiä
- laadulliset hyödyt, kuten toteutumatiетоjen mittaaminen työkoneella (Piiroinen 2012, 17).

Lisäksi työskentely normaalista poikkeavissa olosuhteissa, kuten yöllä, veden alla tai sumussa, helpottuu huomattavasti. (Nurminen 2012, s. 89).

Yllä mainittuja hyötyjä ja niiden havaitsemista käytännössä, tutkitaan pilottikohteen toteutuksen yhteydessä.

3.5 Merkittävimmät laitevalmistajat ja vaihtoehdot

Koneohjausjärjestelmien yleistymisen nykypäivän maarakentamisessa on saanut aikaan sen, että markkinoille on tullut runsas valikoima eri vaihtoehtoja lukuisilta eri laitevalmistajilta. Jokaisen järjestelmätoimittajan tuotteet pohjautuvat kuitenkin samoihin paikannustekniikoihin, joten suurimmat erot eri laitteistojen välillä ovat niiden käytettävyydessä. Jokainen valmistaja pyrkii tyydyttämään asiakkaan vaatimukset ja tarpeet yksilöllisesti räätälöidyillä ratkaisuilla. Lisäksi kaikilta laitevalmistajilta löytyy oma maksullinen verkko ns. virtuaalitukiasemiin, joilla pystytään korvaamaan RTK-GPS-mittauksen vaatima työmaan kiinteä tukiasema.

Trimblen luoma Trimnet on valtakunnallinen tukiasemaverkko, joka koostuu yli sadasta GNSS-tukiasemasta Suomessa sekä Vantaalla sijaitsevasta laskentakeskuksesta (Kuva

5). Trimnetillä saadaan tasalaatuiset ja tarkat mittaustulokset kaikissa koordinaattijärjestelmissä. Lisäksi se on avoin kaikille laitemerkeille ja mobiilitiedonsiirtotekniikoille. (Geotrim Oy 2014).



KUVA 5. Havainnekuva Trimnet-tukiasemaverkosta (Kuva: Geotrim Oy).

Scanlaser Oy toimii maahantuojana sveitsiläisen Leican tarjoamille mittalaitteille. Leican PowerDigger 3D on nimenomaan kaivukoneeseen asennettava GNSS-paikannukseen perustuva 3D-koneohjausjärjestelmä, joka toimii suoraan CAD-pohjaisen suunnitteluaineiston pohjalta. (Scanlaser Oy 2014).

Suomalainen Novatron Oy:n tuotevalikoimassa on kaksi kaivukoneeseen asennettavaa koneohjausjärjestelmää, jotka tukeutuvat GNSS-paikannustekniikkaan. Xsite LINK tarjoaa edullisempaa ja ominaisuuksiltaan kevyempää mallia pienempiin kohteisiin, kun taas Xsite PRO on kehitetty vaativiin, suuriin maarakennuskohteisiin. (Novatron Oy 2014).

Topgeo Oy tuo maahan japanilaisen Topconin mittalaitteita. Topcon tarjoaa kaivukoneisiin mittaustarkkuudeltaan vaatimattomampaa perinteistä GPS-järjestelmää sekä mitta-tarkempaa Topcon GPS+ -järjestelmää. Jälkimmäinen hyödyntää GNSS-paikannustekniikkaa sekä tarjoaa tuen RTK-mittaukselle. Lisäksi Topcon Millimeter GPS tarjoaa millimetritason tarkkuuden yhdistäen GPS- ja laser-järjestelmän menetelmät. (Topgeo Oy 2014).

Geotrim Oy tarjoaa Suomessa globaalin laitevalmistaja Trimblen tuotteita. Trimblen laajan tuotevalikoiman laitteet perustuvat GNSS-paikannustekniikkaan. Kaivukoneisiin tarjottava GCS900 on Trimblen kehittynein malli. (Geotrim Oy 2014).

Englantilainen Prolec tarjoaa laajan valikoiman koneohjauslaitteita eri maarakennuskoneille. Kaivukoneeseen soveltuvat järjestelmät ovat DigMaster Pro ja pcX Pro –järjestelmät. (Prolec Ltd 2014).

Norjalainen DigPilot tarjoaa DigPilot 3D-järjestelmää kaivukoneille. Järjestelmä hyödyntää GNSS-paikannustekniikkaa. Järjestelmän etuna on kaivukoneeseen tulevien anturien helppo ja nopea asennettavuus. Asennuksen pystyy suorittamaan itse järjestelmän mukana tulevien ohjeiden avulla. (GeoPower Ky 2014).

Langaton tiedonsiirto-ominaisuus on tyypillinen kaikille nykyisille laitteistoille. Langaton järjestelmä mahdollistaa esimerkiksi muutossuunnitelmien lähettämisen työkonen järjestelmään verkkoyhteyttä apuna käyttäen. Lisäksi langaton järjestelmä mahdollistaa laitteiden etätuen järjestämisen, työn toteutumatietojen jakamisen eri tahoille ajantasaisesti, reaaliaikaisen työnseurannan mobiililaitteella, sekä mm. pikaviestin lähettämisen suoraan työkonelle.



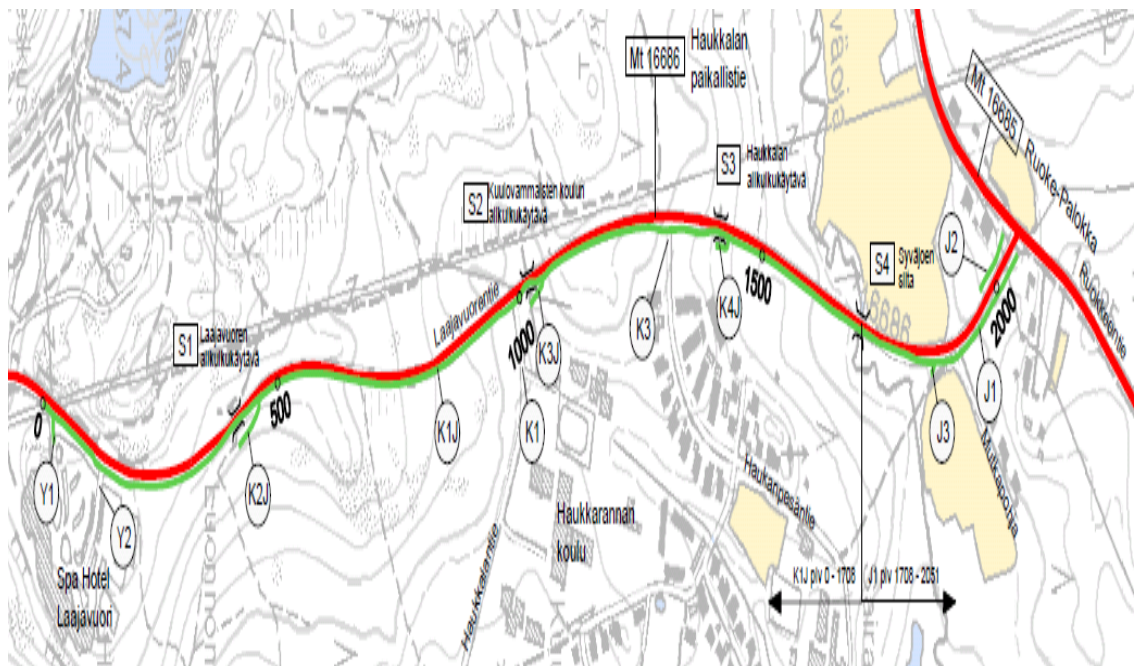
KUVA 6. Langaton tiedonsiirto (Kuva: Novatron Oy).

4 LAAJAVUOREN KEVYTVÄYLÄ, KU, JYVÄSKYLÄ

4.1 Pilottihankkeen tausta ja esittely

Keski-Suomen ELY-keskus kilpailutti keväällä 2014 Laajavuoren kevytväylä –hankkeen osana Maantien 16686 parantamista. Hanke kilpailutettiin kokonaisurakkana ja määräaikaan 14.5.2014 mennessä saapui viisi hyväksyttyä tarjousta. Urakoitsijaksi valittiin halvimman tarjouksen jättänyt Keski-Suomen Kuljetus Oy, urakkahintaan 807 580,00 € alv. 0 %.

Kokonaisurakkaan kuului 2 km mittaisen kevyen liikenteen väylän rakentaminen Jyväskylään välillä Spa Hotel Laajavuori – Mutkapohja, sekä siihen liittyvät lyhyet alikulkujen kevyenliikenteen yhteydet. Lisäksi hankkeeseen kuului Laajavuorentien alittavien kolmen teräksisen putkisillan jatkaminen erillisten siltasuunnitelmien mukaisesti sekä suunnitelmissa esitetyt kuivatusjärjestelyt.



KUVA 7. Kohteen yleiskartta (Kuva: Urakkaohjelma 22.4.2014).

Rakennuttajana, suunnitteluttajana ja tilaajan edustajana hankkeessa toimi ELY-keskuksen projektipäällikkö Janne Jaatinen. Hankkeen suunnittelusta vastasi A-insinöörit Suun-

nittelu Oy, jonka suunnitelma-aineisto ei sisältänyt hankkeen digitaalista 3D-koneohjausmallia. Malli jouduttiin laadittamaan erikseen ennen hankkeen rakentamisvaiheen käynnistämistä.

Olin itse jo laskentavaiheessa hankkeessa mukana, joten oli luontevaa, että minut valittiin hankkeeseen urakoitsijan edustajaksi työpäällikön roolissa. Työmaapäälliköksi ja kohteen vastuuhenkilöksi valittiin organisaatiomme sisältä kokenut rakennusmestari Jari Nii-ranen. Kummallakaan meistä ei ollut suurempaa kokemusta koneohjausjärjestelmistä ennen hankkeeseen ryhtymistä.

Heti projektin alkuvaiheessa tilaajan edustaja toi ilmi toiveen koneohjauksen hyödyntämisestä projektissa. Urakoitsijan edustajana halusin tarttua mahdollisuuteen, koska olimme etsineet sopivaa työmaata, johon voisimme investoida laitteiston.

Kohteen laajuus käy ilmi oheisesta taulukosta (Taulukko 1), johon on poimittu päänimikkeet hankkeen määräluettelosta (Liite 1).

TAULUKKO 1. Kohteen suoritemääriä (A-insinöörit Suunnittelu Oy)

<u>Rakennusosa:</u>	<u>Yksikkö:</u>	<u>Määrä:</u>
Pintamaiden poisto	m ² tr	17 740
Maaleikkaus + siltakaivannot	m ³ ktr	9 319
Kallionlouhinta	m ²	1090
Jakava / Kantava kerros + siltojen ympärystäytöt	m ³ rtr	12 650
Päällysteet	m ² tr	9 235

4.2 Suunnittelu

Rakennuttaja ei ollut kohteen suunnittelua kilpailuttaessaan tilannut erikseen mallipohjaista suunnittelua. Hanke päätettiin kuitenkin toteuttaa koneohjausta hyödyntäen, joten urakoitsijan hyvä yhteistyötaho Keski-Suomen Mittauspalvelu Oy laati mallipohjaiset suunnitelmat. Koneohjausmallin suunnitteluun jouduttiin siis urakoitsijan toimesta investoimaan ylimääräiset 1500 €.

4.3 3D-koneohjauslaitteiston valinta ja esittely

Kaivukoneen koneohjauslaitteiston hankinnan suoritimme kilpailuttamalla aikaisemmin mainitut suurimmat laitevalmistajat. Hyvien käyttäjäkokemusten sekä muutaman yhteistyötahon suosituksesta päädyimme valitsemaan Scanlaser Oy:n toimittaman Leica PowerDigger 3D –järjestelmän. Erillistä, kiinteää tukiasemaa ei tähän hankkeeseen erikseen hommattu.



KUVA 8. Leica PowerDigger 3D-järjestelmä asennettuna työmaan kaivukoneeseen (Kuva: Arto Hyvärinen 2014).

Kaivukoneeseen asennettavat anturit, 2D-järjestelmä sekä 3D-järjestelmävalmius maksoivat 9000 € alv. %. Lisäksi hankittiin 3D-järjestelmän käyttöönottoon tarvittavat päivitykset, joten koko järjestelmän yhteishinnaksi tuli n. 30 000 € alv. 0 %. Järjestelmän hankintakustannus oli siis noin 4 % urakan kokonaishinnasta.

Asentamisen yhteydessä annettiin muutaman tunnin mittainen opastus laitteiston käyttöön. Samalla asennettiin hankkeesta tehty tietomalli kaivukoneeseen. Mallin asennus oli vaivatonta, ja työt saatiin käyntiin pintamaiden poiston osalta nopeasti. Laitehankinta sisälsi myös vuoden ilmaisen puhelinneuvonnan ongelmatilanteita varten, josta oli hyötyä useassa tilanteessa.



KUVA 9. Kaivukoneen ohjaamo Laajavuorella (Kuva: Janne Jaatinen 2014).

4.4 Toteutus

4.4.1 Aikataulu ja resurssit

Hankkeen urakka-aika oli määritelty urakkasopimuksessa siten, että työt aloitetaan viimeistään 16.6.2014 ja urakan on oltava kokonaisuudessaan valmis 31.10.2014. Urakassa oli yksi sakollinen välitavoite, jossa Haukkalan ja Haukanpesäntien risteysalueiden tuli olla AB-päällysteitä lukuun ottamatta valmiita 31.7.2014 mennessä. Näiden vaatimusten puitteissa hankkeelle laadittiin yleisaikataulu (Liite 2).

Suhteellisen tiukan aikataulun puitteissa työmaan keskeisimmät resurssit olivat seuraavat:

- Kaivukone KKH 25_t varustettuna Leican PowerDigger 3D –koneohjauksella
- Kaivukone KKH 14_t
- Täryjyvä JTM
- Kuorma-autot, KA tarpeen mukaan
- Rakennusammattimiehet, RAM tarpeen mukaan

Lisäksi erikois- ja taitorakenteiden yhteydessä tarvittavat aliurakoitsijoiden resurssit olivat käytössä.

4.4.2 Työvaiheet

Koneohjauksen toimivuutta seurattiin eri työvaiheissa, joista selkeimpiä olivat pintamaiden poisto, maaleikkaukset, pengerrykset leikkausmassoilla, kuivatusrakenteiden teko, rakennekerrosten vastaanotto sekä luiskaviimeistelyt.

Työt saatiin pintamaiden ja maaleikkausten osalta käyntiin välittömästi, kun kone oli tuotu työmaalle ja tarvittava malli oli saatu vietyä koneohjausjärjestelmään. Oikeastaan lähestulkoon kaikki pintamaiden poistot ja maaleikkaukset saatiin suoritettua ilman ai-noatakaan mittatikkua ja aikatauluun nähden nopeasti.

Väylän alusrakenteita rakennettiin hankkeen sisällä siirreltävillä leikkausmassoilla, joita laskennallisesti oli yhteensä 6343 m³ltr. Tämäkin työ pystyttiin toteuttamaan täysin koneohjauksen avulla ilman mittamiestä. Kaikki leikkausmassat pystyttiin hyödyntämään tehokkaasti hankkeen sisällä, eikä yhtään kuormaa ajettu pois.

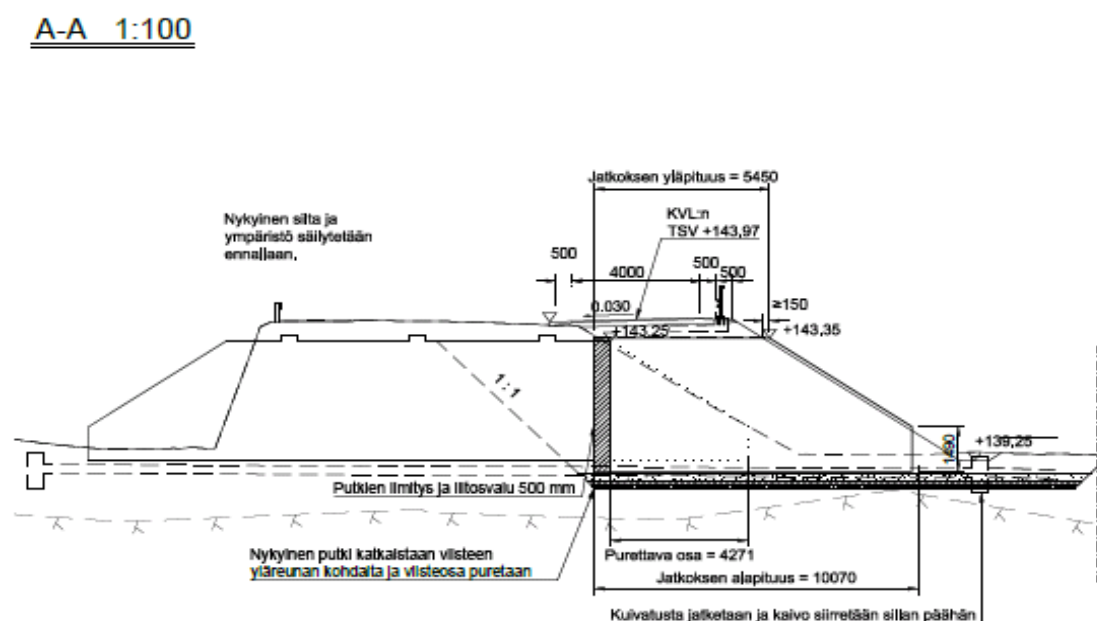
Kuivatusrakenteiden, kuten salaojien, tarkastuskaivojen, hulevesilinjojen sekä hulevesikaivojen asennus onnistui ilman erillisiä mittauksia. Koneohjauksella otettiin linjoista ja kaivojen sijainnista myös tarvittavat toteutumat aina työn edetessä. Lisäksi luiskien teot ja viimeistelyt tehtiin kaikki ilman erillisiä kepityksiä.

Mittaryhmää toki tarvittiin hankkeen eri vaiheissa. Esimerkiksi olemassa olevien kaapeleiden sekä kaukolämpölinjojen sijainti jouduttiin merkkamaan maastoon perinteisin menetelmin, koska sähköistä mittatietoa niiden sijainnista ei ollut. Lisäksi taitorakenteiden, kuten reunatukien, siltarumpujatkosten sekä kaiteiden vaatimien kulmatukimuurien rakentamiseen tarvittiin erillisen mittaryhmän apua.

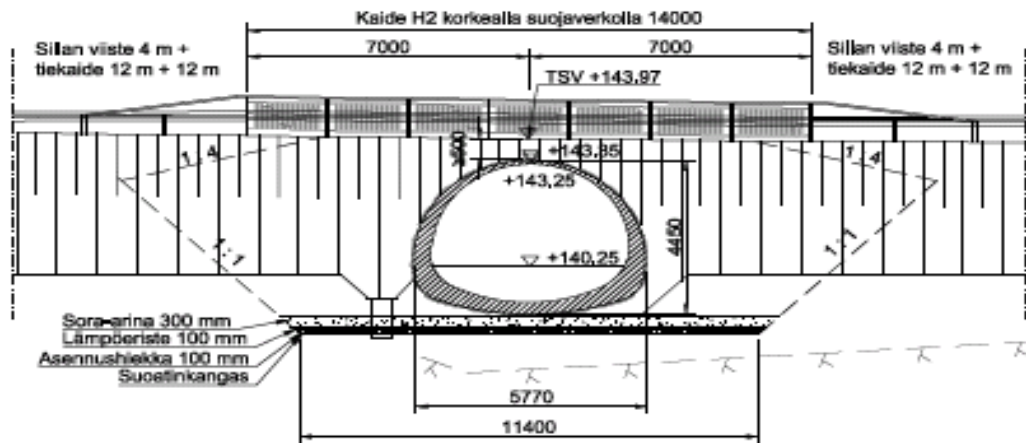
4.4.3 Erikoisrakenteet

Erityishuomiota hankkeen toteutuksessa saivat erityisesti siltarumpujen jatkokset, joita tehtiin yhteensä kolme kappaletta. Ne olivat työteknisesti suhteellisen haastavia ja mittatarkkoja toteuttaa jo pelkästään olemassa olevan liikenteenkin takia. Päädyimme jatkosten toteuttamisen yhteydessä erillisiin kiertotiejärjestelyihin, jotta työskentely olisi turvallisempaa ja lopputulos onnistunut.

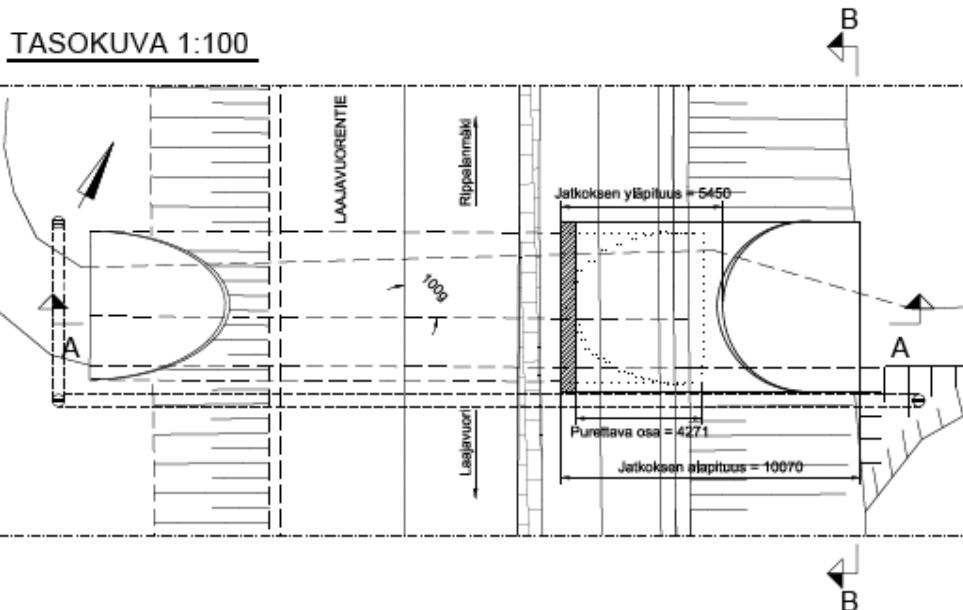
Ohessa on detajji-piirustuksia kohteen siltajatkoksista (Kuvat 10,11 ja 12).



KUVA 10. Laajavuoren alikulun leikkauskuva A-A (A-insinöörit Suunnittelu Oy)

B-B 1:100

KUVA 11. Laajavuoren alikulun leikkauskuva B-B (A-insinöörit Suunnittelu Oy)



KUVA 12. Laajavuoren alikulun tasokuva (A-insinöörit Suunnittelu Oy)

Jatkoksien vaatimat maarakennustyöt toteutettiin pääsääntöisesti koneohjauksen avulla. Rakentaminen sujui todella nopeasti ja vaivattomasti ja hyödyt niin ajallisesti kuin taloudellisestikin olivat pelkästään näiden työvaiheiden osalta suuret.



KUVA 13. S3 Siltajatkoksen pohjien tekoa. (Kuva: Arto Hyvärinen 2014).



KUVA 14. S1 siltajatkoksen ympäristäyttyä. (Kuva: Arto Hyvärinen 2014).

Siltajatkosten tarkemittaukset suoritettiin mittaryhmän toimesta.

4.4.4 Toteutusvaiheen havainnot

Työvaihekohtaisesti tarkasteltuna toteutusvaiheessa havaittiin monia asioita niin urakoitsijan, tilaajan sekä konekuskin toimesta. Ensinnäkin työmaan aloituskustannuksia ei juurikaan ollut, koska yhtään ainoata mittakeppiä ei tarvinnut laittaa ennen töiden aloittamista pystyyn. Konekuski aloitti pintamaiden poiston saavuttuaan työmaalle ja työvaihe toteutui 4 päivää aikaisemmin kuin olimme suunnitelleet ja aikataulutaneet.

Maaleikkaukset ja pengerryksetkin toteutuivat suunnitellun yhdeksän viikon sijaan noin viikon etujassa. Verrattaessa toteutuneita maaleikkausmassamääriä laskennallisiin massamääriin havaittiin, että toteutunut määrä 9110 m³ktd oli hyvin lähellä suunniteltua määrää 9319 m³tr. Ero oli ainoastaan n. 2 % alle suunnitellun määrän. Kuivatusrakenteet valmistuivat yhdessä samanaikaisesti leikkausten ja pengerrysten valmistuessa, mutta huomioitavaa oli, että mittaryhmää ei erikseen tarvittu paikantamaan kaivojen ja putkien sijaintia muutamaa pientä poikkeusta lukuun ottamatta.

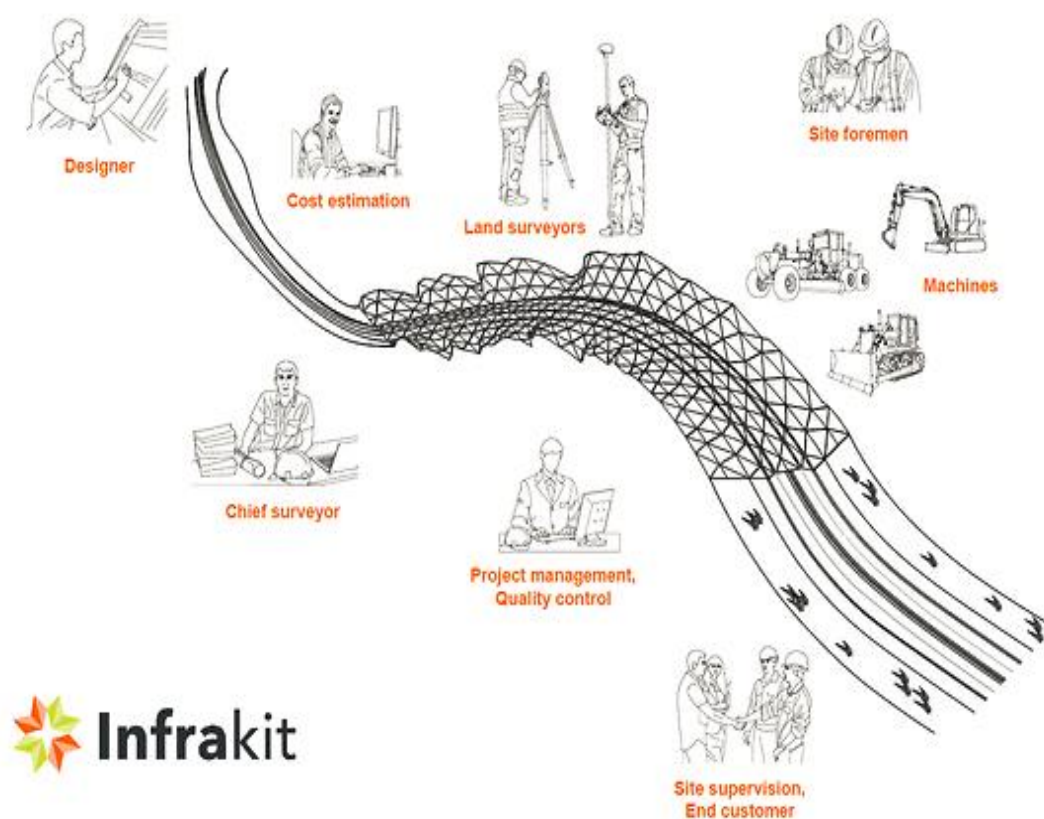
Rakennekerrosten vastaanotto tapahtui koneohjausta hyödyntäen suunnitellussa ajassa. Rakennekerrosmäärien tarkastusmittaus osoitti, että toteutunut määrä 12 406 m³rtd oli suunniteltua määrää 12 650 m³rtr noin 1,9 % pienempi.

Siltajatkosten rakentamisessa ajallinen säästö oli kaikista huomattavin. Jokaisen jatkoksen täysin valmiiksi saattamiseksi oli laskettu kaksi kokonaista työviikkoa. Osittain koneohjauksen ansiosta jatkosten rakentaminen onnistui kukin yhdessä viikossa eli puolet nopeammin, kuin oli suunniteltu. Työtehoon vaikutti oleellisesti myös kiertotiejärjestelyiden rakentaminen lisätyönä, mikä helpotti suuresti jatkosten rakentamista.

Viimeistelytöiden toteutus oli helppoa ja nopeaa koneohjauksen avulla ja työvaihe saatiinkin valmiiksi päivää suunniteltua aiemmin.

4.5 InfraKit –ohjelmisto

Infrakit tarjoaa tietomallipohjaiseen rakentamiseen käytännöllisen ratkaisun. Infrahankkeiden tietomallipohjaisella rakentamisella saadaan säästöjä energian, ajan ja rahan suhteen. Infrakitin avulla tietomallien hallinta suunnittelun, toteutuksen ja valvonnan suhteen helpottuu. Ohjelmisto on avoin, laite- ja ohjelmistovalmistajista riippumaton ratkaisu. (Infrakit Oy esite, 2014)



KUVA 15. Havainnekuva Infrakit –palvelusta. (Kuva: InfraKit Oy).

Infrakit –ohjelmistoa testattiin Laajavuoren hankkeessa ainoastaan toteutusvaiheessa. Tilaaja oli ottanut ohjelmiston testikäyttöön ja halusi testata sen toimivuutta käytännössä. Tämä tarkoitti sitä, että kaivukoneen koneohjauksella ottamat toteutumapisteet eri rakenteista tallentuivat reaaliajassa Infrakit:iin. Sieltä tilaaja pystyi havainnoimaan työmaatilannetta reaaliaikaisesti. Lisäksi työmaakokousten yhteydessä pystyttiin toteutumatietoja tarkastelemaan Infrakit:in kautta ja puuttumaan mahdollisiin laadullisiin poikkeamiin.

Infrakit –ohjelmistoa kehitetään jatkuvasti ja yksi urakoitsijan ja tilaajan kannalta merkittävimmistä tulevista uusista ominaisuuksista on määrälaskentaominaisuus. Urakka, joka

toteutetaan yksikköhintaperusteisesti, vaatii toteutumamittauksia päivittäin. Koneohjauksen avulla tallennettavat toteutumätiedot päivittyvät Infrakit –ohjelmistoon ja ohjelman avulla pystytään todentamaan tehtyjä työsuoritteita puolueettomasti. Tämä helpottaa määrämittauksia huomattavasti, sekä nopeuttaa laskutusta. Lukemattomia muitakin uusia ominaisuuksia on kehitteillä mm. aikataulun hallinnan suhteen. (Infrakit-koulutus, 2014).

4.6 Työmaakäynnit ja haastattelut

4.6.1 Haastattelumenetelmät

Kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa tärkeässä osassa ovat haastattelut. Haastattelumuotoina käytettiin kahta eri haastattelumenetelmää; teemahaastattelua ja avointa haastattelua.

Teemahaastattelussa haastattelun aihepiirit eli teemat ovat tiedossa, mutta kysymysten tarkka muoto ja järjestys puuttuvat. Menetelmää käytetään usein kasvatus- ja yhteiskuntatieteellisessä tutkimuksessa, koska se vastaa hyvin kvalitatiivisen tutkimuksen lähtökohtia. (Tutki ja kirjoita, 2009, s. 208)

Avoimessa haastattelussa haastatteliija selvittelee haastateltavan ajatuksia, mielipiteitä, tunteita ja keskustelun kuluessa. Avoimessa haastattelussa ei ole kiinteää runkoa ja se on haastattelumuodoista lähinnä keskustelua. (Tutki ja kirjoita, 2009, s. 209)

Suunnittelin haastateltavat sekä haastatteluajankohdat siten, että tietoa saisi mahdollisimman laaja-alaisesti hankkeen eri vaiheissa eri osapuolilta. Haastattelin tilaajan projektipäällikköä, urakoitsijan työnjohtoa sekä konekuskia työmaan aloitusvaiheessa, projektin keskivaiheilla sekä projektin luovutusvaiheessa. Haastattelut olivat vapaamuotoisia keskusteluja koneohjaukseen liittyen ja ne nauhoitettiin. Lisäksi tein pienimuotoisia kirjallisia muistiinpanoja tärkeimmistä esille nousseista asioista, joiden perusteella laadin haastattelujen yhteenvedot.

Hankkeen etenemistä seurattiin päivittäin niin tilaajan kuin urakoitsijan toimesta. Keskusteluja käytiin kaikkien osapuolten kanssa lähes päivittäin. Yleinen mielipide koneautomaation käytöstä oli se, että järjestelmän tuomat hyödyt ajallisesti ja laadullisesti olivat niin merkittävät, että niiden käyttöä jatkossa tullaan lisäämään.

4.6.2 Konekuskin yhteenveto

”Useassa eri työvaiheessa koneohjauksesta oli suunnatonta apua. Heti pintamaiden poiston jälkeen oli helppo lähteä suorittamaan maaleikkauksia.” Mittakeppejä ei tarvittu, eikä erillistä mittamiestä. Konekuski pystyi suorittamaan työn nopeasti ja koko ajan oli sijaintitieto ja paalulukema tiedossa, missä työskenneltiin. Massojen siirtely ja vastaanotto kävivät jouhevasti niin alusrakenteen kuin rakennekerrostenkin osalta. Leikatut pinnat ja vastaanotetut kerrokset tulivat kerralla oikeaan korkoon koneohjausnäytöltä seuraten. Toeutumamittausten otto sujui huomaamatta muun työn ohessa. ”Eryteisesti kuivatusrakenneiden teko helpottui, eikä kaivojen paikkoja ja putkilinjoja tarvinnut erikseen käydä merkitsemässä.” Suuri apu koneohjauksesta oli myös siltajatkosten rakentamisessa. Haasteena olivat ajoittaiset heikot yhteydet satelliitteihin, mikä aiheutti mittatarkkuuksien seilailua. Erillinen tukiasema olisi luultavasti poistanut ongelman. Lisäksi suunnitelmamalli ei ollut aivan täydellinen, osittain myös siksi, että se teetätettiin jälkikäteen melko kiiireellä. Jatkossa tulevien hankkeiden yhteydessä tullaan käyttämään koneohjausta takuuvarmasti. Mitä enemmän käyttökokemusta saadaan sitä varmempaa työskentely on. Kai-vukoneen kuljettajan vastuu työmaalla nousee koneohjauksen hankinnan myötä. (Tam-mivuori 2014).

4.6.3 Työnjohdon yhteenveto

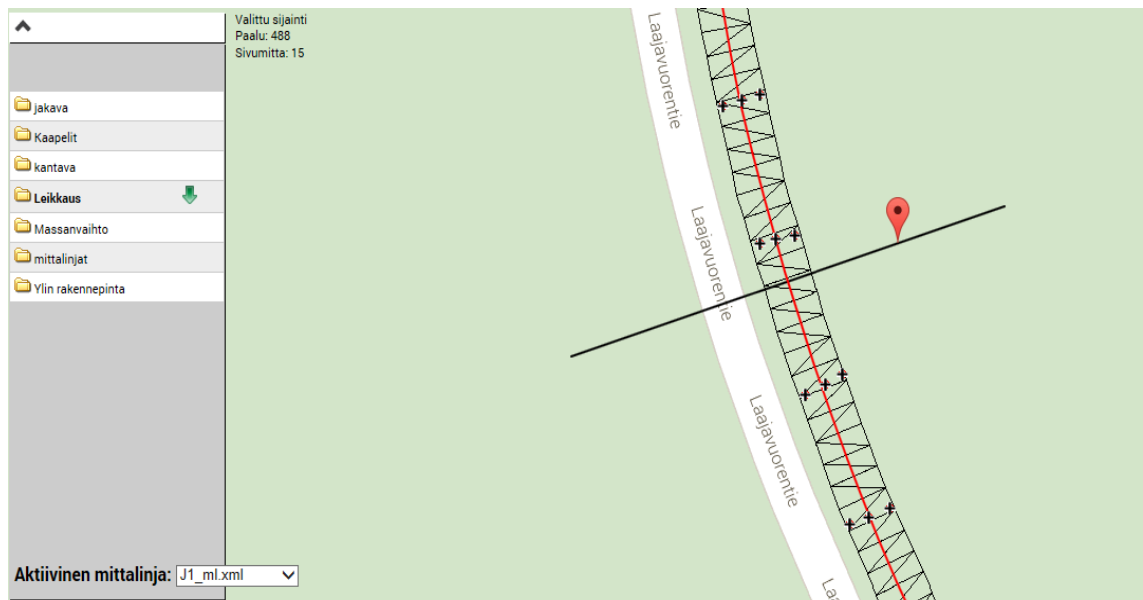
”Kaiken kaikkiaan koneohjauksen käytöstä Laajavuoren työmaalla jäi positiivinen kuva. Eryteisesti mittaustarpeen huomattava vähentyminen konkretisoitui projektin edetessä. Maaleikkauksissa ja rakennekerrosten vastaanotoissa päästiin hyvin lähelle suunniteltuja määriä, joten massatalous pysyi hallinnassa. Koneiden tyhjäkäynti vähenee huomatta-vasti ja näin ollen säätöjä tulee polttoainekustannuksissa. Ja onhan näillä asioilla myös ympäristöllinenkin näkökulma, kuten päästöjen vähentyminen. Koneen työnaikaset to-teutumamittaukset helpottivat ja nopeuttivat työskentelyä. Järjestelmän hyödyt korostu-vat suurissa leikkauksissa ja materiaalin vastaanotoissa sekä tarkkuutta vaativissa työvai-heissa.

Haasteena oli oma osaaminen järjestelmän käytöstä. Lisää koulutusta ja opastusta sekä käytännön kokemusta kaivataan jatkossa, jotta koneohjauksesta saadaan kaikki hyöty irti.” (Niiranen 2014).

4.6.4 Tilaajan yhteenveto

”Aikaisempia käytännön kokemuksia ei järjestelmän käytöstä ollut. Erinomainen tapa perehtyä koneohjaukseen käytännön tasolla oli tehdä yhteistyötä urakoitsijan kanssa. Tilaajan näkemyksenä on, että koneohjaus tulee olemaan vakiintunut osa infrahankkeita tulevaisuudessa. Paluuta entiseen malliin ei enää ole. Suunnitteluttamisprosessi ja kilpailutus tullaan jatkossa toteuttamaan niin, että kaikki tulevien hankkeiden suunnitelmat tilataan tästä lähtien mallipohjaisesti. Urakoitsijaa kannustetaan näin ollen järjestelmien hankintaan ja käyttöön, koska mallit tulevat meiltä. Molempia osapuolia, sekä tilaaja että urakoitsijaa palveleva suurin hyöty koneautomaation käytöstä on erityisesti työn laadullinen dokumentointi. Hankkeessa testikäytössä ollut InfraKit Oy:n tarjoamaa ohjelmaa testattiin lähinnä laadunvalvonnan näkökulmasta. Ohjelman avulla pystyttiin seuraamaan työmaan tilannetta ja etenemistä reaaliaikaisesti. Työmaakokousten yhteydessä urakoitsijan kanssa yhdessä voitiin tarkistaa työn etenemistä sekä puuttua tarvittaessa toteutumamittausten osoittamiin laatueroihin. InfraKit –palvelun mahdollisuudet tulevat parhaiten esille, kun uusi hanke lähdetään jo suunnitteluvaiheessa toteuttamaan tietomallipohjaisesti. Näin koko projektin hallinta suunnittelun, toteutuksen ja valvonnan aikana helpottuu.” (Jaatinen 2014).

Oheisessa kuvassa (Kuva 16) näkyy Laajavuoren hankkeen tasokuva Infrakit-ohjelmassa. Taustalle on viety leikkauspohjan suunnitelmamalli ja mitatut leikkauspohjan toteutuspisteet näkyvät joko mustalla tai punaisella. Mustat pisteet kuvaavat, että leikkaus on suunniteltujen toleranssien sisällä ja punaiset pisteet kuvaavat toteutuneita toleranssin ylityksiä. Lisäksi vasemmassa yläkulmassa näkyy sijainti suunnitelmakartalla paaluluke-
man muodossa.



KUVA 16. Koneen ottamia toteutumamittauspisteitä Infrakit-ohjelmistossa (Kuva: Infrakit ohjelmasta, Janne Jaatinen ja Arto Hyvärinen 23.10.2014).

”Tasokuvasta voi hyvin nähdä mitatut toteutumapisteet ja saada hyvän kuvan työn etenemisestä.” (Jaatinen, 2014)

Alla olevassa kuvassa (Kuva 17) näkyy valmis rakenne samalta paaluväliltä otettuna.

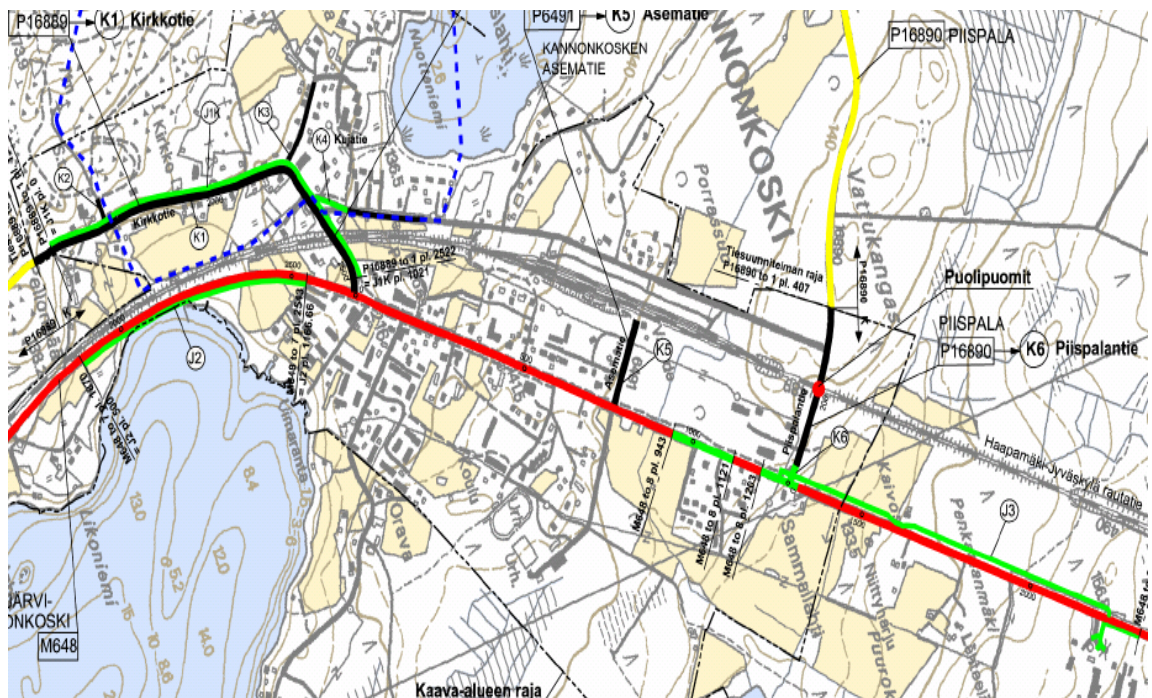


KUVA 17. Valmis rakenne Laajavuoressa. (Kuva: Arto Hyvärinen 2014).

5 VERTAILULASKELMAT

5.1 Taustaa

Keski-Suomen Kuljetus Oy toteutti vuonna 2013 Kannonkosken taajamatiet- hankkeen, jonka tilaajana toimi Keski-Suomen ELY-keskus. Hankkeessa rakennettiin uutta kevyen liikenteen väylää 3 kilometrin verran Kannonkosken kunnan taajamaan. Urakkakilpailutus tapahtui loppuvuonna 2012 ja urakkasopimus solmittiin alkuvuodesta 2013. Hanke oli urakkasummaltaan 906 500,00 € alv. 0 % ja luonteeltaan lähes identtinen Laajavuoren kevytväylä –hankkeen kanssa. Työ toteutettiin perinteisin mittausten menetelmin maastoon merkkimalla kahdella kaivukoneella ja tarvittavalla kuljetuskalustolla.



KUVA 18. Kannonkosken taajamatiet, yleiskartta (Kuva: Tiesuunnitelma 2006).

Toimin itse hankkeessa projektipäällikkönä ja työmaan vastuuhenkilönä, joten työn toteutus on tuoreessa muistissa. Näitä kahta samanlaista hanketta vertaamalla voidaan tehdä suuntaa antavia vertailulaskelmia koneohjauksen hyödyistä toteutusvaiheessa. Hankkeen rakennusmittaukset suoritti Keski-Suomen Mittauspalvelu Oy.

Kohteen laajuus käy ilmi oheisesta taulukosta (Taulukko 2), johon on poimittu päänimikkeet hankkeen määräluettelosta (Liite 3).

TAULUKKO 2. Kohteen suoritemääriä. (Tieliikelaitos, Konsultointi 2006)

<u><i>Rakennusosa:</i></u>	<u><i>Yksikkö:</i></u>	<u><i>Määrä:</i></u>
Pintamaiden poisto	m ² tr	35 758
Maaleikkaus + massanvaihto	m ³ ktr	13 008
Suodatinkerrokset	m ³ rtr	17 466
Yhdistetty Jakava / Kantava kerros	m ³ rtr	4 222
Päällysteet	m ² tr	12 350



KUVA 19. Hankkeen toteutusta paalukeppien avulla. (Kuva: Arto Hyvärinen)

5.2 Aikataululliset laskelmat työvaiheittain

Hankkeelle laadittiin yleisaikataulu, joka oli runkona työn toteutukselle (Liite 4). Aikataulu laadittiin melko väljäksi ja joustavaksi.

Työvaiheittain tarkasteltuna ja toteutumatietoon vedoten kohteen maaleikkaukset eivät valmistuneet aivan suunnitellussa ajassa. Viimeiset maaleikkaukset suoritettiin kaksi viikkoa aikataulusta jäljessä, elokuun loppupuolella 2013. Rakennekerrosten vastaanotto viivästyi myös suunnitellusta aikataulusta yhden viikon.

Oheinen taulukko (Taulukko 3) kuvaa Kannonkosken taajamatiet –hankkeen toteutunutta työaikaa yleisaikatauluun verrattuna maaleikkausten, rakennekerrosten, viimeistelyiden ja koko hankkeen osalta.

TAULUKKO 3. Kannonkosken taajamatiet –hankkeen ajallisia toteutumia suoritteittain.

<u>Suorite:</u>	<u>Suunniteltu aika:</u>	<u>Toteutunut aika:</u>	<u>Erotus:</u>	<u>Ero %-yksikköä</u>
Maaleikkaukset	20 viikkoa	22 viikkoa	+ 2 viikkoa	+ 10 %
Rakennekerrokset	22 viikkoa	23 viikkoa	+ 1 viikko	+ 4,5 %
Viimeistelyt	4 viikkoa	4 viikkoa	0 viikkoa	0 %
Koko hanke	16 kk	16 kk	0 kk	0 %

Vertailun vuoksi tarkastellaan samoja suoritteita aikataulullisesti Laajavuoren hankkeen osalta (Taulukko 4).

TAULUKKO 4. Laajavuoren kevytväylä –hankkeen ajallisia toteutumia suoritteittain.

<u>Suorite:</u>	<u>Suunniteltu aika:</u>	<u>Toteutunut aika:</u>	<u>Erotus:</u>	<u>Ero %-yksikköä</u>
Maaleikkaukset	9 viikkoa	8 viikkoa	- 1 viikkoa	- 11 %
Rakennekerrokset	7 viikkoa	7 viikkoa	0 viikkoa	0 %
Viimeistelyt	10 päivää	9 päivää	- 1 päivä	- 10 %
Koko hanke	19 viikkoa	19 viikkoa	0 viikkoa	0 %

5.3 Massalaskelmat

Hankkeiden toteutuneita massamääriä verrattaessa suunniteltuihin määriin voidaan tarkastella oheisista taulukoista (Taulukot 5 ja 6). Vaikka Laajavuoren hanke toteutettiin koneohjauksen avulla, niin varsinaiset tarkemittaukset suoritettiin erillisin mittauksin Keski-Suomen Mittauspalvelun toimesta.

TAULUKKO 5. Kannonkosken taajamatiet –hankkeen määrällisiä toteutumia suoritteittain.

<u>Suorite:</u>	<u>Suunniteltu määrä:</u>	<u>Toteutunut määrä:</u>	<u>Erotus:</u>	<u>Ero %-yksikköä</u>
Maaleikkaukset + massanvaihto	13 008 m ³ ktr	13 524 m ³ ktd	+ 516 m ³	+ 4 %
Suodatinkerrokset	17 466 m ³ rtr	18 054 m ³ rtd	+ 588 m ³	+ 3,4 %
Yhdistetty jakava / kantava kerros	4 222 m ³ rtr	4 296 m ³ rtd	+ 74 m ³	+ 1,8 %

TAULUKKO 6. Laajavuoren kevytväylä –hankkeen määrällisiä toteutumia suoritteittain.

<u>Suorite:</u>	<u>Suunniteltu määrä:</u>	<u>Toteutunut määrä:</u>	<u>Erotus:</u>	<u>Ero %-yksikköä</u>
Maaleikkaukset + massanvaihto	9 319 m ³ ktr	9 110 m ³ ktd	- 209 m ³	- 2,2 %
Yhdistetty jakava / kantava kerros	12 650 m ³ rtr	12 406 m ³ rtd	- 244 m ³	- 1,9 %

Verrattaessa taulukoiden 5 ja 6 toteutuneita määriä taulukoiden 3 ja 4 toteutuneisiin työaikoihin saadaan myös selville molempien hankkeiden työsaavutuksia viikkotasolla (Taulukot 7 ja 8).

TAULUKKO 7. Työsaavutuksia Kannonkoskella

<u>Suorite:</u>	<u>Toteutunut määrä:</u>	<u>Toteutunut aika:</u>	<u>Työsaavutus/vko:</u>
Maaleikkaukset	13 524 m ³ ktd	22 viikkoa	615 m ³ ktd/vko.
Rakennekerrokset	22 350 m ³ rtd	23 viikkoa	972 m ³ rtd/vko.

TAULUKKO 8. Työsaavutuksia Laajavuoressa

<u>Suorite:</u>	<u>Toteutunut määrä:</u>	<u>Toteutunut aika:</u>	<u>Työsaavutus/vko:</u>
Maaleikkaukset	9 110 m ³ ktd	8 viikkoa	1 139 m ³ ktd/vko.
Rakennekerrokset	12 406 m ³ rtd	7 viikkoa	1 772 m ³ rtd/vko.

5.4 Mittauskustannukset

Mittauskustannuksien osalta molemmista hankkeista voidaan laatia omat kustannuserittelyt. Kannonkosken mittauskustannukset (Taulukko 9) muodostuivat pelkästään mittaryhmän maastomittauksista sekä loppupiirustusten vaatimista mittauksista. Laajavuoren hankkeen mittauskustannuksiin (Taulukko 10) lasketaan koneohjausjärjestelmän hankintaan ja työmaan aikaiseen ylläpitoon liittyvät kustannukset sekä muut toteutuneet mittauskustannukset. Järjestelmän hankinnan ja työmaan aikaisen ylläpidon kustannukset muodostuvat koneeseen asennetuista antureista, joiden arvo oli 9000 € sekä järjestelmän kuukausittaisesta leasing-pohjaisesta sopimuksesta. Järjestelmän kuukausittainen hinta oli 1800 €/kk, joten työmaan aikana kustannuksia kyseiselle hankkeelle kertyi järjestelmän osalta viiden kuukauden ajalta yhteensä $5 \times 1800 \text{ €/kk} = 9000 \text{ €}$. Yhteensä siis koneohjauksen hankinta ja ylläpitokulut Laajavuoren hankkeessa olivat 18 000 €.

TAULUKKO 9. Kannonkosken taajamatiet –hankkeen mittauskulut alv. 0 %.

<u><i>Suorite:</i></u>	<u><i>Määrä:</i></u>	<u><i>Yks. hinta:</i></u>	<u><i>Yhteensä:</i></u>
Rakennusmittaus	256 h	75 €/h	19 200 €
Tarkemittaus	72	75 €/h	5400 €
Yhteensä:			24 600 €

TAULUKKO 10. Laajavuoren kevytväylä –hankkeen mittauskulut alv. 0 %.

<u><i>Suorite:</i></u>	<u><i>Määrä:</i></u>	<u><i>Yks. hinta:</i></u>	<u><i>Yhteensä:</i></u>
Anturiasennukset kaivukoneeseen	1 kpl	9 000 €	9 000 €
Järjestelmän ylläpito	5 kk	1 800 €/kk	9 000 €
Mallin luonti	1 kpl	1 500 €	1 500 €
Rakennusmittaus	84 h	60 €/h	5040 €
Tarkemittaus	36 h	60 €/h	2160 €
Yhteensä:			26 700 €

5.5 Yhteenveto

5.5.1 Aikataulu

Selkein syy Kannonkosken hankkeen aikatauluviivästyksille maaleikkausten ja rakennekerrosten osalta oli se, että tarvittavaa työnaikaista mittatietoa ei ollut merkattu maastoon ajoissa tai työkone oli osittain kaatanut mittakepit esimerkiksi pintamaita poistaessa. Tämä johti siihen, että mittaryhmää jouduttiin välillä odottamaan, jotta tarvittavat kepit saatiin maastoon ja työtä pystyttiin jatkamaan. Työnjohtaja joutui suunnittelemaan ja enakoimaan melko tarkasti seuraavien päivien mittaustarpeet, jotta työ etenisi mahdollisimman joustavasti. Välillä työmaalla tulee odottamattomia tilanteita eteen, jonka ratkaisuun tarvitaan mittaryhmää. Tällaisissa tilanteissa koneohjauksen apu on suunnattoman suuri.

Laajavuoren hankkeessa osittainen syy työvaiheiden enneaikaiseen valmistumiseen oli juuri se, että konekuski ei ollut riippuvainen mittaryhmän kepeistä. Koneen joutokäynti väheni ja työteho parantui, koska eri työvaiheita pystyttiin aloittamaan ilman erillisiä maastoon merkitsemisiä.

Työsaavutuksia vertailemalla taulukkojen 7 ja 8 välillä voidaan havaita, että työsaavutukset maaleikkausten osalta Kannonkosken hankkeessa ovat 46 % pienemmät ja rakennekerrosten osalta 45 % pienemmät kuin Laajavuorella. Tämä ei tarkoita sitä, että koneohjaus tuo työtehoa lähes puolet lisää. Suuriin eroihin löytyy selitys käytettävien resurssien määrästä, maaperän laadusta sekä siitä, että Kannonkoskella leikkausmaat ajettiin erilliselle läjitysalueelle n. 3 kilometrin päähän. Toteutusaikana kuljetustuskaluston määrä oli rajallinen johtuen useista muistakin urakoista, joten kaivu- ja vastaanottokoneelle tuli odotustunteja ja joutokäyntiä.

Aikataulullisesti tarkasteltuna molemmat kohteet valmistuivat määriteltyyn urakka-aikaan mennessä. Selkein huomio koneohjauksen hyödystä aikatauluun oli erityisesti maaleikkauksissa, jotka valmistuivat Laajavuoren hankkeessa 11 % etuajassa. Taulukoita tarkastellessa arvio keskimääräisestä työtehon noususta eri työvaiheissa on 12 % luokkaa. Tämä ei tosin selity yksinomaan koneohjauksen käytöllä. Laajavuorella töitä tehtiin osittain kahdella eri koneyksiköllä ja Kannonkoskella pääsääntöisesti yhdellä koneyksiköllä. Lisäksi Kannonkoskella työskennellyt kone teki maaleikkausten ohella myös muuta työtä, joten aikatauluvertailuun voidaan suhtautua hieman varauksella.

5.5.2 Työtarkkuus

Hankkeiden toteutuneita massamäärätaulukoita tarkastellessa voidaan todeta, että ilman koneohjausta suoritettun Kannonkosken taajamatiet –hankkeen massamäärät maaleikkausten ja vastaanotettujen rakennekerrosten osalta ylittyivät keskimäärin 3 %:lla. Laajavuoren hankkeen maaleikkaus- ja rakennekerrosmassamäärät taas alittuivat suunniteltuihin määriin verrattuna keskimäärin 2 %:lla. Eli näitä hankkeita verrattaessa työtarkkuuden suhteen päällysrakenteen materiaalisäästö on keskimäärin 5 %.

Molemmissa hankkeissa suoritettiin erilliset tarkemittaukset saman mittausurakoitsijan toimesta. Toteutuneet maaleikkausmäärät ovat ilmoitettu todellisina kiintokuutioina, joissa ryöstö eli ylisyvään kaivu on otettu huomioon. Rakennekerrokset ovat esitetty todellisina rakennekuutioina. Laajavuoren hankkeen määrätarkastelusta nähdään, että ylisyvään kaivua ei ole tapahtunut vaan leikkauspohja on kauttaaltaan toleranssien sisällä hieman kovaa. Tästä johtuen leikkausmäärät ovat hieman alle teoreettisen.

5.5.3 Mittauskustannukset

Mittauskustannukset Kannonkoskella olivat urakkahintaan suhteutettuna noin 3 % luokkaa ja Laajavuorella vain hieman enemmän eli noin 3,3 % luokkaa. Taulukoita 9. ja 10. tarkastellessa huomataan, että koneohjaus ei kokonaan poista rakentamisaikaisten mitausten tarvetta, mutta vähensi niitä vertailukohteessa noin 65 %. Se on euromääräisesti noin 13 000 € säästö, joka on kolmasosa koneohjauslaitteiden hankinnasta. Pelkästään mittauskustannuksia vertaamalla, voidaan havaita, että koneohjauslaitteiston hankinta maksaa pelkästään mittauskustannusten säästöllä itsensä takaisin kolmen työmaan aikana, työmaiden ollessa suuruudeltaan noin 1 miljoonaa euroa.

6 KEHITTÄMISTEHTÄVÄN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Koneautomaation havaitut hyödyt

Kokonaisuutena työkoneautomaation käytöstä ja koko kehittämistehtävästä jäi positiivinen mielikuva. Koneohjauksella varustetun koneen työtehon havaittiin parantuvan keskimäärin 12 % riippuen hieman työvaiheesta. Massoja ja materiaalimenekkejä vertailemalla päästiin noin 5 % säästöihin.

Suuri apu työmaalla oli se, että mittatietoa ja koneen sijaintia pystyttiin havainnoimaan jatkuvasti koneohjausnäytöltä vallitsevista olosuhteista huolimatta. Laitteiston suurin hyöty tuli esiin kuivatusrakenteiden rakentamisen yhteydessä sekä maaleikkausten ja rakennekerrosten vastaanoton yhteydessä.

Työturvallisuusnäkökulmaa ei suuremmin tarkasteltu, mutta havaintojen pohjalta voidaan todeta, että turvallisuus parani, koska koneen läheisyydessä ei työn aikana tarvittu mitta- tai apumiehiä.

Laadullisesta näkökulmasta tarkasteltuna tehdyn työn todentaminen helpottui huomattavasti koneen ottamien toteutumatietojen ansiosta. InfraKit Oy:n tarjoama palvelu havaittiin toimivaksi ja tarpeelliseksi. Se helpotti ja nopeutti huomattavasti urakan luovutukseen liittyvää laadullista dokumentointia.

6.2 Koneautomaation haasteet

Koneohjausjärjestelmät loivat myös haasteita työmaille. Järjestelmien käyttäminen vaatii jatkuvaa kouluttautumista sekä työnjohdon ja työntekijöiden omaa aktiivisuutta ja kiinnostusta uuden opetteluun. Järjestelmien osaaminen onkin osa työnjohdon ja kuljettajien ammattitaitoa jo tänä päivänä.

Taitorakenteiden, kuten reunakivien asennuksen yhteydessä tarvittiin vielä maastoon merkintää. Lisäksi yhteydet satelliitteihin olivat paikoin heikot, johtuen katvealueista. Tästä johtui paikoittainen mittatarkkuuksien heilahtelu. Kiinteän tukiaseman avulla ongelmasta olisi päästy eroon.

6.3 Johtopäätökset

Kokonaistaloudellisesti tarkastellessa sekä ottaen huomioon kaikki koneohjauksen tuomat hyödyt, päästiin siihen tulokseen, että kyseisiin järjestelmiin investoiminen on ehdottomasti kannattavaa ja tuo kustannustehokkuutta jo suhteellisen lyhyelläkin aikavälillä.

Työtehon kasvu, aikataululliset säästöt, materiaalisäästöt, työturvallisuuden parantuminen, mittaustarpeen väheneminen yli puolella sekä työn laadullinen seuranta puoltavat järjestelmiin siirtymistä. Nämä kaikki seikat paransivat kustannustehokkuutta pilottikohteissa. Oma näkemykseni on, että järjestelmät tulee ottaa käyttöön tulevaisuudessa mahdollisimman monessa työkoneessa maksimaalisen hyödyn aikaan saamiseksi.

Kokonaistaloudellista hyötyä järjestelmien käytöstä on mahdotonta laskea tarkasti, koska säästöjä syntyy niin monen osatekijän vaikutuksesta. Pitäisi olla kaksi identtistä pilottikohtetta, samoilla konekuskeilla, työnjohdolla ja resursseilla varustettuna, täysin identtisissä sääoloissa ja ilman ainoatakaan häiriötekijää, jotta edes teoriassa voitaisiin määrittää kiistattomat hyödyt. Tämä kehittämistehtävä osoittaa kuitenkin sen, että järjestelmät ovat kannattava hankinta työmaalle ja niiden käyttöä ja koulutusta on lisättävä.

Omien havaintojen, laskelmien sekä haastattelujen ja työmaakäyntien yhteenvetona todetaan, että palaaminen perinteiseen urakointimalliin ei ole enää edes vaihtoehto. Sekä tilaajan että urakoitsijan kanta on, että perinteinen maastoon merkitseminen mittakeppeineen ja korkolappuineen on kyllä toimiva tapa rakentaa edelleenkin, mutta nykypäivän ja tulevaisuuden rakentaminen pohjautuu täysin tietomallipohjaiseen rakentamiseen.

Infrakit-ohjelmisto osoittautui toimivaksi työkaluksi laadunvalvontaan ja projektinhallintaan. Koneohjauksen avulla otetut toteutumätiedot nopeuttivat työskentelyä ja loppudokumentointia. Koneohjauksen ottamat toteutumätiedot tosin eivät ole mittatarkkuudeltaan vielä riittävän tarkkoja, joten niitä voitiin hyödyntää oikeastaan vain maaleikkausten osalta. Esimerkiksi kantavan kerroksen laadulliset toleranssit ovat niin pieniä, että ne suositellaan mitattavaksi vielä takymetrimittauksella tarkkojen tulosten saamiseksi.

Diplomi-insinööri Jussi Heikkilä (2012, 79) toteaa omassa tutkimustyössään koneohjausjärjestelmien vähentävän työmaiden paperityötä sekä tehostavan tiedonhallintaa ja loppudokumentointia. Samankaltaisia tuloksia saavutettiin myös tässä kehittämistehtävässä.

Tässä kehittämistehtävässä tutkittiin koneautomaation hyötyjä ja haasteita sekä niiden tuomaa kustannustehokkuutta Keski-Suomen Kuljetus Oy:n maarakennusurakoinnissa. Lopputuloksien perusteella tässä työssä määritellyt tavoitteet saavutettiin sekä tulosten perusteella pystyttiin määrittelemään suuntaa, johon maarakennusurakointia halutaan jatkossa kehittää.

6.4 Tulosten luotettavuus ja pätevyys

Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat työmaalla tehtyihin havaintoihin, haastatteluihin, vertailulaskelmiin sekä toteutuneisiin mittauksiin. Toteutuneiden massamäärien osalta tutkimusta voidaan pitää suhteellisen reliabelina eli luotettavana, koska määrät perustuvat mitattuun tietoon. Näin ollen koneohjauksen avulla saavutettu 5 % materiaalisäästö on mielestäni totuudenmukainen.

Havaittuun 12 % työtehon kasvuun sekä työsaavutuksien tulosten vertailuun tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti. Yksistään yleisaikatauluun verrattuna eri työvaiheiden valmistuminen nopeammin tai hitaammin ei selity pelkästään koneautomaation käytöllä tai sen käyttämättömyydellä. Työsaavutuksiin työmaalla vaikuttaa niin moni asia, että oma varovainen arvioni koneohjauksen tuomasta työtehon noususta on 5-10 % luokkaa. Tämä selittyy mielestäni hyvin pitkälti juuri sillä, että työkone ei ole koko ajan riippuvainen mittaryhmän paalukepeistä ja koroista, vaan voi aloittaa itsenäisesti työskentelemään eri työvaiheita ilman mittaaajan odottelua, erityisesti odottamattomissa tilanteissa, joissa jokin työvaihe keskeytyy äkillisesti. Tällaiset tilanteet laskevat työkoneen työtehoa merkittävästi työskenneltäessä esimerkiksi haja-asutusalueilla, joissa mittaryhmää voi pahimmillaan joutua odottelemaan tunteja. Uskaltaisin jopa väittää, että esimerkiksi selkeä maaleikkaus voi toteutua jopa nopeammin ilman koneohjausta kokeneen konekuskin toimesta, koska tällöin ei kuski ei käytä aikaa koneohjausnäytön tarkkailuun vaan suorittaa työtä harjaantuneen ammattitaidon turvin. Mutta tällöin esimerkiksi työskentelytarkkuus on suurpiirteisempää ja ylisyvään kaivua voi tapahtua, jolloin työskentelyn nopeus tuo ylimääräistä massojen siirtelyä ja materiaalmäärien lisäystä.

Vaikka osa tutkimuksessa käytetyistä mittareista onkin melko luotettavia, niin esimerkiksi aikataulutarkastelun tulosten suhteen tutkimusta voidaan pitää hieman tulkinnanvaraisena ja melko rohkeanakin. Tältä osin tulokset eivät varsinaisesti ole yleistettävissä ja täten ulkoinen validius eli pätevyys onkin melko alhainen.

7 KEHITTÄMINEN JA TULEVAISUUS

Keski-Suomen Kuljetus Oy kehittää urakointiaan investoimalla järjestelmiin jatkossakin, jotta yhä useampi työmaa voitaisiin toteuttaa koneautomaatiota hyödyntäen. Näyttöä kannattavuudesta on tämän kehittämistehtävän muodossa. Koulutuksen lisääminen ja koneuskien kannustaminen järjestelmään siirtymiseen tulee ottaa huomioon jokapäiväisessä tekemisessä tästä lähtien. Tavoitteena on, että 5 vuoden päästä kaikki työmaat toteutetaan koneohjausta hyödyntäen.

InfraKit Oy:n tarjoaman palvelun hankinta osana tulevaisuuden projektin hallintaa voisi olla yksi vaihtoehto maarakennustoimintojen kehittämiseen. Tilaajien tiukentuviin vaatimuksiin halutaan vastata ensimmäisten joukossa. Mittauslaitteiden ja menetelmien jatkuva kehittyminen luo tulevaisuuden tietomallipohjaiselle rakentamiselle rajattomat mahdollisuudet. Täysin mahdollista on, että järjestelmien ja tulevaisuuden teknologian avulla koneet voivat suoriutua työtehtävistään jopa ilman kuljettajia. Sen vain aika voi näyttää.

LÄHTEET

- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2014. Luettu 13.10.2014. http://fi.wikipedia.org/wiki/Elinkeino-,_liikenne-_ja_ymp%C3%A4rist%C3%B6keskus
- GeoPower Ky. 2014. Tuotteet. Luettu 14.10.2014. <http://www.geopower.fi/tuotteet/dig-pilot.html>
- GeoTrim Oy. 2014. Tuotteet. Luettu 14.10.2014. <http://construction.trimble.com/products/machine-control/grade-control-for-excavators>
- GeoTrim Oy. 2014. Palvelut. Luettu 14.10.2014. <http://www.geotrim.fi/index.php/palvelut/trimnet-vrs>
- Heikkilä, J. 2012. Tietomallipohjaisen automaation kehittäminen rautatien maarakennustyöhön. Luettu 24.11.2014. <http://herkules oulu.fi/thesis/nbnfioulu-201305301370.pdf>
- Hirsijärvi S., Remes P., Sajavaara P., 2009, Tutki ja kirjoita. Luettu 10.11.2014.
- Infrakit Oy. 2014. Tuotteet. Luettu 23.9.2014. <http://www.hohtolabs.com/fi/products>
- Infrakit-päivä. 2014. Heureka 23.9.2014. Vantaa.
- Jaakkola, M. 2014. Infrakit-päivä, mallipohjainen laadunvarmistus 23.9.2014. Heureka, Vantaa.
- Jaatinen, J. Projektipäällikkö. 2014. Haastattelu 6.6.2014. Haastattelija Hyvärinen, A. Jyväskylä.
- Jaatinen, J. Projektipäällikkö. 2014. Haastattelu 21.10.2014. Haastattelija Hyvärinen, A. Jyväskylä.
- Kemppainen, I. Toimitusjohtaja. 2014. Haastattelu 2.6.2014. Haastattelija Hyvärinen, A. Viitasaari.
- Keski-Suomen Kuljetus Oy. 2014. Yritys. Luettu 13.10.2014. <http://www.ksk.fi/yritys/>
- Määttänen, M. 2014. 3D-koneohjauksen käyttö pienissä ja keskisuurissa maanrakennushankkeissa. Luettu 10.10.2014. <http://publications.theseus.fi/handle/10024/75178>
- Nieminen, J-M. 2011. Koneohjaus maarakennustyössä. Luettu 3.3.2014. <https://www.theseus.fi/handle/10024/1572/browse?value=Nieminen%2C+Juha-Matti&type=author>
- Niiranen, J. Työmaapäällikkö. 2014. Haastattelu 16.10.2014. Haastattelija Hyvärinen, A. Jyväskylä.
- Novatron Oy. 2014. Tuotteet. Luettu 14.10.2014. <http://www.novatron.fi/fi/tuotteet.html>

Nurminen, P. 2012. Destia Oy 27.1.2012. Työkoneautomaatio, osa normaalia toimintaa nykypäivän infrarakentamisessa. Luettu 5.9.2014.

Piironen, V. 2012. 3D-koneohjausjärjestelmä kaivinkoneessa. Luettu 27.9.2014. http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41528/Piironen_Ville.pdf?sequence=1

Prolec Ltd. 2014. Our Products. Luettu 14.10.2014. http://www.prolec.co.uk/files/7913/7510/8412/Digmaster_Pro.pdf
<http://www.prolec.co.uk/files/2013/7510/8455/pcX-Pro.pdf>

Scanlaser Oy. 2014. Tuotteet ja sovellukset. Luettu 14.10.2014. http://www.scanlaser.fi/fi/kaivinkone_1106.htm

Takymetri. 2014. Luettu 15.10.2014. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Takymetri>

Tammivuori, K. Kaivukonekuski. 2014. Haastattelu 16.10.2014. Haastattelija Hyvärinen, A. Jyväskylä.

Topgeo Oy. 2014. Koneohjausjärjestelmät ja konevastaanottimet. Luettu. 14.10.2014. http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=108&Itemid=114

Topgeo: Perinteisistä koneohjausjärjestelmistä integroituihin 3D-koneohjausjärjestelmiin. Luettu 15.10.2014. http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126

LIITTEET

Liite 1. Laajavuoren hankkeen määräluettelo

R10-1 MÄÄRÄLUETTELO



Projekti: Mt 16686 kevyen liikenteen väylän rakentaminen välillä Spa Hotel Laajavuori -
 Mutkapohja, Jyväskylä
 Raportoija: Marika Tasanen
 A-Insinöörit Suunnittelu Oy
 Projektipäällikkö: Elina Ahlqvist
 Asiakas: Keski-Suomen ELY-keskus
 Tilaajan edustaja: Janne Jaatinen
 Päivämäärä: 11.4.2014

Rakennusosat

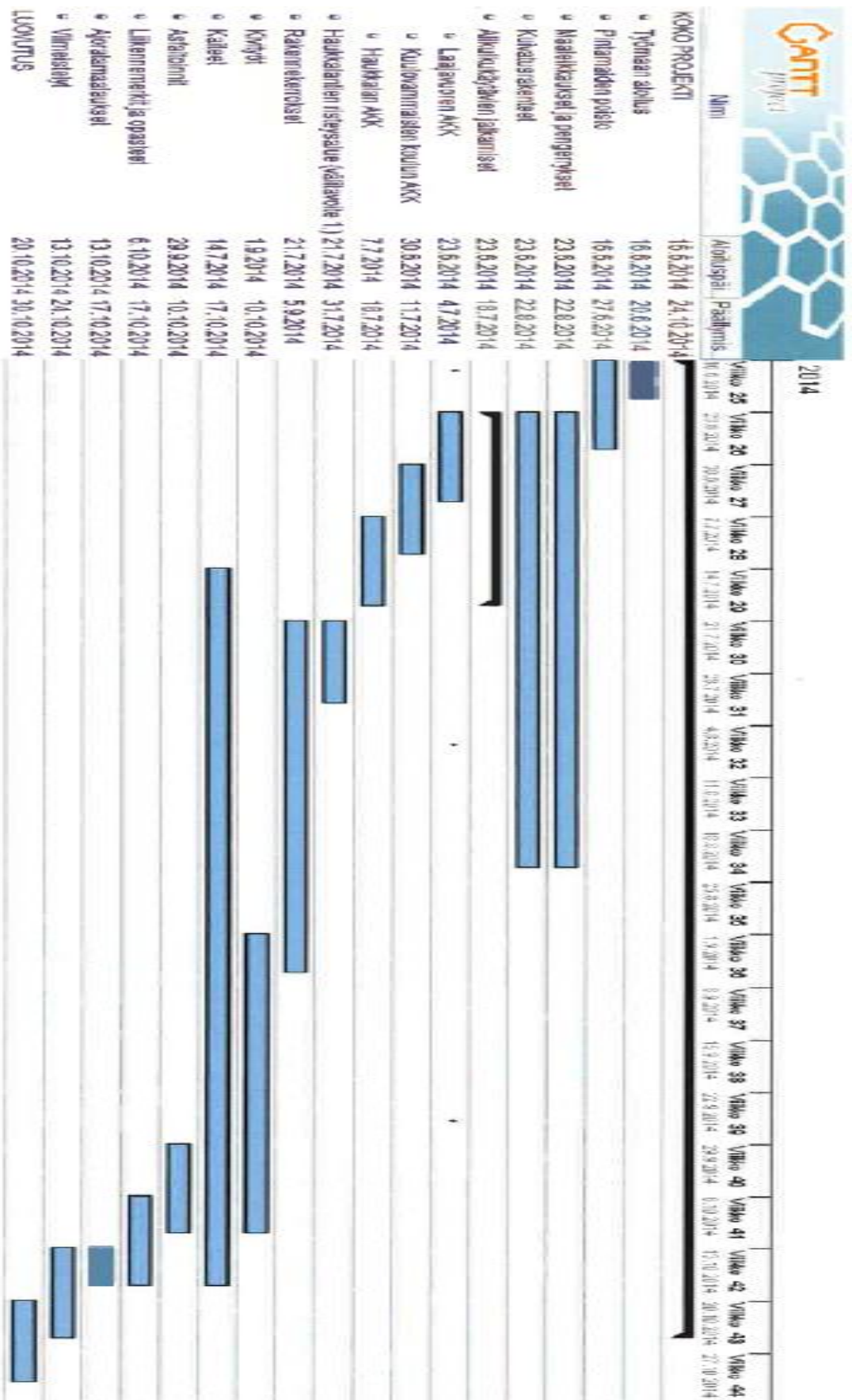
Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä
1000	Maa- pohja- ja kalliorakenteet		
1100	Olevat rakenteet ja rakennusosat		
1110	Poistettava, siirrettävä ja suojattava kasvillisuus		
1111	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat puut ja muu kasvillisuus		
1111	Jätepuun ja kasvillisuuden poisto	m2tr	9 500
1120	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat rakenteet		
1122	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat pysyvät tukirakenteet		
1122	Kaiteiden purku	mtr	400
1130	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat järjestelmät		
1131	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat putkirakenteet		
1131	Rumpujen purku	mtr	14
1131	Kaivon siirto (sillat ja pl 960)	kpl	4
1133	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat sähkörakenteet		
1133	Valaisinpylvään siirto	kpl	5
1135	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat ohjausjärjestelmät		
1135	Liikenteenohjauslaitteiden purku	kpl	6
1135	Merkin purku jalustan kanssa (1 kpl), vain merkin purku (5 kpl)		
1135	Liikennemerkkipylvään purku	kpl	2
1135	Liikennemerkkin siirto	kpl	22
1135	Merkin siirto jalustan kanssa (16 kpl), vain merkin siirto (6 kpl)		
1135	Opastusmerkin siirto < 4 m2	kpl	1
1140	Poistettavat ja siirrettävät maa- ja pengerrakenteet		
1141	Poistettavat pintamaat		
1141	Pintamaan poisto	m2tr	17 740
1150	Poistettavat päällysterakenteet		
1151	Poistettavat tien päällysterakenteet		
1151	Asfaltin jyrästä reunakiven vieressä	m2tr	230
1151	Asfalttipäällysteen poisto	m2tr	490
1159	Muut poistettavat päällysterakenteet		
1159	Reunatuen purkaminen, betoninen upotettu	mtr	260
1159	Betonikiviverhouksen purkaminen	m2tr	120
1159	Asfalttipäällysteen sahaus/leikkaus reunakiven juuri	mtr	817
1300	Perustusrakenteet		
1330	Arinarakenteet		
1331	Kiviainesarinat		
1331	Sora-arina	m3rtr	210
1400	Pohjarakenteet		
1420	Suojaukset ja eristykset		
1421	Roudaneristykset		
1421	EPS-routaeristys (100 mm)	m2tr	600
1430	Kuivatusrakenteet		
1431	Salaojaputket		
1431.2	Rakenteen yhteydessä olevat salaojat	mtr	949

1432	Salaajien tarkastuskaivot ja -putket		
1432	Salaajien tarkastuskaivot (400mm)	kpl	9
1434	Rumpuputket		
1434.32	Muovinen putkirumpu 400 mm	mtr	26
1600	Maaleikkaukset ja -kaivannot		
<i>1610</i>	<i>Maaleikkaukset</i>		
1612	Maaleikkaus ja pengeri tai täyttö		
1612	Maaleikkaus	m3ktr	7 360
<i>1620</i>	<i>Maakaivannot</i>		
1622	Rumpukaivannot		
1622	Rumpukaivannon kaivu	m3ktr	9
1624	Rakennus- ja siltakaivannot		
1624	Siltakaivanto	m3ktr	1 750
1625	Massanvaihtoon kuuluvat kaivannot		
1625	Massanvaihtoon kuuluvat kaivannot, massojen kuljetus läjitykseen	m3ktr	200
1700	Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit		
<i>1710</i>	<i>Kallioavoleikkaukset</i>		
1712	Kallioavoleikkaus ja pengeri tai täyttö		
1712	Kallion irrotus ja kuljetus penkereeseen, h > 1m	m3ktr	260
1712	Kallion irrotus ja kuljetus penkereeseen, h < 1m	m2	1 090
1717	Irtilouhittu rakenne		
1717	Irtilouhittu rakenne, h > 1m	m3ktr	40
<i>1730</i>	<i>Kallioon louhittavat rakennus- ja siltakaivannot</i>		
1732	Siltakaivannot kalliiossa		
1732	Siltakaivannot kalliiossa, h < 1m	m2	150
1800	Penkereet, maapadot ja täytöt		
<i>1810</i>	<i>Penkereet</i>		
1811	Maapenkereet		
1811.9	Maapenger hankkeen sisältä	m3rtr	4 533
1817	Luisakatäyte		
1817.1	Luisakatäyte hankkeen sisältä	m3rtr	1 810
<i>1830</i>	<i>Kaivantojen täytöt</i>		
<i>1831</i>	<i>Asennusalustat</i>		
1831	Tasauskerros murskeesta (asennusalusta)	m3rtr	4
1831	Asennushiekka	m3rtr	40
1831	Asennushiekka (kaapelit)	m3rtr	200
1832	Alkutäytöt		
1832	Alkutäyttö murskeesta	m3rtr	7
1835	Rakenteiden ympärystäytöt		
1835	Ympärystäyttö murskeella	m3rtr	3 500
1836	Massanvaihtoon kuuluvat täytöt		
1836	Massanvaihtoon täyttö kovaan pohjaan	m3rtr	200
2000	Päällyys- ja pintarakenteet		
2100	Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset		
<i>2110</i>	<i>Suodatinrakenteet</i>		
2112	Suodatinkankaat		
2112	Suodatinkangas N3	m2tr	11 430
<i>2120</i>	<i>Jakavat kerrokset, eristyskerrokset ja välikerrokset</i>		
2121	Jakavat kerrokset		
2121.1	Jakava välikerros murskeesta KaM 0-100	m3rtr	7 420
<i>2130</i>	<i>Kantavat kerrokset</i>		
2131	Sitomattomat kantavat kerrokset		
2131.15	Sitomaton kantava kerros KaM 0-32, reunakiven ymp.täyttö	m3rtr	55
2131.3	Sitomaton kantava kerros KaM 0-56	m3rtr	1 675
<i>2140</i>	<i>Päällysteet ja pintarakenteet</i>		
2141	Asfalttipäällysteet		
2141.11	AB 11 / 100 (40 mm) (JKPP)	m2tr	7 735
2141.11	AB 16 / 120 (50 mm) kulutuskerros ja 2. kerros	m2tr	1 130
2141.13	ABK 22 / 120 (50 mm) alin plv 0-940	m2tr	370
2143	Betoniset pintarakenteet		

2143.11	Betonikiviverhouk, neliökivi (138 x 138 x 80 mm) värillinen	m2tr	177
2143.11	Betonikiviverhouk, neliökivi (138 x 138 x 80 mm) harmaa	m2tr	455
2145	Sitomattomat pintarakenteet		
2145.1	Sorapäälyste	m2tr	270
2150	<i>Siirtymärakenteet</i>		
2151	Siirtymäkiilat		
2151	Siirtymäkiilan teko	m3tr	165
2160	<i>Erikoisrakenteet</i>		
2161	Piennartäyte		
2161	Piennartäyte	m3tr	69
2200	Reunatuet, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset		
2210	<i>Reunatuet, kourut, askelmat ja muurit</i>		
2211	Reunatuet		
2211.21	Upotettavat reunatuet betonista, h=120 mm	mtr	720
2211.21	Upotettavat reunatuet betonista, madallettu h=30mm	mtr	18
2300	Kasvillisuusrakenteet		
2320	<i>Nurmi- ja niittyverhoukset</i>		
2321	Nurmikot		
2321.1	Nurmetus, maisemanurmi 1	m2tr	12 410
3000	Järjestelmät		
3100	Vesihuollon järjestelmät		
3120	<i>Hulevesiviemärit</i>		
3121	Hulevesiviemäriputket (viettoviemäri)		
3121.21	Muovinen hulevesiviemäri (vietto) 160 mm, SN 8	mtr	195
3121.23	Muovinen hulevesiviemäri (vietto) 315 mm, SN 8	mtr	30
3123	Hulevesiviemäriin tarkastuskaivot ja -putket		
3123.1	Hulevesikaivo kansistoineen, muovi 560/500 mm	kpl	20
3200	Turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät		
3210	<i>Kaiteet, johteet ja törmäyssuojat</i>		
3211	Tiekaiteet		
3211.1	Kaideyhdistelmä (tie- ja kevytkaide)	mtr	482
3260	<i>Opastus- ja ohjausjärjestelmät</i>		
3261	Liikenne- ja opastusmerkit		
3261	Liikennemerkki 600..640 mm, kalvotyyppi R2, jalusta A2/A3	kpl	7
3261	Liikennemerkki, 900 mm kalvotyyppi R2, alumiini, ilman jalustaa ja pylvästä	kpl	4
3261	Liikennemerkki, 600..640 mm kalvotyyppi R2, alumiini, ilman jalustaa ja pylvästä	kpl	4
3261	Liikennemerkin lisäkilpi, 320x320 mm, kalvotyyppi R1, alumiini	kpl	3
3261	Liikennemerkki 600..640 mm, kalvotyyppi R1, jalusta A2/A3	kpl	10
3261	Liikennemerkin pystytys ilman merkkiä, sis. jalustan ja pylvään	kpl	3
3263	Tiemerkinnät		
3263.23	Upotettu kestoperkintä, suojatie Syvyys 5 mm.	m2tr	55
4000	Rakennustekniset rakennusosat		
4200	Sillat		
4220	<i>Sillan päällysrakenteet</i>		
4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa		
4221	Limityksen liitosvalu betoni C30/37 P25	m3tr	12
4221.2	Limitys rakenteen raudoitustyöt betoniteräs A500HW	kg	1 050
4223	Teräsrakenteet päällysrakenteessa		
4223	Teräsputkisillan aallotettu teräsputki epoksisuojattuna, jatkos yläpituus 5,45 (valaisinvaraus 1 kpl)	kpl	1
4223	Teräsputkisillan aallotettu teräsputki epoksisuojattuna, jatkos yläpituus 5,51m (valaisinvaraus 1 kpl)	kpl	1
4223	Teräsputkisillan aallotettu teräsputki epoksisuojattuna, jatkos yläpituus 6,03m (valaisinvaraus 1 kpl)	kpl	1
4240	<i>Sillan varusteet ja laitteet</i>		
4245	Suojalaitteet		
4245.12	Sillan harva kaide, korkea suojaverkko (H2) 52 kg/m (sisältää johteen)	mtr	42
4245.12	Siltakaiteen vino pää (4m)	kpl	6
4245.17.1	Kaiteen kulmatukimuurin paikalla valu (L=14,6m)	m2tr	45

4245.17.1	Kaiteen kulmatukimuurin raudoitteet teräs A500HW	kg	2 400
4245.17.1	Kaiteen kulmatukimuurin betoni C30/37	m3rtr	18
4249	Muut sillan varusteet ja -laitteet		
4249.2	Tarkkailutapit	kpl	3

Liite 2. Laajavuoren hankkeen yleisaikataulu



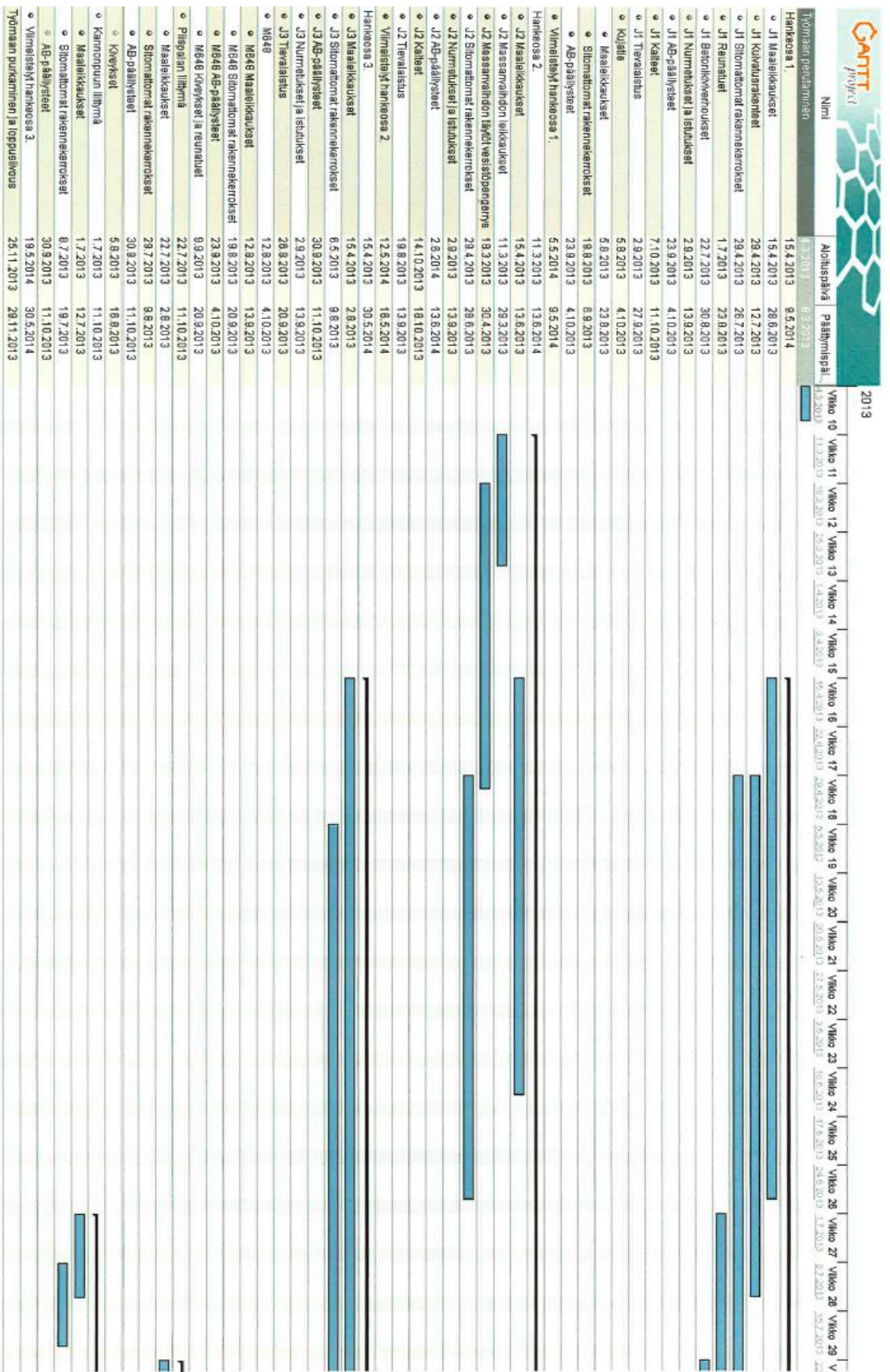
Liite 3. Kannonkosken hankkeen määräluettelo

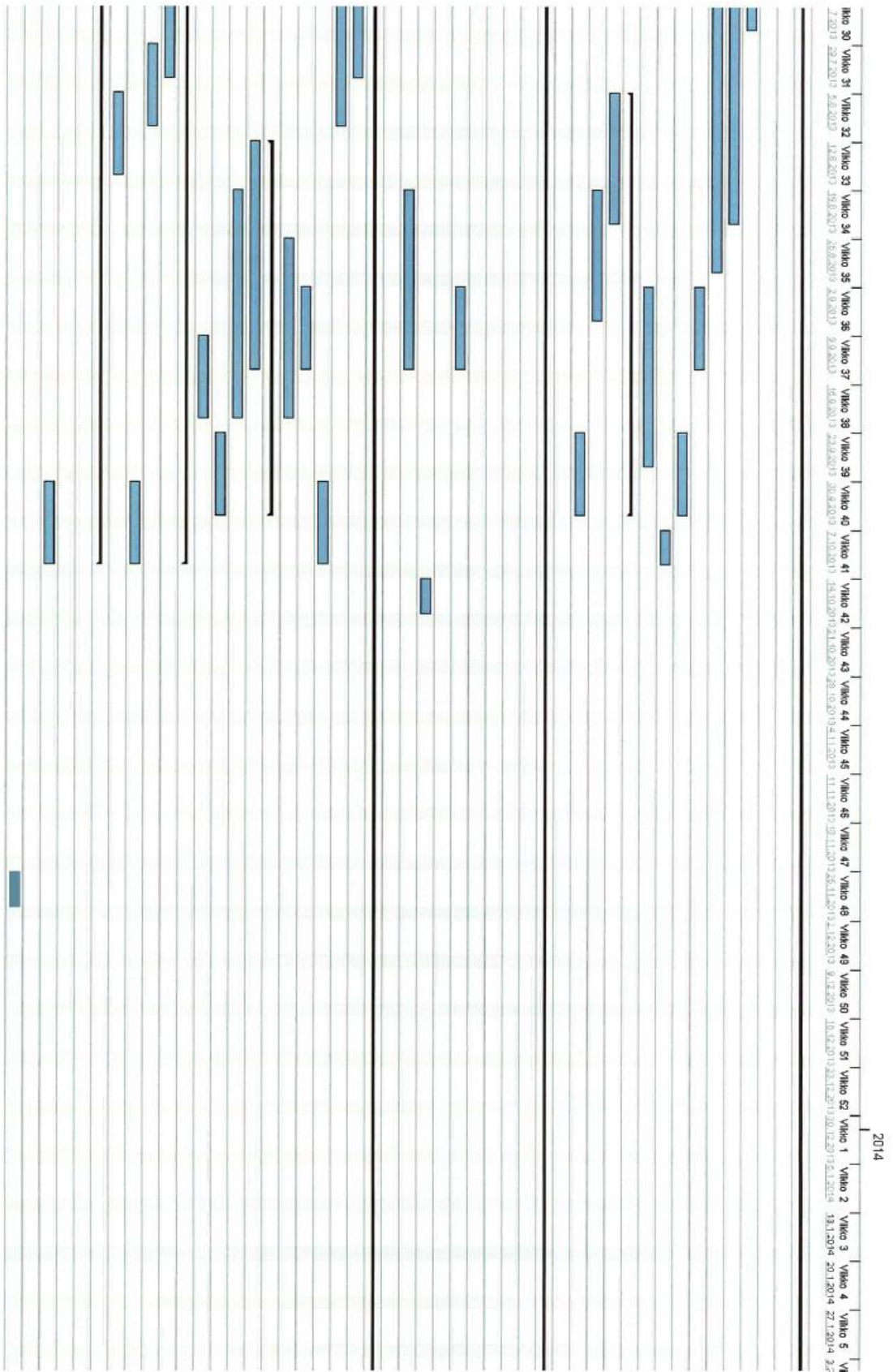
TIELIIKELAITOS KONSULTOINTI Jyväskylän toimipiste		Suoritteet		KAIKKI TIET			E11-3-1		
				27.11.2006					
Kannonkosken taajamatiet Kannonkoski Tiesuunnitelma									
VA	LITTERA	TK	SUORITERYHMÄ	SIJAINTI TIELINJALLA	SUORITE- MAARA	SUORITE- YKSIKKÖ	YKSIKKÖ- HINTA	SUMMA	HUOM
	600		YHTEISKUSTANNUKSET						
	1000		RAKENNUSALUEELLA OLEVAT RAKENTEET						
	1100		PUUSTO JA MUU KASVILLISUUS						
	1510		Pintamaan poisto	5830 m3	35758	m2		0	
	2000		LEIKKAUKSET, KAIVANNOT JA AVO-OJARAKENTEET						
	2100		MAALEIKKAUS Maaleikkaus erittelematon		10375	m3ktr		0	
	2200		MASSANVAIHTOON KUULUVAT LEIKKAUKSET Pehmeän perusmaan poisto		2633	m3ktr		0	
	4100		MAAPENKEREET JA PADOT						
	4110		Tie, rata, yms penkereet		3914	m3rtr		0	
	4120		Massanvaihtoon kuuluvat täytöt		2633	m3rtr		0	
	4300		TÄYTÖT Piennartäyttö murskeesta 0/11		74	m3rtr		0	
	4310		Luiskatäyttö		5443	m3rtr		0	
	4400		SUODATIN-, ERISTYS- JA JAKAVAT KERROKSET						
	4400		SUODATIN, ERISTYS- JA JAKAVAT KERROKSET						
	4410		Suodatin- ja eristyskerrokset sekä maalaatikot ja siirtymäkiilat hiekasta		17466	m3rtr		0	
	4500		SITOMATTOMAT KANTAVAT KERROKSET						
	4530		Sitomattomat jakava+kantavat kerrokset		4222	m3rtr		0	
	5000		PINTARAKENTEET JA VIIMEISTELYT						
	5200		BITUMISILLA SIDEAINEILLA SIDOTUT KULUTUSKERROKSET						
	5210		Päällyste AB		5032	m2		0	
	5210		Päällystetyyppi AB jk+pp		7318	m2		0	
	5300		SORAPINTA						
	5300		Sorapinta murskatusta materiaalista	Yksitystiet	16	m3rtr		0	
	5400		MUUT PÄÄLLYSTEET JA KOVAT PINTARAKENTEET						
	5410		Betonilaatta- ja betonikiviverh. Unikivi tai vastaava, korkeus 8cm		124	m2		0	

TIELIIKELAITOS KONSULTOINTI Jyväskylän toimipiste		Suoritteet		KAIKKI TIET		E11-3-1			
				27.11.2006					
Kannonkosken taajamatiet Kannonkoski Tiesuunnitelma									
VA	LITTEERA	TK	SUORITERYHMÄ	SJAJINTI TIELINJALLA	SUORITE- MÄÄRÄ	SUORITE- YKSIKKÖ	YKSIKKÖ- HINTA	SUMMA	HUOM
	5450		Nupukiviverhous		37	m2		0	
	5600		VIHERRAKENTEET						
	5622		Nurmetus II -luokka		1980	m2		0	
	5623		Nurmetus III -luokka		11067	m2		0	
	5624		Nurmetus IV-luokka		11910	m2		0	
	5640		Istutukset (runkopuut, suuret)		53	kpl		0	
	5640		Istutukset (runkopuut, pienet)		3	kpl		0	
	5700		REUNATUET, SADEVESIKOURUT JA PORTAAT						
	5710		Reunatuet 16 cm, betoni		602	m		0	
	5710		Reunatuet 16, graniitti		500	m		0	
	5800		TASAUKSET JA SIISTIMISTYÖT						
	6000		PERUSTUS- JA PUTKIRAKENTEET						
	6800		KUIVATUSRAKENTEET JA PUTKISTOT						
	6810		Päätierummut						
				Ø 300mm	93	m		0	
				Ø 400mm	45	m		0	
			Betoni, nykyisen jatkaminen	Ø 600mm	6	m		0	
			Betoni, nykyisen jatkaminen	Ø 1000mm	10	m		0	
				Ø 1800mm				0	
	6830		Salaojat						
				Ø 100mm	1446	m		0	
			Salaojakaivot	Ø 400mm	4	kpl		0	
			Salaojantarkastusputki	Ø 200mm	6	kpl		0	
	6840		Sadevesiviemäröinti						
			Sadevesiviemäröinti	Ø 200mm	15	m		0	
			-	Ø 250mm	120	m		0	
			-	Ø 400mm		m		0	
			Sadevesikaivot,	Ø 560mm	12	kpl		0	
	7000		SILLAT, VARUSTEET JA ERITYISRAKENTEET						
	7100		SILLAN RAKENTAMINEN Kevyt väylän rakentaminen nykyiselle Kannonkosken YKS						
	7200		SUOJALAITTEET, MELUESTEET						
	7210		Kaiteet ja johteet Yhdistelmäkaide, tie-kevytkaide		392	m		0	

TIELIIKELAITOS		Suoritteet		KAIKKI TIET		E11-3-1			
KONSULTOINTI									
Jyväskylän toimipiste				27.11.2008					
Kannonkosken taajamatiet									
Kannonkoski									
Tiesuunnitelma									
VA	LITTERA	TK	SUORITERYHMÄ	SIJAINTI TIELINJALLA	SUORITE-MAARA	SUORITE-YKSIKKÖ	YKSIKKÖ-HINTA	SUMMA	HUOM
	7220		Puomit, rautatien puolipuomit		0	kpl		0	
	7300		LIIKENTEENOHJAUSLAITTEET						
	7310		Liikennemerkkit		27	kpl		0	
	7350		Tiemarkinnät, maalatut		148	m2		0	
	7500		TIEVALAISTUS, PUMPPAAMOT, PUHELIMET JA VIESTINTÄLAITTEET, SÄHKÖ- JA KONETEKNISET LAITTEISTOT						
	7510		Tievalaistus		2,7	km			
	7600		KIERTOTIET, VARASILLAT JA TYÖNAIKAISEN LIIKENTEEN HOITO						
			RAKENNUSKUSTANNUKSET ILMAN YHTEISKUSTANNUKSIA						EUROA
			RAKENNUSKUSTANNUKSET YHTEISKUSTANNUKSINEEN						
			Tietoituskustannukset					0	
			Korvauskustannukset						
			KOKONAISKUSTANNUKSET						

Liite 4. Kannonkosken hankkeen yleisaikataulu





KUVALUETTELO

- KUVA 1. ELY-keskukset Suomessa s. 13
- KUVA 2. Periaatekuva koneohjausjärjestelmän komponenteista s. 14
- KUVA 3. Näkymä koneohjauslaitteen näytöltä s. 15
- KUVA 4. RTK-GPS –mittauksen periaate s. 16
- KUVA 5. Havainnekuva Trimnet-tukiasemaverkosta s. 18
- KUVA 6. Langaton tiedonsiirto s. 19
- KUVA 7. Kohteen yleiskartta s. 20
- KUVA 8. Leica PowerDigger 3D-järjestelmä asennettuna kaivukoneeseen s. 22
- KUVA 9. Kaivukoneen ohjaamo Laajavuorella s. 23
- KUVA 10. Laajavuoren alikulun leikkauskuva A-A s. 25
- KUVA 11. Laajavuoren alikulun leikkauskuva B-B s. 26
- KUVA 12. Laajavuoren alikulun tasokuva s. 26
- KUVA 13. S3 siltajatkoksen pohjien tekoa s. 27
- KUVA 14. S1 siltajatkoksen ympärystäyttöä s. 27
- KUVA 15. Havainnekuva InfraKit –palvelusta s. 29
- KUVA 16. Koneen ottamia toteutumapisteitä Infrakit-ohjelmistossa s. 33
- KUVA 17. Valmis rakenne Laajavuorella s. 33
- KUVA 18. Kannonkosken taajamatiet yleiskartta s. 34
- KUVA 19. Hankkeen toteutusta paalukeppien avulla s. 35