



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

3D-KONEOHJAUS KADUN- RAKENTAMISESSA

TEKIJÄ: Risto-Matti Liimatainen

| | | | |
|---|-----------|--------------------|------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | | | |
| Koulutusohjelma Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma | | | |
| Työn tekijä(t) Risto-Matti Liimatainen | | | |
| Työn nimi 3D-koneohjaus kadunrakentamisessa | | | |
| Päiväys | 15.5.2015 | Sivumäärä/Liitteet | 23/2 |
| Ohjaaja(t) Juha Pakarinen tuntiopettaja Savonia AMK, Raimo Lehtiniemi lehtori Savonia AMK | | | |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Jari Jääskeläinen työpäällikkö NCC Rakennus Oy | | | |
| <p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kaivinkoneeseen asennetun 3D-koneohjausjärjestelmän toimivuutta kadunrakentamisessa. Tarkoituksena oli luoda materiaali, jota toimihenkilöt voivat käyttää apunaan aloittaessaan ensimmäistä hankettaan, jossa käytetään koneohjausjärjestelmää. Työssä kerrotaan järjestelmän ongelmista ja hyödyistä katuhankkeessa. Työn tilaajana toimi NCC Rakennus Oy.</p> <p>Työssä seurattiin Jyväskylän Palokkaan rakennetun Heinälampi III -katu-urakan etenemistä. Hankkeessa oli käytössä kaksi 3D-koneohjauksella varustettua kaivinkonetta, joiden toimivuutta ja tehokkuutta arvioitiin omakohtaisesti sekä haastatteleamalla muuta työmaan henkilöstöä koko työmaan ajan. Lisäksi suoritettiin vertailua perinteistä työtekniikkaa varten tehdyn kustannusarvion ja 3D-koneohjauksella tehdyn toteutuneiden kustannusten välillä.</p> <p>Seurannan ja vertailun perusteella 3D-koneohjausta hyödyntämällä saatiin selviä säästöjä materiaaleissa ja työtunneissa. Lisäksi työn tarkkuus ja työturvallisuus paranivat koneohjauksen käytön myötä. Työssä selvisi myös hyvän koneohjausmallin tärkeys. 3D-koneohjauksen tekniikassa on vielä parannettavaa, jotta voidaan taata keskeytymättömän työ ilman laitteiston teknisiä ongelmia.</p> <p>Työn perusteella tulee selväksi, että tulevaisuudessa koneohjausjärjestelmät tulevat yleistymään infra-hankkeissa mallintamisen yleistymisen ja tilaajien vaatimusten vuoksi.</p> | | | |
| Avainsanat 3D-koneohjaus, kadunrakentaminen, maanrakennus, koneohjausmalli | | | |
| | | | |

| | | | |
|--|-------------|------------------|------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | | | |
| Degree Programme Degree Programme in Construction Management | | | |
| Author(s) Risto-Matti Liimatainen | | | |
| Title of Thesis Street Building with 3D Machine Control System | | | |
| Date | 15 May 2015 | Pages/Appendices | 23/2 |
| Supervisor(s) Mr Juha Pakarinen, Lecturer Savonia UAS, Mr Raimo Lehtiniemi, Principal Lecturer Savonia UAS | | | |
| Client Organisation /Partners Mr Jari Jääskeläinen, Certified Contract Manager, NCC Rakennus Oy | | | |
| <p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study how a functional 3D-machine control system works in street building. The purpose was to create a guidebook for foremen, when they are starting their first project using the machine control system. This thesis describes problems and benefits of the machine control system in street building. The thesis was commissioned by NCC Rakennus Oy.</p> <p>The thesis was done by monitoring how the Heinälampi III project in Jyväskylä's Palokka had proceeded. The project had two excavators with 3D machine control system in its use. The functionality and efficiency was followed throughout the project. A comparison was made between the cost estimates done for the traditional work technique and the actual realized costs with the machine control system.</p> <p>Based on monitoring the project, there were clear signs of savings in material costs and in the work hours, thanks to the machine control system. Work quality and work safety was increased. The thesis also showed the importance of a good machine control model. There are still some improvements to be made in the technology of the 3D machine control system to ensure uninterrupted work without any technical difficulties.</p> <p>Based on this thesis it is clear that in the future machine control systems will become more common in infrastructure projects due to the increasing use of the 3D modeling and requirements set by the orderer.</p> | | | |
| Keywords 3D machine control system, street building, excavation, machine control model | | | |
| | | | |

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 5 |
| 1.1 | Tausta ja tavoitteet | 5 |
| 1.2 | NCC:n esittely | 6 |
| 2 | 3D-KONEOHJAUS KAIVINKONEESSA | 7 |
| 2.1 | Koneohjauksen toimintaperiaate | 7 |
| 2.2 | GNSS-järjestelmä | 7 |
| 2.3 | Satelliittipaikannus | 8 |
| 2.4 | RTK-mittaus | 8 |
| 2.5 | Verkko-RTK-mittaus | 9 |
| 3 | KONEOHJAUSMALLI | 11 |
| 3.1 | Mallin sisältö | 11 |
| 3.2 | Taiteviivat ja kolmioverkot | 12 |
| 4 | KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖKOHDDE | 13 |
| 4.1 | Heinälampi III- hankkeen osapuolet | 13 |
| 4.2 | Kaivinkoneiden 3D-järjestelmä | 14 |
| 4.2.1 | Työmaan 3D-malli | 16 |
| 4.3 | Työmaan kalusto ja toteutus | 16 |
| 5 | YHTEENVETO | 21 |
| | LÄHTEET | 23 |
| | LIITE 1. YLEISAIKATAULU | 24 |
| | LIITE 2. KONEOHJAUSMALLIN TILAUSOHJE VÄYLÄHANKKEESEEN | 25 |

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyöni idea lähti keskusteluista silloisen NCC:n työpäällikön Markku Nissisen kanssa vuonna 2013, kun Heinälampi III -katuhanketta ryhdyttiin toteuttamaan. Työmaalle tulevissa kaivinkoneissa oli asennettuna 3D-koneohjausjärjestelmät, joita päätettiin käyttää kadunrakentamisessa hyödyksi. Päädyttiin lopputulokseen, että olisi hyvä tehdä kirjallinen raportti koneohjauksen soveltumisesta kadunrakennustyöhön ja että se olisi hyödyllinen aihe opinnäytetyöksi. NCC Rakennus Oy ryhtyi työn tilaajaksi.

3D-koneohjaus tulee olemaan olennainen osa maanrakennusalaa tulevaisuudessa. Järjestelmä on vielä monelle vieras. Uskon, että tulevien työnjohtajien uran ja ammattitaidon vuoksi on hyvin tärkeää tutustua tarkemmin 3D-koneohjauksen tekniikkaan ja toimintaan. Tälläkin hetkellä yhä useammassa hankkeessa vaaditaan, että työssä tullaan käyttämään koneohjausta. On hyvin tärkeää, että työnjohto ymmärtää, mitä mahdollisuuksia koneohjaus tarjoaa ja mitkä ovat sen rajoitteet, jotta järjestelmän koko potentiaali pystytään hyödyntämään kadunrakennushankkeissa. Opinnäytetyössä esitellään, mitä 3D-koneohjaus kaivinkoneissa on, minkälaisesta tekniikasta se muodostuu ja miten se toimii. Työssä esitellään yleisesti satelliittipaikannusta ja sen toiminta-periaatteita: minkälaista satelliittipaikannustekniikkaa 3D-koneohjaus käyttää ja mitä se vaatii satelliiteilta toimiakseen. Aivan yhtä tärkeää kuin toimiva tekniikka on myös oikein ja tarkasti tehty koneohjausmalli. Työssä kerrotaan minkälainen on hyvä malli ja mistä rakennepinnoista ja osista mallin tulisi muodostua.

Työssä ei valitettavasti pystytty tekemään suoraa vertailua mihinkään toiseen vastaavaan työmaahan. Muutenkin kahdessa samankaltaisessa työmaassa on lukuisia muuttujia, jotka voisivat vaikuttaa lopputulokseen. Vertailtavissa työmaissa pitäisi olla samanlaiset koneohjausjärjestelmät, kalustot, työntekijät ja maalajit. Tilaajalla ei ollut näin pitkälle menevään vertailuun resursseja. Opinnäytetyössä päädyttiin sen sijaan raportoimaan työn etenemisestä ja mahdollisista vastoinkäymisistä sekä ajatuksista, joita 3D-koneohjaus työmaalla herätti. Opinnäytetyössä pystyttiin kuitenkin tekemään vertailua hankkeen arvioitujen materiaali- ja resurssikulujen ja toteutuneiden kulujen välillä. Työn lopuksi kerron tehdyistä huomioista ja esittelen vertailun tulokset. Kerron oman mielipiteeni lisäksi myös nykyisen NCC:n työpäällikön Jari Jääskeläisen arvion 3D-koneohjauksen käytöstä tulevaisuudessa. Yhteenvedossa haastatellaan myös vuosia koneohjauksen kanssa työskennelleen kaivinkoneenkuljettajan havaintoja siitä, kuinka 3D-koneohjaus on muuttanut maanrakennustyömaata.

1.2 NCC:n esittely

”NCC on pohjoismaiden johtavia kiinteistö- ja rakennusalan yrityksiä. Kotimarkkina-alueita ovat Pohjoismaat, mutta toimintaa on myös Saksassa, Baltiassa ja Pietarissa.” ”NCC luo kestävän kehityksen mukaisia työ-, asuin- ja toimintaympäristöjä. Liiketoiminta-alueita ovat talonrakentamisen ja infrarakentaminen, asunto- ja kiinteistökehitys sekä kiviaines, asfaltti ja tienhoito.” NCC:n liikevaihto oli vuonna 2014 6,3 miljardia euroa ja henkilöstöä oli 18 000. Suomen toimintojen osuus liikevaihdosta on 16 %. (NCC Suomi a.) NCC Suomi on Suomen kolmanneksi suurin rakennusalan konserni liikevaihdolla mitattuna (50 suurinta rakennusliikettä).

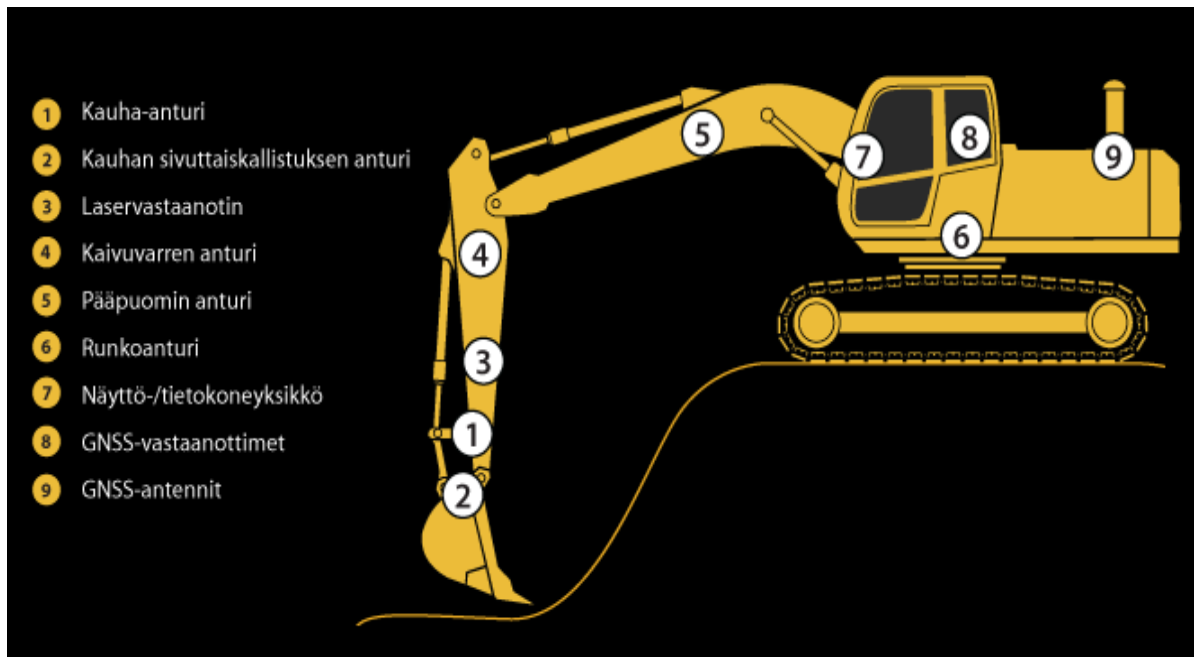
NCC:n (Nordic Construction Company) historia Suomessa ulottuu vuoteen 1947, kun Armas Puolimatka perusti rakennusyrityksensä. Vuonna 1985 Hankkija osti Puolimatkan, kunnes vuonna 1992 Noveraksi muuttuneena teki konkurssin ja omistus siirtyi Kansallis-Osake-Pankille. 1993 Puolimatka ja Rakennus-Ruola fuusioitiin. 1.1.1996 Ruotsin toiseksi suurin rakennusyritys NCC AB osti Puolimatkan rakennustoiminnan ja rakennussuunnittelun. Nimeksi tuli NCC Puolimatka Oy. Vuonna 1999 nimi muutettiin NCC Finland Oy:ksi. Vuonna 2003 NCC Finland Oy jakautui kolmeen eri yritykseen. Toimintaa jatkoivat NCC Rakennus Oy, NCC Property Development Oy ja NCC Roads Oy. (NCC Suomi b.)

2 3D-KONEOHJAUS KAIVINKONEESSA

2.1 Koneohjauksen toimintaperiaate

3D-koneohjaus kaivinkoneessa toimii käytännössä niin, että suunnittelija tekee digitaalisen 3D-mallin, joka syötetään kaivinkoneen tietokoneeseen esimerkiksi usb-muistitikun avulla. Kaivinkoneen 3D-koneohjausjärjestelmä vastaanottaa satelliiteilta ja tukiasemalta paikkatietoa, jolloin kaivinkoneen tietokone pystyy määrittämään koneen ja kauhan sijainnin. Tietokone vertaamäänsä sijaintia 3D-malliin ja kertoo kuljettajalle kauhan kärjen ja 3D-mallin valitun tason eron näytöllä animaationa sekä numeerisesti.

Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä koostuu antureista, näytöstä/tietokoneesta, GNSS-vastaanottimesta sekä kahdesta GNSS-antennista. Vesieristetyt, lujat anturit asennetaan kaivinkoneen kauhaan, kaivupuomiin, pääpuomiin ja runkoon. Tietokone ja satelliittivastaanotin sijoitetaan hyttiin. Näyttö kiinnitetään kuljettajan eteen mittariston läheisyyteen, josta kuljettajan on helppo seurata järjestelmän ohjeita. (Novatron Oy 2015.) (Kuva 1).

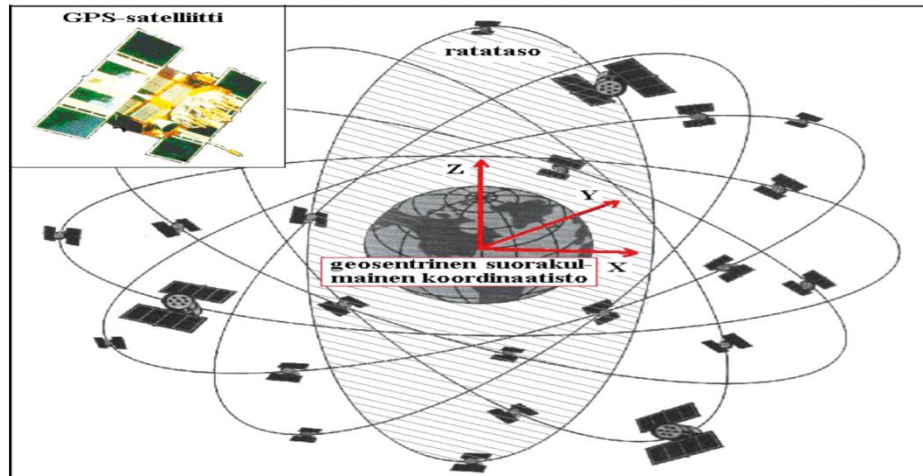


Kuva 1. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän periaatekuva (Novatron Oy 2015)

2.2 GNSS-järjestelmä

GNSS-järjestelmä (Global Navigation Satellite System) koostuu amerikkalaisesta GPS-järjestelmästä (Global Positioning System) ja venäläisestä GLONASS-järjestelmästä (Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema). Myös Euroopan unionin Galileo-järjestelmä on rakenteilla. Myös Japani, Kiina ja Intia ovat suunnitelleet ja rakentaneet omia paikannusjärjestelmiään. GPS- ja GLONASS-

järjestelmien yhteiskäyttö on jo toiminnassa. GPS-järjestelmä koostuu 31 toimivasta satelliitista, jotka kiertävät maapalloa noin 20 200 km korkeudella. GLONASS-järjestelmän satelliitteja on 24. (Kuva 2). GLONASS-järjestelmässä on ollut suuria teknisiä ja taloudellisia ongelmia mm. GLONASS-satelliittien lyhyen, noin kolmen vuoden, käyttöään takia. GPS-satelliittien käyttöikä on noin 10 vuotta. GLONASS-järjestelmää kehitetään edelleen, ja se täydentää GPS-järjestelmää, kun satelliittien näkyvyydessä on ongelmia. (Laurila 2012, 281–290.)



Kuva 2. GPS-satelliittien kiertoradat maapallon ympärillä (Laurila 2012, 283)

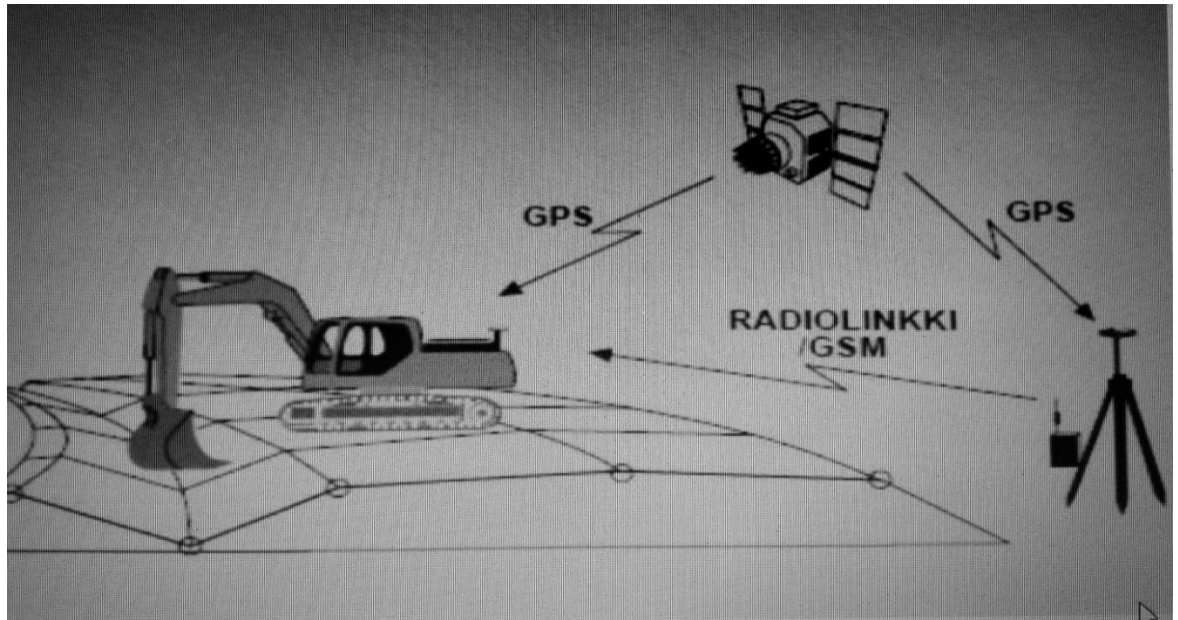
2.3 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus perustuu satelliittien lähettämiin signaaleihin. Mittausvirheiden välttämiseen tarvitaan vähintään neljä satelliittia, joiden etäisyydet mitataan. Havaintajan paikka pystytään laskemaan, kun tiedetään satelliittien sijainti havaintohetkellä. Satelliittipaikannus perustuu etäisyyserojen ja etäisyyksien mittaukseen. Satelliittipaikannuksessa käytetään kolmea mittaustapaa, joita ovat absoluuttinen mittaus eli navigointi, differentiaalinen paikannus ja suhteellinen mittaus. Absoluuttinen paikannus on peruspaikannusta, jonka paikannustarkkuus on alle 10 metriä. Differentiaalisessa paikannuksessa käytetään tunnetulla pisteellä olevaa tukiasemaa, joka korjaa mittauksen systemaattiset virheet. Näin päästään jopa alle puolen metrin paikannustarkkuuteen. Suhteellinen mittaus on tarkin kolmesta: Mittaustavassa käytetään kahta havainnointilaitetta, joista toinen on yleensä tunnetulla pisteellä. Etäisyys toiseen laitteeseen mitataan kantoaallon avulla. Paikannustarkkuus voi olla jopa muutamia millimetrejä. Koneohjauksessa käytetään suhteellista mittausta. (Laurila 2012, 293–294.)

2.4 RTK-mittaus

Koneohjauksessa käytetään reaaliaikaista kinemaattista mittausta (RTK-mittaus), joka on suhteellista mittausta. Ero perinteiseen mittaukseen on se, että RTK-mittauksessa tunnetulla pisteellä oleva vertailuvastaanotin on paikoillaan kaivinkoneessa olevan paikantavan vastaanottimen liikkuesssa. Vertailuvastaanotin (tukiasema) lähettää radio- tai gsm-modeemin avulla kaivinkoneen vastaanottimelle

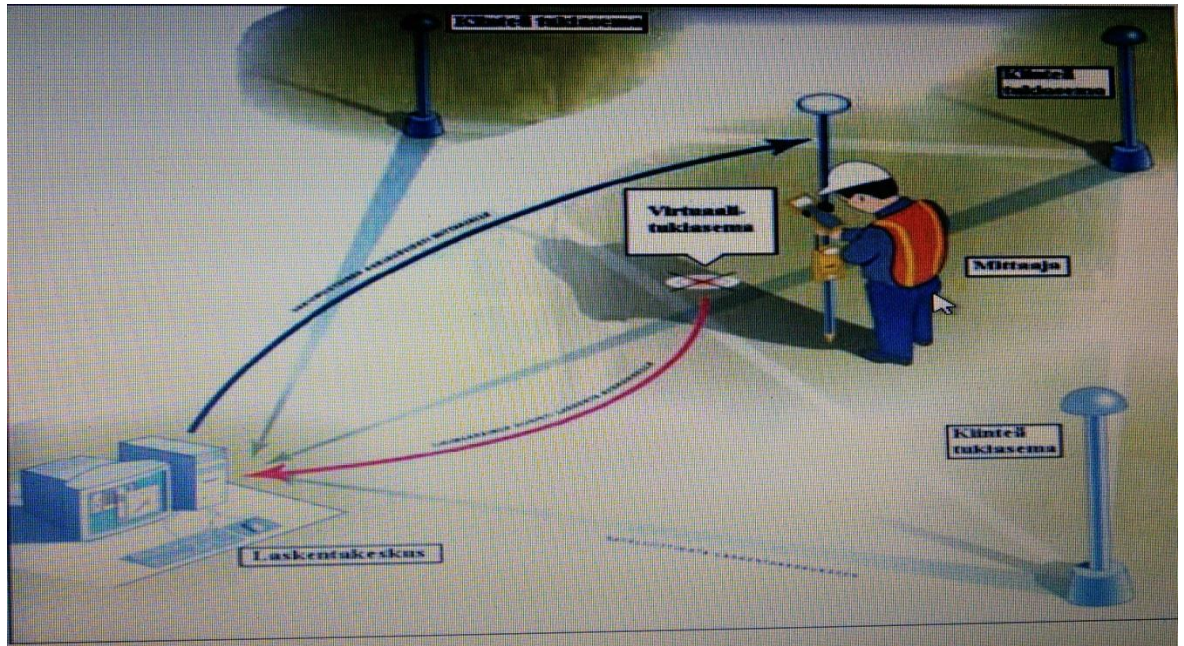
vaihehavaintonsa. Kaivinkoneen vastaanotin ottaa huomioon yhteiset havainnot ja laskee paikkansa tukiaseman suhteen. (Laurila 2012, 315.) Vastaanottimien pitää olla enintään 20 km etäisyydellä toisistaan, riippuen lähettimen tehosta. Vastaanottimilla pitää olla 6–7 yhteistä satelliittia, jotta saadaan luotettava mittausta (Laurila 2012, 319). (Kuva 3).



Kuva 3. RTK-mittauksen periaate (Novatron Oy 2015)

2.5 Verkko-RTK-mittaus

Koneohjauksessa voidaan myös käyttää verkko-RTK-mittausta. Yksi tällainen palvelu on Geotrim Oy:n VRS-mittaus (Virtual Reference Station System). (Kuva 4). Tällöin käytetään tukiaseman sijasta tukiasemaverkkoa. (Laurila 2012, 315.) Järjestelmä laskee virtuaalisen tukiaseman lähelle mittauspaikkaa. VRS-mittauksessa ei tarvitse hankkia omaa tukiasemaa, vaan laskentakeskus lähettää korjausdataa mobiiliverkon kautta kaivinkoneen vastaanottimeen. (Laurila 2012, 321) VRS-mittaus tulee luultavasti yleistymään tulevaisuudessa koneohjauksen käytössä. Palvelu on hyvin käytetty muissa GPS-mittaus laitteissa. Tällä hetkellä Suomessa on tarjolla Geotrim Oy:n ylläpitämä Trimblen VRS-verkko sekä Leica Geosystems'in SmartNet-verkko. Kummallakin yrityksellä on noin sata kiinteää tukiasemaa ja kattavat palveluillaan koko Suomen.



Kuva 4. Verkko RTK-mittauksen periaate (VRS-mittaus) (Geotrim Oy esite 2015)

3 KONEOHJAUSMALLI

Tulevaisuudessa on tavoitteena saada yhtenäisillä menettelytavoilla rakennussuunnitteluvaiheessa tehdyistä toteutusmalleista yhdenmukaisia 3D-toteutusmalleja, joita voidaan käyttää suoraan koneohjausjärjestelmissä. Toteutusmalli on sama asia kuin koneohjausmalli. Kaivinkoneen kuljettaja näkee koneessa olevalta näytöltä koneohjausmallin ja oman reaaliaikaisen sijaintinsa, jolloin ei tarvita maastoon merkintää mittaaajalta. Toteutusmalli on suunnitelmamallista tehtävä rakennettavan kohteen malli. Toteutusmallit muodostuvat rakennepintojen 3D-taiteviivoista ja niiden kolmioverkkomalleista. Työmaa voi käyttää tarpeen mukaan pelkästään taiteviivamaista 3D-aineistoa, pelkkiä verkkomalleja tai molempia. (Snellman 2014, 3.) Toteutusmalleissa käytetään infraBIM-nimikkeistöä, joka yhtenäistää mallintamista Suomessa. InfraBim on luotu RYM Oy:n toimesta, jossa on osakkaina isoja rakennusliikkeitä, kaupunkeja ja oppilaitoksia. Koneohjausmalli syötetään koneohjausjärjestelmään LandXML-tiedostona.

3.1 Mallin sisältö

Väylärakenteen toteutusmalli sisältää useita eri rakennepintoja. Jokainen rakennepinta on oma toteutusmalli. Mallin pitää sisältää kaikki kaikki kohteen rakenneosat, joissa hyödynnetään koneohjausta. (Snellman 2014, 4.)

Destia Oy:n ohjeistuksen mukaan ”Väylärakenteen toteutusmalli koostuu pääsääntöisesti seuraavista INFRA 2006 Rakennusosa- ja hankenimikkeistön mukaisista rakennusosista:

*1400 Pohjarakenteet
1600 Maaleikkakset ja -kaivannot
1800 Penkereet, maapadot ja täytöt
2100 Päällysrakenteen osat
2400 Ratojen päällysrakenteet.” (Snellman 2014, 4.)*

Samassa ohjeistuksessa sanotaan ”Rakennusosista 1400, 1600, 1800, 2100 ja 2400 yleisimmin mallinnettavia pintoja ovat (INFRA BIM-nimikkeistön mukaisesti):

*Ylin yhdistelmäpinta
Kulutuserroksen asfalttibetoni AB, yläpinta
Sitomaton kantava kerros, yläpinta
Jakava kerros, yläpinta
Suodatinkerros, yläpinta
Alin yhdistelmäpinta
Massanvaihtoon kuuluva kaivanto
Putki- ja johtokaivanto
Maapenger, yläpinta
Roudaneristys, alapinta
Eristyskerros, yläpinta
Välikerros, yläpinta
Tukikerros, yläpinta
Tukikerroksen alaosa, yläpinta. [sic]
Avo-ojat ja uomat” (Snellman 2014, 4.)*

Maakaivantojen suunnittelussa otetaan aina huomioon voimassa olevat suunnitteluohjeet, eikä sen toteutumismalli korvaa kaivantosuunnitelmaa, eikä siinä määriteltyjä vastuita (Snellman 2014, 5).

3.2 Taiteviivat ja kolmioverkot

Taiteviivat nimetään infraBIM-nimikkeistön mukaan, jotta kaikissa mallintamisvaiheissa nimikkeistö olisi sama. Taiteviivojen tulee olla yhtenäisiä ja yhdistyä myös liittymäalueilla saumattomasti, esimerkiksi sivutien taiteviivoihin. Muuten toteutusmalli ei kolmioidu, eikä sovi sellaisenaan koneohjaukseen. Toteutusmallin taiteviivan tarkkuustaso tulee olla noin 3 millimetriä, kun sitä verrataan geometrialinjaan. Taiteviiva ei saa olla yli 10 metriä pitkä. Taiteviiva ei saa olla myöskään alle 0,5 metriä pitkä, paitsi jos joku erityinen rakenne sitä vaatii. Taiteviivan olisi hyvä loppua tasapaaluluvulle. (Snellman 2014, 7-13.)

Koneohjauslaitteissa käytetään taiteviivamallin lisäksi kolmioverkkomalleja, joita voidaan luoda eri sovelluksilla kolmioimalla taiteviiva-aineistoa. Kolmioiden tulee olla säännöllisiä ja kiinnittyä taiteviivoihin tasaisin välein, jolloin rakennepinnan hahmottaminen on vaivatonta. (Snellman 2014, 14.)

4 KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖKOHDE

3D-koneohjausjärjestelmää käytettiin Jyväskylän Palokkaan rakentuvalle Heinälampi III-hankkeen työmaalla. (Kuva 5). Urakka käsitti katujen, valaistuksen ja vesihuoltolinjojen rakentamisen. Lisäksi työhön kuului alueeseen liittyvät kaukolämmön ja kaapelointitöiden maanrakennustyöt. Hanke toteutettiin kevään ja kesän 2013 aikana.



Kuva 5. Heinälampi III Aluesuunnitelma (NCC Rakennus Oy 2015)

4.1 Heinälampi III- hankkeen osapuolet

Kohteen tilaajana toimi Jyväskylän kaupunki. Tilaajan yhdyshenkilönä toimi Simo Suoja. Valvojana toimi Kalle Kolehmainen Pöyry CM Oy:stä. Pääurakoitsijana hankkeessa oli työnantajani ja opinnäytetyön tilaaja NCC Rakennus Oy:n Infra rakentamisen yksikkö. Työpäällikkönä toimi Markku Nissinen ja työmaapäällikkönä Tatu Patama. NCC käytti urakassa pääsääntöisesti Maansiirto Viiala Oy:n kairinkoneita, joissa oli Scanlaser Oy:n toimittamat 3D-koneohjausjärjestelmät. Tästä johtuen hankkeessa päädyttiin kokeilemaan kuinka koneohjaus toimii katutyömaalla. Kak-kuljetuspalvelu Oy toimitti työmaalla tarvittavat maa-ainekset.

4.2 Kaivinkoneiden 3D-järjestelmä

Maansiirto Viiala Oy:n kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmä oli hankittu Scanlaser Oy:stä. Scanlaser toimitti työmaalle myös järjestelmän vaatiman tukiaseman, joka sijoitettiin työmaakopin katolle. Kaivinkoneissa oli Mikrofyn Mikrodigger XC2 Plus 2D-järjestelmät sekä SBG UMC 3D-järjestelmät, jotka toimivat yhteistyössä keskenään. (Kuvat 6 ja 7). Koneet oli varustettu vain yksillä GNSS-antenneilla, jonka vuoksi koneohjausjärjestelmä kadotti harmillisen usein oman suuntansa. (Kuva 8). Tämän seurauksena kaivinkonetta piti käänellä, jotta koneohjausjärjestelmä pystyi määrittämään kaivinkoneen suunnan. Kahdella GNSS-antennilla varustetuissa kaivinkoneissa ei esiinny tätä ongelmaa. Työmaalla toimineisiin koneisiin on sittemmin hankittu toisetkin GNSS-antennit.



Kuva 6. Koneohjausjärjestelmän opastavat näytöt (Liimatainen 2013-7-16)



Kuva 7. Kuljettajaa opastava 3D-koneohjauksen näytön näkymä (Liimatainen 2013-7-16)



Kuva 8. Koneen päällä oleva GNSS-antenni (Liimatainen 2013-7-16)

4.2.1 Työmaan 3D-malli

Työmaata varten NCC tilasi mittausinsinööri-toimistolta koneohjausmallin, jossa oli mallinnettu työmaan katujen ja putkikaivannon leikkauspohjat. Nopeasti huomattiin, että pelkkien leikkauspohjien malli eivät riitä. Työn nopeuttamiseksi ja mittaustarpeen vähentämiseksi NCC:n oma suunnittelija teki koneohjausmalliin lisäksi suodatinkerroksen, jakavan kerroksen ja kantavan kerroksen yläpinnat. Ulkopuolisen tekemään malliin ei oltu ihan tyytyväisiä, koska esimerkiksi pyöreitä kulmia ei ollut mallinnettu tarpeeksi tarkasti, vaan ne oli jätetty kulmikkaiksi. Ulkopuolinen suunnittelija oli käyttänyt mallin tekoon noin 16 tuntia, ja NCC:n oma suunnittelija käytti noin 16 tuntia mallintamiseen.

4.3 Työmaan kalusto ja toteutus

Työmaalla kaluston määrä vaihteli hieman työvaiheesta riippuen, mutta pääsääntöisesti resurssit olivat seuraavanlaiset:

- kaivinkone KKH 25 t, 3D-koneohjaus
- kaivinkone KKH 20 t, 3D-koneohjaus
- kaivinkone KKH 25 t
- kaivinkone KKHp 15 t
- täryjyvä JTM
- kuorma-auto KA tarpeen mukaan, enimmillään ajossa 8 neliakselista kuorma-autoa
- rakennusammattimies RAM tarpeen mukaan, normaalisti neljä.

Lähes päivittäin oli lisäksi aliurakoitsijoiden kaukolämpöhitsareita, puhelin- ja sähkökaapeli-asentajia sekä kaapeleiden kartoittajia.

Heinälampi III oli NCC:n Jyväskylän infrayksikön ensimmäinen oma hanke. Oma toimenkuvani oli toimia putkiasentajana ja työporukan vetäjänä. Työmaan valmistelu alkoi 2.4.2013. Ensimmäinen viikko meni pienhankintojen tekoon, työmaahan tutustumiseen ja töiden suunnitteluun. Työmaa oli mielenkiintoinen hanke jo siltä osin, että työmaalla käytettävissä koneissa oli 3D-koneohjausjärjestelmät. Uusia katuja oli rakennettavana noin 600 metriä. Kaivutyöt aloitettiin kunnallistekniikan rakentamisella vesijohtolinjan toisen pään liitoskohdasta.

Vesijohtoa pystyttiin rakentamaan vain muutamia kymmeniä metrejä päivässä, koska Heinälammenn tien varsi oli vahvasti roudassa ja koska vastaan tuli kallion pinta, jota ei voitu räjäyttää rivitalon läheisyyden vuoksi. Kun vesijohto oli saatu rakennettua Timoteiraitin kulmaan asti, oli rakennettava kiertotie kulmassa olevalle rivitalolle. Eteneminen rivitalon ohi oli verukkaista, koska rivitalon pihaan oli pidettävä kulku koko ajan auki. Kohta oli myös hyvin ahdas. Koneohjausjärjestelmät toimivat hyvin heti alusta asti, mikä varmennettiin mittajaan takymetrillä ottamalla tarkemittauksilla. Mittaaja tarkemittasi kaikki rakennekerrokset, vaikka tarkkeet voisi ottaa myös 3D-koneohjatuilla kaivinkoneilla. Ilmeisesti tilaajat eivät vielä luottaneet koneohjausjärjestelmään. Muuten mittajaan palveluita käytettiin lähinnä kaivojen paikkojen ja korkojen mittaamiseen, koska koneohjausjärjestelmän tark-

kuus ei riitä putkitusten tekoon: putkilinjojen virhetoleranssi on pienempi kuin koneohjausjärjestelmän tarkkuus.

Kun rivitalo oli ohitettu, pääsi työporukka kaivamattomalle maalle rakentamaan kunnallistekniikkaa, johon kuului risteyksestä aloitetut viemäri- ja sadevesilinjat sekä vesijohtolinja. Piti tehdä myös asennusalustat kaukolämpölinjalle ja kaapeloinneille. 3D-koneohjaus kaivinkoneissa auttoi kadun aukikaivua, koska tien sivussa ei tarvittu korkokeppejä, vaan kaivinkoneenkuljettaja saattoi työskennellä omatoimisesti putkikanaalin aukaisun kanssa. Samalla hän kaivoi ja lastasi koneohjauksen opastamana leikkauspohjan korkoon. Ilman 3D-koneohjausjärjestelmää aukikaivavalle koneelle pitää käydä katsomassa korkoa lasermittalaitteella, jotta kaivutaso ei lähde ryöstämään. Koron tarkistaminen vie melkein kokonaan yhden työntekijän ajan. Nyt sekin työpanos pystyttiin sitomaan putkitustöihin. Kaksi putkiasentajaa rakensi putkitukset aukaisevan koneen perässä sekä tekivät kaapelien ja kaukolämmön pohjat. Toinen kaivinkone oli putkiasentajien apuna ja peittämässä vesihuoltolinjaa. Samaan aikaan kun muu työporukka oli rakentamassa kunnallistekniikkaa, pystyi auki kaivava kone omatoimisesti leikkaamaan ja lastaamaan pintamaita edeltä. Jyväskylän energian kaukolämpöhitsaajat tekivät kaukolämpölinjaa katuja rakentavan työporukan perässä. Samoin Elisan ja Soneran edustajat asensivat kaapelit sitä mukaa, kun katu eteni. Kaikki maan alle tullut tekniikka kartoitettiin.

Kun kaikki tekniikka oli kadun alla, pystyttiin ottamaan kadun rakennekerrokset vastaan ja tiivistämään kerroksittain. Myös ”peräkoneessa” oli koneohjausjärjestelmä. Näin ollen työporukka sai rakennettua kadun kerrokset heti oikeaan tasoon ilman kepityksiä. Kadun leikkausvaiheessa on muutenkin suurena vaarana, että mittakepit kaatuilevat tai liikkuvat, koska siirrellään suuria massoja ja koska kuorma-autot liikkuvat paljon keppien läheisyydessä maakuormat päällään. Aina ei ole myöskään mahdollista saada mittajaa nopeasti työmaalle, mistä voi seurata turhaa odottelua.

Timoteiraitin päässä olevassa kääntöpaikassa tuli pieni ongelma, kun kääntöpaikan leikkauspohjaa ei ollut mallinnettu tarkasti, mitä aukaisukoneen kuljettaja ei ollut huomannut. (Kuva 9). Mutta peräkoneen kuljettajan käyttäessä suodatinkerroksen pintatasoa koneohjausjärjestelmässä hän huomasi, että leikkauspohja oli jäänyt liian kapeaksi. Kaivinkone joutuisi leventämään ympyrää huomattavasti, mikä hidastaisi etenemistä. Kaivinkoneella ei kuitenkaan pystytty ajamaan ympyrään jo asennetun kunnallistekniikan päältä, koska putkituksia ei ollut peitetty tarpeeksi. Kääntöpaikkaa ei pystytty myöskään kiertämään, koska sen ympärillä oli runsaasti puita. Työporukka joutuikin ensin vastaanottamaan kerrokset jo kaivetulle alueelle, minkä jälkeen se vasta pystyi kaivamaan levennykset ja asentamaan uudelleen leikkauspohjan reunoille tulevat salaojitusputket. Perinteisen tavan mittakepitelyksellä tai virheettömällä koneohjausmallilla tältä olisi vältytty.



Kuva 9. Timoteiraitin kääntymispaikka (Liimatainen 2013-7-16)

Timoteiraitin päästä rakentaminen jatkui Timoteiraitin ja Apilakaaren yhdistävää Natapolkua pitkin. Rakentamistekniikka ei varsinaisesti muuttunut, vaikka Natapolku on kapeampi kevyenliikenteen-
väylä. Oman lisänsä toi se seikka, että kaivinkone ei voinut lastata kaivettuja maita suoraan kuorma-
autoon, vaan se joutui läjittämään maat kadun viereen. Alue oli liian pehmeä kuorma-autoille. Maat
lastattiin kuorma-autoihin kun rakennekerrokset oli saatu valmiiksi ja autot pystyivät ajamaan uutta
tietä pitkin. Natapolun valmistuttua työporukka siirtyi Heinälammintien ja Apilakaaren risteykseen.

Ensimmäiseksi Apilakaaren päässä rakennettiin tarvittavat liitännät vanhoihin sadevesirunkolinjoihin.
Pieniä ongelmia aiheutui siitä, että vanhojen linjojen korot eivät täsmänneet suunniteltuihin, minkä
takia jouduttiin muuttamaan putkilinjojen kaatoja. Tämä on valitettava tosiasia lähes jokaisessa
hankkeessa, jossa joudutaan tekemään liitoksia vanhoihin viemäriinjoihin. Ongelma olisi ratkaista-
vissa tarkemmilla mittauksilla jo hankkeen suunnitteluvaiheessa. (Kuva 10).



Kuva 10. Apilakaari (Liimatainen 2013-8-8)

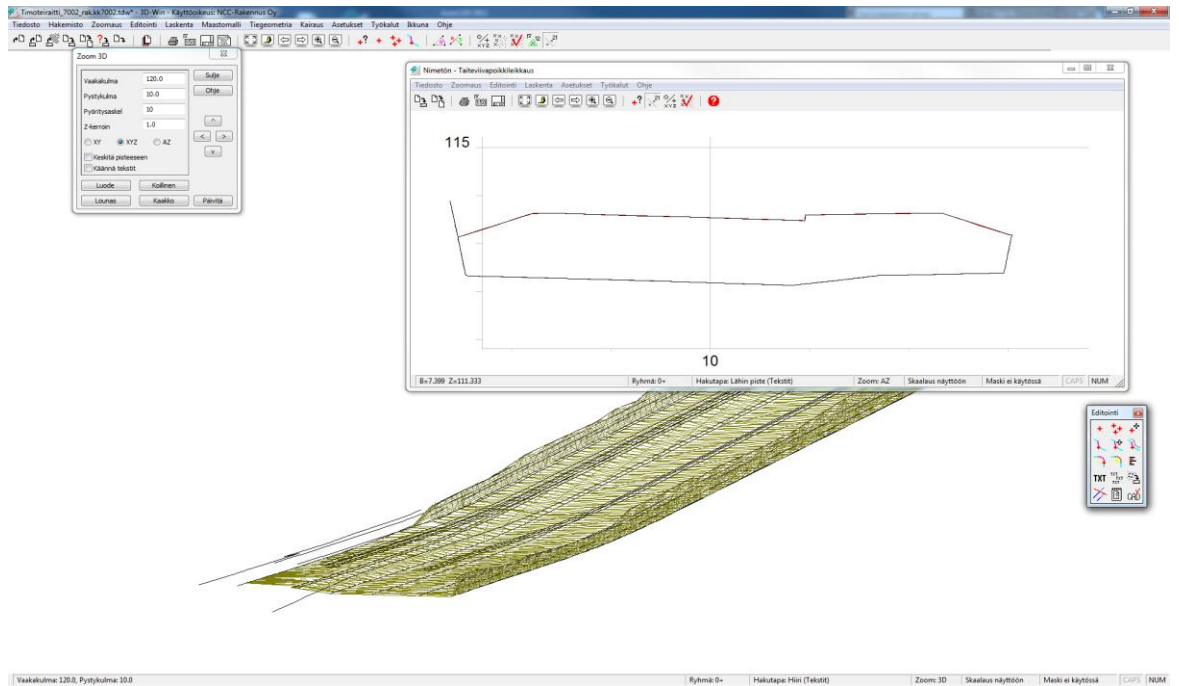
Apilakaaren päähän piti tulla massanvaihto, mutta koekaivun jälkeen huomattiin, että pehmeän humusmaan alta paljastui kova savipohja, joka kantoi kaivinkonetta. Louheenajon sijasta päädyttiin ottamaan hieman vahvempi suodatinkerros. Apilakaaren rinteessä oli muutaman kymmenen metrin mittainen hyvin märkä kohta, jossa pohjavesi nousi putkikanaalin. Pohjavesi onnistuttiin pitämään hallinnassa pumppujen avulla, joten työporukka pääsi märästä kohdasta ohi. Muuten Apilakaaren rakentaminen onnistui hyvin, ja koneohjausjärjestelmät toimivat, lukuun ottamatta aina välillä ilmaantuvia signaalien katoamisia.

Tukiaseman ja koneen vastaanottimen yhteysongelmat aiheuttivat ihmetystä, koska tukiasema oli vain muutaman sadan metrin päässä koneesta. Scanlaser Oy:n huoltomies kutsuttiin muutaman kerran paikalle tutkimaan vikaa, mutta varmaa selitystä ongelmille ei saatu. Puiden katve oli yksi mahdollinen syy. Tukiasema jouduttiin myös kalibroimaan uudelleen, koska tukiasema oli asennettu työmaakopin päälle maan ollessa vielä roudassa. Roudan sulettua maanpinta saattaa laskea ja aiheuttaa korkovirheen koneohjausjärjestelmään.

Samaan aikaan kun koneohjatuilla kaivinkoneilla rakentava työporukka rakensi vielä Apilakaarta, rakensi toinen työporukka Heinälammentien varteen noin 400 metriä pitkän vesi- ja viemäriinjan, joka yhdistyi uuteen rakennettuun linjaan Apilakaaren ja Heinälammentien risteyksessä. Toisen työporukan käytössä ei ollut 3D-koneohjausjärjestelmää. Mittaaja merkitsi heille viemäriinjan kaivot ja satoi korot korkokeppeihin, joiden avulla työporukka pysyi suunnitellussa korossa ja linjassa. Putkiarinoiden tekoon he käyttivät putkilasermittauslaitteita, niin kuin toinenkin työporukka. Heidän ei tarvinnut rakentaa välille katua. Putkilinja tuli kadun ulkopuolelle tien luiskaan.

Apilakaaren valmistuttua koneohjausta käyttävä työporukka siirtyi rakentamaan Heinälammentien varteen Timoteiraitin ja Apilakaaren välille tullutta kevyeenliikenteen väylää. Väylän rakentaminen oli suhteellisen helppoa, koska työskentely tapahtui päällystetyn tien varressa. Maan lastaus ja sorien vastaanotto sujui ilman turhia lemppauksia. Liikenteen läheisyys aiheutti tietenkin oman työturvallisuusriskinsä, joten kaivannot piti suojata erityisen hyvin. Putkikanaaliin ei myöskään tälle välille tullut montaa eri putkilinjaa.

Putkitusten ja katujen rakentamisen jälkeen oli vielä paljon viimeistelyä. Viimeistelytyöissä käytettiin kahta pyörälustaista kaivinkonetta ja töissä oli myös muutama rakennusmies. Viimeistelyvaiheessa mittaaja joutui kepittämään kadut, koska viimeisen kantavan pinnan vastaanottaneessa tiehöylässä ei ollut koneohjausjärjestelmää. Samoin asfalttityöporukka tarvitsi mittakeppejä, koska heilläkään ei ollut koneohjausta. Työmaa valmistui elokuun ensimmäisellä viikolla – hieman myöhässä.



Kuva 11. Timoteiraitin leikkauspohjan koneohjaismalli (NCC 2015)

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida 3D-koneohjauksen soveltuvuutta kadunrakentamiseen. Ikävä kyllä meillä ei ollut toista samankaltaista työmaata, jotta olisin voinut tehdä kunnan vertailua 3D-koneohjauksen ja perinteisen tavan välillä. Vertailin kuitenkin joidenkin osa-alueiden arvioituja menekkejä siihen, mitkä toteutuneet kustannukset olivat. Käytössäni olleessa materiaalissa kustannukset on tietysti euroissa, mutta liikesalaisuuden vuoksi esitän tulokset prosentteina.

Yleensä 3D-koneohjauksesta puhuttaessa ensimmäisenä kysytään, minkälaisiin säästöihin päästään mittauskuluissa. Vaikka meillä oli 3D-koneohjausjärjestelmä käytössä, kaikki tarkkeet otettiin mittausajan toimesta. Samoin työmaalla jouduttiin suunnittelemaan joitakin osia, joissa myös käytettiin mittaaajaa apuna. Mittaaja myös merkitsi kaikki työmaan kaivot. Lopussa piti lisäksi kepittää kaikki rakennetut katualueet viimeisiä rakennepintoja varten. Silti mittauskuluissa säästimme 10 % tavoittelusta.

Suodattavan kerroksen hienotäytteessä kulut olivatkin yllättävästi 1,7 % suuremmat. Mutta onneksi ero oli kuitenkin aika minimaalinen. Jakavan kerroksen kalliomurskeessa säästöä tuli 9,8 %. Säästö on merkittävä. Samoin kantavan kerroksen kalliomurskeessa säästimme 8 %. Säästöihin voi olla tyytyväinen.

On vaikea lähteä sanomaan aivan suoraan, olivatko kaikki säästöt 3D-koneohjauksen ansiota, mutta luulen, että suurin osa oli. Työporukka myös oli kokenut ja osasi tehdä tarkkaa työtä. Rakennushenkilötyötunneissa päästiin 22 % säästöön, vaikka työmaan valmistuminen menikin pitkäksi. 3D-koneohjaus helpotti paljon putkiasentajien mittausuutia. Välillä työvoimaa olisi voinut olla enemmänkin käytössä, mutten usko sen hidastaneen työmaan valmistumista merkittävästi. Nykyisen heikon taloustilanteen ja kasvaneen kilpailun vuoksi työmaiden henkilöstö pidetään minimissä.

Luultavasti juuri nykyisen taloustilanteen vuoksi rakennusliikkeet ja tilaajat ovat heränneet käyttämään 3D-koneohjausta. Koneohjauksen avulla pystytään säästämään paljon materiaali- ja henkilöstökuluissa. Koneohjaus vähentää kaivantojen ryöstökerrointa, joten täytemateriaalia tarvitsee ajaa vähemmän työmaalle. Turhan kaivun ja turhan kuorma-autojen ajattamisen vähentäminen taas laskee polttoainekuluja, jotka ovat yksi koneurakoitsijoiden suurimmista yksittäisistä menoeristä. Lisäksi mittauskuluissa saadaan suuria säästöjä varsinkin, kun tarkkeiden otto ryhdytään suorittamaan 3D-koneohjausta hyödyntäen. Työmaan aikana tuli hyvin selväksi, kuinka tärkeä on hyvä 3D-malli. Hyvässä koneohjausmallissa on mallinnettu kaikki rakenteet, jotka tullaan rakentamaan koneohjausta hyödyntäen. Meillä oli pieniä ongelmia alkuperäisen mallin kanssa, joten minulle tuli selväksi, kuinka tärkeä osa-alue toimivan mallin teko on. (Kuva 11). Tulen varmasti tulevaisuudessa huolehtimaan, että koneohjausmallissa ei ole virheitä.

Puhelimitse haastatteleman Maansiirto Viiala Oy:n kaivinkoneenkuljettaja Timo Raitasen (2015-04-02) mukaan 3D-koneohjaus on lisännyt kaivinkoneenkuljettajan vastuuta huomattavasti – varsinkin jos tarkkeiden otto hoidetaan myös 3D-koneohjausta käyttäen. Lisäksi kaivinkonetta, jossa on koneohjausjärjestelmä, saatetaan käyttää apuna mittaamaan pintoja toisille koneohjaamattomille koneille. Varsinkin silloin, kun mittajaa ei ole juuri saatavilla. Kaivinkoneenkuljettajan on vain luotettava koneohjausmalliin ja tehtävä työtä sen ohjeiden mukaan. Ei ole mittakeppejä, joista tarkistaa koron tasoa.

3D-koneohjausjärjestelmä vähentää paljon mittajan tarvetta. Tämän vuoksi kaivinkoneenkuljettajan täytyy nyt tehdä paljon yksin sen kaltaisia töitä, joissa ennen tarvittiin kaverina rakennusmiestä. Ja silloin, kun kaivinkoneenkuljettaja tarvitsisi apua jossain työssä, niin sitä ei välttämättä ole lähellä tarjolla. 3D-koneohjauksen myötä lisääntynyt vastuu ei ole ainakaan vielä näkynyt palkkauksessa. (Raitanen 2015-04-02.)

NCC:n Jyväskylän infrayksikön työpäällikkö Jari Jääskeläinen (2015-04-30) kertoi, että tulevaisuudessa NCC tulee käyttämään enenevässä määrin 3D-koneohjausta hankkeissaan. Yksi syy koneohjauksen käyttöön on, että jo nyt julkiset hankkijat, esimerkiksi ELY-keskus, vaativat joissakin urakkarajouspyynnöissään, että osa töistä tulee suorittaa 3D-koneohjausta käyttäen.

Itse aion tulevissa hankkeissa käyttää mahdollisimman paljon 3D-koneohjausta rakentamisen apuna. Koska jo pelkästään tässä katutyömaassa kokemukset koneohjauksesta olivat niin rohkaisevat ja koska saatiin hyviä materiaalisäästöjä, ei minun mielestäni koneohjauksen hyötyjä voi kiistää. Ainoa este 3D-koneohjauksen hankinnalle on sen hinta. Laitteisto maksaa valmistajasta riippuen noin 25 000–30 000 euroa. Lisäksi tulee tukiaseman vuokra tai sen hankintahinta, joka on yli 10 000 euroa. Toivottavasti järjestelmien hinnat tulevat laskemaan lähivuosina, jotta tekniikka voidaan ottaa käyttöön myös pienissä maanrakennusyriyksissä ja pienissä hankkeissa. 3D-mallintaminen on tullut jäädäkseen, ja tulevaisuudessa on tavoitteena mallintaa kaikki työmaat. Siinä vaiheessa, kun kaikki työmaat mallinnetaan, voidaan myös kaikki työmaat rakentaa 3D-koneohjausta hyödyntäen.

LÄHTEET

JÄÄSKELÄINEN, Jari 2015-03-30. Työpäällikkö. [haastattelu.] Jyväskylä: NCC rakennus Oy.

LAURILA P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. Uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulu Julkaisutoiminta. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-03-10]. Saatavissa: http://ka.ramk.fi/eJulkaisut/D3_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikan%20perusteet/RAMK_D3_lowres.s.pdf

NCC Rakennus Oy. 2013. Aluesuunnitelma

NCC Suomi a. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-04-01]. Saatavissa: <http://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/>

NCC Suomi b. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-04-01]. Saatavissa: <http://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-suomessa/historia/>

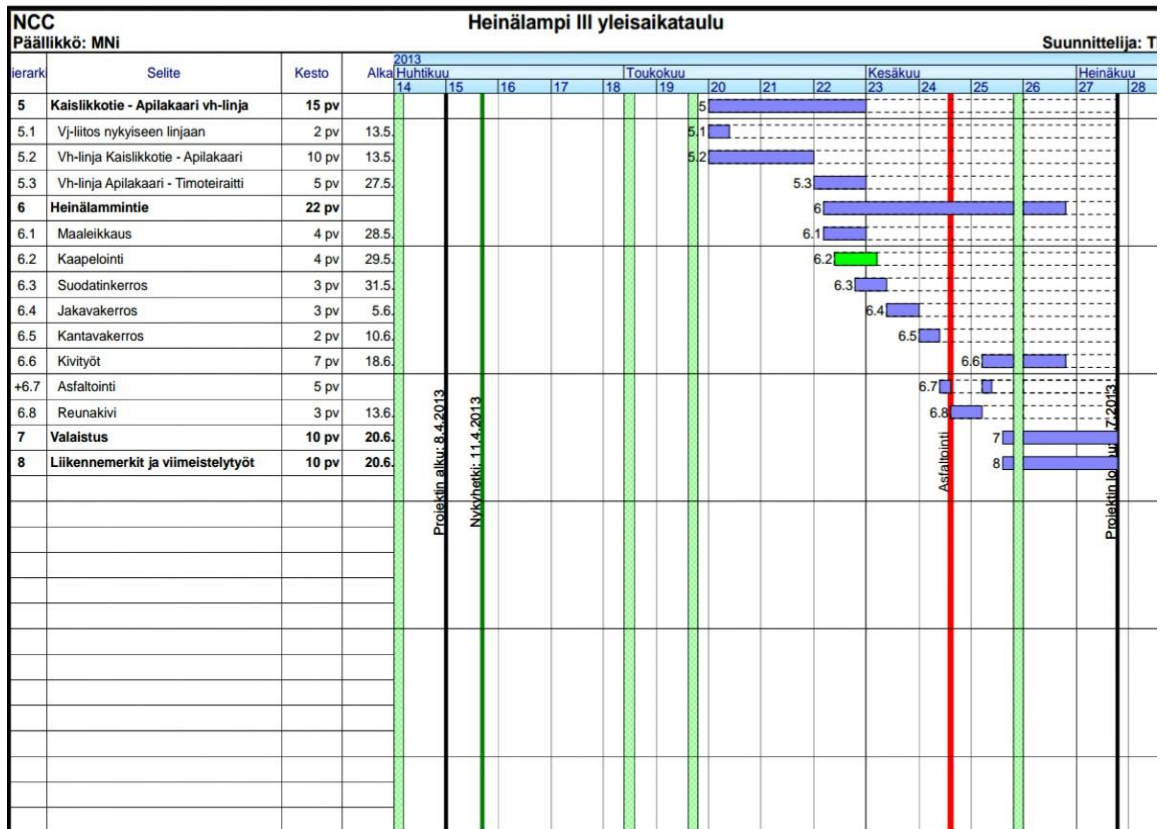
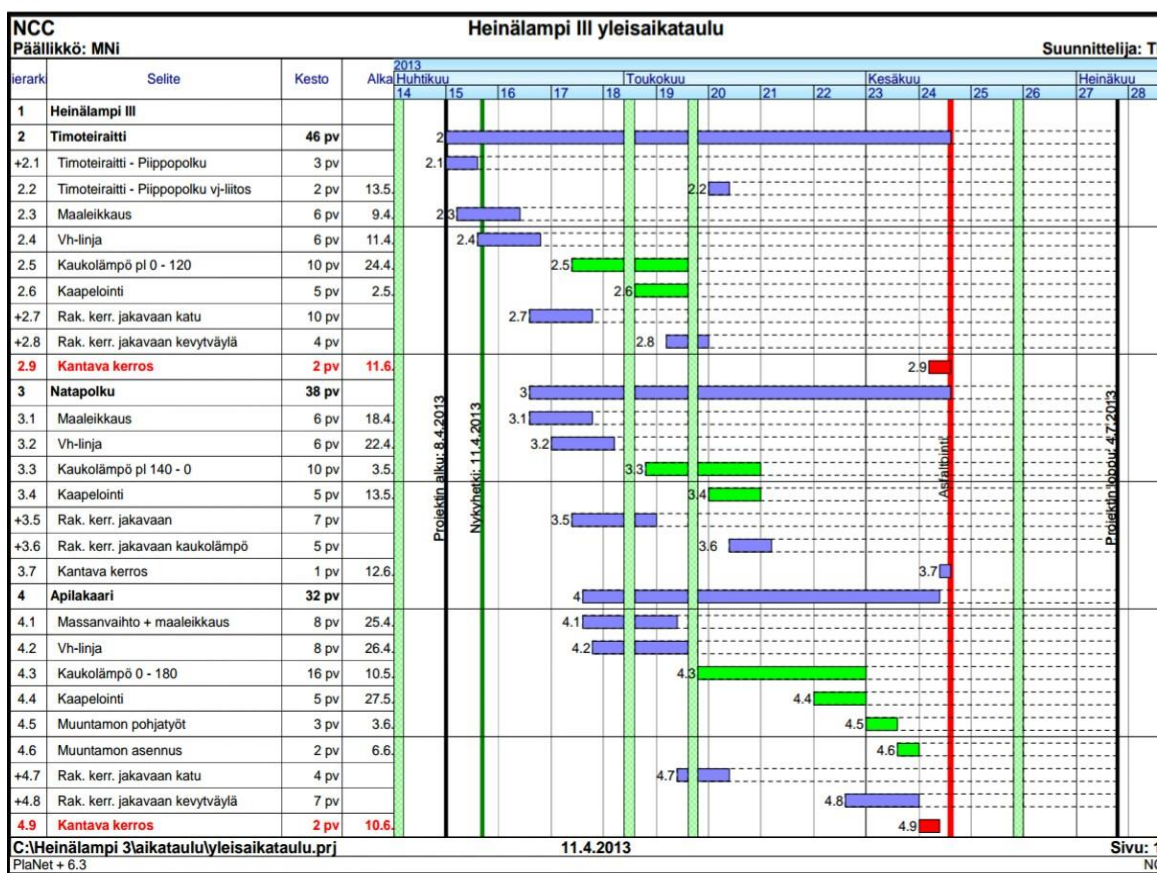
Novatron Oy. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-03-10]. Saatavissa: <http://www.novatron.fi/fi/koneohjaus.html>

RAITANEN, Timo 2015-04-02. Kaivinkoneenkuljettaja. [Puhelinhaastattelu.] Jyväskylä: Maansiirto Viiala.

SNELLMAN, S. 2014. PRE/inframallin vaatimukset ja -ohjeet, RAKENNEMALLIT; MAA-, POHJA- JA KALLIORAKENTEET, PÄÄLLYS- JA PINTARAKENTEET. Destia Oy. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-03-10]. Saatavissa: http://www.rts.fi/infratm/mallinnusohjeita2014/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_5.2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laatimisohe_100414.pdf

50 suurinta rakennusliikettä. [verkkodokumentti]. [viitattu 2015-04-01]. Rakennuslehti. Saatavissa: <http://www.digipaper.fi/rakennuslehti/121623/index.php?pgnumb=16>

LIITE 1. YLEISAIKATAULU



LIITE 2. KONEOHJAUSMALLIN TILAUSOHJE VÄYLÄHANKKEESEEN

1. Koneohjausmallin täytyy olla LandXML-tiedonsiirtoformaatissa.
2. Taiteviivoissa on käytettävä infraBIM-nimikkeistöä. Taiteviiva ei saa poiketa yli 3 millimetriä laskennallisesta geometrialinjasta. Taiteviiva ei saa olla yli 10 metriä pitkä, ja sen olisi hyvä loppua tasapaaluluvulle.
3. Kolmioverkkomallissa kolmioiden tulee olla säännöllisiä ja kiinnittyä taiteviivoihin tasaisin välein.
4. Kaikki rakenneosat, jotka rakennetaan 3D-koneohjausta apuna käyttäen, on mallinnettava virheettömästi.
5. Mallista tulisi löytyä seuraavat tiedot:
 - a. Geometriatiedot
 - b. Rakennekerrostiedot
 - c. Kaivannot
 - d. Putket
 - e. Kaivot
 - f. Valaistus
 - g. Kaiteet
 - h. Maisemointi
6. Mallin törmäystarkastelu olisi hyvä suorittaa.