



TYÖKONEAUTOMAATIO MAANRAKENNUSTYÖMAALLA

Opinnäytetyö (ylempi AMK-tutkinto)

Olli Meriläinen

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Hyväksytty ____ . ____ . ____ _____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Olli Meriläinen

Työn nimi

Työkoneautomaatio maanrakennustyömaalla

Työn laji

Insinööri (ylempi AMK)

Päiväys

28.4.2010

Sivumäärä

54

Työn valvoja

Lehtori Raimo Lehtiniemi

Yrityksen yhdyshenkilö

DI Mika Jaakkola

Yritys

Destia Oy

Tiivistelmä

Tämän insinööriyön aiheena oli tutkia työkoneautomaation käyttöä maanrakennustyömaalla Työkoneautomaation käyttö yleistyy maanrakentamisessa lähivuosina Suomessa voimakkaasti, kuten muissakin pohjoismaissa. Työkoneautomaation käyttöön ottaminen rakennustyömaalla on etenkin työkoneiden kuljettajille ja työnjohdolle suuri muutos verrattuna perinteiseen rakennustapaan. insinööriyön tavoitteena oli tarkastella mahdollista automaatioprosessin rakennustyömaalle tuottamaa hyötyä sekä sitä, miten työmaahenkilöstön tiedot tulisi päivittää ajan tasalle ottamalla huomioon työkoneautomaation mukanaan tuomat uudet toimintamallit.

Insinööriyössä selvitettiin työkoneautomaation käyttäjien, koneenkuljettajien ja työnjohdon kokemuksia kahdella suurella maanrakennustyömaalla. Tutkimus toteutettiin jakamalla kysymyslomakkeet näillä työmailla työkoneautomaatiota käyttäville koneenkuljettajille, sekä työmaiden työnjohdolle. Vastaajia oli yhteensä kahdella työmaalla 27. Työkoneautomaation käyttöönoton perusteita ja edellytyksiä pienellä työmaalla tarkasteltiin työmaakokeilun avulla. Tässä kokeilussa hyödynsimme työmaalla jo olevaa automaatioinfraa aliurakoitsijan puskukoneessa. Työkone voidaan kokeilun perusteella vastaavissa tapauksissa muuttaa automaatiokäyttöön varsin nopeasti ja pienin kustannuksin.

Kyselytutkimuksen perusteella työkoneautomaatio oli nostanut työkoneiden tuottavuutta molempien vastaajaryhmien mukaan. Oman näkemyksen perusteella erityisesti massojen turha siirtely paikasta toiseen vähenee oleellisesti. Työkoneautomaatiota käyttäneet koneenkuljettajat halusivat käyttää sitä myös tulevaisuudessa. Koneenkuljettajien osaamisen tason suuret vaihtelut tulivat myös tässä työssä ilmi. Tarve koneenkuljettajien kouluttamiselle yhtenäisten toimintatapojen saavuttamiseksi on ilmeinen. Työnjohdon osalta erot osaamisessa olleet yhtä suuret, mutta yleisesti lisäkoulutusta toivottiin. Ruotsissa ja Norjassa työkoneautomaatiota käytetään maanrakennustyömailla suuremmissa mittakaavassa kuin Suomessa. Työkoneautomaation käytön voidaan todeta tämän työn ja pohjoismaissa tapahtuvan kehityksen perusteella olevan muutaman vuoden kuluttua käytössä yleisesti keskisuurilla- ja suurilla maanrakennustyömailla.

Avainsanat

Työkoneautomaatio, GPS-mittaus

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme

Construction Engineering (Master's degree)

Author

Olli Meriläinen

Title of Project

Work Machine Automation on Earthwork Sites

Type of Project

Thesis

Date

28 May 2010

Pages

54

Academic Supervisor

Mr Raimo Lehtiniemi, Lecturer

Company Supervisor

Mr Mika Jaakkola, Master of Science in Technology

Company

Destia Oy

Abstract

The aim of this thesis was to study the use of work machine automation on earthwork sites. In the near future the use of work machine automation becomes more common in Finland and other Scandinavian countries. The initialization of work machine automation on construction sites is a big change for work machine operators and management in comparison to traditional construction habits. The other aims of this study were to examine how an automation process benefits a construction site and how construction site employees should upgrade their knowledge in order to face the challenges that work machine automation brings along.

The users' experiences of work machine automation on two large construction sites were examined. An inquiry was carried out by distributing questionnaires to a total of 27 users of work machine automation including both the work machine operators and the work supervisors. The initialization of work machine automation was examined on a small construction site with a worksite test where the existing work machine automation in the subcontractor's caterpillar was utilized.

It was found out that in similar cases the work machine can be altered to automation use relatively quickly and with small costs. According to the results of the inquiry, both answerer groups thought that work machine automation had increased the work machines' productivity. Based on the author's own experiences, also unnecessary mass movement decreases essentially. Machine operators who were already familiar with work machine automation wanted to use it also in the future.

As a result of this thesis, it was found out that machine operators still need training to gain homogeneous procedures. Also the work supervisors wanted further training. Although work machine automation is commonly used in Sweden and Norway it is still quite rare in Finland. Based on the results of this thesis and development in Scandinavia, it is likely to be used more in the near future on medium sized and large construction sites.

Keywords

work machine automation, gps-measurement

Confidentiality

public

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	RAKENTAMISPROSESSI.....	8
2.1	Yleistä tiesuunnittelun kartta-aineistoista.....	8
2.2	Suunnitelman maastoon merkintä ja mittauslaitteet.....	8
2.3	Rakennusmittaukset ja satelliittinavigoinnin kehitys	11
3	TYÖKONEOHJAUS.....	15
3.1	Työkoneohjauksen periaate.....	15
3.2	Työkoneohjauksen käyttöönotto työkoneessa	16
3.3	Tuotetietomalli	20
3.4	Työkoneautomaation nykytila Suomessa	22
4	TYÖKONEOHJAUKSEN KÄYTTÖ INFRATYÖMAALLA	27
4.1	Käyttöönoton edellytykset.....	27
4.2	Case Kuopio	28
4.3	Case Kuopio-työmaan mittaustyöt.....	30
4.4	Kuopion kokeilun tulokset	34
5	KYSELYTUTKIMUS KONEENKULJETTAJILLE.....	39
5.1	Koneenkuljettajan rooli.....	39
5.2	Koneenkuljettajien kysymykset.....	39
5.3	Koneenkuljettajien vastausten käsittely.....	41
6	KYSELYTUTKIMUS TYÖNJOHDOLLE.....	42
6.1	Työnjohdon rooli	42
6.2	Työnjohdon kysymykset	42
6.3	Työnjohdon vastausten käsittely.....	43
6.4	Mittausvastaavan näkökulma.....	44
7	TYÖKONEAUTOMAATION KÄYTTÖKOKEMUKSET JA YHTEENVETO.....	46
7.1	Työkoneautomaation käyttö infra-rakentamisessa.....	46
7.2	Case Kuopion tarkastelu.....	47
7.3	Johtopäätökset kyselytutkimuksista	48
	LÄHTEET	52

LYHENTEET:

GPS	Global Positioning System, satelliittinavigointijärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System, satelliittinavigointijärjestelmä, joka käyttää GPS- JA GLONASS-satelliittinavigointijärjestelmää
IFC	Industry Foundation Classes, tuotetietomallin formaatti
GLONASS	Venäjän valtion ylläpitämä satelliittinavigointijärjestelmä
KKJ	Kartastokoordinaattijärjestelmä (v.1970-)
N60	Korkeustasojärjestelmä
PTM	Päällysteen tason mittaus (auto)
RTK	Radiotaajuuskorjaus
Takymetri	Mittauslaite, joka mittaa tarkasti pysty- ja vaakakulmaa, sekä etäisyyttä
VVJ	Valtion vanha koordinaattijärjestelmä (-v.1970)

1 JOHDANTO

Työkoneautomaatiolla infra-rakentamisessa tarkoitetaan kolmiulotteisen rakennussuunnitelman toteuttamista työkoneohjausta apuna käyttäen. Työkoneohjaus perustuu työkoneissa oleviin anturijärjestelmiin, tietokoneisiin ja paikannusjärjestelmiin. Työkoneen kuljettaja näkee reaaliajassa näytöltä sijaintinsa kolmiulotteisessa rakennussuunnitelmassa. Tiehöyliä on käytetty kantavan kerroksen levittämisessä työmailla vuosikymmeniä. Ne olivat ensimmäisiä työkoneita infra-rakentamisessa, joissa koneen sijainnin näki työkoneen hytissä olevasta näytöstä tasokuvana taiteviivoista koostuvalla suunnitelmakartalla. Terä höylän alla säätyi automaattisesti kaltevuuden- ja korkeustason muutosten mukaisesti. Tiehöylään oli tätä tarkoitusta varten asennettu hytin yläpuolelle ulottuva masto, johon oli sijoitettu 360° heijastinprisma. Tiehöylän paikannus toteutettiin jatkuvalla mittausseurannalla varustetulla takymetrillä, joka mittasi höylän sijainnin kaksi kertaa sekunnissa. Tiehöylien paikannuksessa käytetään edelleen takymetriä, koska sillä päästään gps-paikannusta parempaan tarkkuuteen korkeustasossa. Työkoneohjausjärjestelmiä on käytössä kaivu- ja puskukoneissa ja niiden käyttöä ollaan laajentamassa myös muihin koneisiin. Työkoneautomaation käyttö perustuu kaivu- ja puskukoneissa satelliitinavigointiin, jonka runkona on 32 navigointisatelliittia, jotka kiertävät maata noin 20 000 kilometrin korkeudessa. Pelkällä satelliiteista saatavalla sijaintitiedolla ei vielä päästä riittävään tarkkuuteen, vaan työkoneisiin lähetetään koordinaateiltaan tunnetulta tukiasemalta radioteitse korjaustietoa. Tämän korjaussignaalin avulla päästään myös korkeuden määrittämisessä ± 10 mm:n tarkkuuteen.

Työkoneohjaus on esimerkiksi rakennettavan uuden tien koko elinkaaren mittainen prosessi. Se alkaa ensimmäisten tutkimustietojen hankkimisella, jatkuen rakentamisen ja rakenteen ylläpidon ajan. Prosessia voitaneen kutsua tuotetietomalliksi, joka on paremmin tunnettu talonrakennuksen parista. Infra-rakentamisessa tuotetietomallin yhteinen tekijä jokaisessa elinkaaren vaiheessa on reaaliaikainen tarkka sijaintitieto.

Automaation kokonaistoimintajärjestelmän yleisiä tavoitteita /1, s. 7/ ovat:

- projektikokonaisuuden hallinnan tehostuminen
- tietotekniikan integrointi työmaan toimintoihin
- väylärakenteiden elinkaarenhallinnan tehostuminen tuottavuuden ja laadun parantuminen
- alan kiinnostavuuden lisääminen sekä
- alan toimintatapojen yhtenäistyminen ja standardoituminen.

Työkoneautomaation käyttäminen vähentää maastoon merkinnän tarvetta oleellisesti ja vähentää siten mittajalle kuuluneita työtehtäviä. Työkoneiden tehokkaampi käyttö, sekä massojen siirtelyn tarkentuminen säästää aikaa, polttoainetta ja vähentää hiilidioksi- ja pienhiukkaspäästöjä. Työkone voi siirtyä tarpeen tullen uuteen työkohteeseen ilman, että mittaja ensin merkitsee kaivutason ja rajat. Työkohteessa koneen kuljettaja voi suunnitelmasta päätellä mitkä kaikki työt kannattaa tehdä samalla kertaa siinä kohteessa. Koneen siirtyminen työkohteesta toiseen vähenee, josta seuraa työkoneen työajan kasvaminen. Työkoneautomaation käyttö on Suomessa vielä vähäistä verrattuna esimerkiksi Ruotsiin, jossa työkoneautomaatiota on käytetty jo esimerkiksi Vägverketin Uppsala-Mehedeby-moottoritien rakennushankkeessa vuonna 2005. Maa- ja vesirakennusurakoiden saaminen Ruotsissa vuonna 2010 on hyvin epätodennäköistä ilman, että urakoitsijalla on käytössä 3D-koneohjausjärjestelmä.

Tässä insinööriyössä tarkastellaan työkoneautomaatioprosessia kokonaisuutena suunnittelusta rakentamiseen. Selvitetään kyselytutkimuksella rakennustyömaiden henkilöstön omakohtaisia kokemuksia työkoneautomaation toiminnasta ja tämän perusteella haetaan mahdollisia automaatioprosessin ongelmakohtia tai etuja työmaalla. Selvitetään lisääkö työkoneautomaatio työkoneen tehollista käyttöaikaa ja mistä osatekijöistä mahdollinen kustannussäästö muodostuu. Kyselytutkimuksen avulla kartoitetaan myös koneenkuljettajien ja työnjohdon koulutustarpeita, sekä toimintatapojen yhtenäistämistä. Käynnissä olevalla työmaalla tehtävällä kokeella tutkitaan työkoneautomaation käyttöönoton edellytyksiä ja sen taloudellisia, sekä teknisiä näkökohtia.

2 RAKENTAMISPROSESSI

2.1 Yleistä tiesuunnittelun kartta-aineistoista

Tiesuunnittelua varten tarvitaan ajan tasalla oleva kattava ja riittävän tarkasti maastoa kuvaava kartta. Tätä suunnittelun pohjakarttaa kutsutaan maastomalliksi. Maastomalli on sijainniltaan ja korkeudeltaan tunnettujen, maan pinnan muotoja kuvaavien pisteiden joukosta muodostettu kolmiomalli. Tie- ja katusuunnitelmien pohjakarttojen laatimisessa siirryttiin työläästä ja kalliista ilmakuvauksesta 1990-luvulla laserkeilaukseen. Laserkeilain mittaa ja tallentaa valtavat pistemäärät maanpinnasta ja samalla kuvaa mitatun maaston digitaalisella videokameralla.

Laserkeilaus ei suoraan tuota kolmiulotteista (3D) maastomallia, vaan valtavan tiheän pistepilven, jossa jokaisella pisteellä on x-, y- ja z-koordinaatit. Pistepilven suodatuksen jälkeen se on harvempi ja käyttökelpoisempi käytettäväksi jatkokäsittelyssä. Myöhemmin kuvat ja suodatettu pistepilvi, josta on jo luotu maanpintaa mukaileva kolmioverkko saadaan samaan koordinaatistoon. Toimistotyönä luodaan kolmiulotteinen maastomalli digitoimalla näistä kuvista maaston taiteviivat, kuten tien reunat, ojat, rakennukset ja muut maastomallin kannalta oleelliset kohteet. Lopuksi näihin taiteviivoihin digitoituihin pisteisiin saadaan tuotua laserkeilatuista pisteistä luodusta kolmioverkosta korkeuslukemat (N60), samoin korkeuskäyrät interpoloituvat keilattujen pisteiden korkeuksien perusteella. Lopputuloksena on digitaalinen kolmiulotteinen (3D) maastomalli, jota voidaan hyödyntää suunnittelun pohjakarttana. Suunnittelu ei ole sidottu perinteisiin kahdenkymmenen metrin välein oleviin poikkileikkauksiin, vaan suunnittelija voi tarkastella yhtenäisesti koko tielinjaa.

2.2 Suunnitelman maastoon merkintä ja mittauslaitteet

Valmiin rakennussuunnitelman tiedot lähetetään sähköisessä muodossa työmaalle. Suunnitelmatiedot sisältävät vaaka- ja pystygeometriatiedostot ja poikkileikka-

ukset. Työmaalla tiedot muutetaan käytössä oleville mittauslaitteille sopivaan muotoon, esimerkiksi Destialla muokkauksessa käytetään Laatumies- ja Tiemies-ohjelmia, sekä 3-D Win-ohjelmaa.

Mittaustieto tallennetaan mittauslaitteen maastotallentimeen tai muistikorttiin. Suunnitelman maastoon merkinnässä käytetään itse ohjautuvaa takymetriä eli niin sanottua robottitakymetriä. Robottitakymetrillä tarkoitetaan takymetriä, jonka tähtäys on lukittu heijastimeen ja joka kääntyy automaattisesti heijastimen liikkeen mukaisesti. Takymetri on kolmijalan päälle kiinnitettävä mittalaite, joka mittaa tarkasti vaaka- ja pystykulmaa ja etäisyyttä. Tarkkuus esimerkiksi kantavan kerroksen rakentamisessa 200 - 250 metrin etäisyydellä on 2 -10 millimetriä ja vielä 300 metrin etäisyydellä 10 - 30 millimetriä, joka riittää esimerkiksi pengertöihin. Radiotaajuuskorjauksella toimivaa GPS-laitteistoa (rtk-GPS) käytetään takymetrin ohella suunnitelman merkitsemiseen. Rtk-GPS-laitteistoon kuuluu mittaajan mukana oleva satelliittivastaanotin, joka on sijoitettu reppuun akun ja radiomodeemin kanssa. Säädettävässä mitta-asteikolla varustetussa prisma-auvassa on satelliittiantenni, joka on yhteydessä satelliittivastaanottoon. Tällä tavalla päästään hyvissä olosuhteissa metrien tarkkuuteen. Laitteistoon kuuluu tukiasema, jolla on samanlainen satelliittivastaanotin ja antenni kuin mittaajan repussa. Satelliittiantenni on pystytetty x-, y, ja z-koordinaateiltaan tunnetulle pisteelle, jolloin ohjelma laskee Δx -, Δy - ja Δz -koordinaattierot tunnetun ja satelliittipaikannuksella määritetyistä koordinaateista. Tämä koordinaattikorjaus lähetetään tukiasemalta radioaaltojen välityksellä mittaajan repussa olevaan laitteistoon. Parhaimmillaan päästään ± 10 mm:n tarkkuuteen, joka riittää kaikkiin kaivutöihin. Työmaalle on jo suunnitteluvaiheessa yleensä tehty monikulmiopisteiden runkoverkko, johon rakennussuunnitelma on sidottu. Tätä runkoverkkoa tihennetään tarpeen mukaan mittaamalla itse lisää pisteitä.

Kaikkien rakenteiden merkitseminen maastoon tapahtuu paaluilla ja niihin kiinnitettävillä korkolapuilla. Etenkin tienrakennuksessa rakennekerroksia tehdessä joutuu mittaaja laittamaan paalut ja niihin korkolaput kahdenkymmenen metrin välein molemmin puolin tietä. Tietyömaan pituus on monesti useita kilometrejä, joten mittaaja joutuu käyttämään paljon aikaa tällaiseen työhön. Työmaalla olevat merkintäpaalut myös häviävät kaivun tai yliajon seurauksena ja niistä suuri osa joudutaan merkitsemään ainakin kahteen kertaan. Tämä hävikki taas lisää kustannuksia ja

vie mittaajan tehokasta työaikaa. Kaikkien kaivantojen pohjat on myös tarkemittatava takymetrillä tai rtk- / GPS-laitteilla, jotka voidaan varmistua kaivussyvyyden riittävydestä ja tieto tarvitaan myös maa- tai kalliomassojen määrää laskettaessa. Työmaalla maastoon merkintä on säilynyt samanlaisena, vaikka on siirrytty mittanauhasta ja vaaituskoneesta takymetreihin ja GPS-laitteisiin. Paalu hakataan maahan edelleen ja siihen kiinnitetään korkolappu sekä tiedot etäisyydestä ja korkolappuun ”ajosta” kuten jo 50 vuotta sitten.



Kuva 1. Kantavan kerroksen korkeus merkitty ”metrin ajolla”.



Kuva 2. Kantavan kerroksen paalutusta.

2.3 Rakennusmittaukset ja satelliittinavigoinnin kehitys

Maanrakennuskoneet ovat kehittyneet tehokkaammiksi ja taloudellisemmiksi vuosi vuodelta. Koneiden säädöt ja huoltotarpeet on jo vuosia voitu tarkistaa merkkiliikkeen huollosta ilman käyntiä koneen luona langattomalla yhteydellä suoraan työ-koneesta. Varsinainen maanrakennustyö on kuitenkin suoritettu samalla kaavalla jo vuosikymmeniä. Maanrakennuskoneen kuljettaja on ollut täysin riippuvainen mitaajan laittamista paalutuksista ja korkolapuista. Ajokeppiä käyttäen ja pikkumitalla mitaten korkolapuista koneenkuljettaja seuraa työn etenemistä. Tämän tarkistus-työn ajan kone on pysähdyksissä. Näiden merkintöjen ollessa puutteellisia tai puuttuessa kokonaan tulee aina ylimääräisiä kustannuksia koneenkuljettajan kaivaessa tai levittäessä materiaalia silmämääräisesti. Erityisesti suurien kiviainesmäärien

levittämisessä kohteeseen tulee helposti ylimääräisiä kustannuksia, kun liikaa ajettuja massoja kaivetaan tai höylätään irti ja siirretään uudelleen. Tämä ylimääräinen massojen edestakainen siirtely vaikuttaa myös työn laatuun, mikäli esimerkiksi kaivetaan liian syväälle, jolloin tiivis alusrakenne löyhtyy kun sama kaivanto peitetään. Myös ympäristön kannalta koneen tekemä ylimääräinen ja turha työ on vahingollista, koska työkoneet tuottavat hiilidioksidi- ja pienhiukkaspäästöjä. Mittaajan tulisi huolehtia aina siitä, että kullakin koneella on sen tarvitsemat selvät merkinnät työvaihetta varten. Kokemus kuitenkin on osoittanut, että samassa työkohteessa on käytävä merkitsemässä samat asiat useamman kerran, koska työkoneet hävittävät suuren osan jo laitetuista merkinnöistä. Näin hyvin asiat kuitenkin eivät useinkaan ole, sillä mittaustyö on kallista ja useimmiten työmaalla mittauspalveluita tuottaa vain yksi mittaushenkilö. Rakennussuunnitelmien tekemisessä ja suunnitelman maastoon merkinnässä ovat kolmiulotteiset maastomallit olleet käytössä jo yli kymmenen vuotta. Navigointisatelliittien määrän lisääntyessä on satelliittigeometria parantunut sille tasolle, että sitä voidaan käyttää keskeytymättä myös työkoneiden sijainnin tarkkaan määrittämiseen.

Satelliittinavigointia (Global Positioning System) eli yleisemmin kutsuttuna GPS, on käytetty maanmittauksessa jo 1980-luvun puolivälistä alkaen. Paikannusjärjestelmä luotiin alun perin USA:n puolustushallinnon tarpeita ajatellen. GPS-satelliitteja on käytössä maapallon ympärillä 32 kappaletta vuonna 2008. Satelliittigeometria muuttuu joka hetki ja vaihtelee huomattavasti vuorokauden aikana, koska navigointisatelliitit liikkuvat vastaanottimeen nähden, toisin kuin geostationäärisellä radalla olevat esimerkiksi tv-ohjelmia lähettävät satelliitit. Satelliittimittauslaitteet ja muut vastaavaa tekniikkaa käyttävät laitteet ovat passiivisia vastaanottimia, jotka vastaanottavat satelliittien lähettämiä L1- ja L2-kantoaaltoja joihin on moduloitu C/A koodi- ja P-koodisignaalit. Näistä P-koodia ei ole tarkoitettu siviilikäyttöön ja lisäksi data sisältää ratatietoja, eli eräänlaisen kalenterin, jonka avulla voidaan esimerkiksi ajoittaa paras mittaushetki paikalle, jossa on mittauskohdetta peittäviä esteitä (estepiirros). Aluksi sijainnin määrittäminen ja koordinaattien laskeminen oli hankalaa järjestelmään integroidun häirintäkoodin vuoksi ja satelliittimittauslaitteita käytettiin etupäässä runkopisteiden staattiseen mittaukseen. Koordinaatit saatiin vasta työlään jälkilaskennan avulla, jonka jälkeen runkoverkkoa tihennettiin jonomittauksella takymetrin avulla. Vuoden 2000 keväällä GPS-navigointijärjestelmästä pois-

tettiin häirintäkoodi, jolloin paikannuksen tarkkuus yksinkertaisimmillakin paikannusvälineillä tarkentui jo satelliittigeometriasta riippuen parhaimmillaan muutamaan metriin. Myöhemmin käyttöön tulivat rtk-laitteet, jossa mittajaan pystyttämä GNSS-tukiasema lähettää korjatut koordinaatit radioaaltojen avulla suoraan liikkuvalla mittausyksikölle. Tiestömittauksissa GPS-tekniikkaa on käytetty esimerkiksi PTM-autoissa jo 1990-luvun puolivälistä saakka. Tällä tavoin mittaustieto voitiin tieregis-
terin lisäksi sitoa koordinaatistoon.

Vastaava satelliittinavigointijärjestelmä GLONASS rakennettiin myös entisessä Neuvostoliitossa. GLONASSin heikkona kohtana oli satelliittien rataa valvovien maa-asemien sijainti ainoastaan nyttemmin edesmenneen Neuvostoliiton alueella. Tästä johtuen ratatieto muodostui epätarkemmaksi kuin GPS-järjestelmässä. Myös satelliittien määrä oli alussa vähäinen. Nykyisin Venäjän omistamaa järjestelmää on kehitetty edelleen ja lisätty GLONASS-satelliittien määrää, joita 2008 oli käytössä 14 ja lisäksi viisi toimimatonta satelliittia. Venäjä pyrkii täydentämään vuoden 2009 aikana satelliittien määrän yhteensä 24 satelliittiin. Näitä satelliitteja voidaan paikannuksessa käyttää GPS-satelliittien ohella, mikäli niitä on horisontaalisen leikkauskulman yläpuolella kaksi tai enemmän neljän GPS-satelliitin lisäksi. Näin saadaan parempi satelliittigeometria ja parempi havaittavuus ympäri vuorokauden.

Euroopan Unionin ja Euroopan avaruusjärjestön ESA:n kehittämä GALILEO-satelliittinavigointijärjestelmä tulee aikanaan olemaan ensimmäinen siviilikäyttöön suunniteltu ja rakennettu järjestelmä. Alun perin järjestelmän piti olla käytössä jo vuonna 2010, mutta näin ei tule käymään monien vastoinkäymisten ja rahoitusongelmien vuoksi. Järjestelmästä tulee myös kaksisuuntainen, joka avaa uusia mahdollisuuksia satelliittinavigoinnin käytössä ja lisäksi sen peittoalue eli satelliittigeometria on paras Euroopan alueella./2. /.



Kuva 3. "Korkopukki" louhintaa varten

3 TYÖKONEOHJAUS

3.1 Työkoneohjauksen periaate

Työkoneohjauksen ajatuksena on muodostaa yhtenäinen kolmiulotteinen prosessi alkaen maastomallin laadinnasta suunnittelijan käyttöön ja siitä edelleen valmiina rakennussuunnitelmana digitaalisessa muodossa työkoneisiin saakka. Rakennussuunnitelman maastoon merkitsemiseksi työkoneisiin tarvitaan ensinnäkin työkoneneen sisäinen paikannusjärjestelmä. Paikannusjärjestelmä sisältää kaltevuusanturit ja laskentayksikön, joiden avulla saadaan selville terän tai kauhan reaaliaikainen sijainti koneen sisäisessä koordinaatistossa.

Koneohjauksessa työkone muodostaa maastokoordinaatistossa olevan erilliskoordinaatiston. Sen orientointiin tarvitaan kolme koordinaattia ja kolme kulmaa. Koneen toiminnalliset pisteet (sylinderien kiinnityskohdat, sarananivelet, pallonivelet, paikannuslaitteet yms.) voidaan määrittää tässä koordinaatistossa. Työkone (esim. kaivuri) voidaan määrittellä omassa koordinaatistossaan toiminnallisina pisteinä (pallonivelet, sarananivelet, sylinterien kiinnityskohdat, paikannuslaitteen antennit tai prismat). Puomit tms. määritellään vastaavasti omassa koordinaatistossaan. Koordinaatistoilla on yhteisiä nivelpisteitä. Sylintereissä voi olla pituusantureita ja sarananivelissä kulma-antureita. Lisäksi ainakin kaltevuusanturit ovat hyödyllisiä. Koneeseen liittyy sarja- tai rinnakkaismuotoisia komponentteja (puomeja yms.), jotka kaikki muodostavat omat koordinaatistonsa. Niiden toiminnalliset pisteet voidaan määrittää näissä erilliskoordinaatistoissa. Koordinaatistot liittyvät yhteen yhden pisteen avulla (pallonivel) tai kahden pisteen avulla (sarananivel). Lisäksi niiden keskinäistä asemaa määrittävät niveliin liittyvät kulma-anturit (kiertoanturit), pisteiden väliset pituusanturit tai kaltevuusanturit . /3, s.5./



Kuva 4. Puskukone varustettuna GPS-antennilla

3.2 Työkoneohjauksen käyttöönotto työkoneessa

Sisäisen paikannusjärjestelmän lisäksi tarvitaan myös ulkoinen paikannusjärjestelmä, joka liittää koneen rakennussuunnitelmassa käytettävään koordinaatistoon. Yleisimmin Suomessa käytetään kartastokoordinaattijärjestelmää eli KKJ-järjestelmää. Ulkoinen paikannus perustuu yhtäaikaiseen GPS- ja GLONASS-satelliittipaikannukseen (GNSS). Työkoneen opastavaa paikannus- ja ohjasjärjestelmää kaivukoneessa on havainnollistettu oheisessa kuvassa (kuva 5). Järjestelmän yleinen toimintalogiikka on samanlainen kaikissa työkoneissa, vaikka teknologiat hiukan eroavatkin.

Jotta työkoneita voidaan ohjata opastavan koneohjausjärjestelmän avustuksella, siihen täytyy olla asennettuna työkoneen sisäinen paikannus, ulkoinen paikannus ja ohjausjärjestelmä. Ohjaava koneohjausjärjestelmä vaatii lisäksi vielä koneen osien säätöjärjestelmän.

1. Koneen sisäinen paikannus

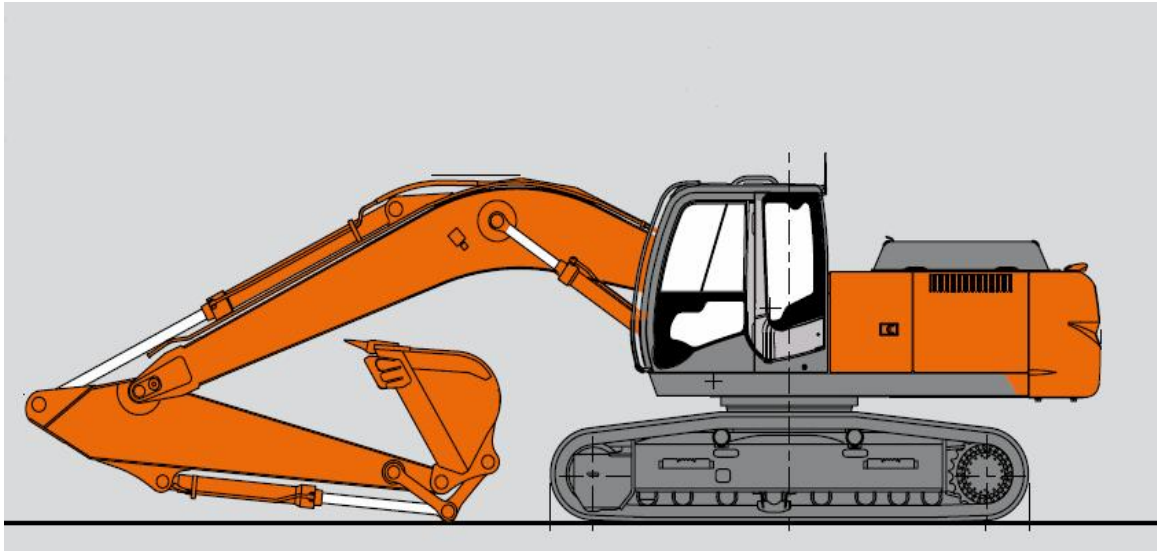
- kaltevuusanturit
 - laskentayksikkö
- terän sijainti
(koneen sis. koordinaatisto)

2. Ulkoinen paikannus

- RTK-GPS/Glonass
-vastaanotin
 - laskentayksikkö
- terän sijainti
(ulkoinen koordinaatisto)

3. Ohjausjärjestelmä

- tietokone ja sovellus
 - näyttö
 - 3D-toteutusmalli
- terän sijainti
suunnitelmaan nähden



Kuva 5. Järjestelmäkokonaisuus kaivinkoneessa /4, s.5/

Työkoneen sisäinen paikannusjärjestelmä (anturijärjestelmä tai kaltevuusautomaatiikka) käsittää kaltevuusanturit ja laskentayksikön, joka kertoo terän reaaliaikaisen sijainnin koneen sisäisessä koordinaatistossa (esim. kääntökeskiön keskipisteen suhteen).

Ulkoinen paikannusjärjestelmä selvittää terän sijainnin ulkoisessa koordinaatistossa laskentayksikön sekä rtk-GPS/GLONASS–vastaanottimen (GNSS-vastaanotin) ja -antennin tai vaihtoehtoisesti takymetrin avulla.

Ohjausjärjestelmä sisältää näytön ja tietokoneen, jonka sovelluksessa pyörii 3D-koneohjausmalli. Ohjausjärjestelmä näyttää koneenkuljettajalle terän sijainnin suunnitelmaan nähden.

Koneen osien säätöjärjestelmä ohjaa hydraulisesti työkoneen liikkeitä ohjausjärjestelmän tietojen perusteella.

Suosittelut paikannustarkkuuden toleranssit eri työkoneissa ovat seuraavat:

Kaivukone

Kauhan huulilevyn suunnassa +/- 40mm

Koneen puomin suunnassa +/- 30mm

Korkeudessa +/- 15mm

Puskukone

Ajosuunnassa +/- 100mm

Sivusuunnassa +/- 50mm

Korkeudessa +/- 15mm

Tiehöylä

Sijainnissa +/- 25mm

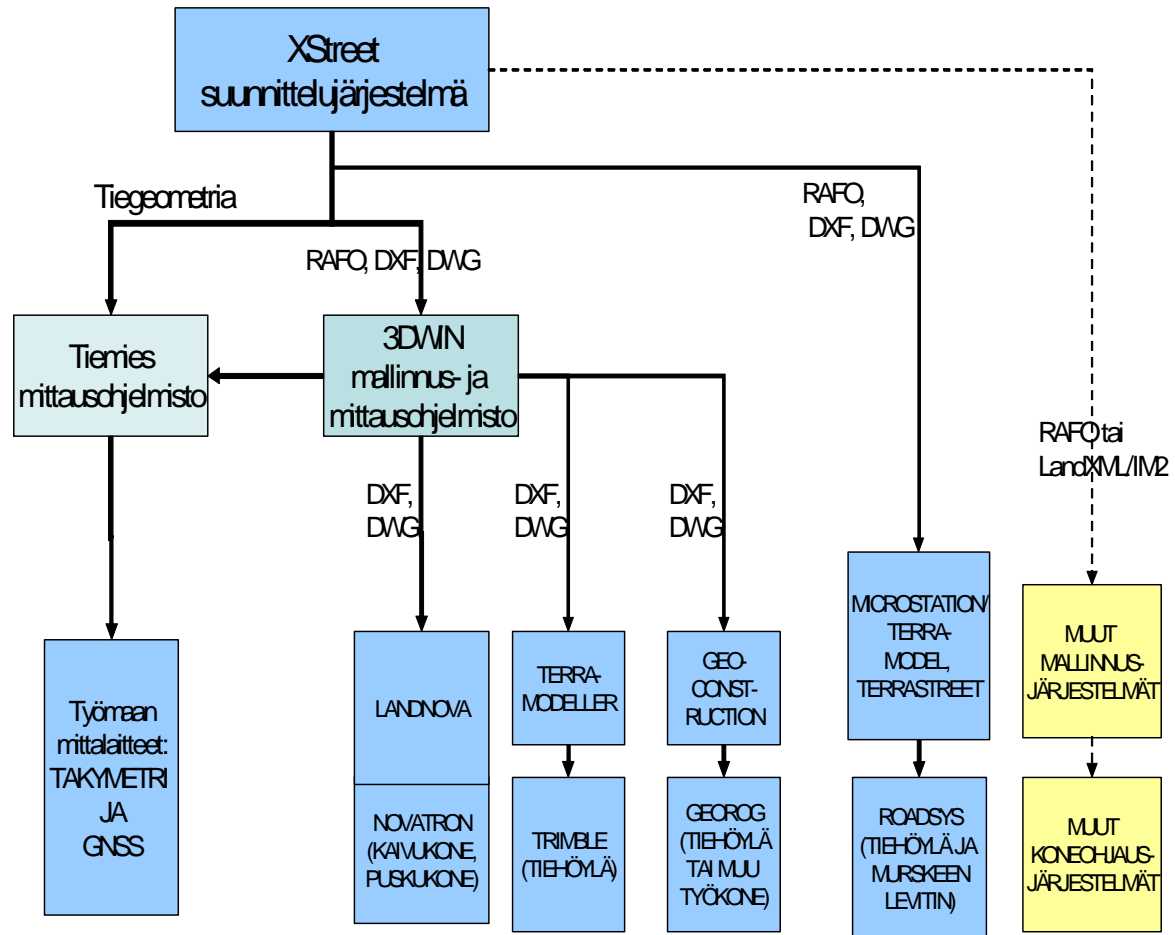
Korkeudessa +/- 5mm

Kaltevuudessa 0,2%



Kuva 6. Puskukoneen gps-antennin varren on oltava kestävä.

Koneenkuljettajalta edellytetään taitoa huoltaa ja ylläpitää oman työkoneen paikannus- ja ohjausjärjestelmää. Automaatio ei korvaa koneenkuljettajan perusammattitaitoa, mutta mahdollistaa entistä tarkemman ja tehokkaamman työskentelyn. Alkuun työnteko automaation avulla on koneenkuljettajalle opettelua, mutta jo parin viikon jälkeen hän yleensä pärjää laitteiston kanssa hyvin. Koneenkuljettajan tulee hallita koneohjausjärjestelmän käyttö, osattava peruskalibrointi, tunnettava eri työvaiheiden toleranssit ja varoa laitteiden (esim. antureiden ja johtojen) rikkoontumista. Kaivukoneen ja puskukoneen kuljettajan on huolehdittava GPS-antennit säilöön viikonlopuiksi ja vietävä näyttö pois koneesta joka yö. Lisäksi on hyvä olla omaaloitteinen, mikäli epäilee, että paikkatiedossa on virhe tai koneohjausmallissa on jotain vikaa, esimerkiksi antureiden ja johtojen rikkoontumista. Kaivukoneen kuljettajan uusiin tehtäviin kuuluu lisäksi laatumittausten tekeminen koneohjausjärjestelmää hyödyntämällä. /5. s. 10 /



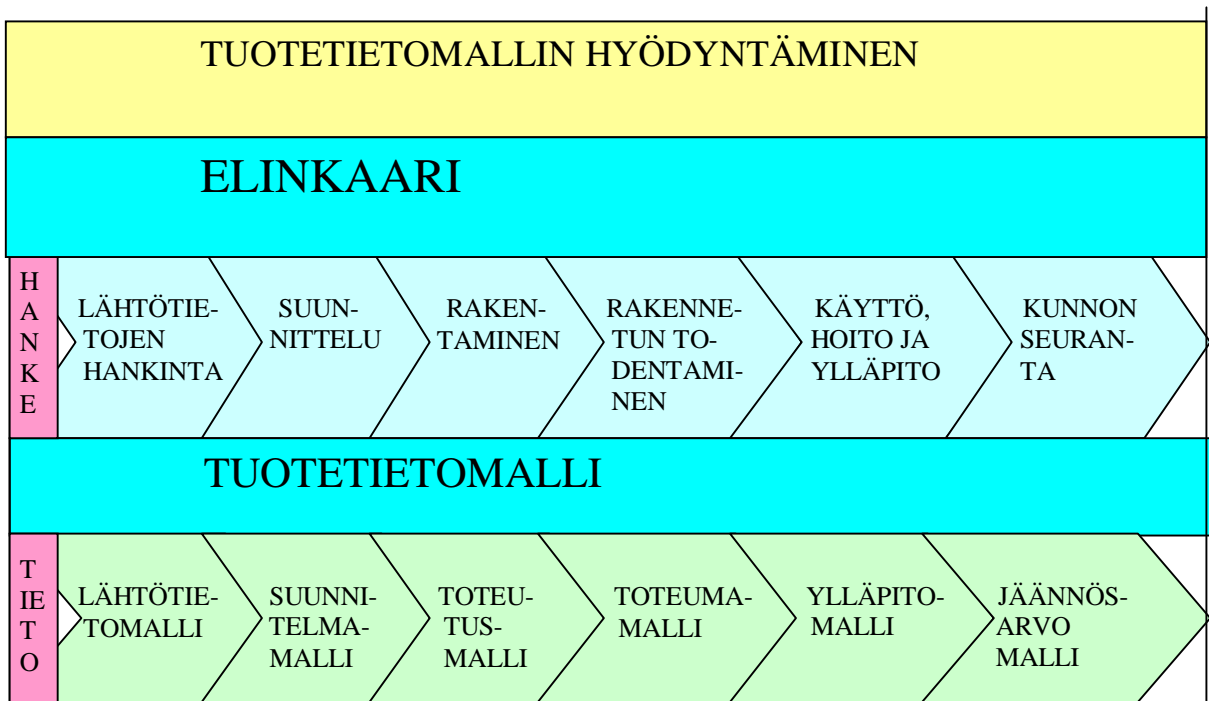
Kaavio 1. Koneohjausmallien suunnittelu- ja mallinnusprosessi Destian käytössä oleville koneohjausjärjestelmille /6, s. 25/.

3.3 Tuotetietomalli

Työkoneautomaatio liittyy tuotetietomalliin yhtenä olennaisena osana. Tuotetietomallia on käytetty yleisesti arkkitehtisuunnittelussa (BIM) ja rakennushankkeiden toteutuksessa. Senaatti-kiinteistöt on jo vuodesta 2001 lähtien toteuttanut useita tietomallien käyttöä kehittäneitä ja tutkineita pilottiprojekteja. Niistä saatujen kokemusten perusteella Senaatti-kiinteistöt on arvioinut tietomallitekniikan riittävän valmiiksi käyttöönotettavaksi tavanomaiseen projektityöskentelyyn ja päättänyt vaatia IFC-mallin (Industry Foundation Classes) mukaisia malleja projekteissaan 1.10.2007 alkaen /7/.

Infranhankkeissa tuotetietomalli tarkoittaa hanketta koskevan kaiken tiedon kokoamista yhteen tietomalliin, joka esitetään tietyn logiikan mukaisesti. Tuotetietomallissa on määriteltä millaisia ominaisuuksia sillalla tai liittymällä ja sen muodostavilla tuoteosilla pitää ja saa olla /8/. Tässä tulee kuvioon tiedonsiirto ja tiedonsiirtoformaatti, joka mahdollistaa kaikkien osapuolien tietojen yhteensopivuuden. Infra-alalle ei kaikki ongelmat ratkaisevaa formaattia ole tarjolla. Esimerkiksi IFC-formaatti sopii vaativien rakenteiden kuten siltojen kuvantamiseen, mutta paikka-tiedon tuottamisessa käytetään ISO-191xx-sarjaa./9/.

Taulukko1. Tuotetietomalli /10/



Tuotetietomalli on tie- tai siltahankkeen elinkaarenaikainen tiedonhallinta, joka alkaa lähtötietojen hankinnalla ja kokoamisella. Lähtötietoja ovat

- maastomalli 3-D
- maaperätiedot 3-D
- kartta-aineisto
- tierekisteri
- palvelutasomittaukset
- inventoinnit
- liikennelaskennat.

Lähtötietojen ja vaatimusten asettamisen perusteella aloitetaan hankkeen suunnitteluvaihe. Tähän vaiheeseen kuuluvat

- tarkentuva suunnittelu
- 3-D simulointi
- vaihtoehtovertailu
- kustannustiedot
- ympäristövaikutukset
- toimivuustarkastelu

Lähtö- ja suunnitelmamallien laatiminen pohjustaa hankkeen rakentamisvaihetta eli toteumamallia. Toteumamalliin kuuluu hankkeen rakentaminen ja rakennetun todentaminen. Siihen kuuluvat

- on-line työmaa-automaatio
- suunnittelua ohjaavat järjestelmät
- automaattinen laadunvarmistus

Rakentamishankkeen valmistuttua kaikki siihen asti kerätty tieto on tallennettu digitaaliseen muotoon ja sitä voidaan tarpeen mukaan hyödyntää. Tiedon hyödyntämisen kannalta käytettävä tiedonsiirtoformaatti tulee olla sellainen että sitä voidaan yleisesti hyödyntää koko hankkeen elinkaaren ajan eri järjestelmissä. Tähän yhdessä paikassa olevaan tietopankkiin lisätään tien- tai sillan käytön aikaisia kuntotietoja, kuten esimerkiksi palvelutasomittauksia, liikennemäärien kehitys ja tehdyt korjaukset. Näitä ajantasaisia tietoja hyödyntämällä voidaan arvioida etukäteen päällystämisen- ja korjauskustannuksia joita tien ylläpito tietyllä palvelutasolla vaatii. Nämä hoito- käyttö ja ylläpitotiedot muodostavat ylläpitomallin.

3.4 Työkoneautomaation nykytila Suomessa

Infra-alalla toimivat suurimmat yritykset ovat lisänneet viime vuosina huomattavasti rakentamisen automaation kehittämiseen. Tietojen saaminen kunkin yrityksen työkoneautomaation tilasta on lähes mahdotonta, koska työkoneautomaatiosta ei yrityksen sisälläkään ole kovin paljon tietoa saatavilla. Erään maanlaajuisen Suomessa toimivan yrityksen infra-rakentamisen johdon tavoitteena on, että kokonais-

automaatio on osa kyseisen yrityksen normaalia toimintatapaa ja tuotantosysteemiä 2010. Tämä pysyvä muutos koskettaa yrityksen lisäksi myös sen alihankkijoita. Tällä infra-alan yrityksellä on kokemuksia jo kymmeneltä automaatiotyömaalta ja työkoneautomaatiota käytettiin syyskuussa vuonna 2009 noin viidessäkymmenessä työkoneessa. Työkoneohjausta voidaan tähän asti kertyneen kokemuksen perusteella hyödyntää lähes kaikissa väylä- ja aluerakennuskohteissa /11, s.1/. Automaatiojärjestelmiä on käytössä kaivukoneissa, puskukoneissa ja tiehöylissä. Käyttöä tullaan laajentamaan muun muassa pyöräkuormaajiin, poravaunuihin ja asfaltinlevittäjiin. Tavoitteena on että kaikki työvaiheet tehdään automaatiota hyödyntäen. Kun kaikki rakentamisen osavaiheet lähtötietojen hankinnasta ja suunnittelusta alkaen on liitetty toisiinsa, ne muodostavat sujuvan tietovirtajatkumon, joka tukee automaation onnistumista. Työkoneautomaatio luo mahdollisuuden uusien lisäarvoratkaisujen kehittämiseen, jotka voivat liittyä määrälaskentaan, reaaliaikaiseen etenemisen seurantaan tai laatumittauksiin. / 12, s. 2 /.



Kuva 7. Työkoneohjaus käytössä kaivukoneessa.

Työkoneautomaatiota käytetään Suomessa infra-rakentamisessa ensisijaisesti kaivinkoneissa, puskukoneissa ja tiehöylissä. Myös pyöräkuormaajia, traktoreita ja ruoppaajia on varusteltu ja hyödynnetty onnistuneesti. Suurin hyöty työkoneohjauksesta saadaan "suunnittele ja toteuta"-projekteilla, jolloin erityisesti suurimmat infra-alan yritykset hyötyvät suunnittelusta rakentamiseen ulottuvasta prosessista. Nämä yritykset kehittävät työkoneautomaatio prosessia eri osa-alueilla varmistamaan onnistuneen työkoneautomaation käyttöönoton erilaisilla työmailla. Tämä kehitys luo tarvetta erikoisosajille, jotka osaavat yhdistää rakentamismittauksen, satelliittipaikannuksen ja työkoneautomaation hyödyntämisen työmaakäytännössä.



Kuva 8. Kaivinkoneen työkoneohjauksen näyttöpääte.

Osana työkoneautomaatiota käytetään langatonta työmaan ohjausjärjestelmää, joka kerää tietoa esimerkiksi siirrettävistä massoista reaaliajassa. Näin voidaan seurata kustannuksia, aikataulutusta ja määriä tehokkaasti. Samalla päästään ajo-lappujen keräämisestä ja niihin liittyvästä paperityöstä. Myös työnjohto saa päivittäin reaaliaikaista tietoa kuljetusketjun todellisesta tehosta, siirretyistä määristä sekä kuljetuskustannuksista. Näin pystytään reagoimaan tilanteeseen nopeasti, jos teho ei vastaa laskettua, eikä vasta viikkoja myöhemmin, kun tilanne on käynyt ilmi. On mahdollista mitata satelliittipaikannusta käyttäen tarkat ajomatkat, jolloin maksetaan vain toteutuneista ajomatkoista. Maasiirtoajoneuvoon tarvitaan pieni päätelaite, jossa ajosuoritteet kirjataan kosketusnäytön painikkeita painamalla. Laitteen käytön oppii yhtä helposti kuin matkapuhelimen käytön. Päätelaitteet keräävät kuljetuksiin liittyvät aika-, paikka-, ja määrätiedot muistiinsa ja lähettävät ne

automaattisesti palvelimelle langatonta GPRS-tiedonsiirtoa käyttämällä. Työnjohto käyttää nettipohjaista sovellusta palvelimelle kerättyjen tietojen tarkasteluun, yhteenvetoraporttien tulostamiseen ja projektitietojen kirjaamiseen ennen käyttöönottoa. Jokaisen kuorman tiedot löytyvät palvelimelta aikaleimoin. Järjestelmä on ollut käytössä jo yli sadassa ajoneuvossa ja runsaalla kymmenellä työmaalla lokakuuhun 2009 mennessä. Merkittävin automaation tuoma muutos on, että suunnitelmat viedään maastoon digitaalisesti, koneohjausmallin muodossa. Tämän johdosta maastoon merkinnän tarve vähenee ratkaisevasti. Uuden teknologian käyttöönotto vaikuttaa läpi rakentamisen prosessin sekä työmenetelmiin että työtehtäviin ja niiden välisiin suhteisiin. Suunnittelijan, työnjohtajan ja koneenkuljettajan toiminta projekteissa muuttuu myös. Heidän kohdallaan voidaan kuitenkin todeta, että perusammattitaito on edelleen kaikkein tärkeintä. Suunnitelmista muodostetaan yhtenäiset ja jatkuvat kolmiulotteiset mallit (koneohjausmallit), joten suunnittelijalta automaatio vaatii entistä pidemmälle vietyä mallintamista ja yhteistyötä automaatioosaajien kanssa (ST-urakat). Työkoneet eivät edelleenkään toimi ilman koneenkuljettajaa, eikä välittömän työnjohdon tarve poistu työmaalta. Automaatio tuo näihin rooleihin uusia haasteita, mutta samalla myös mahdollisuuden entistä tehokkaampiin toimintatapoihin.

4 TYÖKONEOHJAUKSEN KÄYTTÖ INFRATYÖMAALLA

4.1 Käyttöönoton edellytykset

Työkoneautomaatio soveltuu hyvin kaikkiin maanrakentamisen työvaiheisiin ensisijaisesti kaivinkoneissa, puskukoneissa ja tiehöylissä. Merkittävin tekijä työkoneautomaation käyttöönottoa ajatellen on työmaan koko eli kaivettavat ja levitetävät massamäärät. Pienemmillä rakennustyömailla on tapauskohtaisesti harkittava kannattaako työkoneautomaatiota käyttää. Käyttöönoton kynnyks ei kuitenkaan ole useinkaan kovin suuri, jos työmaan jo ollessa käynnissä työkoneautomaatio halutaan ottaa käyttöön. Suurin hyöty työkoneautomaation käyttöönotosta on suurien kenttien rakentamisessa. Tilanne voi syntyä suunnitelmien muutosten seurauksena tai lisätöiden mukana. Käyttöönoton edellytys on että maanrakennustyömaalla käytetään satelliittimittauslaitteita, joita nykyisin käytetään kaikessa infrarakentamisessa. Lisäksi työmaalla on oltava työkoneita joissa on jo valmiudet työkoneautomaation käyttöön ottoon. Näin ollen niihin voidaan asentaa helposti muut työkoneautomaatiossa tarvittavat laitteet. Suuremmilla maansiirtoyrityksillä työkoneautomaatio on jo yleisesti käytössä ja automaatiota käyttävien työkoneiden määrä kasvaa jatkuvasti.



Kuva 9. Kantavan kerroksen levitystä takymetriohjatuilla tiehöyllillä

4.2 Case Kuopio

Työkoneautomaation käyttöönotto ei välttämättä vaadi monimutkaisia toimintoja työmaalla. Kun edellytykset ovat kunnossa voidaan pienelläkin työmaalla käyttöönotto suorittaa pienin kustannuksin. Kokeilimme työkoneautomaation käyttöönottoa todellisella työmaalla, joka oli aloitettu ilman työkoneautomaatiota perinteisesti paaluttamalla linjat ja merkitsemällä korkeudet paaluihin erivärisillä muovisilla korkolapuilla. Käytössä olivat myös putkilaser pitkissä kaivannoissa ja tasolaser kenttämaisia työkohteita rakennettaessa.

Tälle kyseiselle tontille rakennettiin uutta katua 1 780 metriä, josta 1 500 metriä kaksi ajorataisena, kiertoliittymiä rakennettiin urakka-alueelle kolme. Katualueen alle tulivat vesi- viemäri- sadevesi- ja kaukolämpöputket. Lisäksi rakennettiin louheesta kenttä, jolle oli tarkoitus myöhemmin rakentaa kaksi yhteispinta-alaltaan noin 40 000 neliömetrin suuruista rakennusta. Tontilla oli louhittavia kallioita noin

300 000 m³rtd, joten louhetta voitiin kuljettaa järeällä kalustolla, koska yleisiä väyliä ei tarvinnut käyttää. Louhe levitettiin puskukoneilla yhden metrin paksuisina kerroksina, jotka jyrättiin huolellisesti ennen seuraavan metrin paksuisen kerroksen levittämistä. Painumia seurattiin omana työnä ja lisäksi rakennuttajan tekeminä satunnaisina pistokokeina. Louheen suurin sallittu raekoko oli 600 mm, joten jokaisen metrin kerroksen yläpintaan jouduimme käytännössä kiilaamaan ohuemalla louheella. Louhekentän kaltevuus oli 2 % ja paksuus joissain paikoissa jopa kahdeksan metriä, koska tulevien rakennusten alta tuli maa-ainekset poistaa peruskallioon saakka. Keskimäärin louhepatjan paksuus kentällä oli 2-2,5 m. Louhekentän tekemisen aloitimme ilman työkoneohjausta pelkästään korkopukkien ja tasolasereiden avulla. Tontilla olevista kallioista louhittu kiviaines lastattiin kahdella 85 tonnin painoisella kaivinkoneella neljään käytössä olevaan kiviautoon. Kiviauton paino täydessä lastissa oli noin 120 000 kg. Ajomatkan ollessa lyhyt, kaivinkoneet pystyivät työskentelemään täydellä kapasiteetillaan ja louhe siirtyi taloudellisesti. Louheen levittämisen hoitivat kaksi 40 000 kg painoista puskukonetta. Louhekentän valmistuessa oli pyrittävä mahdollisimman tarkasti pitämään valmistuvan kentän korkeus oikeana. Tasolasereita oli siirrettävä usein, ettei matka työkoneeseen päässyt kasvamaan liian suureksi. Tasolaserin tarkkuus alkaa huonontua matkan myötä. Korkopukkien rakentaminen ja tasolasereiden siirtely vei käytännössä yhden työntekijän työajan kokopäiväisesti. Siitä huolimatta matka puskukoneen ja tasolaserin välillä pääsi usein kasvamaan liian suureksi. Ongelmaksi muodostuu tällöin korkeustason virhe, joka suurenee etäisyyden kasvaessa tasolaserin sijaintipaikkaan. Valmiin kiilatun louhekentän korkeustason suurin sallittu virhe oli ± 50 mm. Tilanne oli hankalin kun karkea noin 600 mm läpimittainen louhe on levitetty hiukan liian ylös tavoitetasoon verrattuna ja kiilauskerros vielä puuttui. Tässä tapauksessa louhetta on poistettava niin paljon että kiilauskerros voidaan rakentaa ja kiilauskerroksen yläpinta on vaadittavan korkeustason mukaisesti paikoillaan. Tilanne ei ollut kovin paljon parempi, mikäli louhekentän taso jäi hieman sallittua alemmalle tasolle. Ohuen kerroksen lisääminen laajalle alueelle oli riittävän ohuen materiaalin puutteen vuoksi hankalaa. Epätaloudellisinta kentän tason nostaminen on murskeella, joka yleensä joudutaan ostamaan ulkopuoliselta toimittajalta. Läpimitaltaan 55 mm murske työmaalle toimitettuna maksoi 6,80€/tonni. Työhön jouduttiin irrottamaan jostain toisesta paikasta kaivinkone ja materiaalin kuljetukseen

kapasiteettia. Lisäksi tarvitaan mittajaajan palveluita kentän oikean kiilaustason merkitsemiseksi työkoneita varten.

4.3 Case Kuopio-työmaan mittaukset

Työmaan mittaukset hankittiin mittauspalveluita tuottavalta mittauskonsultilta, jonka mittajat jo työmaan alkaessa perustivat GNNS-tukiaseman (Global Navigation Satellite System) toimistoparakin katolle omia GPS-mittauslaitteitaan varten. Tämän GNNS-tukiaseman tarkoitus oli määrittää tukiasemalle tarkka sijainti ja lähettää se liikkuvalla mittausyksikölle. Liikkuva mittausyksikkö määrittäi tämän jälkeen oman likimääräisen sijainnin ja radioteitse tulleiden tarkkojen sijaintitietojen erotuksen. Näin liikkuvalla mittausyksikölle saatiin tarkat koordinaatit. Liikkuvat mittausyksiköt ovat passiivisia vastaanottimia, joten niiden kulloinkin käytössä olevaa määrää ei tukiaseman vaikutusalueella ole rajoitettu. Tukiaseman lähettämä radioaajuuskorjaus oli käytettävissä ympäri vuorokauden. Mittauskonsultit olivat lisäksi mitanneet ympäri työmaata tunnettujen, keskenään tarkkojen monikulmiopisteiden verkko, jonka avulla työmaan mittauksia voitiin lisäksi kontrolloida. Mittauksissa huomioitava seikka oli Kuopion kaupungin käyttämä vj-koordinaattijärjestelmä (Helsingin järjestelmä -1970), joka poikkeaa x- ja y-tasossa normaalisti käytössä olevasta kartastokoordinaattijärjestelmästä (kkj 1970-). Koordinaattijärjestelmien ollessa erilaiset, oli tehtävä muunnos kkj-järjestelmästä vj-järjestelmään. Tämä hoitui siten, että tukiasema lähetti kaiken tiedon kkj-järjestelmässä ja vastaanotto-päässä se muunnettiin vj-järjestelmään.

Taulukko 2. Ohjausprosessi ja tarvittavat koordinaatistomuunnokset yleisellä tasolla / 13, s.25 /



Kuva 10. Tukiaseman GPS-antenni ja radioantenni.

Katolla olevan GPS-antennin sijainti oli määritelty likimääräisesti. Likiarvokoordinaateiksi riittää muutaman kymmenen metrin tarkkuus, johon päästään tavallisilla halvimmillaan sata euroa maksavilla GPS-laitteilla. Likimääräisten koordinaattien lisäksi tukipisteen sijainti on määritetty sen ympärillä olevien vähintään neljän sijainniltaan tarkasti tunnetun pisteen avulla. Tällä tavoin saatiin likimääräiset tukiaseman koordinaatit (X' , Y' ja Z') ja tarkka ero (Δx , Δy ja Δz) todellisiin tukipisteen koordinaatteihin (X , Y ja Z). Tukiasema lähettää radiosignaalin avulla työkoneille likimääräisten koordinaattien ja tarkkojen koordinaattien erot (Δx , Δy ja Δz). Mikäli työmaalla ei käytetä ksj-koordinaatistoa täytyy koordinaatit muuntaa käytettävään koordinaattijärjestelmään. Helpoimmin muunnos onnistuu käytettäessä HELMERT-muunnosta. Yhdenmuotoisuus- eli HELMERT-muunnos on muunnos kahden suorakulmaisen (kaksiulotteisen) tasokoordinaatiston välillä. Rtk-mittauksella päästään keskimäärin ± 10 mm:n tarkkuuteen x - ja y -tasossa, sekä korkeudessa (z) parhaimmillaan ± 20 mm.



Kuva 11. Achtehin GPS-/GLONASS-vastaanotin.

Katolla olevan satelliittiantennin kautta mittaussignaali prosessoidaan vastaanottoyksikössä, jossa koordinaattien laskenta tapahtuu. Laskettuja koordinaatteja (x' , y' ja z') verrataan katolla olevan antennin mitattuihin koordinaatteihin (x , y ja z). Koordinaattien erotus (Δx , Δy ja Δz) lähetetään kuvassa 13 olevan radiomodeemin ja vahvistimen kautta radioteitse työkoneiden ohjausjärjestelmiin. Työkoneautomaatiolla varustettujen työkoneiden määrää ei ole rajoitettu tukiaseman kantavuusalueella. Tukiaseman kantavuus hyvissä maasto-olosuhteissa on noin 1 500 metriä, joka vaihtelee käytettävän laitteiston mallin mukaan.



Kuva 12. Radiomodeemi ja vahvistin korjaussignaalia varten.

Satelliittiantenni, vastaanotinyksikkö, radiomodeemi ja vahvistin toimivat sähkövirralla, joten sähköliittymä on oltava tukiaseman lähellä. Varavirtalähteenä tässä tapauksessa oli hyytelöakku, jossa riittää virtaa tavallista akkua pitempään mahdollisen virtakatkon sattuessa.



Kuva 13. Virtalähteet

4.4 Kuopion kokeilun tulokset

Työmaan suurin yhtenäinen työkohde oli louhekentän rakentaminen noin 200 000 neliömetrin alueelle. Työkoneohjausta päätettiin käyttää ainoastaan louhekentän rakentamisessa. Lisäksi rakennussuunnitelman muuntamista työkoneohjaukseen sopivaksi helpottaisi taiteviivojen pieni määrä. Aliurakoitsija oli jo aiemmin käyttänyt työkoneohjausta suuremmilla työmaillaan, viimeksi Talvivaaran kaivosalueella Sotkamossa. Talvivaaran työmaalta oli tulossa aliurakoitsijalle yksi puskukone lisää, jossa jo oli valmiudet käyttää työkoneohjausta.

GNNS-tukiasemaksi soveltuu hyvin myös edellä kuvatun (kohta 4.3) kaltainen vanhasta toimivasta kalustosta muodostuva yksikkö. Koska ulkopuolisen mittauskonsultin omat mittauslaitteet käyttävät samaa korjaussignaalia, työmaa maksaa vain mittajaan työvuorohinnan, mutta voi hyödyntää tukiaseman lähettämää korjaussignaalia ilmaiseksi samanaikaisesti. Mittauskonsultti on vastuussa omasta mitta-

ustyöstään ja suorittaa tarkistusmittauksia riittävän säännöllisesti todetakseen tukiaseman toimivan ja koordinaattien pysyvän sallituissa toleransseissa. Samalla saadaan varmuus siitä, että työkoneohjauksen mittatarkkuus on oikea, koska molemmat käyttävät samaa tukiasemaa. Tukiaseman laitteiden asennus ja niiden toimintakuntoon saattaminen eivät olleet mittauspalveluiden osalta laskutettavaa työtä vaan kuului mittauspalveluita tukevaan työhön. Näin ollen työmaalla oli toimiva korjaussignaalia ympäri vuorokauden lähettävä GNSS-tukiasema, jonka asennustöistä ja ylläpidosta pääurakoitsijan ei ollut tarvinnut erikseen maksaa kuukausivuokraa.

Seuraavaksi oli tehtävä puskukoneen ohjausjärjestelmään soveltuva 3D-toteutusmalli rakennussuunnitelmasta. Eri järjestelmätoimittajien laitteet vaativat mallin eri formaateissa, koska standardoitua koneohjausmalliformaattia ei ole. Kaivukone- ja puskukonejärjestelmiin koneohjausmalli viedään dxf-/dwg-muodossa (linja- ja pistetiedot SBG-muodossa).

Koordinaattimuunnoksen aliurakoitsijalle teki pääurakoitsijan mittauskonsultti. Aliurakoitsijan mittauslaitetoimittajan edustaja muunsi rakennussuunnitelman osan, jossa rakennettava louhekenttä sijaitsi koneohjaukseen sopivaksi pintamalliksi. Tämän jälkeen muodostettu pintamalli siirrettiin valitun puskukoneen ohjausjärjestelmään. Aliurakoitsija vastasi työkoneautomaation käyttöönoton kuluista puskukoneen osalta ja kuten jo aiemmin todettiin vastasi GNSS-tukiaseman perustamisesta ja ylläpidosta mittautöistä vastaava konsultti. Puskukoneen automaatiolaitteet käynnistyivät moitteettomasti kun virta kytkettiin päälle. Puskukoneen työntölevyn alareunan korkeustasoa tarkkailtiin tiheämmin koneen aloittaessa louheen levitystä. Korkeus- ja vaakataso todettiin mittauksen perusteella olevan sallittujen rajojen sisäpuolella. Puskukone toimi ilman häiriöitä työmaan keston ajan. Aliurakoitsijan käyttämän konsultin käyntejä ei tarvittu, koska louhekentän suunnitelmat eivät muuttuneet. Työkoneohjauksen käyttöä olisi ollut mahdollista laajentaa myös kyseisen aliurakoitsijan kaivukoneisiin. Kaivukoneet kuitenkin lastasivat pelkästään kalliosta louhittua karkeaa läpimitaltaan enintään 600 mm:n louhetta maansiirtoautoihin, joten siinä työvaiheessa koneohjauksesta ei ollut hyötyä. Tässä olisi mahdollisuus ottaa mukaan työkoneohjaukseen tukeva langaton massansiirto-ohjausjärjestelmä, jota kohteen pääurakoitsija Destia Oy edelläkävijänä käyttää.

Siinä työmaan massojen liikkumista voidaan seurata lajikkeittain reaaliajassa, mutta sen käyttöä ei käsitellä tässä opinnäytetyössä.

Destia Oy toimi työmaan pääurakoitsijana, mutta työkoneautomaatio tuli käyttöön aliurakoitsijan työkoneissa. Pääurakoitsijan tavoitteena on aina saada projektista mahdollisimman suuri voitto, tämä edellyttää etenkin työmaan kulujen minimointia työtehon siitä kärsimättä. Toisin sanoen aliurakoitsijan työpanoksen suhteessa työvuorohintaan tulee olla mahdollisimman suuri.



Kuva 14. Keskiraskas telaporavaunu

Työkoneautomaation voi oman kokeilumme perusteella ottaa käyttöön nopeasti ja muun työn häiriintymättä, mikäli oletetaan sen käytöstä koituvan työmaalle suoraan tai välillisesti hyötyä. Edellytyksenä työkoneautomaation käytölle on työmaan au-

tomaatioinfrastruktuurin olemassa olo. Automaatioinfrastruktuuri kattaa tukiaseman kaikkine laitteineen sekä maastoon merkityt kiinteät pisteet. Tukiaseman laitteistoon kuuluvat

- satelliittivastaanotin (esimerkissä Javad)
- antennit
- radiolähetin (esimerkissä Satel)
- radiosignaalin UHF-antenni
- virtalähde (esimerkissä auton akku + laturi 12 v).

Lisäksi tarvitaan osaavat henkilöt automaatioinfrastruktuurin ylläpitämiseen. Näiden osaajien tehtävänä on hoitaa asennukset, huollot ja korjaukset laitetoimittajan tuella. Kyseiset toiminnot voidaan hankkia ulkopuoliselta konsultilta tai kouluttamalla omasta henkilökunnasta sopivat henkilöt.

Mikäli työ hankitaan ulkopuoliselta konsultilta yleensä vuokraushinnat sisältävät järjestelmän ylläpitoon tarvittavat huoltokäynnit, mutta kaikki mikä siihen ei kuulu laskutetaan erikseen. Työkoneautomaatiolaitteet oli asennettu vain yhteen työkoneeseen, tässä tapauksessa puskukoneeseen. Jos useammassa työkoneessa olisi ollut paikannus- ja ohjausjärjestelmä, vuokratustannukset olisivat nousseet useisiin tuhansiin euroihin vuodessa jokaista konetta kohti. Mikäli tällä työmaalla ei aliurakoitsijan koneissa olisi ollut valmiutta työkoneautomaation käyttämiseen, olisi automaation käyttäminen ollut taloudellisesti kannattamatonta. Valittaessa aliurakoitsijaa tulisi jatkossa asettaa etusijalle niiden aliurakoitsijoiden kalusto, jolla on mahdollisuus käyttää työkoneautomaatiota. Toimiva menetelmä on myös pääurakoitsijan omistamien laitteiden vuokraaminen aliurakoitsijan koneisiin, joista ne voidaan siirtää tarvittaessa toiselle työmaalle. Pienemmillä työmailla eräänä toimintamallina voi olla "case Kuopio", jolla saadaan parannettua rakentamisen laatua, saavutetaan taloudellista hyötyä ja nopeutetaan työmaan valmistumista. Työkoneautomaatiosta on hyötyä myös ympäristölle esimerkiksi pienentyneinä hiilidioksidi- typenoksidi- ja pienhiukkaspäästöinä.



kuva 15. Tukiaseman gps- lautasantenni ja radioantenni.

5 KYSELYTUTKIMUS KONEENKULJETTAJILLE

5.1 Koneenkuljettajan rooli

Koneenkuljettajilta edellytetään taitoa huoltaa ja ylläpitää oman työkoneen paikanus- ja ohjausjärjestelmää. Koneenkuljettajan on lisäksi opeteltava uusi menetelmä tehdä töitä koneohjausjärjestelmän opastuksen mukaisesti. Siirtyminen työkoneautomaation käyttöön on suuri harppaus verrattuna vielä yleisesti käytössä olevaan korkolappujen ja paalujen ohjaamaan työskentelyyn. Koneenkuljettajan tulee hallita koneohjausjärjestelmän käyttö ja varoa laitteiden (esimerkiksi antureiden ja johtojen) rikkoontumista. Hänen on lisäksi tunnettava eri työvaiheiden toleranssit ja huolehdittava, että työn lopputulos on toleranssien määräämissä rajoissa, kuitenkin ylilaatua tekemättä. Koneenkuljettajan on myös ymmärrettävä työkoneautomaation toimintaa tiedostaakseen mahdolliset virheet esimerkiksi paikkatiedoissa tai koneohjausmallissa. Tiehöylän kuljettajalla mittaustekniikan tietotason tulisi olla jo huomattavasti kaivin- ja puskukoneenkuljettajan tietomäärää suurempi. Tiehöylää ohjataan takymetrillä, jonka pelkkä pystyttäminen ja orientointi vaatii laajempaa mittaustekniikan perustaitojen osaamista. Toisaalta kaivin- ja puskukoneen kuljettajienkin mittaustekniikan tietojen tulisi olla yhtä hyvät, koska tarpeen vaatiessa koneenkuljettajan on osattava käyttää myös muita työkoneita. Kaivukoneen kuljettajalla on työkoneiden kuljettajista ainoana mahdollisuus tehdä tarkemittauksia. Tarkemittauksilla tarkoitetaan oman kaivutyön toleranssien mittaamista, eli näillä mittauksilla todetaan kaivun rajat x- , y- ja z-suunnassa.

5.2 Koneenkuljettajien kysymykset

Koneenkuljettajien työkoneautomaation käyttökokemusten selvittämiseksi suoritettiin kyselytutkimus kahdella käynnissä olevalla tienrakennustyömaalla. Kysymykset jaettiin valtatie 6 Lappeenranta, Ahopelto - Mansikkala tienrakennustyömaan ja valtatie 4 Joutsa - Toivakka tienrakennustyömaan koneenkuljettajille, yhteensä 11

koneenkuljettajalle. Molemmilla rakennustyömailla oli työkoneautomaatio käytössä, pääurakoitsijana oli molemmilla työmailla Destia Oy. Kyselytutkimus suoritettiin lomakekyselynä vastausten lukumäärän ja käsiteltävyyden vuoksi. Vaihtoehtoina kyselyssä olivat: Kyllä, ei ja en osaa sanoa.

1. Käytätkö työkoneohjausta pusku- tai kaivukoneessa?
2. Oletko käyttänyt takymetriohjattua tiehöylää?
3. Opetettiin koneohjauksen käyttö työn ohessa?
4. Saitko teoriaopetusta esimerkiksi mittaustekniikan perusteissa?
5. Oletko tehnyt koneellasi tarkemittauksia?
6. Onko koneohjausjärjestelmä toiminut mielestäsi hyvin?
7. Saatko "enemmän aikaa" työvuoron aikana koneohjausta käytettäessä?
8. Tekisitkö töitä mieluummin ilman työkoneohjausjärjestelmää?
9. Haittaako paalujen ja korkolappujen vähyys työkohteen hahmottamista?
10. Onko työkoneesi tuottavuus noussut työkoneohjauksen ansiosta?
11. Onko häiriötilanteessa apua tullut riittävän nopeasti?
12. Haittaako satelliittien vähyys (geometria) joskus työskentelyä?
13. Onko työmaalla mittamies paikalla riittävän pian jos tarvitaan?
14. Tunnetko työkoneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen?
15. Onko lisäkoulutus tarpeen esimerkiksi mittaustekniikassa?

5.3 Koneenkuljettajien vastausten käsittely

Kaikki kyselyyn vastanneet koneenkuljettajat käyttivät työkoneautomaatiota pusku- tai kaivinkoneessa. Työkoneautomaatiota tiehöylä oli käyttänyt yksi koneenkuljettaja. Tiehöylän sijainti paikannetaan jatkuvatoimisella takymetrillä, jonka pystyttäminen ja orientointi vaatii mittaustekniikan tuntemusta. Työkoneohjauksen käyttö oli opetettu 81 prosentille vastanneista työn ohessa, eli kokeneempi koneen kuljettaja on hyissä mukana alussa opastamassa.

Mittaustekniikan perusteita oli opetettu kahdelle vastaajalle. Viidennessä kysymyksessä kysyttiin tarkemittausten tekemisestä, niitä oli tehnyt 64 prosenttia vastaajista. Rakennustyömailla on keskimäärin enemmän kaivu- kuin pusukoneita, joten kaikki kaivukoneen kuljettajat eivät tee tarkemittauksia. Koneohjausjärjestelmä oli toiminut hyvin vastaajista 65 prosentin mielestä, loput 35 prosenttia vastasi "ei" tai "en osaa sanoa". Sama prosenttijakauma on kysymyksessä numero seitsemän, jossa kysyttiin työkoneohjauksen vaikutuksesta työvuoron aikana tehdyn työn määrään. Yksi koneenkuljettaja vastasi haluavansa tehdä töitä ilman työkoneohjausta. Korkolappujen ja paalutuksen puuttumista piti työskentelyä haittaavana 18 prosenttia. Vastaajista 73 prosenttia ilmoitti, ettei korkolappujen puuttuminen haittaa työskentelyä.

Enemmistön mielestä työkoneen tuottavuus oli noussut työkoneautomaation ansiosta, kun taas 9 prosenttia vastasi "ei" ja 27 prosenttia "en osaa sanoa" kysymykseen numero kymmenen. Häiriötilanteessa vastaajat olivat saaneet apua kohdullisen nopeasti, vain yksi vastaaja oli sitä mieltä että ei ollut saanut apua riittävän nopeasti. Kysyttäessä satelliittigeometrian vaikutuksesta työn suorittamiseen 18 prosenttia vastasi sen häiritsevän työkoneohjauksen toimintaa. Työmaalla olevan mittamiehen toimintaan olivat kaikki tyytyväisiä. Kaikkien mielestä mittamies oli paikalla riittävän nopeasti tarvittaessa. Työkoneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen tunsivat 73 prosenttia vastaajista ainakin jollain tasolla. Mittaustekniikan lisäkoulutusta piti itselleen tarpeellisena 73 prosenttia.

6 KYSELYTUTKIMUS TYÖNJOHDOLLE

6.1 Työnjohdon rooli

Työkoneautomaatio vaikuttaa oleellisesti työnjohdon työskentelyyn. Työmaalla ei ole enää paaluilla merkittyjä linjoja, eikä korkeuksia ole merkitty erivärisillä korkolapuilla. Rakennussuunnitelman hahmottaminen työmaalla vaikeutuu huomattavasti, kuitenkin juuri työnjohdon tulee olla perillä työvaiheiden etenemisestä ja osata suunnitella jo seuraavat työvaiheet etukäteen töiden jaksottamiseksi tehokkaasti. Tarkemittaukset on saatava mahdollisimman nopeasti työnjohdon käytettäviksi ja työnjohdon on myös seurattava niiden toleransseja sekä valvottava että ne tehdään. Työnjohdon on entistä enemmän perehdyttävä kolmiulotteiseen rakennussuunnitelmaan, kannettava pc on hyvä olla autossa mukana työmaalla. Lisäksi voi käydä työkoneen ohjaamossa katsomassa kuljettajan näytöltä kaivun edistymistä ja sen hetkistä tilannetta. Työnjohdon on myös ymmärrettävä koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen eri työvaiheissa, koska työmaalla on kuitenkin ilman työkoneohjausta ja sen kanssa toimivia työkoneita. Näiden sijoittaminen tarkoituksenmukaisesti eri työvaiheiden mukaan on haastava tehtävä.

6.2 Työnjohdon kysymykset

Kysymykset jaettiin valtatie 6 Lappeenranta, Ahopelto - Mansikkala tienrakennustyömaan ja valtatie 4 Joutsa - Toivakka tienrakennustyömaan työnjohdolle, vastaajien määrä oli 9. Molemmilla rakennustyömailla oli työkoneautomaatio käytössä ja pääurakoitsijana oli Destia Oy. Työnjohdon ja koneenkuljettajien kysymykset olivat erilaisia, molemmilla kuitenkin lomakekysely ja kysymysten määrät olivat samat.

1. Sujuiko työkoneautomaation käynnistys työmaalla hyvin?
2. Päivitetäänkö suunnitelmat työkoneisiin riittävän nopeasti?
3. Vaikeuttaako paalujen ja korkolappujen vähyys työkohteen hahmottamista?
4. Oletko ollut koulutuksessa, jossa on käsitelty koneautomaatiota?

5. Onko työmaalla koko ajan mittaaaja?
6. Onko koneohjausjärjestelmä toiminut mielestäsi hyvin?
7. Lisääkö työkoneautomaatio työkoneiden tehollista työaikaa?
8. Onko työkoneautomaation häiriötilanteessa saatu tukea nopeasti?
9. Tunnetko työkoneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen?
10. Helpottaako työkoneautomaatio työnjohdon toimintaa?
11. Onko häiriötilanteessa apua tullut riittävän nopeasti?
12. Aiheuttaako huono satelliittigeometria ongelmia työkoneille?
13. Onko työkoneautomaatiosta taloudellista hyötyä työmaalle?
14. Oletko valmis käyttämään koneautomaatiota myös seuraavalla työmaalla?
15. Onko lisäkoulutus tarpeen esimerkiksi mittaustekniikassa?

6.3 Työnjohdon vastausten käsittely

Työkoneautomaation käynnistäminen työmaalla sujui työnjohdon mielestä hyvin. Yhdessä oli kommentti: "Aloitusergelmat vähäisiä, mallien teko työllisti." Myös suunnitelmien päivitys työkoneisiin sujui riittävän nopeasti. Kolmannessa kysymyksessä 89 prosenttia vastanneista oli sitä mieltä että paalujen ja korkolappujen puuttuminen vaikeuttaa työkohteen hahmottamista. Työkoneautomaatiota käsittelevässä koulutuksessa työnjohdosta oli ollut 56 prosenttia. Työkoneautomaatio oli toiminut hyvin kaikkien mielestä, samoin työkoneiden tehollinen työaika oli kasvanut suurimman osan mielestä. Vain yksi vastaaja ilmoitti, ettei työkoneiden tehollinen

työaika ollut kasvanut. Työkoneiden häiriötilanteissa apua ei ollut riittävän nopeasti saatu 56 prosentin mielestä, tämä kysymys toistui kohdassa 11 hieman erilaisena vastausten ollessa siinäkin samat. Työkoneohjausjärjestelmän toimintaperiaatetta ei tuntenut 22 prosenttia työnjohdosta. Työnjohdon työtä helpottavaksi työkoneohjauksen koki 78 prosenttia, yksi vastaaja tosin vastasi "kyllä" ja "ei". Työnjohdosta valtaosan mielestä huono satelliittigeometria aiheutti ongelmia työkoneiden toiminnalle, kun taas 23 prosentin mielestä se ei aiheuttanut ongelmia. Työmaalle oli taloudellista hyötyä työkoneautomaation käytöstä 67 prosentin mielestä ja kaikki vastanneet halusivat käyttää työkoneohjausta myös seuraavalla työmaalla. Yhtä vastaajaa lukuun ottamatta kaikki halusivat mittaustekniikan lisäkoulutusta.

6.4 Mittausvastaavan näkökulma

Mittausvastaavat työskentelevät rakennustyömaalla vaikka työkoneautomaatio olisi siellä käytössä. Mittausvastaavan koulutus on useimmiten mittaustekniikan amk-insinööri. Tehtävänä on rakennustyömaan mittausten suunnittelu, koordinointi, toteutus ja valvonta. Mittausvastaavat tuntevat kaikki työmaan mittaustyöt ja niiden oikean ajoituksen. Mittausvastaava tietää työmaalla parhaiten, kuinka työkoneautomaatio siellä toimii. Kyselytutkimuksen toisella työmaalla työskennellyt mittausvastaava laittoi kirjallisesti omat havaintonsa työkoneautomaation käytöstä rakennustyömaalla. Ohessa kommentit muuttamattomina:

- Konekuskit eivät hahmota tarpeeksi hyvin tarkkeiden tärkeyttä!
- Ottavat tarkkeita mistä sattuu, mittapiste kauhan väärässä reunassa (tarke ei ole tasapaaluilta tai oikeasta kohdasta).
- Eivät nimeä yksiselitteisesti tiedostojaan.
- Tulee 10 tiedostoa samalla esimerkiksi "testikone.csv" - nimellä, joista ei voi tietää onko leikkauspohja vai joku kerros, kaikkea kun ei tehdä suunnitelman mukaisilla koroilla.
- Ei voi luottaa että automaatiolta tulee varmasti tarkkeet
- Kaikki tärkeät varmistettava takymetrillä (automaatiolaitteet rikki, eikä siitä välitetä).
- Urakoitsija liikuttelee koneita sekaisin ja mielivaltaisesti, GPS-kone tekee aamulla massanvaihtoa, mutta iltapäivällä sen paikalle on vaihdettu tavalli-

nen kone ja mittaukset jää suorittamatta kun vaihdoksista ei yleensä kerrota mittaajille.

- Tarketiedostot tulevat myöhässä ja kerrokset ennätetään ajaa päälle.
- On vaan luotettava että konekuski tietää kerrosvahvuudet ja varmistaa mitausten olevan toleranssien sisällä.
- Koneiden kuljettajat vaihtuvat tiuhaan ja tuntuu ettei niillä ole yhtenäistä käytäntöä.
- Muutamit kuljettajat osaavat ottaa tarkkeet säännöllisesti ja oikeista paikoista, mutta tuntuu että osaa kuljettajista ei asia edes kiinnosta.
- Työkoneiden kuljettajien koulutuksessa on parantamisen varaa.
- Työkoneautomaatio helpottaa mittaajien työtä kun ei tarvitse laittaa niin paljon paaluja ja korkolappuja.
- Pohjia tai kerroksia ei tarvitse korjaila ennen seuraavan kerroksen ajoa niin paljon kun ne tulevat kerralla oikein.
- Maaleikkausten ja penkereiden teko onnistuu hyvin.
- Muutokset päivittyvät nopeasti, kiitos Juhon (operaattori).
- Operaattorin kanssa yhteistyö toimii hyvin, kysyy vaan.

Mittausvastaavan tehtävät eivät ole kovin paljon tämän mukaan vähentyneet, koska mittausvastaavan on kuitenkin huolehdittava tarkemittausten toteutumisen valvonta. Koneenkuljettajien osaamisen taso on vaihtelevaa, myös aliura-koitsijoiden töiden suunnittelu on puutteellista. Työkoneautomaatiosta on oikein käytettynä huomattavaa hyötyä, myös automaatio-operaattorit ovat tehtäviensä tasalla.

7 TYÖKONEAUTOMAATION KÄYTTÖKOKEMUKSET JA YHTEENVETO

7.1 Työkoneautomaation käyttö infra-rakentamisessa

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella työkoneautomaation käyttökokemuksia maanrakennustyömaalla ja sen mahdollisia ongelmakohtia tai mahdollisia etuja työmaan kannalta. Lomakekyselyiden suorittaminen työkoneautomaatiota käyttävillä työmailla selvitti työkoneautomaation kehityksen tämän hetkisen tilanteen.

Työkoneautomaation käyttöä Suomessa vasta aloitellaan esimerkiksi Ruotsiin verrattuna. Automaatiovarusteltujen työkoneiden määrä on vielä vähäinen ja työkoneautomaatio onkin vielä suurten ja keskisuurten yritysten toimintaa. Työkoneautomaation avulla saavutetut tulokset ovat yrityksissä ymmärrettävistä syistä erittäin salaista tietoa. Mahdollinen kilpailuetu halutaan pitää omana tietona, toisaalta myöskään epäonnistumiset eivät saa päästä muiden tietoon. Työkoneautomaation avulla on kiistatta mahdollista saavuttaa kilpailuetua verrattuna niihin yrityksiin joilla se ei ole käytössä. Tämän voi todeta työkoneautomaation käytön yleistyemisestä Ruotsissa.

Mikäli yrityksellä itsellään on tarvittava konekalusto, tulee hankittavat uudet koneet olla varustettu työkoneautomaation käyttöön, jolloin konekanta ennen pitkää on varustettu tarvittavalla teknologialla. Aliurakoitsijoita käytettäessä pyritään jos mahdollista pitempään kumppanuuteen koneyrittäjän kanssa. Tällöin investoinnin jakaminen koneyrittäjän ja pääurakoitsijan kanssa olisi molemmille taloudellisesti järkevää. Tässä tapauksessa koneyrittäjä hankkisi koneeseen kiinteästi asennettavat laitteet, eli kaltevuusanturit, tietokoneen, näytön ja GPS-antennimaston. Investointi olisi noin 15 000 - 20 000 euron suuruusluokassa vuonna 2010. Työmailla joissa ei työkoneautomaatiota käytetä, näitä laitteita voi käyttää kaivussyvyysmittarina, jonka käyttö taas nopeuttaa työn valmistumista. Työkone on tämän laitteiston

asennuksen jälkeen valmis käyttämään työkoneautomaatiota myös urakointikomppanuuden jälkeen muillakin työmailla joissa työkoneautomaatiota käytetään.

Koneyrittäjien kanssa käytyjen keskusteluiden perusteella heillä oli halukkuutta hankkia omaan työkoneeseensa omalla kustannuksellaan valmiudet työkoneautomaation käyttöön. Laitteistojen toimittajia on kuitenkin jo useita ja koneyrittäjiltä puuttuu käytännön tietoa laitteiden toiminnasta. Kyseessä on yhden koneen omistajalle iso investointi joten hankittavan koneohjauslaitteiston ja myös huoltopalveluiden tulisi olla toimivia. Laitteiden yleistyminen on kuitenkin oman käsitykseni mukaan vain ajasta kiinni. Yleistymisen mukana koneohjausjärjestelmien tarjonta kasvaa ja hinnat laskevat kilpailun seurauksena.

7.2 Case Kuopion tarkastelu

Rakennustyömaan pääurakoitsijalla ei esimerkki kohteessa ollut käytössä yhtään omaa työkonetta. Urakat oli jaettu louhintaurakkaan johon kuului louhekentän tekeminen ja toinen urakka oli kadunrakennusurakka. Työkoneautomaation käyttöönotto oli kannattavaa pääurakoitsijalle sekä aliurakoitsijalle. Pääurakoitsija hyötyi töiden nopeutumisesta, myös mittaajaa ei juuri kentällä tarvittu. Lisäksi työn laatu parani. Aliurakoitsijalle hyöty automaatiosta oli myös suuri, koska louheen yläpinnan taso aiemmin ylitti usein sallitut toleranssit. Automaation käyttöönoton jälkeen korjauksia louhekentän tasoon ei enää tarvinnut tehdä. Työkoneautomaation käyttöönotto perustui ensinnäkin jo olemassa olevaan automaatioinfraan (tukiasema ja paikkatiedontarkastuspisteet). Toinen ratkaiseva seikka oli louhintaurakkaa tekevän aliurakoitsijan työkoneiden työkoneautomaatiovalmius. Nämä ovat ne kaksi perusasiaa jotka ovat ratkaisevia päätettäessä automaation käytöstä.

Mikäli tukiasemaa ei olisi ollut, sen perustaminen olisi kyllä onnistunut pääurakoitsijan oman konsernin kautta. Kuluja olisi kertynyt ensinnäkin automaatiooperaattorin toiminnasta, lisäksi olisivat olleet tukiasemakontista tulevat kuluerät. Tukiasemakontin siirto työmaalle maksaa ja siitä peritään kuukausivuokraa. Pienellä työmaalla nämä automaatio-infran perustamis- ja ylläpitokulut voivat kasvaa

suhteettoman suuriksi ja nostaa työkoneautomaation käyttöönoton kynnystä. Omassa projektissamme automaatio-infra kuului mittauspalveluista maksettavaan hintaan, joka koostui mittajaan työvuorohinnasta noin 500 euroa, joka mittajaan kulujen lisäksi sisälsi myös mittauslaitteet ja tukiaseman ylläpidon. Tukiaseman perustamisesta ja ylläpidosta ei koitunut kuluja, koska mittaja tarvitsi sitä mittaus- tensa suorittamiseen. Tukiasemakonttia ei ollut, antennit olivat talven yli sijoitettui- na työmaaparakin katolle ja muut laitteet työmaaparakin takaoven tuulikaappiin. Laitteita ei vahingoitettu eikä varastettu työmaan keston aikana. Työkoneiden au- tomaatio-infra oli aliurakoitsijan hallinnassa, joten pääurakoitsijalle ei tullut kuluja myöskään työkoneiden laitteista. Mikäli pääurakoitsija olisi vuokrannut laitteet ja työmaainfrastruktuurin ylläpidon, kustannukset olisivat olleet suunnilleen seuraav- van laskelman mukaiset vuoden aikana.

Tukiasemakontti + kuljetus + "reppu-gps"	€/vuosi
Puskukoneen (1kpl) paikannus- ja ohjausjärjestelmä	€/vuosi
Laitteiden vuokrat yhteensä 12kk:	€

Laskelmassa ei ole otettu huomioon mittajaan säästyneitä työvuorohintoja louhe- kentän osalta, joten säästö on vielä suurempi todellisuudessa. Saatu säästö suh- teessa koko rakennustyöstä saatuun katteeseen on noin 3 %. Kun ajatellaan että rakennusurakassa mittauksten osuus kaikista kuluista on noin 2-3 %, saimme työmaan mittauskulut maksettua tällä kokeilulla. Louhekentän rakentamisessa työ- koneautomaation edut olivat ilmeisiä. Työ nopeutui, parempi laatu saavutettiin kun louheen yläpinta rakennettiin oikeaan tasoon ja kiilauskerros voitiin tehdä suunni- telman mukaisesti. Kalliita korjauksia ei enää tarvinnut tehdä, myös massojen tur- ha siirtely loppui. Voidaan perustellusti päätellä työkoneautomaation käytön no- peuttavan työmaan valmistumista, tuottavan monella eri tavalla taloudellista hyötyä lisäksi laadun paraneminen vähentää myös takuukorjauksia

7.3 Johtopäätökset kyselytutkimuksista

Koneenkuljettajien ja työnjohdon kyselytutkimuksen perusteella paalujen ja korko- lappujen puuttuminen työmaalta lähes kokonaan vaikeuttaa työnjohdon toimintaa. Koneenkuljettajista se haittasi vain harvoja, joka on ymmärrettävää koska raken-

nussuunnitelma on heillä näytöllä koko ajan. Puutteena voidaan pitää työkalujen puuttumista työnjohdolta heidän liikkessaan työmaalla. Kannettava tietokone on ainut mukana kuljetettava työkalu jolla rakennussuunnitelman voi työmaalla kulkiessa hahmottaa. Pienempikokoinen vedenkestävä tietokone voisi olla yksi ratkaisu. Kuitenkin suurin osa työnjohdosta oli sitä mieltä että työkoneautomaatio helpottaa heidän työtään. Työkoneen tuottavuus oli noussut työnjohdon, sekä koneenkuljettajien mielestä. Samaan päätelmään olen myös tullut itse omien kokemusten kautta. Suunnitelmien päivitykset työkoneisiin ja häiriötilanteiden poistaminen toimii hyvin koneenkuljettajien mielestä, toisaalta työnjohto ei vastausten perusteella aina tiedä kaikista häiriötilanteista. Ilmeisesti häiriöt eivät ole aina niin vakavia, että kone olisi pysähtyneenä kovin pitkään.

Kyselytutkimuksessa laitettiin suuri painoarvo koneenkuljettajien ja työnjohdon valmiuksille työskennellä työkoneautomaation parissa. Työnjohdosta noin puolet oli ollut jonkinlaisessa työkoneautomaatiota käsittelevässä koulutuksessa. Koneenkuljettajista alle kolmasosa, vaikka puolet ilmoitti tekevänsä tarkemittauksia työkoneellaan. Etenkin koneenkuljettajien osalta pidän koulutuksen määrää aivan liian pienenä työn luonteeseen nähden. Tämä kävi ilmi myös molempien ryhmien kyselytutkimuksesta. Molemmista ryhmistä kaikki kahta vastaajaa lukuun ottamatta halusi lisäkoulutusta aiheesta. Koulutuksen tarvetta tukee myös mittausvastaavan kommentit työmaalta (6.4). Koneenkuljettajista osa tekee esimerkiksi tarkemittauksia, mutta eivät tiedä niiden merkitystä. Samasta syystä ne saattavat jäädä tekemättä ja asia paljastuu liian myöhään työmaan kannalta. Vastaavanlaisia mittaus- tekniikan perustietojen puutteen aiheuttamia tilanteita on havaittu muitakin. Edellä mainituista ongelmista aiheutuu taloudellisia menetyksiä ja vaikuttaa myös rakentamisen laatuun. Suurimmat ongelmat tuntuvat keskittyvän massanvaihtojen ja kerrosten rakentamisen yhteyteen. Maaleikkausten ja pengerten tekemisessä ei näitä ongelmia ole niin paljon. Mikäli tiehöylän kuljettajan toimenkuvaan kuuluu myös takymetrin paikoilleen asettaminen ja orientointi, on hänet siihen ehdottomasti koulutettava. Työjohto tarvitsee myös mittausmekaniikan perusteiden koulutusta. Ammattikorkeakouluissa ei työkoneautomaation käyttöä opeteta. Työnjohdon tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota töiden suunnitteluun. Kaikissa työko- neissa ei automaatiolaitteita ole, joten automaatiolla varustettujen työkoneiden työnsuunnitteluun kannattaa käyttää enemmän aikaa. Näitä koneita tulisi käyttää

niihin töihin joissa niiden edut ovat selvät verrattuna ilman automaatiota toimiviin koneisiin.

Työmailla on työkoneautomaatiolla varustettujen työkoneiden kuljettajien mittaus- tekniikan tiedoissa suuria eroja. Samassa koneessa voi olla työmaan aikana monta eri kuljettajaa, joista jokainen tekee työn omalla tavallaan. Työkoneautomaation parissa työskenteleville koneenkuljettajille ja työnjohdolle tulisi järjestää ainakin yhden päivän kestävä koulutus, josta saisi esimerkiksi kolme vuotta voimassa olevan työkoneautomaatioluvan. Kolme vuotta on maksimi siksi, että tekniikka tällä osa-alueella kehittyy nyt voimakkaasti ja on perusteltua päivittää tietonsa kolmen vuoden välein. Työkoneautomaatio tulee lähivuosina yleistymään voimakkaasti maanrakennustyömailla. Työkoneautomaatiokoulutuksen suorittamisen edellyttäminen työnjohdolta ja koneenkuljettajilta yhtenäistäisi työmaakäytäntöjä, olisi yritykselle merkki panostamisesta osaamiseen ja laatuun, sekä vaikuttaisi työmaan laadulliseen ja taloudelliseen lopputulokseen.



Kuva 16. Moreenin kuorintaa kallion päältä, Matkus2 Kuopio

LÄHTEET

- 1.
2. Saatavissa: <http://www.ec.europa.eu>
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
7. Saatavissa: <http://www.senaattikiinteistöt.fi>
- 8.
9. Saatavissa: <http://www.senaattikiinteistöt.fi>
10. VTT, *Infra-alan tuotetietomalliselvitys (Infra PDM)*. 11.10.2006
- 11.
12. VTT, *Infra-alan tuotetietomalliselvitys (Infra PDM)*. 11.10.2006
- 13.