



Juho Niilo Matias Pelimanni

3D-KONEOHJAUS APUVÄLINEENÄ INFRAHANKKEESSA

3D-KONEOHJAUS APUVÄLINEENÄ INFRAHANKKEESSA

Juho Niilo Matias Pelimanni
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Matias Pelimanni

Opinnäytetyön nimi: 3D-koneohjaus apuvälineenä infrahankkeessa

Työn ohjaaja: Terttu Sipilä, Oamk

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2014 Sivumäärä: 41+1 liite

Tässä insinööriyössä perehdyttiin elinkaarirakentamisen vaiheisiin. Työn tavoitteena oli selvittää, minkälaisia hyötyjä koneohjauksesta saatiin ja missä rakennusvaiheessa koneohjauksen hyödyt tulivat parhaiten esille. Työssä verrattiin koneohjauksen avulla rakentamista perinteiseen infrarakentamiseen sekä tutkittiin tietomallin luomisen ja kehittämisen vaiheita.

Työssä hyödynnettiin henkilökohtaista kokemusta rakennustyömaalta sekä eri asiantuntijoiden artikkeleita ja aineistoja liittyen tietomallinnuksen ja työ-koneautomaation kehittämiseen. Henkilökohtainen työkokemus hankittiin työskentelemällä työnjohtotehtävissä E18-hankkeessa välillä Koskenkylä – Loviisa. Hankkeessa käytettiin työkoneohjausta apuna useissa rakennusvaiheissa.

Selvitystyön perusteella voidaan todeta, että tietomalliin perustuva elinkaarirakentaminen on tulevaisuuden rakentamista. Toistaiseksi rakennustavasta ei ole saatu täyttä tehoa irti, koska toteumamalleja ei ole vielä päästy hyödyntämään, mutta tulevaisuudessa rakentaminen tulee tehostumaan huomattavasti tietomallien myötä. Koneohjauksen hyödyt työmaalla tulivat esiin materiaalin ja ajan säästöinä sekä työturvallisuuden parantumisena. Myös työkoneen kuljettajan työ helpottui ja mittausresursseja voitiin keventää.

Asiasanat:

infra, työkoneohjaus, tietomalli, elinkaarimalli, E18

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
MERKKIEN SELITYKSET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 INFRAN RAKENTAMINEN	8
2.1 Perinteinen rakennusprosessi	8
2.1.1 Lähtötiedot	8
2.1.2 Suunnittelu	9
2.1.3 Rakentaminen	9
2.1.4 Työkoneohjaus	12
2.1.5 Koneohjauslaitteisto	13
2.2 ELINKAARIMALLI	16
2.2.1 Lähtötietomalli	17
2.2.2 Tuotemalli	20
2.2.3 Toteumamalli	22
2.2.4 Ylläpitomalli	22
3 ESIMERKKIHANKE KOSKENKYLÄ – LOVIISA E18	23
3.1 Sijainti	23
3.2 Hankkeen toimijat	24
3.3 Lohko 1, Koskenkylä - Loviisa	24
4 KONEOHJAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN LOHKOLLA 1	26
4.1 Työmaan perustaminen	26
4.2 Käyttökohteet	26
4.2.1 Maaleikkaus	26
4.2.2 Rakenteet	28
4.2.3 Pohjavedensuojaus	31
4.2.4 Infran varusteet	31
4.2.5 Mallin muuttaminen	32
5 TYÖKONEAUTOMAATION VAIKUTUKSET	33
5.1 Työturvallisuus	33

5.2 Kustannusvaikutukset	33
5.3 Laatu	35
6 PÄÄTELMÄ	37
LÄHTEET	39
LIITTEET	41

MERKKIEN SELITYKSET TAI SANASTO

Gps	Global positioning system, yhdysvaltalainen satelliitti-paikannusjärjestelmä.
Glonass	Venäläinen siviili- ja sotilaskäytössä oleva satelliittijärjestelmä
RTK	Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus.
Takymetri	Mittalaite, jolla mitataan säteittäisesti pisteiden sijainteja kojeeseen nähden.
BIM	Building information model, tietomalli.
Laserkeilaus	Mittautapa, jolla kohteesta saadaan lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa.
E18	Eurooppatie 18
Maastomalli	Mittaamalla saatua tietoa maaston pinnan muodoista avaruuskoordinaatistossa.
Tukiasema	Asema, joka lähettää mittalaitteelle korjaussignaalia tarkemman tuloksen saavuttamiseksi.
Tarkemittaus	Mittaus, jolla tallennetaan pisteen koordinaatit ja varmistetaan kohteen oikeellisuus suunnitelmiin nähden.
3D	Kolmiulotteinen
Kalibrointi	Koneen asentaminen käyttökuntoon.

1 JOHDANTO

Perinteinen infrarakentaminen on jäämässä taka-alalle uusien mittalaitteiden ja koko hankkeen elinkaarta koskevien prosessien ja menetelmien kehittyessä. Perinteisessä rakentamisessa mittamiehen rooli on suuri, koska hän merkkää suunnittelijalta saamansa 3D-mallin mukaiset rajat, linjat, tasot ja pisteet maastoon takymetriä käyttäen. Merkkauksen jälkeen työkoneen kuljettaja muotoilee rakennettavan kohteen ohjeiden mukaisesti, jonka jälkeen rakenne mitataan uudelleen. Tässä työtavassa usein on riskinä mittamiehen ja konemiehen väliset väärinymmärrykset sekä merkkien työaikainen liikkuminen.

Työkoneohjaus on 2000-luvulla yleistynyt apuväline maa- ja vesirakennushankkeissa. Suurimmat infra-alan yritykset ovat siirtyneet käyttämään koneohjausta, mutta se on yleistymässä myös pienemmissä hankkeissa. Koneohjauksessa työkoneen kuljettaja saa avukseen suunnittelijan luoman 3D-mallin, joka ohjausjärjestelmään liitettyjen mittalaitteiden avulla opastaa kuljettajaa rakentamisessa joko GPS:n tai robottitakymetrin avulla. Koneohjauksen myötä mittamiehen tarvetta työmaalla on pystytty vähentämään.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia koneohjauksen käytön nykytilaa ja käyttökohteita. Tutkimusalueena oli koneohjaus ja sen hyödyntäminen moottoritiehankkeen rakentamisen eri vaiheissa aina maaleikkauksesta valmiiseen rakenteeseen. Opinnäytetyössä tarkasteltiin myös koneohjauksen vaikutusta työturvallisuuteen, työn laatuun, hukkatyön määrään ja ajan käyttöön. Teoriaosuudessa on tarkasteltu yleisesti myös elinkaarimallirakentamista, joka käsittää rakennushankkeen koko elinkaaren ajan. Työssä pystyin hyödyntämään kesällä 2013 saamiini kokemuksia toimittuani E18-hankkeessa työnjohtajana.

2 INFRAN RAKENTAMINEN

Rakentaminen on murroksessa. Kaivinkoneisiin, puskukoneisiin ja tiehöyliin on asennettu tietokoneet avustamaan työtä. Perinteiset luiskamallit ja sihtilaput työmailla alkavat harvinaistua. Tuloaan tekevät reaaliaikainen konetyön seuraaminen ja dokumentointi.

2.1 Perinteinen rakennusprosessi

2.1.1 Lähtötiedot

Perinteisen infrarakentamisen lähtötietojen hankinta aloitetaan digitaalisen 3D-maastomallin muodostamisella. Se muodostetaan rakennettavan alueen pinnanmuotojen kartoituksista, pohjatutkimuksista ja maaperänäytteistä saatavan tiedon perusteella. Lähtötietoja ovat myös kaavoitukset, kiinteistöjen tiedot, olemassa oleva infra, tulevat palvelutasovaatimukset, liikennetiedot ja kuormitusluokat. Liikennetietoja ovat keskimääräinen vuorokausiliikenne, liikenteen laatu ja nopeusluokka.



KUVA 1. Laserkeilattu maan pinta (GTK)

Suurissa kohteissa pinnanmuodot voidaan kartoittaa lentokoneesta tai helikopterista tehtävällä laserkeilauksella tai fotogrammetrisella ilmakuvauksella. Pienemmissä kohteissa voidaan käyttää paikalleen sijoitettua laserkeilainta, tarkkaa gps-vastaanotinta tai takymetriä. Tällöin saadaan pinnanmuotojen vaihtelut tarkasti ja nopeasti kartoitettua.

Pohjatutkimuksissa voidaan käyttää erilaisia kairausmenetelmiä sekä maatuksausta. Pohjatutkimusten perusteella saadaan selville maalaji-, rakentamis- ja vesitekniset ominaisuudet. (Heikkilä – Jaakkola 2004.)

2.1.2 Suunnittelu

Suunnittelussa käytetään hyödyksi digitaalista maastomallia, pohjatutkimustietoja sekä muita lähtötietoja, joiden perusteella määritetään tulevan rakenteen paksuudet, käytettävät rakennusmateriaalit sekä mahdollinen pohjan vahvistustarve.

Vaikka tiensuunnittelussa käytettävät ohjelmat mahdollistavat kolmiulotteisen mallinnoksen luomisen, tiesuunnitelmat yksinkertaistetaan työmaata varten kaksiulotteisiksi. Työmaalle lähetettävät kuvat sisältävät suunnitelmakartat, pituusleikkaukset, poikkileikkaukset ja tyyppikuvat. Poikkileikkausten tiheys riippuu rakenteen vaativuudesta. Esimerkiksi kaarteissa ja risteysalueilla poikkileikkausten tiheyttä kasvatetaan ja suoralla tiellä harvennetaan.

2.1.3 Rakentaminen

Mittausryhmä merkitsee tiealueen maastoon takymetrin avulla x-, y-koordinaatistossa tarvittavan paaluvälin mukaan. Merkitsemisessä käytetään mittakeppejä, sihtilappuja ja luiskamalleja. Keppien ja luiskamallien tiheys määräytyy rakennusvaiheen vaativuuden mukaan. Kepityksen jälkeen alueelta poistetaan puusto ja pintamaat.

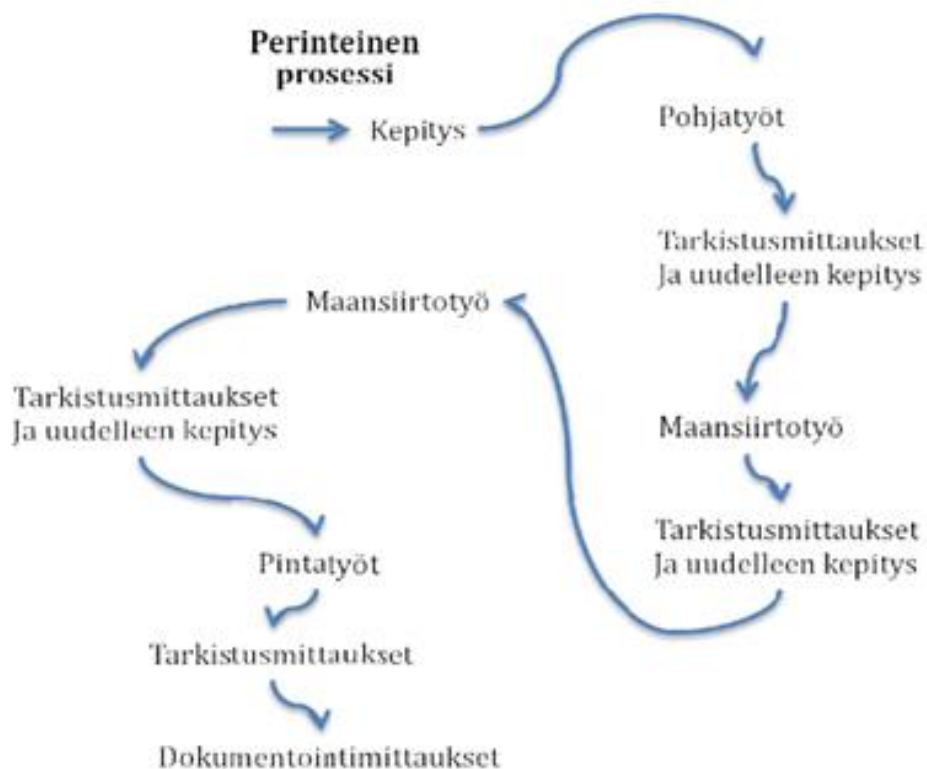
Seuraavaksi merkitään tielinja uudestaan x-, y-, z-koordinaatistossa tiheämmällä paaluvälillä. Tässä vaiheessa keppiin laitetaan korkomerkinä. Korkolappuun yleensä merkitään leikkauspohjan korko. Esimerkiksi ARP - 300 cm tarkoittaa, että alusrakenteen pohjan korko sijaitsee 3 metriä korkolapun alapuolella.

Yleensä mittakeppi sijoitetaan reilusti leikkauksen ulkopuolelle, jotta se ei häiriintyisi kaivuutyön aikana.



KUVA 2. Vasemmalla mittakeppi, jossa sihtilappu merkattuna tasausviivan korkeoon. Oikealla luiskamalli (Nurminen 2012)

Maa leikataan haluttuun tasoon. Koron mittaus ilman apuvälineitä koneen hyttistä on hankalaa, joten kuljettajan tai perämiehen on käytävä välillä mittaamassa pohjaa tasolaaserin ja latan avulla. Kun pohja on leikattu tavoitetasoon, otetaan siitä tarkemittaukset takymetrillä ja tarvittavat kohteet korjataan. Jos korjauksia ei tarvita, takymetrillä otetut tiedot tallennetaan ja dokumentoidaan laatulaatukäytäntöihin. Tarvittaessa pohjasta otetaan kantavuusmittaukset.



KUVA 3. Perinteinen rakennusprosessi (Kauppinen 2010, 2)

Tien rakennekerrosten tekemisessä sama työmenetelmä jatkuu. Rakennustavaraa ajetaan kaivantoon, jossa se muotoillaan kaivinkoneella vaadittuun tasoon ja tiivistetään. Perämies suorittaa jälleen raakamittauksen tasolaaserilla ja hoitaa tiivistyksen jyrällä, jonka jälkeen kerroksen pinta tarkemmitataan ja tehdään tarvittavat korjaukset. Työvaiheet toistetaan kunnes rakenne vastaa suunnitelua. Valmiin pinnan mittaukset ja kantavuuskokeet suoritetaan jokaisesta kerroksesta erikseen ja dokumentoidaan.

Dokumentit kerätään laatuaineistoksi ja esitetään rakennushankkeen tilaajan edustajalle. Tilaajan edustaja vastaanottaa tai hylkää työn. Jos laatuksiteerit eivät täyty, voidaan työ silti vastaan ottaa, mutta määrätä sille arvon alennusta. Rakennuksen takuu aika käynnistyy, kun tilaaja vastaanottaa työn.

2.1.4 Työkoneohjaus

Työkoneohjausta käytettäessä sama rakennusprojekti on huomattavasti yksinkertaisempi. Suunnittelijan luoma 3D-malli ladataan työkoneen tietokoneelle. Mallissa kuvataan rakennettavan kohteen korot ja linjat. Työkoneeseen asennetut anturit mahdollistavat koneen reaaliaikaisen liikkeen siirtämisen suunnittelijan luomaan malliin. Työkoneen kuljettaja näkee näytöltä koneen liikkeet ja pysyy sen perusteella ohjaamaan koneen kauhan tai terän liikkeet oikeaan kookoon ja linjaan. 3D-koneohjauksen avulla voidaan maastoon rakentaa helposti kuperia, koveria ja taitteiltaan monimuotoisia pintoja.

Valmiin pinnan dokumentointi onnistuu myös koneohjausta käyttämällä, kun tiedetään kauhan mittauspisteen koordinaatit. Koneohjaus järjestelmää on kuitenkin kalibroitava säännöllisesti kauhan tai terän kulumisen ja teknisten vikojen vuoksi. (Piiroinen 2012.)

Tausta

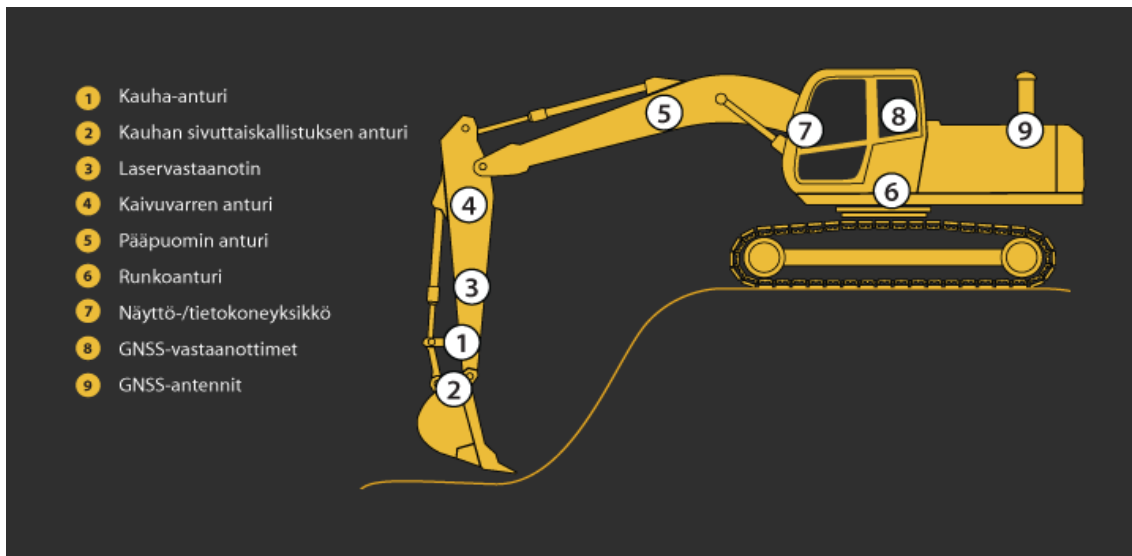
Työkoneautomaation tutkiminen käynnistettiin ensimmäisen kerran vuonna 1998. Ensimmäisen tutkimuksen työkoneautomaatiosta tekivät Oulun yliopisto ja VTT. Tutkimuksen rahoittajana toimi Tekes. Ensimmäinen tutkimusprojekti kehitti 3D-ohjausjärjestelmällä toimivan tiehöylän. 3D-ohjauksessa paikannustekniikkana käytettiin robottitakymetriä eli automaattista koordinaattimittalaitetta.

Satelliittipaikannuksen ansiosta yritykset kiinnostuivat enemmän työkoneautomaatiosta. Erityisesti valtio-omisteinen Destia alkoi kehittää omaa koneautomaatiojärjestelmää ja saikin ensimmäisenä siitä työmaakäytössä toimivan. Kemi – Tornio-moottoritie vuonna 2010 oli ensimmäinen suuri hanke, jossa työkoneautomaatiota käytettiin laajemmassa mittakaavassa.

Satelliittimittalaitteiden kehityttyä alettiin satelliittipaikannusta hyödyntämään työkoneautomaation kehittämisessä. Liikkuvaa työkonea varten kehitettiin RTK-GPS-paikannusjärjestelmä, joka pystyi tarpeeksi tarkkoihin ja nopeisiin mittauksiin. Ympäri vuorokautinen paikannus rakennustyömaille varmistui, kun amerikkalaisen GPS:n rinnalle otettiin venäläinen Glonassatelliittijärjestelmä. (Heikkilä 2012.)

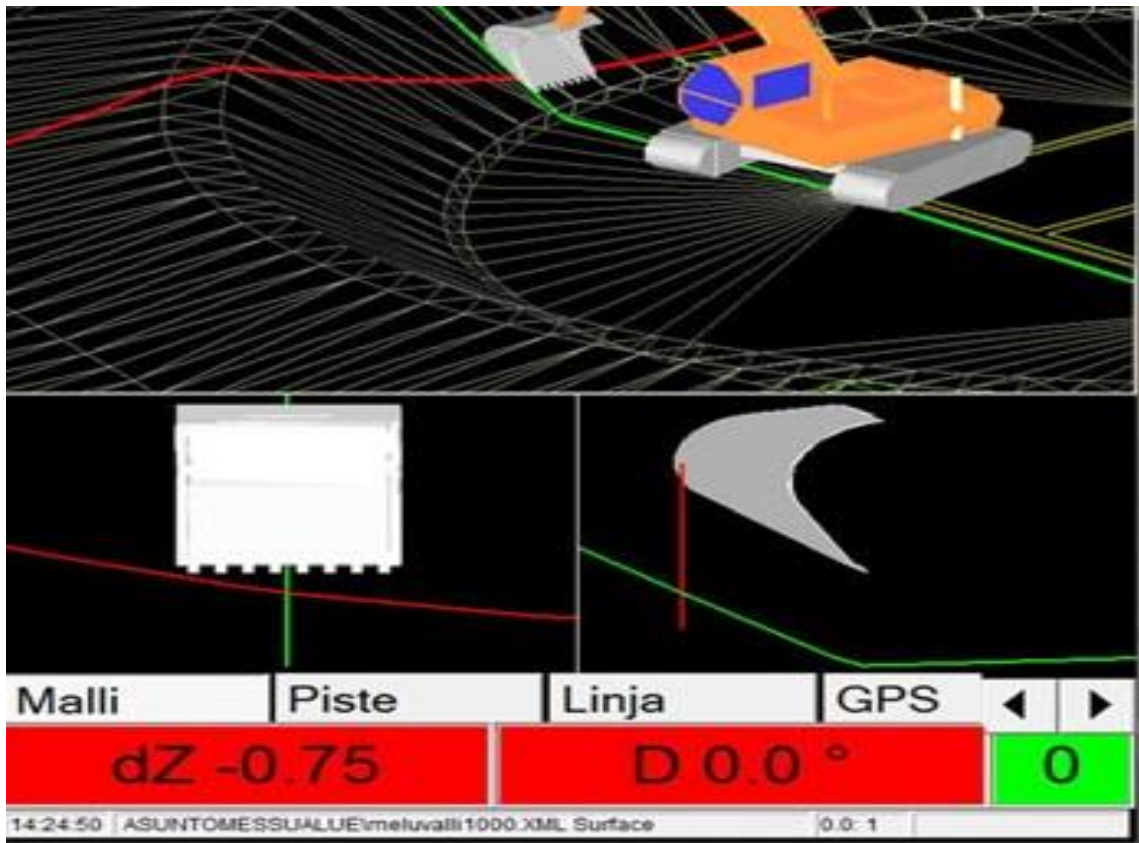
2.1.5 Koneohjauslaitteisto

Varhaisin koneohjauksen vaihe oli tasolaser ja kaivinkoneen kauhaan kiinnitetty vastaantoin. Tasolaser sijoitettiin tunnettuun korkoon ja vastaanotin kiinnitettiin kauhaan pinnan korkoon säädetyllä latalla. Koneen kuljettaja näki vastaanottimesta, milloin kauha oli halutussa tasossa.



KUVA 4. Koneohjauksella varustettu kaivinkone (Novatron)

3D-koneohjauslaitteistoon kuuluu satelliittipaikannukseen ja takymetripaikannukseen tarvittavat vastaanottimet sekä koneen ja kauhan liikkeitä mittaavat anturit (kuva 4). 3D-järjestelmässä suunnittelijan luoma koneohjausmalli ja koneen liikettä mittaavien antureiden ja satelliittivastaanottimien keräämä paikkatieto yhdistetään. Tietokoneyksikkö käsittelee informaation ja piirtää koneen liikkeen reaaliajassa ohjaamossa olevalla näytöllä. Näytön kuvan perusteella koneen kuljettaja osaa liikutella kauhaa mallin vaatimusten mukaan (kuva 5).



KUVA 5. Näkymä koneohjauksella varustetun kaivinkoneen näytöllä (Nurminen 2012)

Satelliittipaikannus järjestelmä

Satelliittijärjestelmiä on kolme. Yhdysvaltalainen GPS, Venäläinen GLONAS ja Eurooppalainen Galileo. Näiden kaikkien satelliittijärjestelmien kokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi. GNSS tulee sanoista global navigation satellite system.

RTK-Tukiasema

Satelliitit kulkevat n. 21000 kilometrin korkeudessa maata kiertävällä radalla. Pitkä etäisyys maahan altistaa signaaleja häiriöille ja vähentävät mittalaitteiden tarkkuutta. Tukiaseman avulla virheen voi minimoida sijoittamalla tukiasema tunnetulle koordinaatille. Pisteeltä tukiasema voi mitata tunnettujen ja havaittujen pisteiden välistä eroa ja korjata paikannusvirheen. Tukiasema lähettää työkonetta kartoitusyksikköön korjaussignaalin radio- tai dataverkon avulla. Tarkkaa satelliittimittausta kutsutaan RTK-mittaukseksi. (Mäki-Tulokas. 2014.)



KUVA 6. Tukiasemakontti (Nurminen 2012)

2.2 ELINKAARIMALLI

Tietomalli tarkoittaa rakenteen koko elinkaaren ajalta kerättyjen tietojen ja geometrian kolmiulotteista esittämistä digitaalisessa muodossa. Tietomallia voidaan hyödyntää suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Elinkaarimallirakentamisessa pyritään luomaan yhtenäinen tuotemalli, jossa rakenteen suunnittelu- ja toteumatieto saatetaan näkyville hankkeen kaikissa vaiheissa suunnittelusta toteutukseen ja toteumasta ylläpitoon. Kolmiulotteinen malli toteutuneesta rakenteesta mahdollistaa ylläpidon ja saneerauksen tehokkaan suunnittelun. (Rakennustieto.)

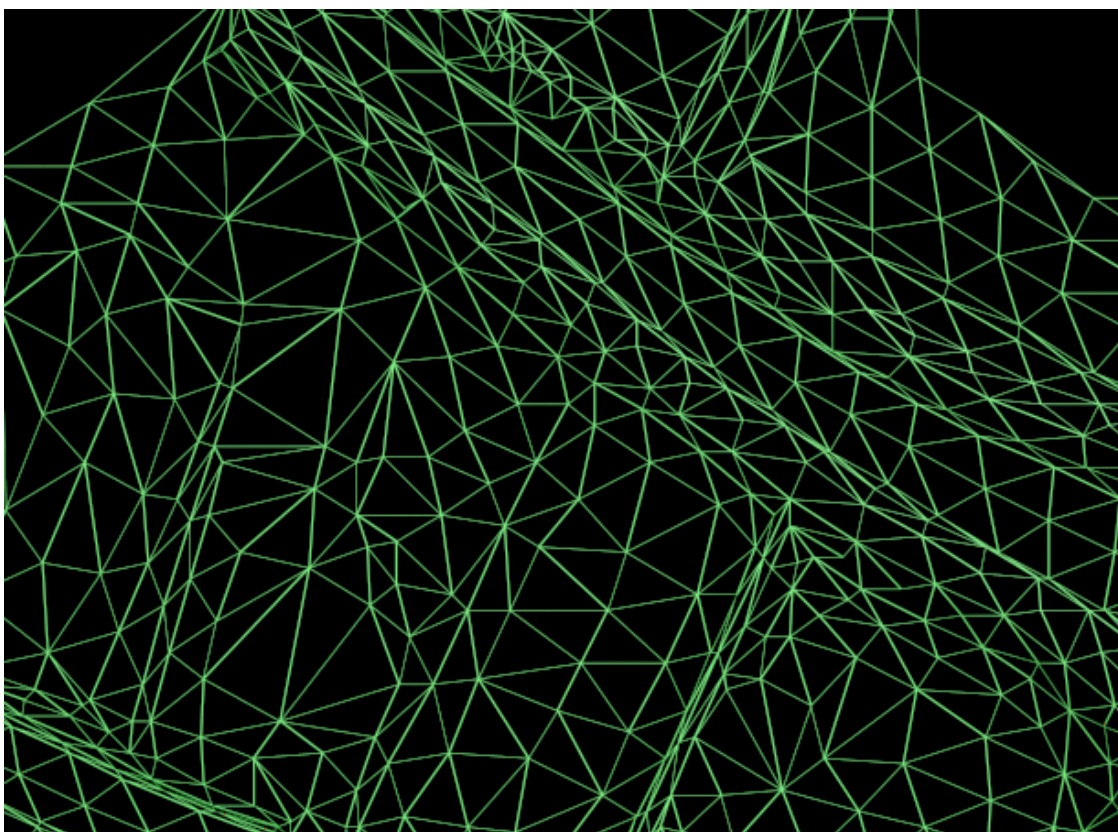


KUVA 7. Infrarakennuksen elinkaarimalli (Rakennustieto)

2.2.1 Lähtötietomalli

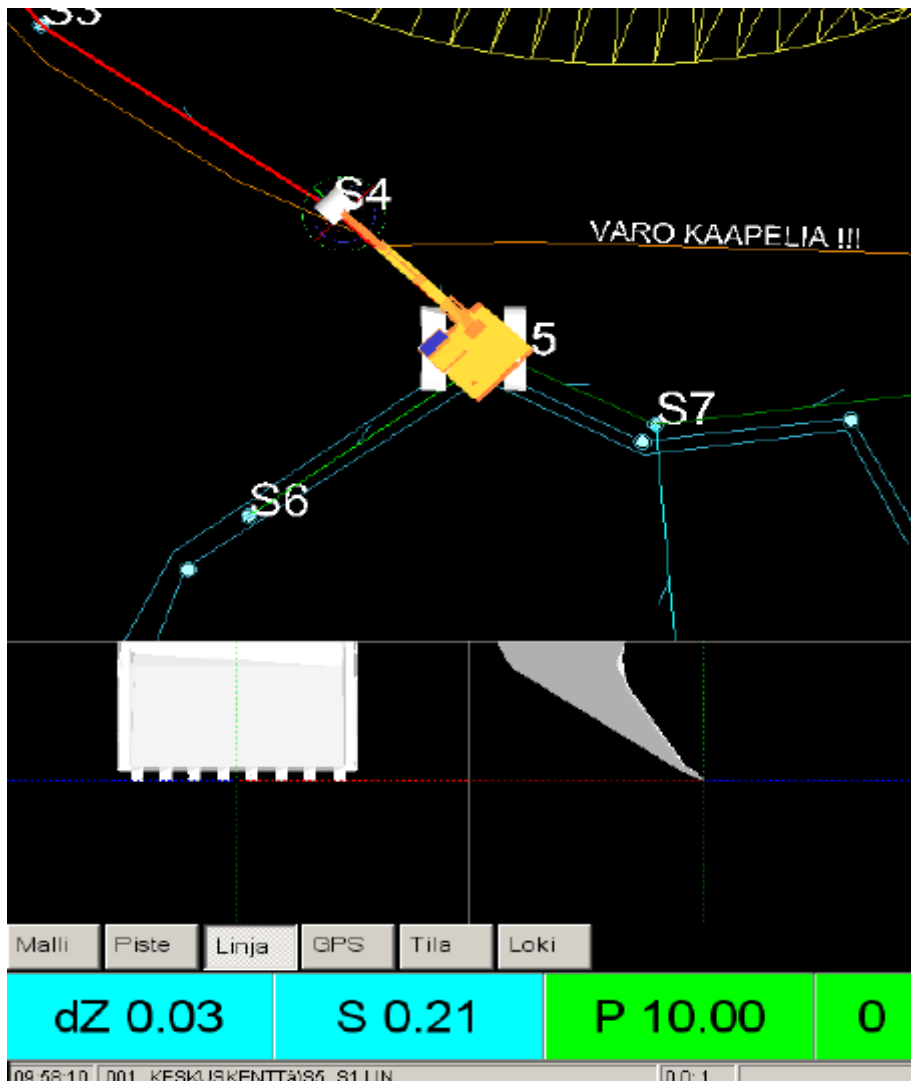
Koneohjausmallin luominen aloitetaan lähtötietojen keräämisellä ja luomalla niiden pohjalta kolmiulotteinen maastomalli. Lähtötiedot ovat samat ja kerätään samoin kuin perinteisessä rakentamisessa.

Suunnittelu aloitetaan lataamalla alueen pohjakartta ja laserkeilattu maanpinta suunnitteluohjelman pohjaksi. Suunnitteluohjelmia ovat esimerkiksi Trimblen Tekla Civil sekä AutoCAD 3D:tä pohjana käyttävä Novapoint. Laserkeilauksen lopputuloksessa on maanpinnan muodot esitetty x-y-z-koordinaatistossa piste-pilvenä. Pistepilvestä luodaan kolmioverkko, joka interpoloimalla muodostaa tunnettujen pisteiden välille maanpinnan muotoja kuvaavia viivoja. Viivoista muodostuu kolmiulotteinen kolmioista koostuva verkko. Kolmioverkkoa harvennetaan tai tihennetään rakennuskohteen vaatimusten mukaan. (Eklöf 2011.)



KUVA 8. Maastomallin kolmiointi

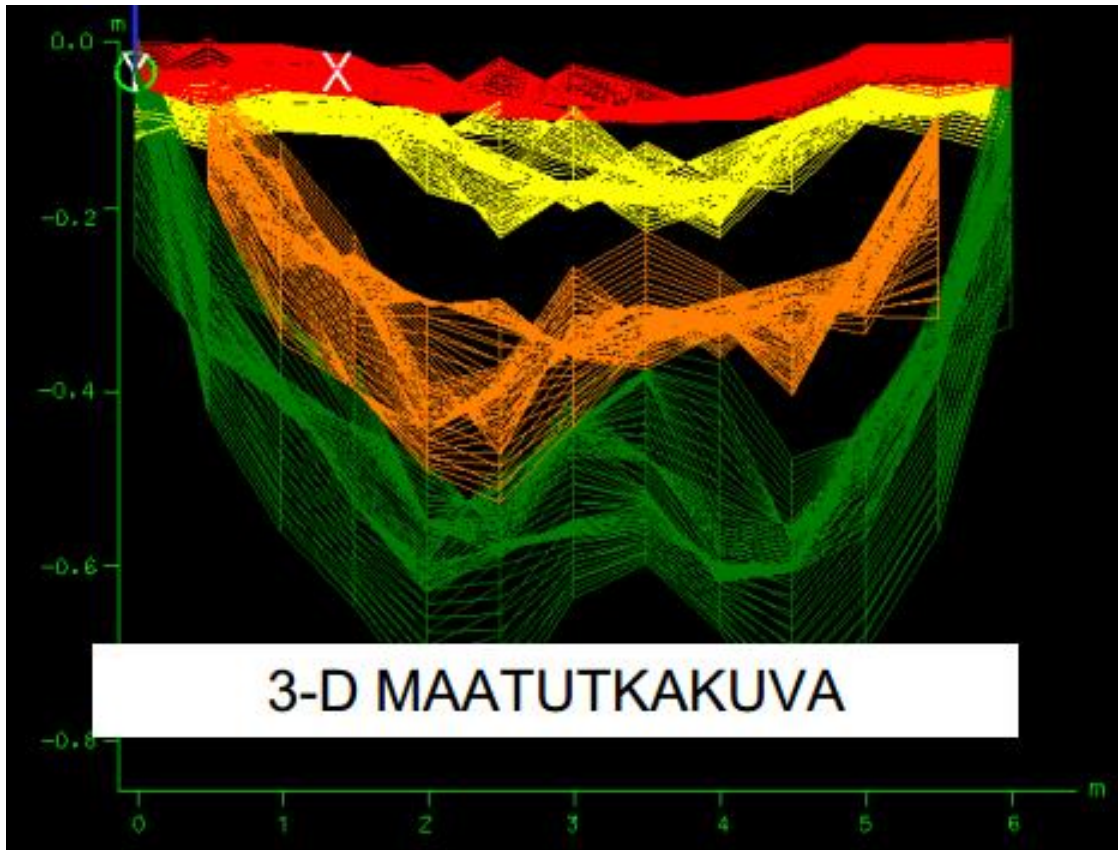
Olemassa olevan infran rakenteet ja objektit liitetään maastotietokantaan. Esimerkiksi alueen tie-, vesi-, viemäri- ja lämpöverkon sekä sähkö- ja telekaapeleiden sijainnit voidaan lisätä malliin suojaetäisyyksien määrittelyn helpottamiseksi. Olemassa oleva infra on syytä liittää malliin uuden ja vanhan infrarakenteen yhdistämiseksi. (Mäkelä.)



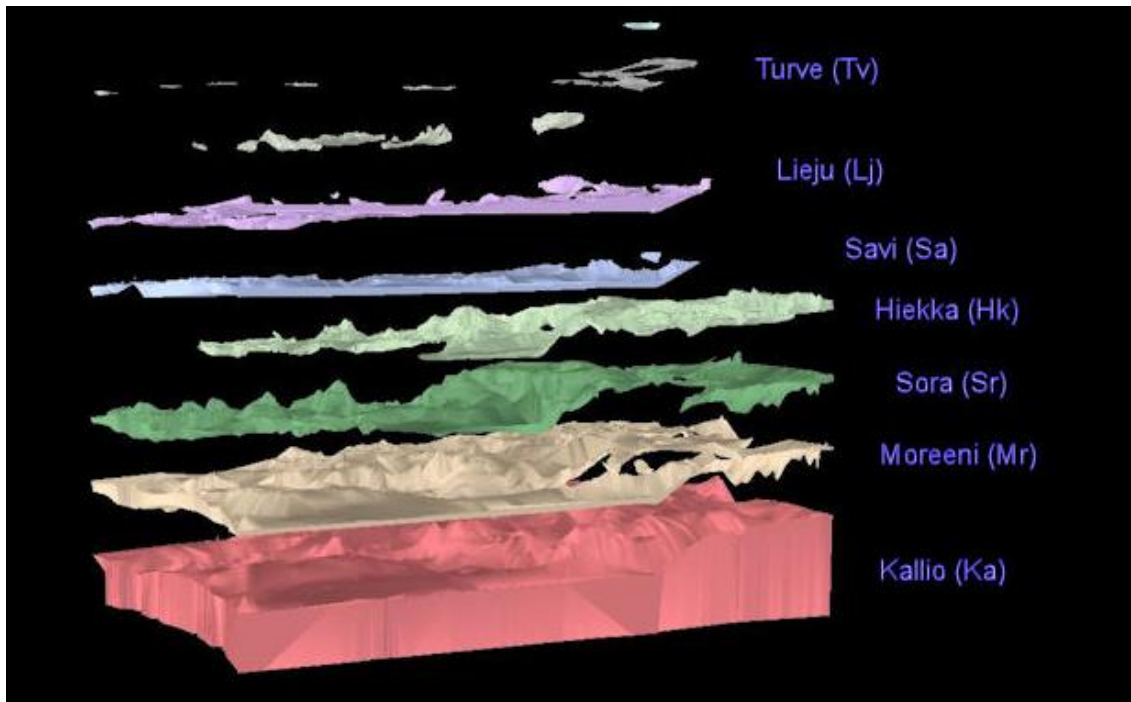
KUVA 9. Kun tuotemalliin yhdistetään olemassa olevaa infraa, voidaan koneen kuljettajaa informoida esimerkiksi putkista tai kaapeleista (Nurminen 2012)

Lähtötietomallin luomiseen tarvitaan myös pohjatutkimukset. Pohjatutkimuksia voidaan mallintaa kolmiulotteiseksi malliksi. Tarkan mallin saamiseksi pohja pitää maatutkata, jotta kallion kohoumat saadaan tallennettua. Maatutkalla saadaan tarkka kuva maakerroksien muodoista, mutta tutkausta on hankala suorittaa.

taa maastossa laitteen hankalan liikuteltavuuden vuoksi. Maatutkaus sopii myös erinomaisesti tehtäväksi kairausten yhteydessä. Tutkakuvan perusteella on helppo kohdistaa kairaustarpeet tietyille alueille. (Geo-work.)



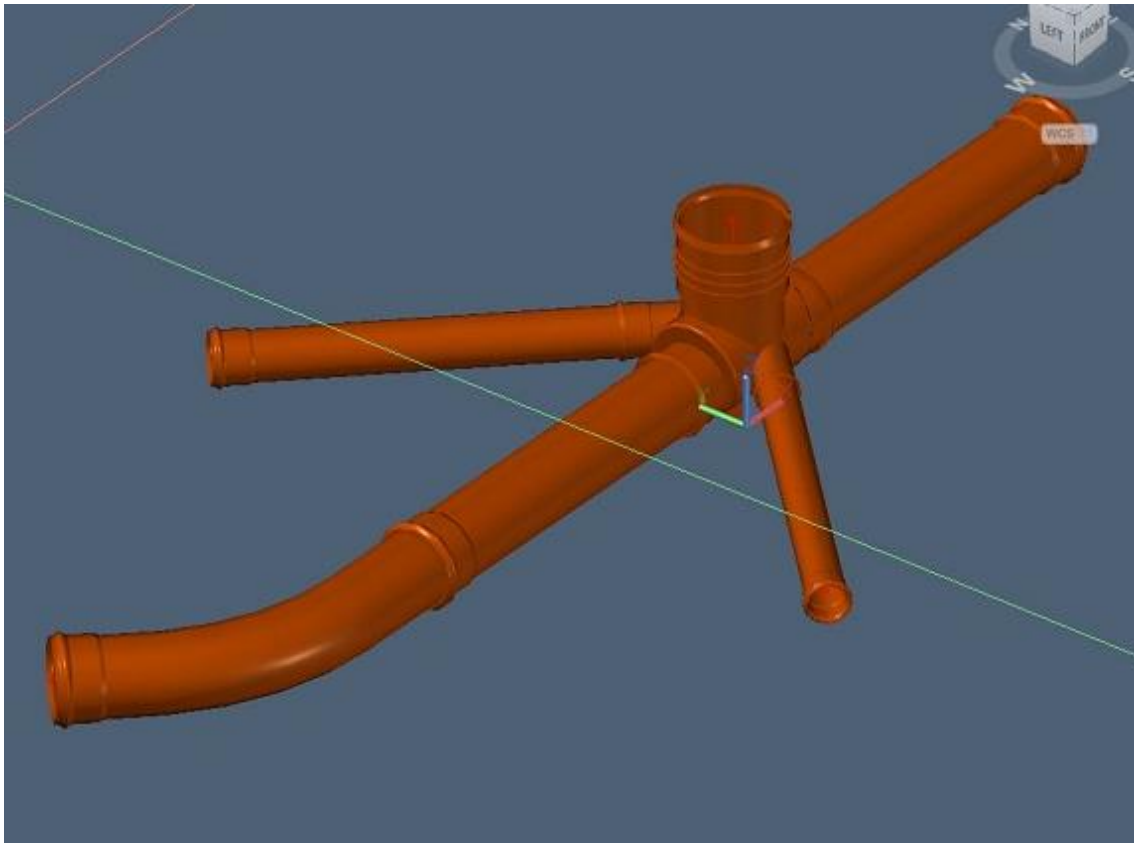
KUVA 10. Kolmiulotteinen malli maatutkalla tehdystä pohjatutkimuksesta (Mäkelä 2012)



KUVA 11. Maaperämalli, jossa esitettyä kolmiulotteisesti maa-aineksien kerrokset (GTK)

2.2.2 Tuotemalli

Suunnittelumalli lähdetään luomaan karkeasti mittalinjalla, jonka jälkeen muotoillaan pystygeometria. Malliin määritetään tarvittavat kaaret ja siirtymäkaaret. Mittalinjaan sidotaan muut rakenteeseen liittyvät tiedot, kuten ajoradan kaltevuudet, ajoradan ja pientareen leveydet sekä ojaluisien muodot. Suunniteluohjelmalla voidaan muodostaa annettujen tietojen perusteella tierakenteen kolmiulotteinen toteutusmalli. Mallista voidaan tarkastella sen rakennettavuutta kolmiulotteisesti. Esimerkiksi putket ja laitteet voidaan tarkastaa, jotteivät ne leikkaa toisiaan ja että peitesyvyyden vaatimukset täyttyvät joka kohdassa.



KUVA 12. Putkien ja laitteiden sijaintia on helppo tarkastella kolmiulotteisesta mallista (Novapoint)

Kolmiulotteisen mallin perusteella voidaan tulostaa kohteen leikkausmassat ja rakenteen kerroksiin tarvittava määräluettelo. Suunnitteluohjelma laskee määrät jokaista määritettyä rakennekerrosta varten.

Koneohjausmalli muodostetaan suunnittelumallista. Siihen sisältyy mallit rakennettavan väylän leikkauksista ja rakennekerroksista sekä erillinen malli varusteista, kuten putkista, kaivoista, venttiileistä ja kaapeleista. Mallit kannattaa luoda jokaista kerrosta ja laitetta varten erikseen, jotta tiedostosta ei tulisi liian raskas. Koneen kuljettaja voi valita tarvitsemansa mallin tarpeen mukaan. Tämä keventää tiedostoja huomattavasti. Myös oleelliset tiedot olemassa olevasta infrasta on syytä liittää koneohjausmalliin. (Eklöf 2011.)

Koneohjausmalli on niin sanottu rautalankamalli eli muodostuu rakenteen pintaa kuvaavasta kolmioverkosta. Kolmioverkko voi olla rakenteen suoraviivaisuudesta riippuen hyvinkin harva, mutta esimerkiksi liittymien ja kaarteiden kohdilla

laskentatiheyttä kannattaa taajentaa. Turhan taajaa laskentaväliä on syytä välttää, sillä se lisää koneohjausmallin kokoa. (Eklöf 2011.)

Suunnittelija toimittaa mallin työkoneen tietokoneelle koneohjauslaitteesta riippuvassa formaatissa. Nykyisin kuitenkin pyritään luomaan yhtenäinen formaatti, jota käytettäisiin suunnittelu-, mittaus-, koneohjaus- ja toteumamalleissa. Säästöjä syntyisi, kun kaikki infra-alan toimijat käyttäisivät samaa formaattia.

2.2.3 Toteumamalli

Toteumamallilla tarkoitetaan toteutetun rakenteen mallintamista 3D-muotoon. Mallissa esitetään esimerkiksi rakenteen pohjan ja kerrosten paksuudet ja kalusteiden sijainnit. Toteumamalli on erittäin tärkeässä roolissa rakennetta saaneeratessa tai kun rakenteen ympärille rakennetaan uutta infraa.

Työkone toimii tarkkana toteumatiedon keräyslaitteena, kun se on varustettu 3D-mittausjärjestelmällä. Kun tiedonkeruu on suunniteltu hyvin, mahdollistaa se toteuman mallintamisen. (Mitta Oy.)

2.2.4 Ylläpitomalli

Kun rakennustyöt on saatettu päätökseen ja rakenne on dokumentoitu riittävän tarkasti, alkaa rakennetun infran käyttö sekä ylläpito- ja hoitotyöt. Nykyaikana enenevissä määrin hankkeisiin kuuluu rakentamisen lisäksi myös ylläpitoaika, johon luonnollisesti kuuluu rakennetun infran palvelutason säilyttäminen.

Käytön, ylläpidon ja hoidon aikana infran kuntoa seurataan erilaisten rakenteeseen ja palvelutasoon kohdistuvien mittausten avulla. Esimerkiksi tierakenteen kuntoa voidaan seurata maatutkilla, joista havaitaan syvemmällä rakenteessa tapahtuvat muutokset tai PTM-laitteistolla varustetuilla autoilla, joilla havaitaan rakenteen pinnan kulumiset, epätasaisuudet ja kaltevuudet. Mittaustulokset ja rakenteeseen tehtävät muutokset ja korjaukset tulee tallentaa ylläpitomalliin. (Heikkilä – Jaakkola 2004.)

3 ESIMERKKIHANKE KOSKENKYLÄ – LOVIISA E18

Tässä työssä tarkastelukohteena on E18 Koskenkylä – Kotka-moottoritien rakennushanke lohkon 1 osalta. Toimin kyseisellä loholla työnjohtajana touku-kuusta 2013 lohkon valmistumiseen saakka. Uusi tieosuus avattiin käyttöön lo-kakuussa 2013. Hanke valittiin vuonna 2013 Rakennuslehden kilpailussa vuoden työmaaksi.

3.1 Sijainti

Maantieteellisesti tarkasteltuna hanke sijaitsi itäisellä Uudellamaalla noin 80 kilometriä Helsingistä itään välillä Koskenkylä – Loviisa. Pääosin kohteen maasto oli kuivaa kangasmaata lukuun ottamatta Loviisajoen suistoa, jonka maaperä oli erittäin soistunutta. Mielenkiintoisen haasteen rakennushankkeelle toivat alueella runsaana esiintyvät pulterit eli suuret luonnon kivet.



KUVA 13. Tarkasteltavan rakennushankkeen sijainti. Lohko 1 on vihreällä merkitty alue (Liikennevirasto; Kaakkois-Suomen ELY-keskus)

3.2 Hankkeen toimijat

Hankkeen tilaajana toimii Liikennevirasto. Tien rakennuttajana toimii Tieyhtiö Valtatie 7 Oy, jonka omistajia ovat Meridiam Infrastructure, Keskinäinen eläkevakuutusyhtiö Ilmarinen, Destia Oy sekä YIT Rakennus Oy. (Kouvalainen.)

Destia Oy:n sekä Yit Rakennus Oy:n muodostama työyhteenliittymä TYL Pulteri toimii hankkeen pääurakoitsijana. Rakennustyöt aloitettiin hankkeella marraskuussa 2011. Rakennustyöt valmistuvat syksyllä 2014, jolloin moottoritie avataan kokonaisuudessaan liikenteelle. Lohko 1:n rakennustyöt valmistuivat lokakuussa 2013, jolloin tieosuus avattiin liikenteelle.

Urakka toteutetaan elinkaariurakkana. Liikennevirasto ostaa Tieyhtiö Valtatie 7 Oy:ltä elinkaaripalvelun, johon kuuluvat rahoitus, rakennussuunnittelu, rakentaminen sekä kunnossapito. Elinkaarisopimus kestää vuoteen 2026 asti. (Kouvalainen.)

3.3 Lohko 1, Koskenkylä - Loviisa

Lohko 1 rakennustyöt sijoituivat vanhan Vt 7:n linjaukselle. Tehtävänä oli parantaa olemassa oleva moottoriliikennetie kaksi ajorataiseksi moottoritieksi 15 kilometrin matkalta. Työt suoritettiin rakentamalla uusi ajorata vanhan ajoradan viereen, mikä tarkoitti työskentelyä vilkkaasti liikennöidyllä tiellä sekä sen välittömässä läheisyydessä. Lohkolla työskenteli yhtäaikaisesti enimmillään 100 työntekijää. Taulukossa 1 on esitetty työmaan tietoja lukuina.

TYÖMAA LUKUINA		
Maaleikkaus	460 000	m3 ktr
Kalliolouhinta	370 000	m3 ktr
Massan vaihto	90 000	m3 ktr
Asfaltti	215 000	m2
Pohjaveden suojaus	45 000	m2
Murskaus	230 000	tn
Silta	10	kpl
Uusi ajorata	15	km
Telematiikka	44 000	m
Melusuojaus	4000	m
Kevyenliikenteen väylä	200 + 200	m
Työntekijä	100	hlö

TAULUKKO 1. Lohko 1 työmaan statistiikkaa

Muita erityisen vaativia kohteita tieosuudella olivat Loviisa-läntinen eritasoliittymä sekä Långgårdin risteyssilta. Eritasoliittymän rampit uudelleen linjattiin, ja liittymän liikennejärjestelyitä parannettiin kiertoliittymällä ja liikenteen kanavoineilla. Uusi kevyenliikenteen väyliä rakennettiin n. 200 m ja vanhoja parannettiin n. 200 m.

4 KONEOHJAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN LOHKOLLA 1

4.1 Työmaan perustaminen

Työmaan perustamisvaiheessa on otettava huomioon työmaan laajuus. Tukiasemien sijoittamisen vuoksi on suunniteltava, missä työtehtävissä ja missä vaiheessa käytetään työkoneohjausta. Tarkasteltavalle työmaalle tarvittiin kaksi tukiasemaa, jotta verkko kattaisi koko työmaan. Tukiasemien sijainnissa tulee ottaa myös huomioon työt sen läheisyydessä. Hankkeella jouduttiin siirtämään tukiasemia useaan otteeseen, mikä aiheutti turhaa työtä ja käyttökatkoksia laitteissa.

4.2 Käyttökohteet

Koneohjaus on hyödyllinen lähes kaikessa konetyössä. Joissain työvaiheissa koneohjauksesta on kuitenkin enemmän hyötyä kuin toisissa. Koneohjaus ei kuitenkaan poista kuljettajan ammattitaidon vaatimuksia mutta vähentää ylimääräistä työtä.

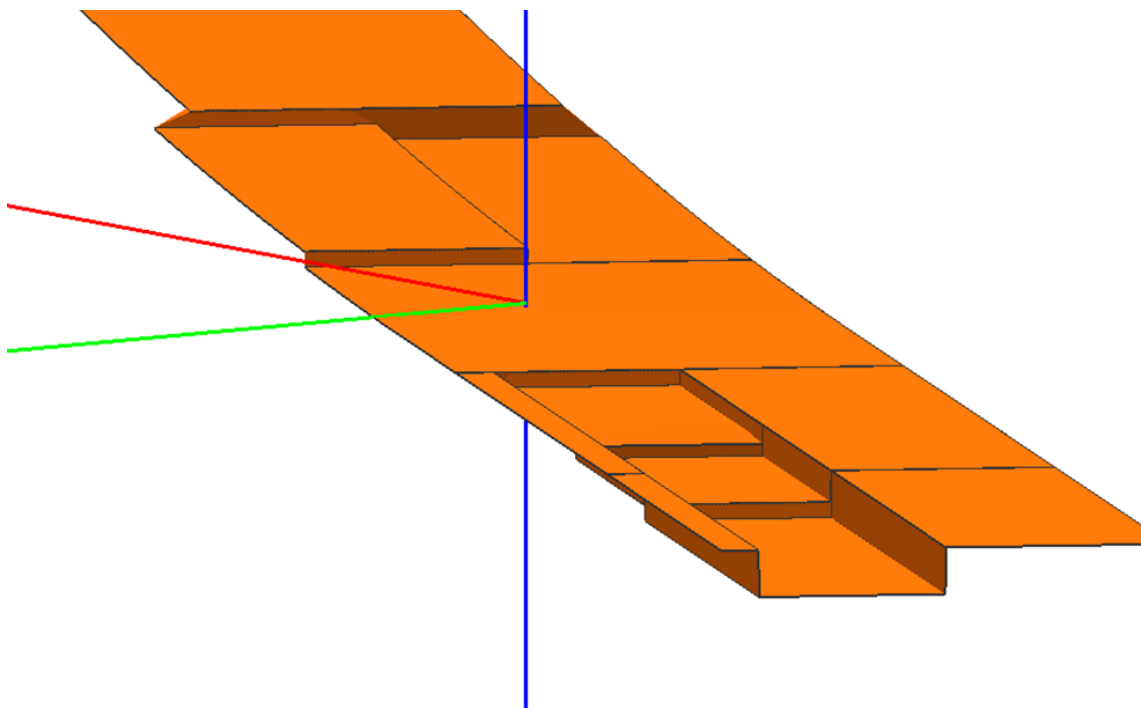
4.2.1 Maaleikkaus

Tarkasteltavalla hankkeella maaleikkauksessa käytetyt koneet olivat järeitä 25 tn:n – 45 tn:n kaivinkoneita. Käytössä oli perinteisin varustein sekä koneohjausjärjestelmällä varustettuja koneita.

Koneohjauksella varustetun koneen valmistelu työn aloitusvaiheessa oli hyvin yksinkertaista. Koneohjausaineiston sai siirrettyä etäyhteydellä työkoneen tietokoneelle muutamissa minuuteissa, joten työt päästiin aloittamaan hyvinkin lyhyellä varoitusaajalla. Nopeus tietysti edellyttää sen, että koneohjausmalli on laadittu valmiiksi.

Erityisen paljon hyötyä nopeudesta oli odottamattomissa tilanteissa, joihin tarvittiin pikaisesti koneapua. Vaikka työmaalla olikin kaksi mittaajaa jatkuvasti töissä, kesti korkojen saaminen työkohteelle usein paljon kauemmin kuin itse koneen tekeminen. Joissain tapauksissa ei etäyhteys toiminut, joten malli jouduttiin siirtämään muistitikulla, mikä ei kuitenkaan vienyt kuin tunnin tai kaksi.

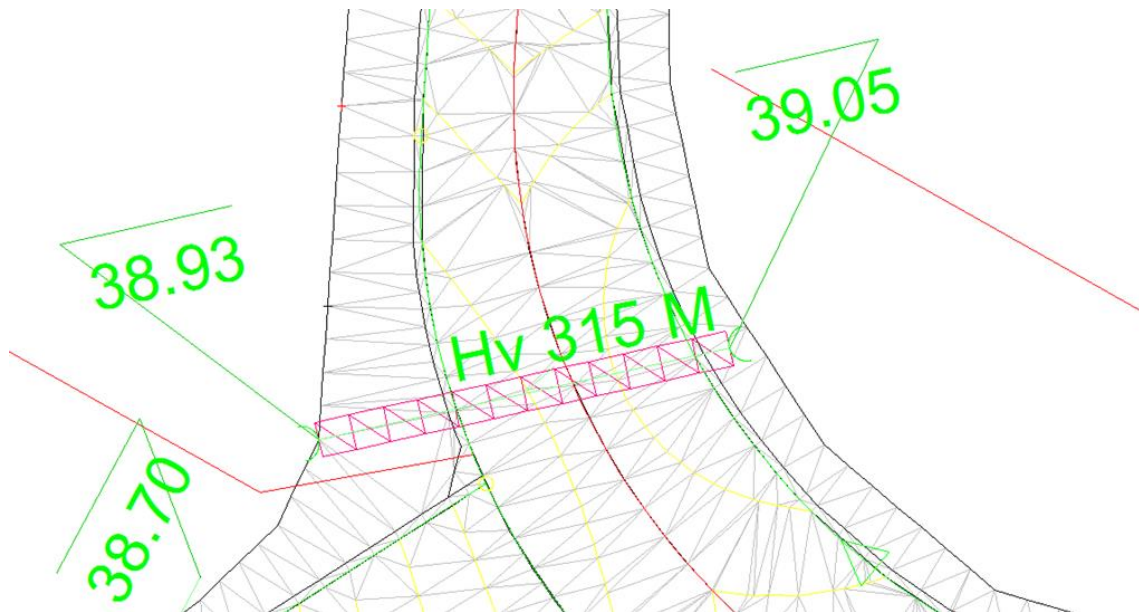
Koneohjausta hyödynnettiin suurissa leikkauksissa usein siten, että kaksi konetta työskenteli samaan aikaan samassa kaivannossa. Tämä mahdollisti myös sen, että pientäkin konetta voitiin käyttää hyödyksi suurissa töissä. Esimerkiksi 25 tonnin koneohjauksella varustettu kaivinkone ja 45 tonnin perinteinen kaivinkone samassa kaivannossa saatiin toimimaan tehokkaasti, kun isompi kone teki raakatyön ja pienempi kone viimeistelytyön. 45 tonnin koneeseen ei tarvinnut laittaa kauhan pyörittäjää, joten se pystyi repimään isojakin lohkaraita. Puolestaan 25 tonnin koneessa oli pyörittäjä, ja sillä tehtiin luiskat valmiiseen pintaan.



KUVA 14. Finfoamkevennyksen leikkauspohja. Kevennys kiillautuu perusrakenteen leikkauspohjaan. Toisen kaistan kevennys matalammalta aiemman infran vuoksi

Koneohjauksen hyödyt tulivat myös esiin epätasaisten ja paljon tarkkoja yksityiskohtia sisältävien leikkauspohjien teossa (kuva 14). Laatat ja erilaiset Finfoam- ja vaahtolasikevennykset oli helppo kiillata perusrakenteeseen. Rakenteen alle tulevien rumpujen, kaapeleiden ja salaojien syvennykset maaleikkaukseen

voitiin myös tehdä yhtä aikaa tiepohjan leikkauksen kanssa. Koneen kuljettajan täytyi vain vaihtaa hetkeksi rummun arinan malli käyttöön (kuva15).



KUVA15. Rummun arina mallinnettuna suunnitelmassa

Työmaalla oli useita kosteita paikkoja, jossa pohjaveden pinta oli leikkaustasoa korkeammalla. Työkoneohjaus oli mainio apuväline leikattaessa pohjaveden pinnan alapuolisia kerroksia. Pumpausta ei aina tarvinnut, kun mittaus onnistui veden alla, ja leikkauspohjat saatiin oikeaan tasoon mittamiehen kastelematta saappaitaan.

Odottamaton tilanne työmaalla aiheuttaa usein viivästyksiä. Esimerkiksi savikoon, jota ei ole havaittu pohjatutkimuksissa joudutaan tekemään massan vaihto. Massanvaihdon tilavuus voidaan nopeasti mitata koneohjauslaitteiston avulla ja työ ei keskeydy. Työkoneella mitatut koordinaatit vain tallennetaan järjestelmään ja poikkeama on dokumentoitu.

4.2.2 Rakenteet

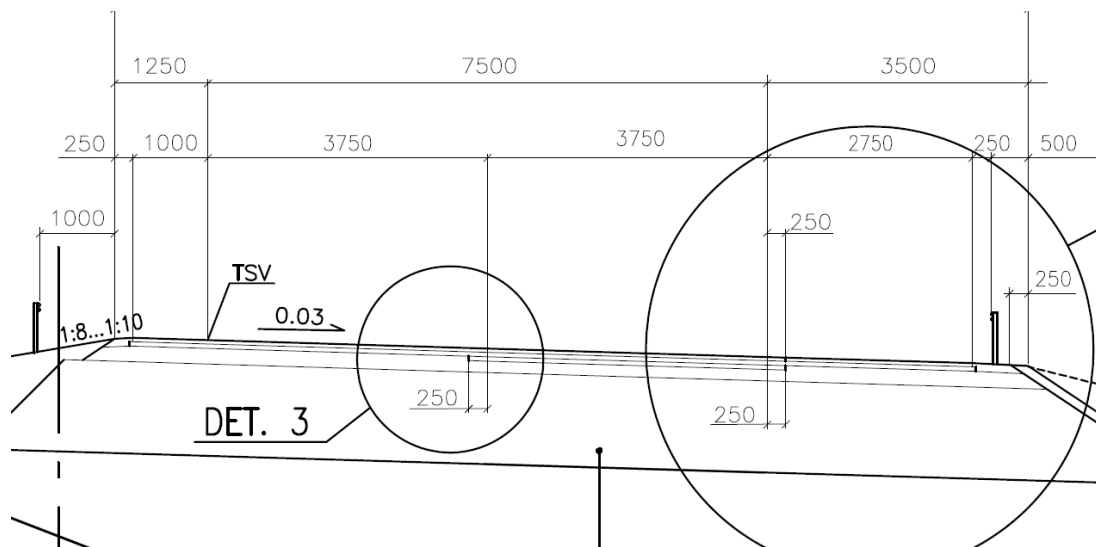
Telapuskukone

Telapuskukone sopii parhaiten louherakenteen vastaanottoon. Louherakennetta kiilattaessa on tärkeää, että korko tulee kerralla oikein, koska sitä on louheen suuren raekoon vuoksi hankala purkaa tai korottaa. Louhepenkan korkeutta

myös on turhaa merkitä kaivantoon edeltä käsin, koska merkit häiriintyvät, kun kaivantoon ajetaan louhetta. Puskukone kannattaa varustaa koneohjaustekniikalla, jotta mittausryhmän ei tarvitse olla jatkuvasti paikalla huolehtimassa koron oikeellisuudesta. Puskukoneeseen soveltuu takymetrillä mittaava ohjausjärjestelmä.

Tiehöylä

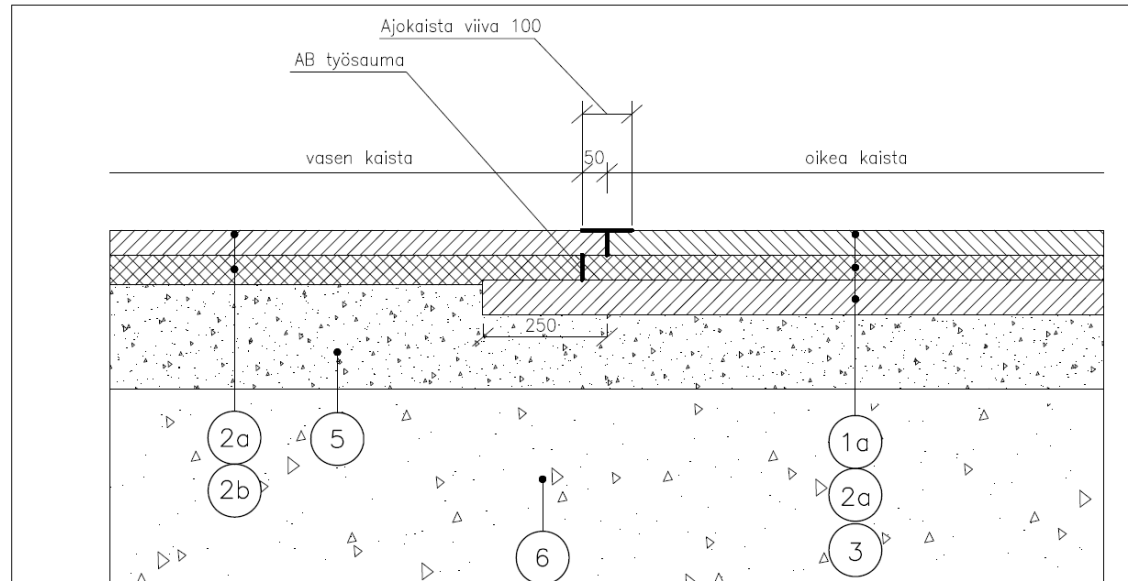
Tiehöylä varustettuna koneohjauslaitteilla on ehdottomasti tehokkain tapa käyttää koneohjausta. Tehokkaimmillaan se on suurten kenttien muotoilemisessa. Terän voi asettaa säätymään automaattisesti mallin mukaisen koron mukaan, jolloin kuljettajan työ helpottuu huomattavasti. Tiehöylässä käytetään yleensä takymetrin avulla mittaavaa koneohjauslaitteistoa.



KUVA 16. Moottoritien tyyppipoikkileikkaus

Tarkasteltavalla hankkeella pääkaistan alle rakennettiin 70 mm:n vahvuinen sidottu kantava kerros asfaltista. Koneohjaus oli erittäin suuri apu, kun asfaltin pohja muotoiltiin, erityisesti juuri ABK-kerrosta tehtäessä.

DETALJI 3



KUVA 17. Kuvan 16. detalji 3

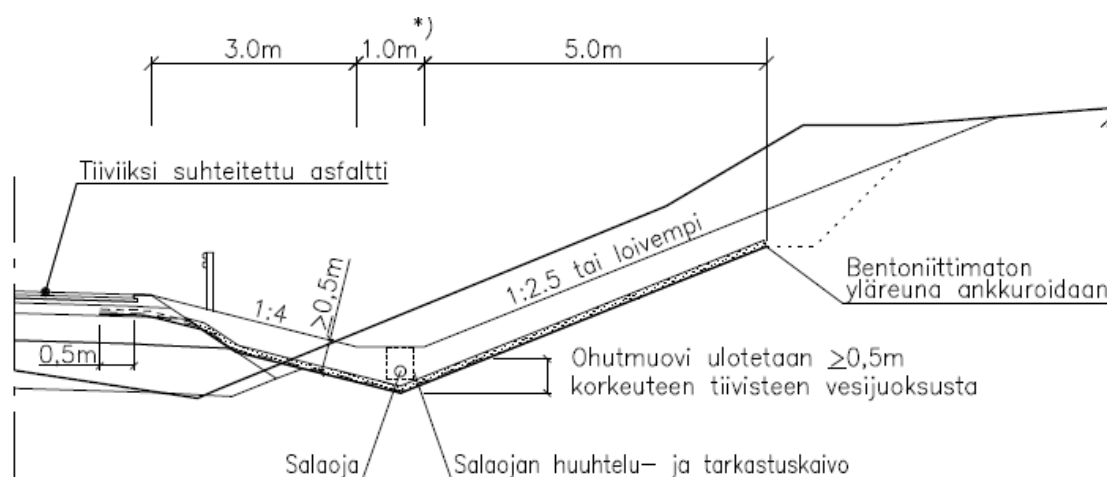
NRO	NIMITYS			HUOM.
1a	Päällyste	SMA	50mm	Ajokaista
2a	Päällyste	AB	50mm	
2b	Päällyste	AB	60mm	
3	Sidottu kantava kerros	ABK	70mm	
5	Kantava kerros			Sis. kiilakerroksen
6	Jakava kerros, louhe			
6	Jakava kerros, murske			Tarvittaessa, pohjamaan mukaan
7	Suodatinkangas			
8	Piennartäyte			Luiska: 1:1...1:1,5
9	Pengertäyte			
10	Luiskatäyte			Ymp. suunn. mukaan
11	Verhous			

KUVA 18. Kuvan 17 selitys

4.2.3 Pohjavedensuojaus

Tarkasteltava hanke sijaitsi paikoin pohjavesialueella. Pohjavedensuojausalueita rakennettiin kaksi kappaletta ja vanhaa ennallistettiin noin 5000 m². Pohjavedensuojaus tehtiin bentoniittimatolla.

Pohjavedensuojaustyössä koneohjauksesta oli merkittävä hyöty, koska leikkauspohjassa oli paljon detaljeita ja rakenteessa useita eri kerroksia. Bentoniittimatto tuli asentaa tarkkaan leikatulle ja kivituhkalla vuoratulle pohjalle ja osittain vielä jakavan louhekerroksen sisään siten, että maton ylähelma ja vedenpitävä asfaltti tulevat limittäin.



KUVA 19. Pohjavedensuojauksen tyypipoikkileikkaus

Bentoniittimaton reunat tuli asettaa tarkkaan suunnitelmien mukaan ja dokumentoida. Dokumentista tuli selvittää maton taitekohtien koordinaatit, maton alkamis- ja päättymiskohtien koordinaatit sekä maton valmistusnumero. Koneohjausjärjestelmään voitiin tallentaa tarvittavat koordinaatit ja nimetä ne maton valmistusnumeron mukaan, jonka avulla niistä voitiin piirtää toteumamalli.

4.2.4 Infran varusteet

Sähkö-, telematiikka-, lämpö- ja vesilinjoja asennetaan usein kulkemaan tierakenteen yhteydessä. Rakenteissa ja niiden ympärillä voi olla hyvinkin paljon eri aikoihin asennettuja varusteita. Kaikkia ei ole dokumentoitu ja kaikkia doku-

mentteja ei ole tarkoitettu rakentajien silmille. Usein käykin niin, että selvityksistä huolimatta kaapeleita rikkoontuu.

Tarkasteltavalla työmaalla kaapelien dokumentointiin kiinnitettiin erityisesti huomiota. Asennusvaiheessa koneohjauksesta oli suuri hyöty, kun kaapeli-kaivantoa ja valaistuksen perustuksia voitiin vetää ilman mittausryhmän avustusta. Telematiikkaa ja valaistusta asensi aina koneohjauksella varustettu kone, joka tallensi tasaisin välein asennetun suojaputken sijaintia. Kun tulevaisuudessa rakennetta tai linjaa saneerataan tai alueelle rakennetaan uutta infraa, voidaan kaapelien toteumamalli liittää uuteen koneohjausmalliin, jolloin vältetään kaapeleiden vaurioittamiselta.

4.2.5 Mallin muuttaminen

Joskus suunnitelmia joudutaan muokkaamaan rakennusvaiheessa. Muokkaamisessa on aina riskinsä, ja se voi vaikuttaa välillisesti hyvinkin kaukaisiin asioihin, joten muutoksia kannattaa miettiä hyvin tarkkaan.

Koneohjausjärjestelmässä leikkauspintaa voidaan muokata työkoneesta käsin. Esimerkiksi ojan pohjan linjausta tai korkoa voidaan muuttaa suurten kivien ja kallion kärkien vuoksi, jotta vältetään turhilta louhinnoilta. Muokkaaminen tietysti edellyttää, että rakenne on toimiva myös muutoksen jälkeen. Esimerkiksi kuivatusjärjestelmien muokkaamisessa tulee olla tarkkana.

Esimerkkihankkeella tuli tilanne, jossa kallion kärki tuli ojaleikkaukseen. Panostaja oli käytettävissä vasta usean päivän varoitusajalla, joten mietimme muita ratkaisuja työmaan eteenpäin viemiseen. Ojan linjausta ei voinut siirtää, joten nostimme pohjan korkoa. Kun oja oli leikattu uuteen korkoon, huomattiin siihen laskevan rummun vesijuoksun jääneen huomattavasti ojan vesijuoksua alemmas. Oja jouduttiin perkaamaan ja kallio räjäyttämään.

5 TYÖKONEAUTOMAATION VAIKUTUKSET

5.1 Työturvallisuus

Koneohjauksen käytöllä on positiivisia vaikutuksia työturvallisuuteen. Koneen kuljettaja ei tarvitse jatkuvasti apumiestä, joten koneen työskentelyalueella on vähemmän vaarassa olevia henkilöitä. Kaivantojen tason mittaaminen koneohjauslaitteella vähentää kaivannossa työskentelemisen tarvetta, joten kaivantojen sortumisesta aiheutuvat vaaratilanteet vähenevät.

Kaapeleiden toteuman mallintaminen ja mallin käyttäminen tulevaisuudessa tulee vähentämään kaapelien rikkoutumisia ja niistä aiheutuvia vaaroja. Toisaalta sokea luottaminen toteumamalliin voi olla myös riski, ellei kaapeleiden olemassa oloa varmisteta muilla tavoin.

5.2 Kustannusvaikutukset

Koneohjauksella ja toteuman mallintamisella on myös vaikutuksia kustannuksiin. Koneohjauslaitteiston hankintakustannukset katetaan nopeasti koneohjauksen käytöstä aiheutuvilla säästöillä.

Henkilöresurssit

Mittausresursseja voidaan pienentää, kun sihtilappuja ja muita merkintöjä ei tarvitse tehdä jokaista työvaihetta kohden vaan riittää, kun toteumaa mitataan satunnaisesti. Työkoneen mittalaitteistoa on kuitenkin tarkastettava ja kalibroitava säännöllisesti mittausryhmän toimesta.

Säästöjä syntyy myös, kun koneen kuljettaja ei tarvitse perämiehen jatkuvaa apua koron varmistamiseen. Jos työmaalla on useita koneita töissä voidaan työvaiheet suunnitella siten, että yksi perämies on apuna vuorotellen usealle koneelle.

Materiaalikustannukset

Materiaalikustannuksiin saadaan säästöä, kun leikkauksessa ei tule ryöstöä, vaan leikkaus tehdään kerralla oikein. Pienten yksityiskohtien ylimääräiset maamassat aiheuttavat suurilla työmailla tuntevan kustannuserän.

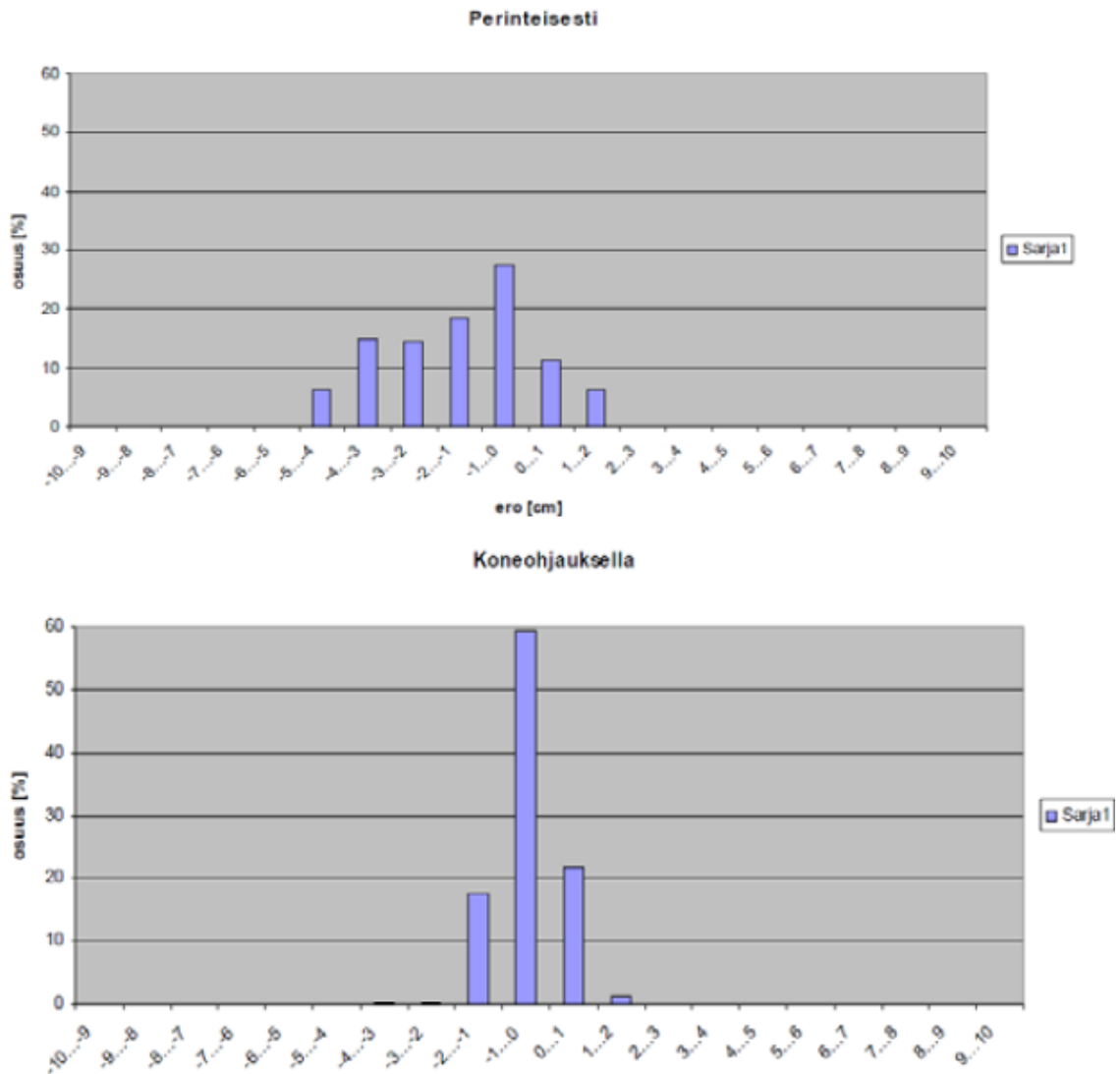
Vaikutus työnopeuteen

Vaikutukset työnopeuteen korostuvat yllättäen tulevissa työvaiheissa. Jos konetta joudutaan esimerkiksi siirtämään avuksi toiselle työkohteelle, saadaan mittatiedot lyhyellä varoitusaajalla koneelle etäyhteydellä. Usein vuorokaudenai-
ka, vuodenaika ja säävaihtelut vaikuttavat työn laatuun ja suoritusaikaan. Sihtilappujen merkintöjen havaitseminen vaikeutuu ja työ hidastuu. Koneohjausta käytettäessä kauhan liikkeitä näkyvät reaaliaikaisesti, jolloin keli ja näkyvyysolosuhteiden vaikutus pienenee. Työn laatu on parempaa, ja työn suorittamiseen kuluu vähemmän aikaa.

Riskit

Vikatilat koneohjauslaitteessa ovat mahdollisia. Laitteiston hajoaminen voi johtaa useiden päivien työtaukoon, jos laitekorjaajaa tai mittausryhmää ei ole heti käytettävissä. Yleensä työmaalla kannattaakin varautua tällaisiin tapahtumiin varamestalla, jossa on maastossa mittamerkinnyt tai jossa työskentelyyn ei mittausmerkintöjä tarvita.

5.3 Laatu



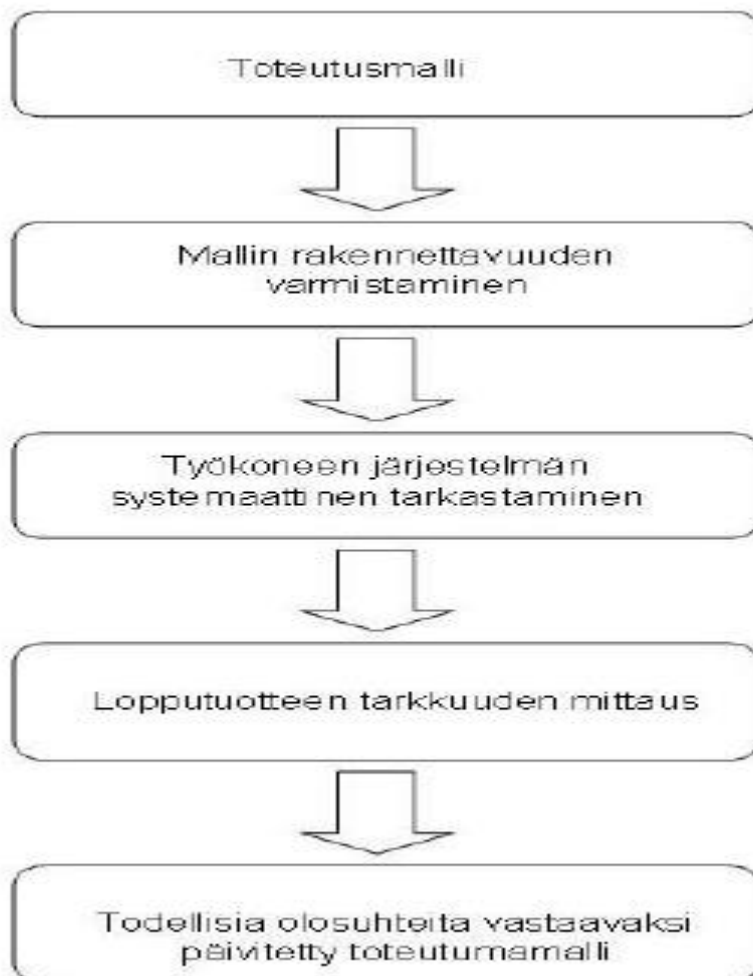
KUVA 20. TopGeo Oy:n tarkkuustutkimus (Nurminen 2012)

Työkoneautomaation vaikutukset laatuun korostuvat tarkkuutta vaativissa olosuhteissa. Topgeo Oy:n tutkimuksen mukaan koneautomaation avulla toteutetun työn tarkemittausten hajonta on selvästi pienempi kuin perinteisellä menetelmällä suoritettujen saman työn tarkkeet. Tutkimustuloksesta voi myös päätellä perinteisellä menetelmällä rakentavan koneenkuljettajan halun tehdä valmispinta mieluummin liian matalaksi kuin korkeaksi. Toisaalta maaleikkaukseen laatuvaatimuksissa alusrakenteen pohjan toleranssit ovat yleensä negatiivisia (Esimerkiksi +1...-5 cm). Koneenkuljettajan on helpompi pysyä toleranssien sisällä leikatessaan tahallaan alle vaaditun pinnan. Tutkimuksessa työ-

koneautomaatiojärjestelmänä käytettiin Topcon 3Dxi -kaivuukonejärjestelmää. (Nurminen 2012.)

Laadun valvonta

Koneohjausmallin käyttäminen on tehokasta laadunvalvonnassa ja dokumentoinnissa. Yleisten laatuvaatimuksien vuoksi rakenteen mittausmäärät ja niiden dokumentointi on työläs suorittaa mittausryhmän avulla. Työkoneen mittalaitteella voidaan suorittaa suurin osa mittauksista, kunhan varmistetaan mittalaitteen tarkkuus ja toimivuus säännöllisillä kokeilla ja kalibroinnilla. Tietojen reaaliaikainen mittaustiedon tallennus ja lähettäminen eteenpäin käsiteltäväksi mahdollistaa nopean reagoinnin virhetilanteissa.



KUVA 21. Laadunvalvontaprosessi (Nurminen 2012)

6 PÄÄTELMÄ

Koneohjaus on vakiinnuttanut paikkansa infrarakentamisessa, eikä se tulevaisuudessa ainakaan tule vähentymään työmailta vaan kehittyy jatkuvasti. Nykytekniikallaan koneohjaus on erittäin käytännöllinen apuväline lähes kaikissa rakennusvaiheissa. Erityisesti koneohjauksen hyödyt korostuvat tarkkuutta vaativissa töissä, joissa on paljon detaljeja. Työmaalla saadun henkilökohtaisen kokemuksen perusteella loin taulukon, josta selviää koneohjausjärjestelmän hyödyt kussakin työvaiheessa. Taulukossa 2 numero 5 kuvaa parasta mahdollista hyötyä. Taulukon tiedot perustuvat omaan arviointiini.

Koneohjausjärjestelmän hyödyllisyys työvaihekohtaisesti					
(1= Pieni hyöty, 5=Suuri hyöty)					
Työvaihe	1	2	3	4	5
Pintamaan poisto		x			
Maaleikkaus				x	
Louhinta		x			
Avo-ojat				x	
Hulevesijärjestelmät					x
Salaojat				x	
Jakava				x	
Kantava					x
Asfaltointi		x			
Pohjavedensuojaus				x	
Viimeistelytyöt*			x		
Telematiikka**					x
Meluvalli				x	
Läjitysalue	x				

TAULUKKO 2. Koneohjauksen hyödyt arvioituna työvaiheittain

Koneohjauksen avulla laadunvalvonta ja dokumentointi helpottuu huomattavasti. Turvallisuus paranee ja työn suorittamiseen tarvittava aika lyhenee. Työmaan henkilöresursseja voidaan leikata, kun mittausryhmän kuormitukset vähenevät. Materiaalikustannukset pienenevät ja määrien laskeminen ja todentaminen helpottuu. Tulevaisuudessa tietomallin käyttäminen saneeraus- ja parannustöissä tulee helpottamaan työskentelyä huomattavasti.

Koneohjauksen käytöstä aiheutuvat riskit ja haitat ovat vähäiset mutta eivät olemattomat. Vikatilat koneessa tai virheet mallissa voivat aiheuttaa suurenkin lisäkustannuksen. Tärkeää onkin varmistaa mallin rakennettavuus sekä tarkistaa ja kalibroida koneohjausjärjestelmää säännöllisin väliajoin. Järjestelmän huoltoon ja korjaamiseen käytettävä aika on myös huomioitava.

Yhdeksi haittavaikutukseksi merkittömällä työmaalla voidaan laskea myös hahmottamisen vaikeus. Kun työkohdetta suunnitellaan maastossa, on kohdetta vaikeaa hahmottaa paikalle ilman mittamerkintöjä.

Tietomallipohjainen elinkaarirakentaminen tulee lisäämään koneohjauksen hyötyjä ja kehittymismahdollisuuksia. Tulevaisuuden visiona voisi olla koko rakenteen elinkaaren kattava 3D-rekisteri, joka sisältää mallit pohjatutkimuksista, teistä, silloista, kaduista, kunnallistekniikasta ja rautateistä. Tulevaisuudessa myös työkoneohjauksessakin voitaisiin siirtyä kokonaan automaatioon, jolloin koneet ohjaavat mallin perusteella itse itseään ja mittaavat reaaliaikaista toteumaa automaattisesti.

LÄHTEET

Eklöf, Oskar 2011. Tietomalleista koneohjaukseen. Metropolia. Helsinki.

Geo-Work. Maatutkaluotaus. Hakupäivä 5.5.2014.

Heikkilä, Rauno – Jaakkola, Mika 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Tiehallinto.

Heikkilä, Rauno 2012. Tutkimus avaa uusia mahdollisuuksia liikenneväylien kehittämiseen tietomalli- ja tietoverkkopohjaisesti. Liikenteen suunta. Saatavissa:

<http://www.liikenteensuunta.fi/fi/artikkelit/other/tutkimus-avaa-uuksia/>, Hakupäivä 30.4.2014

Kauppinen, Jussi 2010. Kustannustehokas suuntima-anturi kaivinkoneen työnohjaukseen. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Kouvalainen, Jaakko. Tieyhtiö Valtatie 7 Oy, Toimitusjohtaja. Saatavissa: http://www.vt7.fi/tieyhtio_valtatie_7_oy/, Hakupäivä 15.5.2014

Liikennevirasto. Kaakkois-suomen ELY-keskus. Valtatien 7 (E18) rakentaminen moottoritieksi välillä Koskenkylä – Kotka. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/113726/e18koskekyla-kotka-esite.pdf/92885b28-4af8-4df0-a719-40d030fbfeb0>, Hakupäivä 30.4.2014

Mitta Oy. 3D-koneohjaus. Saatavissa: <http://www.mitta.fi/koneohjaus.html>, Hakupäivä 15.5.2014

Mäki-Tulokas, Jouni 2014. Mitä koneohjaus on. TopGeo. Hakupäivä 11.5.2014.

Mäkelä, Harri. Tietomalli muuttaa toimintatavat. Infrabim: Innogeo.

Nurminen, Pasi 2012. Työkoneautomaatio ja mallintaminen osana nykypäivän infrarakentamista. Destia.

Piironen, Ville 2012. 3D-ohjausjärjestelmä kaivinkoneissa. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.

Rakennustieto. Tuote- ja tietomallinnus. Saatavissa: [http://www.rts.fi/infrabim/tuote ja tietomallinnus.htm,](http://www.rts.fi/infrabim/tuote_ja_tietomallinnus.htm) Hakupäivä 30.4.2014

Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. Tietomallinnus. Saatavissa: [http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html,](http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html) Hakupäivä 30.4.2014

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä: Matias Pelimanni _____

Tilaaaja: Oulun ammattikorkeakoulu _____

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot: Terttu Sipilä, Oulun ammattikorkeakoulu _____

Työn nimi 3D työkoneautomaatio infrahankkeessa _____

Työn kuvaus . Työssä tutkitaan työkoneohjauksen tarpeellisuutta työvaiheittain moottorin rakennustyömaalla sekä elinkaarimallirakentamisen nykytilaa ja tulevaisuutta _____

Työn tavoitteet Tavoitteena on selvittää työvaihekohtaisesti koneohjauksesta koituvia hyötyjä. _____

Tavoiteaikataulu: Kesäkuu 2014 _____

Päiväys ja allekirjoitukset _____