



Tomi Niemelä

Koneohjauksen vaikutus kaivinko- neenkuljettajan rooliin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

5.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä: Tomi Niemelä
Otsikko: Koneohjauksen vaikutus kaivinkoneenkuljettajan rooliin
Sivumäärä: 40 sivua
Aika: 5.4.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine: Infrarakentaminen
Ohjaajat: Lehtori Mika Räsänen
Tekniikkapäällikkö Kyösti Ratia

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kaivinkoneissa käytettyjä koneohjausjärjestelmiä, sekä niiden tuomia muutoksia kaivinkoneenkuljettajan rooliin työmaalla. Koneohjausjärjestelmät lisäävät kaivinkoneella tehtävän työn tehokkuutta, säästävät aikaa ja laskevat kustannuksia. Ne lähtökohtaisesti helpottavat kaivinkoneenkuljettajan työskentelyä ja parantavat kokonaisuuden hahmottamista, mutta tuovat mukanaan myös lisää vastuuta kuljettajalle.

Työn kirjallisessa osiossa keskityttiin koneohjausjärjestelmien toimintaan ja käyttöön. Lisäksi selvitettiin takymetriohjauksen ja satelliittipaikannuksen toimintaperiaatteet ja käsitellään tietomalleja, sekä koneohjausaineistoa. Osiossa tutkittiin myös kuvitteellisen tieleikkauksen toteuttamista ja suoritettiin vertailu toteutuksesta ilman koneohjausjärjestelmää, sekä koneohjausjärjestelmän avulla. Vertailussa keskityttiin tutki-
maan, miten työ toteutetaan kaivinkoneenkuljettajan näkökulmasta.

Työ sisälsi myös asiantuntijahaastattelun. Haastateltaviksi valittiin kymmenen koneohjausjärjestelmää käyttänyttä kaivinkoneenkuljettajaa. Haastattelun avulla haluttiin selvittää kaivinkoneenkuljettajien kokemuksia 3D-koneohjausjärjestelmän käytöstä, sekä siihen liittyvät haasteet ja hyödyt. Haastattelun avulla haluttiin myös luoda kokonaiskuva, miten kuljettajat itse kokevat koneohjausjärjestelmien yleistymisen ja käytön työmaalla. Kuljettajat kokevat koneohjausjärjestelmien käytön helpottaneen työvaiheiden toteuttamista, mutta myös lisänneen kuljettajan vastuuta ja työn vaativuutta.

Työn tuloksena havaittiin koneohjausjärjestelmien muuttaneen kaivinkoneenkuljettajan vastuuta merkittävästi. Selkeitä vastuunmuutoksia on koneohjausjärjestelmän toiminnan ja tarkkuuden varmistaminen, sekä laadunvarmistustoimenpiteiden suorittaminen vaatimusten mukaisesti. Lisäksi huomattiin selkeitä muutoksia kuljettajien työtehtävissä. Kaivinkoneenkuljettajat suorittavat entistä enemmän mittauksia työmaalla, joita ennen on suorittanut työmaan mittahenkilö. Opinnäytetyön toivotaan kasvattavan etenkin työnjohtajien ymmärrystä koneohjauksen vaikutuksesta kuljettajiin, sekä parantavan koneohjausjärjestelmien käytön kokonaiskuva.

Avainsanat: kaivinkoneenkuljettaja, koneohjausjärjestelmä

Abstract

Author:	Tomi Niemelä
Title:	Impact of Machine Control System on Role of Excavator Operator
Number of Pages:	40 pages
Date:	5 April 2023
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Civil Engineering
Professional Major:	Infraconstruction Engineering
Supervisors:	Mika Räsänen, Senior Lecturer Kyösti Ratia, Technical Manager

The aim of this thesis was to examine the machine control systems used in excavators and the changes these systems bring to the excavator operator's role. Machine control systems increase efficiency of work, save time, and reduces costs. They facilitate the work of the operator and improve the overall understanding of the work process, but also bring additional responsibility to the operator.

The literature survey focuses on the use of different machine control systems. It also explains the principles of tachymetry guidance and satellite positioning. It also includes information about Building Information Modeling used in infrastructure. In this section, we will also examine the implementation of a hypothetical road construction and conduct a comparison how to build it with machine control system and without it. The comparison focuses on how the work is carried out from the operator's perspective.

The work also included an empirical study conducted through expert interviews. Ten excavator operators who have used machine control systems were selected for the interviews. The aim of the interviews was to find out what kind of challenges and benefits operators have experienced with 3D machine control systems. The interviews also aimed to provide an overall picture of how the operators themselves perceive the increasing use of machine control systems on construction sites. The operators feel that the use of machine control systems has made the work process easier but has also increased the operator's responsibility and job complexity.

As a result of this thesis, it was found that machine control systems have significantly changed the excavator operator's responsibility. Changes include ensuring the system's functioning and accuracy, performing quality assurance measures with the system in compliance with requirements. In addition, changes in the operator's job tasks were noted. Excavator operators carry out even more measurements on the construction site, which were previously carried out by the site surveyor. It is hoped that the thesis will especially increase the understanding of site supervisors about the impact of machine control on operators, as well as improve the overall picture of the use of machine control systems.

Keywords: excavator operator, machine control system

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Työn tavoite ja sisältö	2
1.3	Tutkimuskysymykset ja rajaus	3
1.4	Yrityksen esittely ja aiheen valinta	3
2	Koneohjausjärjestelmä	5
2.1	1D-järjestelmä	5
2.2	2D-järjestelmä	7
2.3	3D-järjestelmä	9
2.4	Koneohjauksen komponentit	10
2.5	Takymetriohtaus	11
2.6	Satelliittipaikannus	12
2.7	Koneohjauksen hyödyt	13
2.8	Tietomalli	13
3	Työskentely ilman koneohjausta	16
3.1	Työn aloitus	16
3.2	Työvaiheen toteutus	16
3.3	Laadunvarmistus	18
4	Työskentely 3D-koneohjauksen avulla	19
4.1	Työn aloitus	19
4.2	Työvaiheen toteutus	20
4.3	Laadunvarmistus	20
4.4	Koneohjausjärjestelmän kalibrointi	22
5	Haastattelut	25
5.1	Haastattelumenetelmä	25
5.2	Toteutus	25
5.3	Aiheet	26
6	Haastattelujen tulokset	28

6.1	Haastateltavien tausta ja asennoituminen	28
6.2	Käytön oppiminen ja koulutukset	28
6.3	Työsuunnitelmat ja koneohjausmallit	29
6.4	Järjestelmän toiminnan varmistaminen	31
6.5	Laadunvarmistus	32
6.6	Omat ideat ja virheet	33
7	Yhteenveto ja tulokset	36
7.1	Kaivinkoneenkuljettajan muuttunut vastuu	37
7.2	Kaivinkoneenkuljettajan muuttuneet työtehtävät	38
7.3	Kuljettajien oma kokemus kaivinkoneenkuljettajana toimimisesta	38
8	Oma pohdinta	40
	Lähteet	41

Käsitteet ja lyhenteet

- Ajokeppi: Puinen työkalu, jonka avulla voidaan tarkistaa tavoitetaso kahden korkomerkin väliltä.
- BeiDou: BeiDou on kiinalainen satelliittipaikannusjärjestelmä.
- Galileo: Galileo on eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä.
- GLONASS: Global Navigation Satellite System. GLONASS on Venäjän ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
- GNSS: Global Navigation Satellite System. GNSS tarkoittaa maailmanlaajuisia satelliittipaikannusjärjestelmiä.
- GPS: Global Positioning System. GPS on Yhdysvaltojen puolustusministeriön ylläpitämä maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
- Perämies: Kaivinkoneenkuljettajan kanssa toimiva maanrakentaja, jonka tehtäviin kuuluu avustavat mittaukset, käsin tehtävät työt, sekä kaivinkoneenkuljettajan opastaminen kaivuutyön yhteydessä.
- RTK: Real Time Kinematic tarkoittaa suomeksi reaaliaikaista kinemaattista mittausta. RTK-mittaus on satelliittipaikannuksen vaihehavaintoihin perustuva mittaustapa, jolla saavutetaan lähes reaaliaikaisesti senttimetriluokan mittaustarkkuus.
- Takymetri: Takymetri on koje, jolla mitataan vaakasuuntia, pystykulmia ja etäisyyksiä. Nykyaikaiset takymetrit sisältävät tietokoneen, jonka avulla mittauksia voidaan ohjata.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusala Suomessa on viimeisten vuosikymmenten aikana kehittynyt teknologian ja automaation suuntaan. Ennen työkoneiden käyttöä rakentamiseen liittyvät tehtävät suoritettiin pääosin ihmistyönä, mikä teki niistä aikaa ja työvoimaa vievää. Koneiden kehittyminen itsessään on vähentänyt reilusti ihmistyötä ja nopeuttanut rakentamista. Sama kehitys on tapahtunut mittaus- ja kartoitustekniikassa. Se on yksi rakentamisen tärkeimpiä osa-alueita. Sen tavoitteena on ympäristön kohteiden taso- ja korkeussijainnin määrittäminen. Mittalaitteet ovat kehittyneet alkukantaisista vesivaa'oista ja mittanauhoista nykypäivänä käytettäviin takymetri ja GNSS-mittalaitteisiin.

Vielä 1970-luvulla oli yleisesti käytössä teodoliitti, jonka avulla rakennustyömaalla voitiin mitata tiettyjen pisteiden sijainti ja suunta suhteessa toisiinsa. Tätä kutsutaan kulmamittaukseksi. Sen avulla pystytään määrittämään, sekä laskemaan tarkkoja etäisyyksiä ja korkeuksia. Kulmamittaus luo edelleen perustan nykyaikaisille mittalaitteille. Teodoliitin apuna käytettiin myös etäisyysmittaria, joka myöhemmin sulautettiin osaksi sen koneistoa. Tämän pohjalta kehitettiin rakennusalan tämän hetken tärkein mittalaite eli takymetri. Takymetrissa on teodoliitin koneiston lisäksi tietokone, jonka avulla voidaan jo mittaustilanteessa käsitellä sijaintitietoja ja tehdä välillisiä mittauksia. Takymetrimittauksen rinnalle kehitettiin satelliittipaikannusta käyttävät GNSS-mittalaitteet, joiden tarkkuus on rakentamisessa takymetrimittausta heikompaa noin muutaman senttimetrin luokkaa. [1.]

Työkoneissa käytettävät mittalaitteet ja niiden kehitys on tullut huomattavasti jäljessä käsikäyttöisiin mittalaitteisiin verrattuna. Ensimmäiset työkoneissa käytettävät mittauslaitteet olivat vesivaakoja, joiden avulla kuljettaja pystyi liikuttamaan esimerkiksi tiehöylän terää haluttuun kulmaan. Tämän jälkeen, kun mittaustekniikka on kehittynyt eteenpäin, on työkoneissa käytettäviä

mittausjärjestelmiä pyritty lisäämään ja kehittämään. Näitä kutsutaan kuljettajaa avustaviksi automatisoiduiksi tai manuaalisiksi koneohjausjärjestelmiksi eli koneohjaukseksi. Koneohjauksen tarkoitus on avustaa koneenkuljettajaa erilaisissa työtehtävissä antamalla kuljettajalle tietoa työlaitteen asennosta, sijainnista ja korkeudesta tiettyyn pisteeseen verrattuna. Koneohjauksen käyttö onkin muuttanut merkittävästi rakentamista ja koneenkuljettajan roolia työmaalla.

1.2 Työn tavoite ja sisältö

Koneohjausjärjestelmien lisääntynyt käyttö rakennusteollisuudessa on johtanut merkittäviin muutoksiin koneenkuljettajan roolissa. Aikaisemmin koneenkuljettajat olivat ensisijaisesti vastuussa esimerkiksi kaivinkoneella kaivaessa silmämääräisesti kauhan sijainnista ja kaivuutasosta. Kaivuutason mittaamiseen koneenkuljettaja joutui, joko itse nousemaan koneesta ulos mittamaan tasoa annetusta korkomerkinnoista tai hänen kanssaan toimi yhteistyössä perähenkilö, joka käytti apunaan erilaisia mittavälineitä, kuten tasolaseria tai ajokeppiä oikean tason varmistamiseksi. Koneohjausjärjestelmien myötä monet näistä tehtävistä suoritetaan nyt kuitenkin automaattisesti, ja kuljettaja toimii kaivuutason mittaajana koneesta käsin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kaivinkoneenkuljettajan työ on käytännössä helpottunut vaan päinvastoin. Usein puhutaan vain siitä, miten koneohjaus on helpottanut ja nopeuttanut työskentelyä, mutta sivuutetaan sen tuoma vastuu koneenkuljettajalle. Koneohjausjärjestelmät ovat mittalaitteita ja niiden käyttö vaatii mittaustekniikkaan perehtymistä ja niiden toiminnan varmistaminen ja hyödyntäminen rakentamisessa vaatii koneenkuljettajilta uudenlaista osaamista.

Tutkimuksen tavoite on luoda etenkin työmaan johdolle ja työvaiheiden suunnittelua hoitaville henkilöille selkeä kokonaiskuva koneohjausjärjestelmien toimintaperiaatteesta ja käytöstä työmaalla, sekä vastata kolmeen päätutkimuskysymykseen. Työssä tutustutaan koneohjausjärjestelmiin ja niiden kehitykseen viime vuosikymmenten aikana ja perehdytään niiden toimintaan ja asioihin, jotka pitää ottaa huomioon niiden käytössä. Työssä tutkitaan erilaisia käyttökoulutuksia, joita koneenkuljettaja ja muut työmaalla työskentelevät voivat suorittaa.

Työssä tehdään vertailu saman työvaiheen toteutuksesta perinteisin menetelmin ilman koneohjausta, sekä koneohjausta hyödyntämällä. Lisäksi työhön on haastateltu muutamia henkilöitä, joilla on kokemusta koneohjauksen kanssa työskentelystä. Haastatteluilla tavoitellaan ymmärrystä, miten koneohjauksen käyttäjät itse näkevät sen hyödyt ja haitat.

1.3 Tutkimuskysymykset ja rajaus

Työssä etsitään vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin

- Miten koneohjaus on muuttanut kaivinkoneenkuljettajan vastuuta?
- Miten koneohjauksen käyttö on muuttanut kaivinkoneenkuljettajan työtehtäviä?
- Miten koneenkuljettajat itse kokevat mitä heiltä vaaditaan?

Työssä keskitytään kaivinkoneissa käytettäviin koneohjausjärjestelmiin ja niiden käyttöön kaivinkoneenkuljettajan näkökulmasta. Esimerkiksi mittahenkilöiden, perähenkilöiden tai muiden työmaalla työskentelevien muuttuneita työtehtäviä ei käsitellä tässä työssä. Työhön ei myöskään kuulu tiehöylissä, jyrissä ja asvaltinvivittimissä käytettävät automatisoidut koneohjausjärjestelmät ja niiden komponentit. Tutkimus on rajattu Suomen alueelle, mutta siinä esitellään myös lyhyesti koneohjauksen käyttöä ulkomailla. Työssä ei käsitellä mittalaitteiden ja koneohjauksen syvällistä teknistä toimintaa, vaan pyritään luomaan asiasta tietämättömille selkeä olennaiset asiat sisältävä toimintaperiaate.

1.4 Yrityksen esittely ja aiheen valinta

Tämä opinnäytetyö on tehty YIT Suomi Oy:n ITRR-yksikölle. YIT on suurin suomalainen ja merkittävä pohjoiseurooppalainen hankekehittäjä ja rakennusyritys, joka toimii asunto-, toimitila- ja infrarakentamisen sektoreilla. Insinööritoiminnan aihe valikoitui, kun toimiessani työnjohtajaharjoittelijana Raide-Jokerin työmaalla Helsingin Viikissä huomasin, että työmaalla ei hyödynnetä koneohjauksen

mahdollistamaa potentiaalia, eikä täysin ymmärretä, missä kaikessa sitä voidaan hyödyntää. Tästä ajatuksesta kehittyi havainto, että tietomallien ja koneohjauksen kokonaisuuden ymmärtämisessä on havaittavissa vielä paljon puutteita käyttäjätasolla. Aikaisempi kokemukseni myös kaivinkoneenkuljettamisesta ja koneohjauksen käytöstä kannusti kyseisen aiheen valitsemiseen.

2 Koneohjausjärjestelmä

Koneohjausjärjestelmät mahdollistavat tarkemman työäljen, vähentävät virheitä ja parantavat työn laatua. Koneohjauksella ei ole yksittäistä määritelmää, mutta yleisesti sillä tarkoitetaan erilaisia lisälaitteita, jotka asennetaan työkoneseen kuljettajaa opastamaan. Yksinkertaisimmillaan lisälaite voi olla vesivaaka, jonka avulla kuljettaja voi pitää esimerkiksi tiehöylän terän tietyssä kulmassa. Monimutkaisemmissa laitteissa koneohjaus hyödyntää takymetria tai satelliittipaikannusta työkonen laitteen kuten kauhan sijainnin määrittämiseen. Tätä sijaintia tietokone voi verrata työmaalle luotuun tietomalliin, joka näkyy kuljettajalle koneen ohjaamoon lisättävässä näytössä. Yksi koneohjausjärjestelmien tärkeimmistä eduista on se, että ne mahdollistavat paremman tarkkuuden kaivuuprosessissa, mikä voi johtaa merkittäviin kustannussäästöihin ja parempaan tuottavuuteen. Antureiden ja GNSS-tekniikan avulla koneenkäyttäjä voi nyt ohjata kaivinkoneen kauhaa erittäin tarkasti, mikä vähentää tarvetta tarkistaa korkoja ja minimoi täten virheriskin. Toinen koneenohjausjärjestelmien etu on se, että ne lisäävät turvallisuutta työmaalla, koska kuljettaja pystyy itse tarkistamaan työnsä jäljen ja erillistä mittajaa ei työvaiheen aikana tarvita. Tässä luvussa käsitellään kaivinkoneessa käytettäviä eri tasoisia koneohjausjärjestelmiä ja mitkä ovat niiden erot, sekä kerrotaan tietomalleista ja niiden hyödyntämisestä koneohjauksessa. [2.]

2.1 1D-järjestelmä

1D-järjestelmä on koneohjausjärjestelmistä yksinkertaisin. Sillä pystytään seuraamaan kaivinkoneen kauhan huulta ainoastaan pystysuunnassa. Tästä tulee sen nimitys 1D. 1D-järjestelmää voidaan käyttää kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on pystyttää työmaalle tasolaser, joka pyörittää tietyssä tasossa kulkevaa lasersädettä. Kaivinkoneen puomiin kiinnitetään laservastaanotin kuvan 1 mukaisesti siihen tasoon mihin kaivinkoneen kauha halutaan tietyssä asennossa. Kun vastaanotin osuu lasersäteeseen, niin kuljettaja tietää, että kauha on saavuttanut oikean korkeustason. [2.] Tämän järjestelmän heikkous on sen epätarkkuus. Lasersäde itsessään on tarkasti vaakatasossa, mutta

vastaanottimen sijainnista riippuen, täytyy kaivinkoneen puomin olla samassa asennossa, kuin se oli tasoa määriteltäessä.



Kuva 1 Kaivinkoneen puomiin kiinnitetty tasolaserin vastaanotin.[3]

Toisessa tavassa kaivinkoneen puomi varustellaan asennontunnistin antureilla ja ohjausnäytöllä. Anturit tunnistavat kaivinkoneen puomin liikkeen korkeussuunnassa. Kaivinkoneen kauha asetetaan johonkin pisteeseen, jonka korkeus tiedetään. Tässä vaiheessa voidaan korkeutta mitata nollaamalla kauha lähtöpisteeseen. Tämän jälkeen järjestelmä antaa tietoa kuljettajalle kauhan ja lähtöpisteen välillä. [2.] Ongelma tässä tavassa on se, että järjestelmä ei tunnista koneen korkeusasemaa tai sijaintia. Tämän takia lähtöpiste pitää asettaa joka kerta uudelleen, kun koneella siirrytään tai muuten on suuri riski mittausvirheelle. 2D- ja 3D-järjestelmien yleistyessä ovat ne syrjäyttäneet 1D-järjestelmien käytön lähes täysin nykyaikaisilla työmailla.

2.2 2D-järjestelmä

2D-järjestelmä eroaa 1D-järjestelmästä siten, että korkeuden lisäksi järjestelmällä voidaan seurata myös kaivinkoneen kauhan etäisyyttä vaakatasossa puomin suuntaisesti. Eli 1D-järjestelmän toimiessa Y-koordinaattiakselilla, niin 2D-järjestelmä toimii Y-akselin lisäksi myös X-akselilla ja tästä tulee nimitys 2D. Järjestelmä itsessään toimii samalla periaatteella kuin 1D-järjestelmä eli antureiden avulla. Käytännössä 2D-järjestelmän ero 1D-järjestelmään on se, että sillä voidaan määrittää korkeuden lisäksi kaltevuus lähtöpisteeseen verrattuna, jota pystytään kaivinkoneen kauhalla seuraamaan. Haluttu kaltevuus eli kaato syötetään järjestelmään ennen työn aloittamista. Lisäksi 2D-järjestelmä antaa tiedon myös etäisyydestä lähtöpisteeseen. Tämä näkyy kuljettajalle ohjaamoon tuodulla näytöllä, jossa on esitetty kauhan korkeus ja etäisyys numeroina lähtöpisteestä. Uudemmissa näytöissä voi olla havainnollistamassa myös piirrettyä grafiikkaa lähtöpisteen ja kaltevuuden muodostamasta korkeustasosta ja kaivinkoneesta kuten kuvassa 2. Tämän avulla kaivinkoneella voidaan kaivaa esimerkiksi putkilinjan raakapohja tietylle kaadolle ja oikean mittaiseksi. Se lisää myös työturvallisuutta, sillä perähenkilön ei tarvitse olla tarkistamassa korkoa kesken-eräisessä putkikaivannossa. [2.]

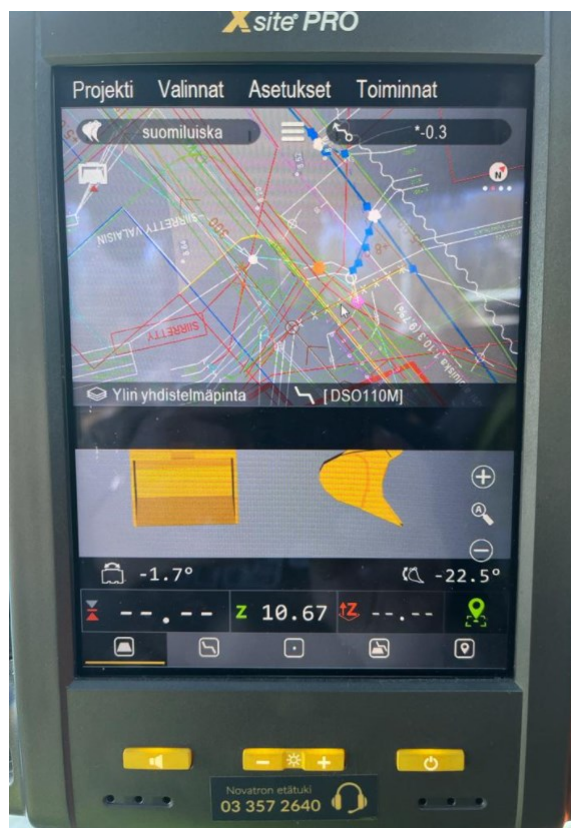


Kuva 2 Novatron Oy:n valmistama Xsite PRO 3D -näyttö 2D-näkymässä

Ensimmäisissä 2D-järjestelmissä ongelmana oli korkoheitto, kun kaivinkoneen ylävaunua käännettiin sivuun kaivuulinjalta, johon kaato oli asetettu. Tähän kehitettiin ratkaisu lisäämällä kaivinkoneen kääntökehälle anturi, joka pystyi korjaamaan koneen kääntämisestä johtuvaa virhettä. 2D-järjestelmässä on myös sama ongelma, kuin 1D-järjestelmässä. Järjestelmä tunnistaa vain puomin liikkeit sekä ylävaunun kääntymisen, mutta ei koneen siirtymistä tai painumista. Lähtöpiste pitää siis asettaa aina uudelleen, kun koneella liikutaan. Tämä kasvattaa riskiä mittausvirheille, sillä esimerkiksi putkikaivantoa tai tien pohjaa kaivaessa kaivinkoneella ei työn edetessä enää yletä alkuperäiselle lähtöpisteelle, vaan piste pitää siirtää paikasta toiseen työn edetessä. [2,4.]

2.3 3D-järjestelmä

Uusimpana koneohjausjärjestelmänä on 3D-järjestelmä, joka on mullistanut rakennusteollisuuden täysin. Tämä järjestelmä sisältää kaikki 1D- ja 2D-järjestelmien ominaisuudet, mutta lisäksi se hyödyntää satelliittipaikannusta tai takymetria sijainnin määrittämiseen. Sen avulla kaivinkone voi osoittaa kauhan sijainnin X-, Y- ja Z-akselilla koordinaatistossa. Tästä tulee nimitys 3D. Järjestelmä mahdollistaa kaivinkoneen kauhan reaaliaikaisen sijainnin seuraamisen kaivinkoneen ohjaamossa sijaitsevalta tietokoneen näytöltä. Rakennussuunnitelmissa piirretyille kohteille on määritetty koordinaattipisteet samassa X-, Y- ja Z-koordinaatistossa. Näistä suunnitelmista voidaan luoda tietokoneen avulla kolmiulotteinen graafinen malli eli tietomalli. Lisäämällä tietomalli 3D-järjestelmään pystyy tietokone vertaamaan kauhan sijaintia ja korkeutta näihin suunnitelmiin kuvan 3 mukaisesti. [2,4.]



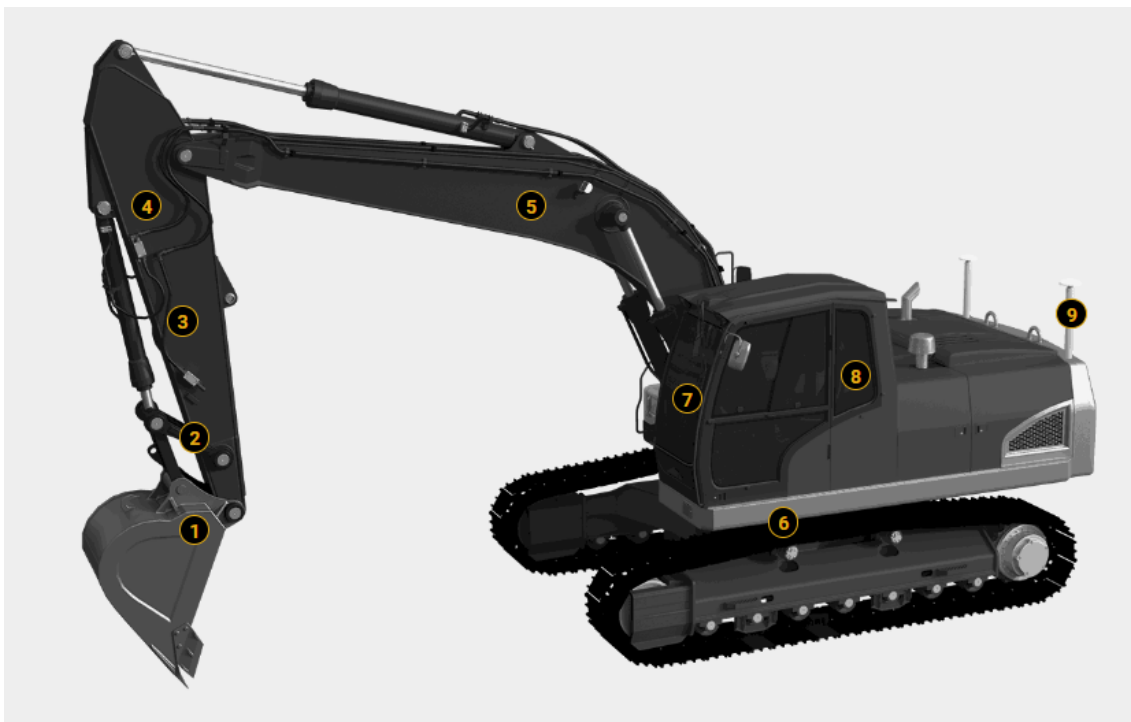
Kuva 3 Novatron Xsite PRO 3D-näyttö 3D-näkymässä

Kuvassa 3 on näyttö jaettu kahteen osaan, joista ylemmässä on näkymä tietomallista, joka sisältää tietoa alueella olevasta kunnallistekniikasta ja sen sijainnista. Alemmassa osassa on graafinen esitys kaivinkoneen kauhan asennosta suhteessa tietomalliin.

Sen lisäksi, että 3D-järjestelmä mahdollistaa kauhan seuraamisen, niin muuttaa se kaivinkoneen mittauslaitteeksi, jolla voidaan kerätä tietoa ympäristöstä. Esimerkiksi tieleikkausta tehdessä järjestelmää hyväksikäyttäen voidaan kaivinkoneella tallentaa toteumapisteitä kaivetun pohjan tasosta. Tämä tapahtuu käytännössä, niin että kuljettaja siirtää kauhan kaivetun tielinjan pohjalle ja tallentaa tästä tietokoneella pisteen. Toistamalla tämän toimenpiteen useasta kohdasta voidaan tallennetuista pisteistä luoda tietokoneella toteumamalli, jota vertaamalla alkuperäiseen tietomalliin voidaan helposti nähdä, kuinka tarkasti kaivuu on suoritettu suunnitelmiin nähden. 3D-koneohjausjärjestelmät ovat siis suunniteltu muuttamaan virtuaalinen maastomalli todellisiksi maastomaisemiksi [4].

2.4 Koneohjauksen komponentit

Koneohjausjärjestelmä ei kuulu kaivinkoneiden vakiovarusteisiin, vaan se täytyy asentaa niihin jälkikäteen. Eri valmistajista riippumatta järjestelmä on kuitenkin samanlainen ja sisältää samat komponentit. Kuvassa 4 näkyvät anturit ovat liike- ja kallistusantureita, jotka on sijoitettu kaivinkoneen puomiston niveliin, sekä ylävaunun kääntökehälle. Näyttöyksikkö on yleensä sijoitettu ohjaamon oikeaan reunaan, jotta se rajoittaisi mahdollisimman vähän kuljettajan näkyvyyttä. GNSS-vastaanottimet sijaitsevat hytin takana olevassa säilytystilassa ja GNSS-antennit on sijoitettu kaivinkoneen peräpuntin päälle mahdollisimman näkyvälle kohdalle, jotta esimerkiksi kaivinkoneen puomi ei aiheuttaisi yhteyshäiriöitä antennien ja satelliittien välillä.



Kuva 4 Novatron Xsite® PRO 3D- koneohjausjärjestelmän komponentit [5].

Kuvassa 4 numeroidut komponentit ovat seuraavat:

- kauha-anturi (1)
- kauhan sivuttaiskallistuksen anturi (2)
- laservastaanotin (3)
- kaivubarren anturi (4)
- pääpuomin anturi (5)
- runkoanturi (6)
- näyttöyksikkö (7)
- GNSS-vastaanottimet (8)
- GNSS-antennit. (9)

2.5 Takymetriohjaus

Takymetriohjatussa 3D-koneohjausjärjestelmässä työkonen sijainti määritetään automaattisen takymetrin avulla. Takymetri asetetaan paikalleen työmaalla

ja sen sijainti määritetään tunnettujen pisteiden avulla. Tätä kutsutaan takymetrin orientoimiseksi. Tämän jälkeen yhdessä työkoneeseen kiinnitettävän prisman, sekä koneohjausmittalaitteiden avulla takymetri pystyy seuraamaan työkonen liikettä ja laskemaan tämän sijainnin millimetritarkkuudella. Tämä vaatii jatkuvan näköyhteyden takymetrin ja työkoneen välillä. Takymetriohjausta käytetään usein millimetritarkkuutta vaativissa töissä, kuten tiehöylän tekemässä pohjan tasauksessa. Kaivinkoneissa takymetriohjaus ei ole kovin yleinen. [4.]

2.6 Satelliittipaikannus

3D-koneohjauksessa takymetriohjausta yleisemmin käytetään satelliittipaikannusjärjestelmää eli GNSS-järjestelmää, joka on lyhenne englannin kielen sanoista Global Navigation Satellite System. Järjestelmä koostuu useista maapalloa kiertävistä satelliiteista, jotka tarjoavat käyttäjille todella tarkkaa sijaintitietoa. Maailmanlaajuisia satelliittipaikannusjärjestelmiä on neljä: Yhdysvaltalainen GPS, venäläinen GLONASS, eurooppalainen Galileo ja kiinalainen BeiDou. [6.]

Satelliitit lähettävät lähetysajan sisältävää signaalia, jonka GNSS-järjestelmän antennit vastaanottavat viiveellä. Lähetysajan ja vastaanottoajan erotuksesta voidaan laskea satelliitin ja vastaanottimen välinen etäisyys. Kun signaali vastaanotetaan vähintään kolmesta eri satelliitista, voidaan määrittää kaivinkoneessa olevan vastaanottimen sijainti. Ilmakehän olosuhteista johtuen tämä sijainti on edelleen epätarkka. Tähän ongelman korjaamiseksi käytetään toista vastaanotinta, joka korjaa ensimmäisen vastaanottimen laskelmia. Tämän vastaanottimen on oltava kiinteä ja sen sijainti pitää olla tarkkaan määritelty, jotta sen avulla pystytään laskemaan virhekorjaus. Näitä vastaanottimia kutsutaan kiinteiksi tukiasemiksi. Tukiasema voidaan asentaa työmaalle haluttuun paikkaan, josta se käyttää radiolinkkiä lähettääkseen lasketun korjausdatan yhteen tai useampaan kaivinkoneeseen. Korjausdata voidaan lähettää kaivinkoneeseen myös käyttämällä mobiiliverkkoa. Tällöin kaivinkoneessa täytyy olla lisäksi mobiilidataliittymä. Kaivinkoneen vastaanotin käsittelee tämän korjausdatan reaaliajassa, jota kutsutaan RTK:ksi (Real Time Kinematic). Tällöin sijainnin

tarkkuudeksi saadaan 1–2 senttimetriä ja korkeuden tarkkuudeksi 1–5 senttimetriä. Sijainti on sitä parempi, mitä pidempään konetta pidetään paikallaan. [2.]

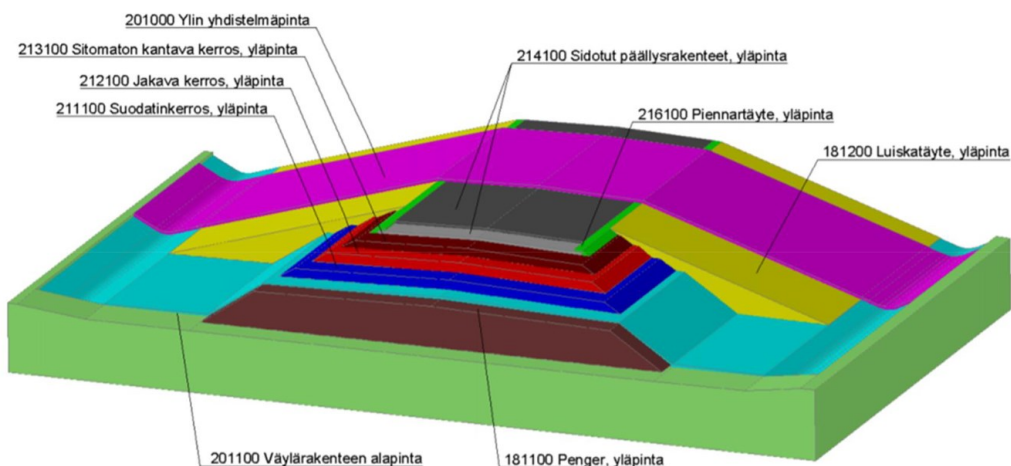
2.7 Koneohjauksen hyödyt

Yhdysvaltalainen konevalmistaja Caterpillar toteutti vuonna 2006 Espanjassa pilottihankkeen, jossa rakennettiin vierekkäin kaksi identtistä tietä, joiden pituus oli 80 metriä. Rakentaminen sisälsi molempien kohteiden osalta yhtä paljon maan kaivuuta ja täyttöä. Erona teiden rakentamisessa oli ainoastaan se, että toisessa käytettiin työkoneissa koneohjausta ja toisessa ei. Tuloksista käy ilmi, että koneohjauksella rakennettu tie valmistui puolessatoista päivässä, kun ilman koneohjausta rakentaminen kesti kolme ja puoli päivää. Polttoainetta kului saman työvaiheen suorittamiseen koneohjausta käytettäessä 43 % vähemmän. Osittain tämä selittyy sillä, että kaivuuvaiheessa saman maamassan kaivamiseen koneohjausta käyttänyt kaivinkone kauhoi itseasiassa 32 % vähemmän. Tämä taas selittyy sillä, että koneohjausta käytettäessä kaivinkone sai kaivettua halutun tason tarpeeksi tarkasti yhdellä kerralla eikä ylimääräisiä toistoja tarvittu oikean koron varmistamiseksi. Tutkimus siis osoittaa, että myös pienissä töissä koneohjaus tekee työn paljon tehokkaammin, tarkemmin ja taloudellisemmin. [7.]

2.8 Tietomalli

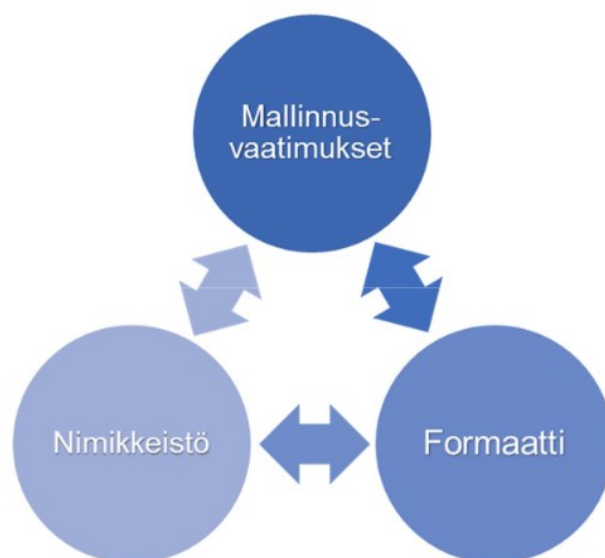
BIM (Building Information Model) eli tietomalli kuvaa erilaisia rakennelmia, kuten siltoja ja teitä. Se yhdistää kolmiulotteisen kuvan suunniteltavasta rakennelmasta ja kaikki siihen liittyvät tekniset piirustukset, sekä työvaiheet yhteen ja samaan tiedostoon kuvan 5 mukaisesti. Väylävirasto määrittelee tietomallin näin:

Tietomallilla tarkoitetaan digitaalisessa muodossa olevan rakennelman kolmiulotteista esittämistä ominaisuustietoineen [8].



Kuva 5 Väylärakenteen pintamallit nimettyinä InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti [9].

Infra-alan tiedonmallintamista ja siitä syntyvää tietomallia kutsutaan inframalliksi (InfraBIM). Inframallin tavoiteltava lopputulos on sitoa yhteen koko rakennushankkeen elinkaari aina suunnittelusta purkamiseen. Inframallin perustana toimii yleiset inframallivaatimukset, InfraBIM-nimikkeistö ja Inframodel-tiedostomaatti. Nämä muodostavat kuvan 6 mukaisen tiedonhallinnan kolmikannan. [8.]



Kuva 6 Tiedonhallinnan kolmikanta [9]

YIV (Yleiset inframallivaatimukset) sisältää vaatimukset ja ohjeistukset, sekä raamit inframallin luomiselle ja käytölle. Tavoitteena on ohjata, yhdenmukaistaa ja kehittää koko infra-alan käytäntöjä. Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta Building SMART Finland ja sen Infra-toimialaryhmä vastaa ohjeiston julkaisemisesta. [9.]

InfraBIM-nimikkeistössä esitetään infrarakenteiden ja -mallien koko elinkaaren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt. [10.] Nimikkeistön tarkoitus on antaa yhteinen kieli kaikille inframallin ja rakennushankkeen käyttäjille. Tämä helpottaa hankkeen suunnittelua ja työskentelyä ja näin välttää väärinymmärryksiä.

Inframodel-tiedostoformaatti (IM) on Suomessa käytettävä LandXML-standardiin perustuva tiedonsiirtoformaatti, jolla pyritään kattamaan suunnitteluohjelmien ja konesovelluksien tarpeet luomalla yhtenäinen sisältö. Tällä varmistetaan, että tieto on kaikkien hankkeeseen osallistuvien saatavilla ohjelmistoriipumattomassa muodossa. [11.]

Rakennusvaiheessa rakennussuunnitelmamallista työmaaorganisaatio laatii toteutusmallin. Tästä mallista urakoitsija laatii myös koneohjausaineiston. Koneohjausaineisto sisältää koneluettavassa muodossa olevia tiedostoja, joissa huomioidaan eri laitevalmistajien vaatimukset. Laitekohtaisten erojen takia suunnitteluvaiheen malleja ei voida aina käyttää suoraan koneohjausaineistona. Koneohjausaineisto koostuu pintamalleista, johtokartoista ja erilaisista piste- ja viivaaineistosta, jotka kuvaavat esimerkiksi kaivojen ja putkilinjojen sijaintia. [9.]

3 Työskentely ilman koneohjausta

Tässä osiossa tutkitaan yksinkertaista esimerkki tapausta, jossa kaivinkoneella tehdään tieleikkaus ja sen täyttö ilman koneohjausta vaihe vaiheelta kaivinkoneenkuljettajan näkökulmasta. Työvaiheiden kuvaus perustuu pääosin omaan tietoon ja monen vuoden kokemukseen kaivinkoneenkuljettajana.

3.1 Työn aloitus

Työn aloittaa mittahenkilö, joka merkitsee kaivettavan tielinjan molemmat reunat maastoon joko takymetrillä tai GNSS-mittalaitteella. Tässä kohdin keskustellaan myös kaivinkoneenkuljettajan ja muiden työntekijöiden kanssa siitä, mitä tietoja tarvitaan ja miten merkintä toteutetaan. Yleisesti voidaan sanoa, että merkinnät suoritetaan lyömällä tasaisin välimatkoin puukeppejä pystyyn maastoon. Näihin keppeihin merkitään tarvittavat korko- ja sijaintitiedot. Korkotietoina on esimerkiksi tien valmispinta. Tämän avulla, kun tiedetään tien rakennekerrosten paksuus, voidaan laskea tien pohjan korkeus. Muita merkintöjä voivat olla esimerkiksi tien muut rakennekerrokset, sekä tiedossa olevien vanhojen kaapelien sijainti, suunta ja etäisyys tietyistä mittakepeistä.

Kaivinkoneenkuljettaja tutustuu työpiirustuksiin ja työalueeseen. Piirustuksista tulee tarkistaa oikea tien leveys, rakennekerrosten paksuus, sekä käytettävät materiaalit. Ennen varsinaista työn aloitusta hänen pitää olla varmistunut, että kaikki olemassa oleva vanha kunnallistekniikka kaivuualueella on merkattu maastoon. Tässä vaiheessa myös varmistetaan yhdessä mittahenkilön kanssa, että hänen tekemät merkinnät ymmärretään varmasti virheiden välttämiseksi.

3.2 Työvaiheen toteutus

Kaivinkoneenkuljettaja kaivaa tien pohjan mittahenkilön pystyttämien mittakeppien avulla. Mittakepit ovat yleensä sijoitettu puoli metriä tai enemmän tien reunan ulkopuolelle, jotta merkinnät säilyisivät mahdollisimman hyvin kaivuun yhteydessä. Jos kaivuutyö suoritetaan tuntemattomassa maastossa, täytyy

kaivinkoneen mukana kulkea perähenkilö. Perähenkilön tehtävä on silloin varmistaa, että kaivuun yhteydessä kaivinkoneen kauha ei osu maaperässä mahdollisesti oleviin sähköjohtoihin tai viemäriputkiin. Kuvassa 7 perähenkilö toimii myös kaivuussyvyyden varmistajana. Hän käyttää apunaan esimerkiksi ajokeppiä, jotta hän voi mitata kaivuussa toteutunutta korkoa ja verrata sitä mittahenkilön pystyttämiin korkokeppeihin, jotka näkyvät leikkauksen reunoissa.



Kuva 7 Tien leikkauspohja. [12]

Perähenkilö siis kertoo kaivinkoneenkuljettajalle, kuinka paljon vielä pitää kaivaa kyseistä kohdasta, tai onko kaivu mennyt jo ylisyväksi. Tämän tiedon perusteella kuljettaja pyrkii kaivamaan tien pohjan mahdollisimman tarkasti silmämääräisesti. Mikäli voidaan todeta varmaksi, että kaivualueella ei sijaitse olemassa olevaa tekniikkaa ja perähenkilöä ei tarvita, niin kaivinkoneenkuljettaja suorittaa aiemmin mainitut kaivussyvyyden varmistukset itse.

Täyttö vaiheessa, kun tien pohja on kaivettu oikeaan tasoon, käytetään samaa periaatetta, kuin kaivuuvaiheessa. Kaivinkoneenkuljettaja täyttää piirustuksissa esitetyllä murskeella tai soralla tien rakennekerrokset kerros kerrallaan.

Rakennekerrosten paksuus on kuvattu työpiirustuksissa, joten valmiin pinnan korkomerkinnästä pystytään laskemaan jokaiselle kerrokselle oikea täyttötaso. Oikea taso varmistetaan samalla tavalla kuin kaivutasokin.

3.3 Laadunvarmistus

Työvaiheen laadunvarmistuksen tarkat ohjeet ja vaatimukset määritellään jokaiselle kohteelle erikseen työselostuksessa. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että esimerkin mukaisessa tieleikkauksessa toteutetaan tarkastusmittauksia mittahenkilön toimesta. Näitä tarkastusmittauksia kutsutaan tarkemittauksiksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että mittahenkilö mittaa takymetrin avulla kaivetun tienpohjan, sekä tien rakennekerrosten toteutuneen tason työn aikana. Tarkemittausten avulla siis kartoitetaan tehty työ ja voidaan todeta työn olevan suunnitelmien mukainen.

4 Työskentely 3D-koneohjauksen avulla

Tässä kohtaa tutkitaan samaa luvun 3 esimerkkitapausta ja miten sen toteutus eroaa, jos kaivinkoneessa käytetään 3D-koneohjausjärjestelmää.

4.1 Työn aloitus

Yleiset inframallivaatimukset (YIV) sisältää vaatimuksen projektin aloituksessa rakentajien perehdyttämisestä. Perehdytyksessä käydään läpi mallipohjaisen tuotannon ja laadunvarmistuksen toimintatavat ja sen järjestämisestä vastaa työnjohto ja sen toteutuksesta työmaan tietomallikoordinaattori. Kaivinkoneen-kuljettajalle kerrotaan kaivinkoneella tehtävän toteuma- ja kartoitusmittausten tavat ja vaadittavat rakenneosien toleranssit. Kuljettajille tehdään ohje, jossa esitetään mittauspaiikat ja tarkkuusvaatimukset. [9 s.120.]

Ennen 3D-koneohjauksen käyttöönottoa ensimmäistä kertaa, järjestelmän tarkkuus tarkistetaan. Yleiset inframallivaatimukset (YIV) on kirjannut työkoneen kuljettajan vastuusta näin:

Työkoneen kuljettaja vastaa oman työkoneensa koneohjauslaitteiden toimivuuden seurannasta sekä laitteella suoritettavista to-
teumamittauksista ja kartoituksista mallipohjaisen laadunvalvonta-
menettelyn mukaisesti. Työkoneen kuljettaja perehtyy hankkeen
koneohjausaineistoon ja laadunvarmistuskäytäntöihin tuotannon
tietomallikoordinaattorin tuella. [9 s.24.]

Kun koneohjauksen tarkkuus on varmistettu, ja työkohteeseen on tutustuttu, voidaan työssä käytettävät mallit siirtää kaivinkoneeseen. Mallien siirto voidaan tehdä internetin tai muistitikun välityksellä. Nykyään langaton tiedonsiirto on korvaamassa muistitikun lähes kokonaan. Langattoman tiedonsiirron etuna on sen helppous ja tiedostojen päivitysmahdollisuus. Lisäksi internet-yhteyden avulla voidaan vikatilanteessa ottaa suoraan järjestelmän etähallinta huoltohenkilön toimesta. Kun tarvittavat mallit on siirretty ja niiden toiminta on varmistettu, voidaan aloittaa työt. [12.]

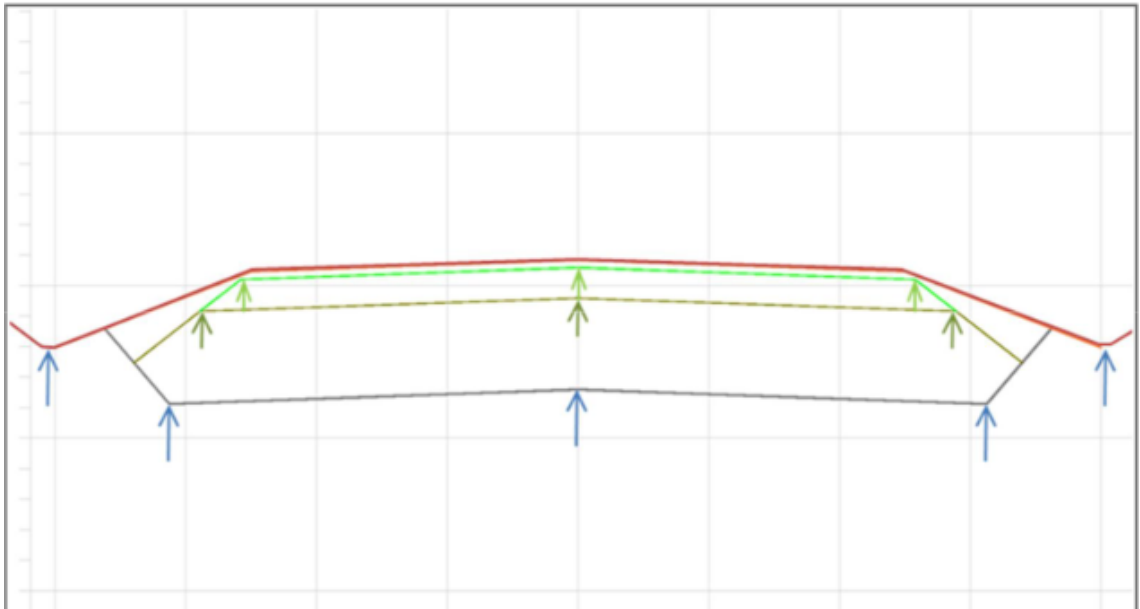
4.2 Työvaiheen toteutus

Työn toteutuksessa nähdään selkein hyöty koneohjausta käytettäessä. Kaivinkoneenkuljettaja näkee koneohjauksen avulla oman sijaintinsa suhteessa malliin, joten erillisiä merkintöjä ei maastoon tarvita. Koneohjausmallien käytössä oleva määrä vaihtelee työmaiden välillä, mutta yleisesti voidaan sanoa, että tieleikkausta varten luodaan vähintään tien valmista pintaa näyttävä malli. Tätä kutsutaan ylin yhdistelmäpinta-malliksi. Kun tiedetään tien rakennekerrosten paksuus, voi kuljettaja tätä mallia käyttämällä kaivaa tien pohjan ja täyttää rakennekerrokset oikeaan tasoon. Yleisesti mallien nimeämisessä suositellaan käytettävän InfraBIM-nimikkeistöön perustuvaa jaottelua [9, s.128]. Tällöin vältetään sekaannuksilta ja kuljettajan on helpompi löytää oikea malli jokaiseen työvaiheeseen. Kaivumallin lisäksi, mikäli kohteessa sijaitsee vanhaa kunnallistekniikkaa, voidaan kaivuumalliin lisätä myös johtokartta taustalle. Tällöin kuljettaja näkee johtojen sijainnin suhteessa kaivumalliin. Johtokarttoihin ei voida kuitenkaan sokeasti luottaa, joten kaivuun yhteydessä on oltava perähenkilö varmistamassa, ettei kuljettaja osu kauhallaan vanhaan tekniikkaan. Koneohjauksen avulla työ nopeutuu huomattavasti, sillä kuljettaja pystyy kaivamaan ja täyttämään oikean tason kerralla, eikä käsin tehtäviä tarkistusmittauksia tarvitse perähenkilön tai kuljettajan välissä suorittaa.

4.3 Laadunvarmistus

Työvaiheiden aikana kaivinkoneenkuljettaja voi koneohjauksen avulla tehdä toteumamittauksia. Esimerkiksi kaivun yhteydessä kuljettaja voi ottaa pisteitä talteen tietokoneelle. Tämä tapahtuu liikuttamalla kaivinkoneen kauha haluttuun sijaintiin ja tallentamalla tämä sijainti ja korkeus pistetietona tietokoneelle. Kaivinkoneella tehtävää toteumamittausta käytetään työn laadun ja etenemisen seurannassa. Toteumapisteet voidaan esimerkiksi siirtää kerran päivässä internet-yhteyden välityksellä pilvipalveluun, josta työnjohto voi seurata työvaiheiden etenemistä tietokoneelta. Toteumamittausten laajuuden ja tarkkuuden välillä on työmaakohtaisia eroja, mutta yleisissä inframallivaatimuksissa (YIV) vaaditaan, että toteumamittaukset täytyy tehdä väyläkohteissa jokaisesta rakenneosasta

20 m välein rakenteen taitteiden kohdilta [9, s.123]. Kuvassa 8 on ohjeet työkooneella tehtävien toteumamittausten sijainnista väylärakenteessa. Ennen toteumamittauksen tekemistä kuljettajan täytyy varmistaa, että kauha on kalibroitu, sekä koneohjauksen GNSS-paikannus toimii ja vastaanottaa RTK-korjausviestiä.



Kuva 8 Koneohjauksella otettavien toteumamittausten sijainti. [9]

Koneohjausjärjestelmää käyttävälle kaivinkoneelle on myös laadittu työn toteutukselle tarkkuus vaatimukset tie- ja katurakenteiden osalta. Taulukossa 1 on lista tien eri rakennekerroksista ja niiden sijainti- ja tarkkuusvaatimuksista XYZ-koordinaatistossa.[9.]

Taulukko 1 Koneohjausjärjestelmiltä vaadittava tarkkuus tie- ja katurakenteissa.

Rakennekerros	Mittausväli [m]	Vaadittava tarkkuus XY [mm]	Vaadittava tarkkuus Z [mm]
Kantava kerros	20	+50...-50	+20...-20
Jakava kerros	20	+100...-100	+30...-30
Suodatin kerros	20	+100...-100	+30...-30
Väylärakenteen alapinta	20	+100...-100	+30...-30

Koneohjausjärjestelmän tarkkuusvaatimuksia valvotaan mittahenkilön toimesta, joka suorittaa työvaiheiden aikana GNSS-mittalaitteella tai takymetrillä toteuttamittauksia. Nämä mittaukset täydentävät kaivinkoneella otettuja toteutamittauksia ja samalla valvovat koneohjausjärjestelmän toimintaa. Yleensä toteuttamittauksien yhteydessä suoritetaan tarkemittaukset tie- ja ratakohteissa 200 m välein, sekä katukohteissa 50 m välein. Tarkemittauksista vastaa työmaan tietomallikoordinaattori. [9.]

4.4 Koneohjausjärjestelmän kalibrointi

Koneohjausjärjestelmien tarkkuus tarkastetaan aina ennen työvaiheen aloitusta ja vähintään kerran viikossa. Tarkastuksesta vastaa työmaan tietomallikoordinaattori. Tarkastus suoritetaan takymetrin tai GNSS-mittalaitteen avulla. Tarkastuksessa saatu tulos pitää täyttää taulukon 1 mukaiset ehdot. Virallisen tarkastuksen lisäksi työmaalle voidaan mitata tarkastuspisteitä, joiden koordinaatit tiedetään. Näistä pisteistä kaivinkoneenkuljettaja voi itse käydä tarkastamassa järjestelmän tarkkuuden. Mikäli tarkkuus ei täytä vaatimuksia, täytyy koneohjausjärjestelmä kalibroida.

Järjestelmän kalibrointi kuuluu kaivinkoneenkuljettajan tehtäviin. Kalibrointi täytyy tehdä erikseen jokaiselle kaivinkoneen työkalulle ja kauhalle, joita käytetään koneohjauksessa. Kuvassa 9 on Novatronin valmistaman Xsite PRO 3D-

järjestelmän kauhan kalibrointivalikko.



Kuva 9 Novatronin Xsite PRO 3D-järjestelmän kalibrointivalikko

Kalibroinnissa työlaitteen pituus ja leveys mitataan käsin mittanauhalla. Nämä mitat syötetään järjestelmään. Tämän jälkeen suoritetaan luotilankakalibrointi. Siinä luotilanka asennetaan kaivinkoneen puomin alimpaan tappiin magneetilla. Kaivinkoneen puomia nostetaan ylös niin paljon, että luotilanka roikkuu vapaasti ilmassa. Sitten kauha liikutetaan siten, että se koskee lankaan hipoen kuvassa 9 näkyvän esityksen mukaisesti. Näytöltä valitaan luotilangan kalibrointi ja järjestelmä kalibroi kauhan asennon automaattisesti. Lopuksi kalibrointi tarkistetaan järjestelmän 2D-tilassa. Tarkastuksessa kauhalle määritetään maastoon mittauspiste, johon kauha asetetaan. Tämän jälkeen 2D-järjestelmän mittaustulokset nollataan. Nollauksen jälkeen kauhaa liikutetaan eri asentoon ja

lasketaan takaisin samalle mittauspisteelle. Jos mittalaitteen etäisyys- ja korkeuslukemat näyttävät nollaa, on kalibrointi onnistunut. [13.]

5 Haastattelut

Koska opinnäytetyö tehdään kaivinkoneenkuljettajan näkökulmasta, niin työn empiirinen tutkimus suoritettiin asiantuntijahaastatteluna. Tässä tapauksessa asiantuntijana ovat kaivinkoneenkuljettajat, joilla on kokemusta koneohjausjärjestelmien käytöstä. Haastatteluiden tarkoituksena oli tutkia kaivinkoneenkuljettajien kokemuksia koneohjausjärjestelmän käytöstä ja siihen liittyvistä haasteista ja hyödyistä. Haastatteluiden avulla pyrittiin saamaan kokonaiskuva siitä, miten kaivinkoneenkuljettajat itse kokevat koneohjausjärjestelmien yleistymisen ja käytön työmaalla sekä löytää vastaukset tutkimuskysymyksiin.

5.1 Haastattelumenetelmä

Haastattelumenetelmänä käytettiin puolistrukturoitua teemahaastattelua. Menetelmän valitsin sen takia, että koin myös aikaisemman työkokemukseni perusteella saavani haastateltavista heidän oman kokemuksensa aiheista paremmin esille, kun he pääsevät vastaamaan kysymyksiin omin sanoin. Haastattelurunko ja kysymykset laadittiin etukäteen ja esitettiin kaikille pääsääntöisesti samassa järjestyksessä, mutta tarvittaessa esitettiin myös tarkentavia kysymyksiä, jotta varmistuttiin siitä, että haastateltava ymmärsi kysymyksen tarkoituksen. Myös lisäkysymyksiä esitettiin, jos haastateltavan vastauksessa ilmeni epäselvyyttä tai haastateltava toi esiin asian, joka vaati lisätietoa. Jokaiselle haastateltavalle ilmoitettiin haastattelusta ja heille kerrottiin haastattelun aihealueet, jotta he pysyivät miettimään aihetta etukäteen.

5.2 Toteutus

Haastattelututkimus koostui yhteensä kymmenestä haastattelusta. Kaikki haastattelut suoritettiin puhelimitse vuoden 2023 helmi- ja maaliskuun aikana. Haastattelut suoritettiin keskustelunomaisena, jonka tavoitteena pyrin siihen, että haastateltavat vastaisivat kaikkiin kysymyksiin mahdollisimman laajasti ja toisivat esiin omia kokemuksiaan eri aiheista. Haastattelut kestivät keskimäärin 50 minuuttia.

5.3 Aiheet

Haastattelun runko jaettiin kuuteen eri aiheeseen, jotka kaikki liittyvät koneohjauksen kanssa työskentelyyn. Lopuksi haastateltaville annettiin vielä mahdollisuus vapaaseen sanaan, mikäli haastattelu oli heissä herättänyt uusia ajatuksia tai jotain unohtui aiemmin sanoa.

Ensimmäinen haastattelun aihe oli haastateltavan taustan ja hänen asennoitumisensa koneohjaukseen selvittäminen. Taustan selvittämisellä tarkoitetaan tässä iän ja työkokemuksen, sekä koneohjauksen käytön määrän selvittämistä. Nämä yhdistettynä asenteeseen auttavat merkittävästi vastausten tulkitsemisessä.

Toinen aihe tutkii haastateltavien kokemuksia koneohjauksen käytön opettelusta ja minkälaisia koulutuksia he ovat käyneet sen käyttöön liittyen. Aiheen avulla halusin selvittää etenkin sitä, että onko koneohjauksen käytön opettelu kaivinkoneenkuljettajalle haastavaa. Lisäksi haastateltavilta kysyttiin, onko työmaalla vaadittu käyttökoulutuksia tai miten on varmistettu, että kuljettaja osaa koneohjausjärjestelmää käyttää.

Kolmas aihe tutki työsuunnitelmia ja koneohjausmalleja. Aiheen avulla halusin selvittää minkälaisia malleja kuljettajat pääsääntöisesti pääsevät hyödyntämään ja minkälainen tarve on nykyään paperisille työkuville työmaalla.

Neljännessä aiheessa tutkittiin koneohjausjärjestelmän luotettavuutta ja käyttöä. Tarkoituksena oli selvittää, minkälaisia toimenpiteitä työmaalla toteutetaan koneohjausjärjestelmän toiminnan varmistamiseksi.

Viides aihe tutki laadunvarmistusta ja siihen liittyviä työvaiheita, sekä työmaiden ohjeistusta laadunvarmistukseen liittyen.

Kuudennessa aiheessa tutkittiin kuljettajien omia ideoita koneohjausjärjestelmien kehittämiseen, sekä selvitettiin minkälaisia virheitä järjestelmän käytön yhteydessä, on tapahtunut.

Haastattelun loppuksi halusin vielä kysyä kuljettajilta viimeisenä kysymyksenä: "Miten itse koet mitä sinulta vaaditaan kaivinkoneenkuljettajana?" Kysymyksen tarkoituksena oli saada kuljettajat ajattelemaan omaa työnkuvaansa sen jälkeen, kun haastattelun avulla on ensin johdateltu kuljettaja pohtimaan kaikkia asioita, joita koneohjausjärjestelmän käyttö vaatii ja minkälaisia muutoksia se on tuonut heidän työhönsä.

6 Haastattelujen tulokset

6.1 Haastateltavien tausta ja asennoituminen

Haastateltavien ikä jakautui 27 ja 55 vuoden välille ja kaivinkoneen kuljettamisen kokemus 1 ja 25 vuoden välille. Koneohjausjärjestelmää haastateltavat olivat käyttäneet pääsääntöisesti 6–7 vuotta, mutta joukosta löytyi myös kuljettaja, jolla oli käyttökokemusta vasta 5 kuukautta sekä kuljettajia, joilla oli kokemusta yli kymmenen vuotta.

Kaikki haastateltavat olivat sitä mieltä, että koneohjaus on vaikuttanut työskentelymukavuuteen positiivisesti ja jokainen haluaisi käyttää koneohjausta työmaalla aina, kun se vaan on mahdollista.

Muutamia työskentelymukavuuteen vaikuttavia tekijöitä tuli selkeästi esiin, jotka olivat seuraavat:

- Paperisten työkuvien käyttö on vähentynyt.
- Mittahenkilön käyttäminen työmaalla vähentynyt.
- Oman työn suunnittelu on helpottunut.
- Kokonaisuuden hahmottaminen on helpottunut.
- Ei tarvitse varoa maastomerkintöjä.

6.2 Käytön oppiminen ja koulutukset

Ennen koneohjauksen käytön aloitusta kuljettajien asenne jakautui puoliksi positiivisen ja negatiivisen asenteen suhteen. Monelle koneohjauksen käyttö kuului haastavalta ja oli myös epäilyksiä mahtaako koko järjestelmä edes toimia. Selkeästi haastatteluiden perusteella moni jännitti, että oppiiko sitä ikinä käyttämään. Nämä ennakkoasenteet kuitenkin hävisivät aika nopeasti käytön aloittamisen jälkeen.

Jokainen haastateltava kertoi oppineensa koneohjausjärjestelmän käytön itse käyttämällä. Osalle oli annettu lyhyt 15–30 minuuttia kestänyt perehdytys laitteen käyttöön ja osalle oli kokeneempi kuljettaja opastanut, miten laitetta käytetään. Kuitenkaan kukaan ei maininnut, että olisi käynyt koulutusta järjestelmän käyttöön liittyen ja haastatteluiden perusteella tällaisia koulutuksia ei muutama vuosi takaperin ollut, tai niistä ei tiedetty. Jälkeenpäin kuitenkin on esimerkiksi Novatronin järjestämissä koulutuksissa osa kuljettajista käynyt, mutta näissä ei haastateltavat ole oppineet mitään uutta.

Kukaan kuljettajista ei ole kuullut, että työmaalla olisi kuljettajilta vaadittu jonkinlaisen käyttökoulutuksen suorittamista, eikä järjestelmän käytön osaamista ole myöskään työmaalla mitenkään ennen töiden aloitusta varmistettu. Haastateltavat kokevat, että sen osaaminen on työmaalla oletus ja vasta laadunvarmistuksessa varmistutaan siitä, että korot ovat oikein.

Haastateltavilta kysyttiin kehitysehdotuksia liittyen koneohjauksen käytön koulutukseen. Suurimmalta osin kehitysehdotuksia ei tullut mieleen, mutta yksi haastateltava kehui nykyajan verkossa käytäviä kursseja, joita voi suorittaa itsenäisesti silloin, kun on aikaa.

Lopuksi kysyttiin vinkkejä koneohjauksen käytön aloittaville kuljettajille. Suurin osa haastateltavista antoi vinkiksi, että malttaa opetella laitteen käytön rauhallisesti, sekä ettei tarvitse huolehtia liikaa. Käyttämällä oppii parhaiten.

6.3 Työsuunnitelmat ja koneohjausmallit

Kaikki haastateltavat ovat päässeet hyödyntämään koneohjausaineistoa todella kattavasti työmaalla. Tässä osiossa haastateltavilta kysyttiin koneohjausaineiston käytöstä, luotettavuudesta ja niiden eroista riippuen tekijästä.

Kaikki haastateltavat luettelivat käyttäneensä pintamalleja, pistetiedostoja, linjamalleja, sekä taustakarttoja. Haastateltavilta kysyttiin tarvitsevatko he koneohjausaineiston lisäksi vielä paperisia työsuunnitelmia. Selkeä enemmistö koki paperiset suunnitelmat selkeästi hyödylliseksi, vaikka haastattelun alkupuolella tuli

esiin työskentelymukavuuden kannalta paperisten työkuvioiden käytön vähentäminen. Paperisista kuvista kuljettaja edelleen saa paljon hyödyllistä tietoa yksityiskohdista sekä hahmottaa kokonaisuuden paremmin. Yhtenä tärkeänä tekijänä mainittiin useasti, että paperisista työsuunnitelmista on hyvä myös verrata korkeita ja muita tietoja silloin, kun on selkeästi epäily virheestä koneohjausaineistossa tai järjestelmän tarkkuudessa.

Koneohjausaineiston on kaikille kuljettajille lähes aina tehnyt työmaaan mittahenkilö. Haastateltavat olivat sitä mieltä, että eroja tekijöissä on selkeästi todella paljon, mutta jos mallin tekijä on kokenut, niin eroista huolimatta lähtökohtaisesti kaikilla pystyy työvaiheet toteuttamaan. Lisäksi on myös tekijöitä, joille koneohjausaineiston luominen on selkeästi haastavampaa ja tällöin aineisto on epäselkeää ja hankalasti tulkittavaa. Selkeitä ongelmakohtia mallien tekemisessä on yhteinen esitystapa. Esimerkiksi viemäristä tehtävän linjamallin voi tehdä siten, että linjan korko on esitetty vesijuoksun koron mukaan. Tällöin kuljettaja joutuu itse huomioimaan rakennettavan linjan putken seinämän paksuuden ja tarvittavan putkiarinnan paksuuden. Toinen tapa on, että mittahenkilö huomioi nämä seikat mallia tehdessä, jolloin kaivinkoneenkuljettajalle riittää, kun linja kaivetaan mallin osoittamaan tasoon. Tämä on selkeästi mielipidekysymys kaivinkonekuljettajien keskuudessa, mutta virheiden välttämiseksi tähän toivottaisiin selkeää yhtenäistä linjaa, miten mallit esitetään. Toinen esimerkki on työvarojen huomioiminen mallia tehdessä. Mittahenkilöt eivät haastateltavien kokemusten mukaan osaa huomioida mallia tehdessä kaivamisessa vaadittavia työvaroja. Esimerkkinä paalulaattaa kuvaava malli, joka on mittahenkilön toimesta tehty suunnitelmissa esitetyn laatan kokoiseksi. Jos kuljettaja kaivaa laatan pohjan mallin mukaan, niin pohja jää liian pieneksi, koska sinne ei mahdu laatan valmistamista varten rakennettavat muotit ja työ joudutaan tekemään uudelleen.

Kun itse käytin koneohjausta muutama vuosi takaperin, niin huomasin mallien käytössä suuren ongelman niiden epäselvässä nimeämisessä. Kun halusin käyttää jotain tiettyä mallia, niin jouduin kokeilemalla etsiä oikean mallin, koska aineisto oli järjestelmään nimetty epäselkeästi. Tätä ongelmaa halusin myös tiedustella haastateltavilta, että onko siihen tullut muutosta. Haastateltavat

tunnistivat ongelman, mutta kaikki myös olivat sitä mieltä, että kehitystä on tämän suhteen tapahtunut ja mallit ovat nykyään paljon helpommin löydettävissä, vaikka mallien nimeäminen voisi silti olla vieläkin selkeämpää.

Yleisesti voidaan sanoa, että mallien tekemiseen ollaan kuitenkin tyytyväisiä, mutta aina jotain kehitettävää olisi. Kehitysehdotuksia oli aikaisemmin mainitut työvarojen huomioiminen ja yhdenmukaisuus esityksessä. Lisäksi toiveena oli, että kaivojen numerot ja korot näkyisivät malleissa, jotta niitä ei tarvitsisi etsiä paperikuvista.

6.4 Järjestelmän toiminnan varmistaminen

Tässä osiossa haastateltavilta kysyttiin koneohjausjärjestelmän toimintavarmuudesta ja minkälaisia asioita täytyy ottaa huomioon, jotta voidaan varmistua järjestelmän tarkkuudesta.

Ensimmäiseksi kysyttiin, minkälaisia toimenpiteitä työmaalla suoritetaan järjestelmän toiminnan varmistamiseksi. Esiin nousi selkeästi kolme asiaa. Mittahenkilö luo työmaalle yhden tai useita tarkistuspisteitä, joista kaivinkoneenkuljettaja voi tarpeen vaatiessa tarkistaa järjestelmän tarkkuuden. Tarkistuspiste on siis mittahenkilön luoma piste, jonka koordinaatit hän mittaa takymetria käyttämällä. Näitä koordinaatteja verrataan koneohjausjärjestelmän antamiin koordinaatteihin. Jos koordinaatit täsmäävät, voidaan todeta koneohjausjärjestelmän tarkkuus oikeaksi. Tämä tapa on yleisesti käytössä lähes kaikilla työmailla. Toinen toimenpide on mittahenkilön suorittama tarkastus viikon välein. Tähän toimenpiteeseen on osa haastateltavista törmännyt isommilla työmailla. Kolmas toimenpide on kuljettajan suorittama kauhojen kalibrointi. Tämän suorittamisessa on kuljettajakohtaisia eroja. Osa kalibroi kauhat säännöllisesti esimerkiksi viikon välein ja osa kalibroi kauhat vasta, kun havaitsevat järjestelmän tarkkuudessa virhettä. Kun haastateltavilta kysyttiin, kenen vastuulla tarkkuuden varmistus on, niin jokainen vastasi, että pääsääntöisesti vastuu on kuljettajalla. Vastauksista pystyi tulkita, että mittahenkilö suorittaa tarkastuksia vain isoissa hankkeissa ja silloinkin vaihtelevasti.

Seuraavaksi jatkokysymyksenä kysyttiin haastateltavilta, miten he toimivat siinä tilanteessa, kun he epäilevät mittausvirhettä järjestelmässä. Kaikki vastaukset olivat hyvin samankaltaisia. Kuljettaja varmistaa, että hänellä on oikea työlaite valittuna, sekä tarvittava määrä satelliitteja käytössä. Mikäli järjestelmä näyttää, että yhteydet ovat hyvät, niin kuljettaja voi verrata eri mallien välillä esiintyviä kaikkia virhettä. Tällä tavalla voidaan rajata pois joko järjestelmän toimintavirhe tai virhe mallissa. Mikäli virhettä ei löydy mallista, niin tarkistetaan järjestelmän tarkkuus tarkistuspisteestä ja kalibroidaan kauhat. Yleensä järjestelmä varoittaa epätarkasta yhteydestä kuljettajaa, mutta on ollut myös tilanteita, joissa yhteys on ollut riittävä, mutta mittausvirhettä on silti syntynyt. Tällaiset tilanteet ovat kuitenkin harvinaisia ja voivat johtua monista eri syistä.

Mittausvirheistä huolimatta haastateltavat kokevat silti pystyvänsä luottamaan koneohjausjärjestelmään pääsääntöisesti hyvin. Haastateltavat myös kokevat koneohjauksen käytön olevan helppoa, mutta muutama mainitsi myös, että kokevat sen käyttöön ja toimintavarmuuteen liittyvän paljon vastuuta.

6.5 Laadunvarmistus

Tässä osiossa haastateltavilta kysyttiin, millä tavalla laadunvarmistusta toteutetaan työmaalla ja kuinka hyvin koneohjausjärjestelmää tässä hyödynnetään.

Koneohjauksella toteutettaville työvaiheille on tiettyjä laatuvaatimuksia esimerkiksi leikkaustason tarkkuudessa. Kysyin kuljettajilta kuinka haastaviksi he kokevat näiden vaatimusten toteuttamisen. Jokainen oli sitä mieltä, että kun järjestelmä toimii, niin se on todella helppoa. Suurin osa oli myös sitä mieltä, että tarkkuusvaatimukset ovat ohjeistettu selkeästi työmaalla.

Työmaiden laadunvarmistuksessa on selkeästi eroja riippuen työmaasta ja sen koosta. Isoilla työmailla kaivinkoneenkuljettajat suorittavat toteumamittausta työvaiheista. Näitä mittauksia täydennetään mittahenkilöiden suorittamilla tarkemittauksilla. Osalla työmaista laadunvarmistusta suorittaa vain mittahenkilö ja

koneella suoritettavaa toteumamittausta tehdään vain satunnaisesti. Jokainen on kuitenkin suorittanut toteumamittausta kaivinkoneella joskus.

Laadunvarmistusta on kuitenkin ohjeistettu työmailla vaihtelevasti. Toisin kuin Yleisissä inframallivaatimuksissa on määritetty, niin työmailla ohjeistus on ollut erilaista. Jokaisen kuljettajan vastauksissa ohjeistukseen on eroja verrattuna toiseen vastaukseen. Ainoa yhtenäinen vastaus on, että putkilinjoista on toteutuspisteitä otettu kuuden metrin välein. Vastauksista huolimatta silti jokainen haastateltava sanoi, että ohjeistus on ollut aika lailla samanlaista erityömailla.

6.6 Omat ideat ja virheet

Virheitä, joita kuljettajat ovat koneohjausjärjestelmää käyttäessä tehneet, ovat olleet hyvin samankaltaisia. Työlaitteen eli yleensä kauhan vaihto järjestelmään kauhaa vaihdettaessa on unohtunut usein. Moni on putkilinjaa kaivaessa seurannut väärää linjaa näytöltä ja samoin on myös pidetty aktiivisena väärää pintamallia kaivaessa. Tarkepisteitä on myös otettu väärää nimeä käyttäen. Nämä ovat kuitenkin olleet sellaisia virheitä, jotka on huomattu hyvin nopeasti eikä ole merkittävästi vaikuttanut työmaan etenemiseen.

Koneohjausjärjestelmät saivat monia kehitysehdotuksia. Kaapelien ja putkilinjojen malleille ja kartoille jokaiselle linjalle oma väri. Liian usein on samaa väriä. Isolla työmaalla, jossa on paljon malleja, niin toivottaisiin, että mallien määrää laitteella voitaisiin rajata sijainnin perusteella. Tämä helpottaisi oikean mallin löytämistä. Tällä hetkellä ainakin joidenkin laitevalmistajien näytöt täytyy sammuttaa erikseen. Tähän toivottaisiin muutosta, että näyttö sammuisi samalla, kun kaivinkoneen virrat katkaisee. Yksi haastateltavista esitti ajatuksen jonkinlaisesta massanlaskenta mahdollisuudesta. Helpottaisi laskentaa omia urakoita tehdessä ja esimerkiksi lisätöiden laskutuksessa. Laitteiden varkaussuojaa halettaisiin myös parannettavan. Tällä hetkellä GNSS-vastaanottimet ja järjestelmän näyttö on liian helposti irrotettavissa.

Työmaan toiminnassa toivottiin kehitystä yleistiedossa koneohjauksen käytöstä myös muille työntekijöille. Tällä hetkellä koneohjausjärjestelmän käytön osaaminen on vain kaivinkoneenkuljettajalla. Tämä rajoittaa paljon esimerkiksi ideoiden syntymistä ongelmanratkaisu tilanteissa.

Viimeisenä kysymyksenä haastateltavilta kysyttiin, miten he itse kokevat mitä heiltä kaivinkoneenkuljettajana vaaditaan. Vastaukset kysymyksiin halusin tuoda tähän tutkimukseen sellaisenaan kuitenkin kirjalliseen muotoon purettuna, jotta lukija saa selkeän käsityksen mitä kuljettajat asiasta ajattelevat.

Haastateltavat ja heidän vastauksensa viimeiseen kysymykseen on lueteltu alas numeroin 1–10.

1. Koen että työmaalla oletetaan kuljettajien tekevän tiettyjä asioita ilman että ymmärretään mitä se heiltä oikeasti vaatii. Isoilla työmailla kuljettajille sysätään paljon vastuuta. He itse joutuvat huolehtimaan esimerkiksi kuorma-autojen määrästä ja materiaalityökaluista. Tuntuu, että mestarit työntävät omia työtehtäviään kuljettajille.
2. Vaatii uudenlaista tarkkuutta, että toteumamittaukset pitää paikkaansa ja asiat tulee tehtyä mallin mukaisesti. Välillä tuntuu, että saa tehdä myös mittahenkilön töitä.
3. Kaivinkoneen ajamisen lisäksi vaaditaan tietoa ja taitoa mittauksesta, sekä kokonaisuuden johtamisesta, että työvaiheet etenevät. Voi kun se olisikin vain kaivinkoneen ajamista.
4. Nykyään täytyy osata kaivinkoneen ajamisen lisäksi mittausta ja koneohjausjärjestelmän käyttöä.
5. Tarkkuutta, rauhallisuutta, oma-aloitteisuutta, tilannetajua ja kokonaisuuden hahmottamista.

6. Itsenäistä työskentelyä. Koneohjaus on muuttanut alaa paljonkin hyvään suuntaan. Vastuuta on tullut paljon lisää, mutta en näe sitä pahana asiana.
7. Kaikki nykYTEknologia, joka on kehittänyt kaivinkoneita, on vain helpottanut minun omaa työntekoani ja myös kaikkien muidenkin. Koen edelleen ajavani kaivinkonetta, vaikka työ on vuosien aikana muuttunut paljonkin.
8. Välillä koen olevani pelkästään kaivinkoneenkuljettaja ja välillä tuntuu, että saa hoitaa kaikkia työmaan asioita, jotta asiat etenevät.
9. Suhteellisen hyvää työmaan tuntemista. Ylipäättänsä vaaditaan paljon työmaan pyörittämistä. Asioiden ennakointia. Esimerkiksi minun pitää huolehtia, että minulla on tarpeeksi kuorma-autoja käytettävissä.
10. Eroja on paljon eri työmaiden ja työnjohtajien välillä. Huonon työnjohtajan alaisuudessa näkisin, että kaivinkoneenkuljettajat joutuvat liikaa huolehtimaan oman työnsä lisäksi myös työmaan kokonaisuuden pyörittämisestä. Hyvän työnjohtajan alaisuudessa kuljettaja voi itse keskittyä omaan työvaiheen suoritukseen. Jos pohditaan asiaa koneohjauksen kannalta, niin joo onhan se muuttanut paljonkin oman työpäivän kulkua, mutta kyllä se on vaan positiivinen juttu.

7 Yhteenveto ja tulokset

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksen tavoitteiden toteutumista ja tarkastellaan tutkimuksen avulla saatuja tuloksia. Otan itse myös kantaa tuloksiin omien kokemusteni perusteella kaivinkoneenkuljettajana ja koneohjausjärjestelmää käyttäneenä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda etenkin työmaan johdolle ja työvaiheiden suunnittelua hoitaville henkilöille selkeä kokonaiskuva kaivinkoneessa käytettävien koneohjausjärjestelmien toimintaperiaatteesta ja käytöstä työmaalla, sekä vastata kolmeen päätutkimuskysymykseen.

Työn sisältöä tarkasteltaessa voidaan todeta, että luvussa 2 esitetyt asiat antavat lukijalle kattavan tiedon eri koneohjausjärjestelmistä, niiden toiminnasta ja tietomallien käytöstä. Koneohjausjärjestelmät ovat kehittyneet yksinkertaisista vesivaa'oista nykypäivänä käytettäviin edistyneisiin mittaus- ja paikannusjärjestelmiksi. Yksinkertaisimman 1D-järjestelmän pohjalta on kehitetty nykyaikainen 2D-järjestelmä, jonka edistyneen anturitekniikan avulla kaivinkoneenkuljettaja pystyy suorittamaan yksinkertaisia mittauksia tarkasti ja itsenäisesti. 2D-järjestelmän vahvuutena on laitteen helppokäyttöisyys ja monipuoliset käyttökohteet työmaalla, jossa ei ole käytössä tietomalleja. Heikkoutena 2D-järjestelmässä on sen paikannuksen puuttuminen. Järjestelmä toimii tarkasti omassa koordinaatistossa, mutta mikäli kaivinkonetta siirretään, joutuu kuljettaja suorittamaan järjestelmän nollauksen ja asettaa laitteelle uuden vertailutason, johon laite mittaa. Tämän takia voidaankin todeta tietomallipohjaisen rakentamisen yleistyessä, että myös 2D-järjestelmä tulee jäämään historiaan suomalaisella rakennustyömaalla lähitulevaisuudessa.

2D-järjestelmän korvaava 3D-järjestelmä ja sen vaikutus kaivinkoneenkuljettajan rooliin työmaalla oli tutkimuksen pääaihe. 3D-järjestelmä ohjaa ja opastaa kaivinkoneenkuljettajaa koneohjausaineiston avulla suorittamaan työvaiheet kerralla oikein. Tällöin saadaan lisättyä koneen ja kuljettajan tehokkuutta, tarkkuutta ja tuottavuutta uudelle tasolle. Kuitenkin 3D-järjestelmä on myös

muuttanut merkittävästi kaivinkoneenkuljettajan työtä ja lisännyt uusia vaatimuksia kaivinkoneen käyttöön.

7.1 Kaivinkoneenkuljettajan muuttunut vastuu

Yksi opinnäytetyön tavoitteista oli vasta kysymykseen, miten koneohjaus on muuttanut kaivinkoneenkuljettajan vastuuta.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan todeta koneohjausjärjestelmien muuttavan kaivinkoneella suoritettavaa työtä merkittävästi. Merkittävimpiä vastuunmuutoksia kuljettajille on Yleisissä inframallivaatimuksissakin mainitut koneohjausjärjestelmän toiminnan varmistaminen, sekä laitteella suoritettavien mitausten sekä kartoituksen suorittaminen vaatimusten mukaisesti. Ennen koneohjausjärjestelmiä nämä toimenpiteet suorittivat työmaalla pääsääntöisesti mitahenkilöt. Lisäksi kuljettajalla on vastuu perehtyä työmaan koneohjausaineistoon, sekä erilaisiin laadunvarmistuskäytäntöihin. Tätä tulosta tukee myös haastattelussa saadut vastaukset, jossa jokainen haastateltava oli sitä mieltä, että järjestelmän toiminta ja sen seuraaminen on kuljettajan vastuulla.

Oman kokemukseni pohjalta voin sanoa vastuun muuttuneen työskentelyssä todella paljon. Oma työurani alkoi ennen 3D-järjestelmien yleistymistä ja silloin työhön kuului ohjeiden mukaan työvaiheen suorittaminen. Ohjeet miten työ tehdään tuli työnjohtajalta ja esimerkiksi oikeaan tasoon kaivamiseen ohjeet tulivat perämieheltä, joka toimi tason mittaajana. Nykyään koneohjauksen myötä kuljettaja itse näkee, kuinka paljon täytyy vielä kaivaa, jotta tietty taso saavutetaan ja kertoo tästä hänen kanssaan työskentelevälle perähenkilölle. Koska aineisto rakennettavasta kohteesta on näkyvillä kuljettajan hytissä, niin se on usein kuljettaja, joka kaivinkoneella näyttää työnjohtajalle mihin esimerkiksi rakennettava kohde sijoittuu ja miten se tällöin kannattaa toteuttaa. Voisi siis sanoa, että asetelmat ovat muuttuneet aika paljonkin.

7.2 Kaivinkoneenkuljettajan muuttuneet työtehtävät

Opinnäytetyön toinen tavoite oli vastata kysymykseen, miten koneohjaus on muuttanut kaivinkoneenkuljettajan työtehtäviä. Voidaankin todeta lukujen 3 ja 4 vertailun perusteella työtehtävien muuttuneen merkittävästi. Koneohjausjärjestelmän avulla kuljettaja näkee kaivaessa ja täyttäessä tavoitetasot, joihin pyrkii suoraan hytissä olevasta näytöstä. Laitteen avulla hän näkee myös suunniteltujen putkilinjojen ja kaivojen sijainnit ja korkeuden. Tämä vähentää merkittävästi kuljettajan fyysistä mittaamista erilaisista korkomerkinnöistä. Kun maastomerkintöjä ei tarvita välttämättä ollenkaan, ei kuljettajan tarvitse työskennellessä myöskään varoa näiden merkintöjen häviämistä maastosta työvaiheen aikana.

Uutena työtehtävänä kuljettajalle on kokonaan tullut toteumamittausten ja laadunvarmistuksen suorittaminen. Aikaisemmin lähes kokonaan mittahenkilön varassa ollut rakennetun tekniikan ja rakennekerrosten kartoitus ja laadunvarmistus on nyt siirtynyt koneohjausjärjestelmän myötä osittain tai kokonaan kaivinkoneenkuljettajalle. Tämä vaatii kuljettajalta osaamista ja perehtymistä mittaukseen ja siihen liittyviin vaatimuksiin.

Laitteen toiminnan varmistamiseksi kuljettajan työtehtäviin kuuluu kaivinkoneen kauhojen kalibrointi järjestelmään, sekä työmaalle perustettujen tarkistuspisteiden luona käyminen ja laitteen tarkkuuden varmistaminen.

7.3 Kuljettajien oma kokemus kaivinkoneenkuljettajana toimimisesta

Kolmannella tutkimuskysymyksellä haluttiin selvittää, miten kaivinkoneenkuljettajat itse kokevat mitä heiltä vaaditaan. Tähän kysymykseen vastauksen saa parhaiten haastattelututkimuksen vastauksista. Huomioitavaa on, että haastateltavien määrän ollessa vain kymmenen ja vastausten perustuen jokaisen omaan mielipiteeseen, ei tuloksen perusteella voida määritellä kaikkien kuljettajien ajatteleman samoin. Kuitenkin, kun otetaan huomioon haastateltavien laaja ikäero ja työkokemus, sekä työskentely eri yrityksissä ja eri työmailla, voidaan ajatella

mielipiteiden antavan jonkinlaista kuvaa siitä, mitä mieltä yleisesti kaivinkoneen kuljettajat ovat.

Vastausten perusteella moni haastateltava on sitä mieltä, että kaivinkoneen ajamisen lisäksi heiltä vaaditaan paljon työmaan kokonaisuuden hallintaa, sekä mittaustaitoja. Haastateltavat myös kokevat koneohjauksen lisänneen paljon vastuuta, mutta samalla se on myös helpottanut heidän työtään. Kun huomioon otetaan, että jokainen haastateltava haluaa koneohjausta työssään käyttää, niin voidaan tulkita vastuun lisääntyminen ja työtehtävien muuttuminen heidän kannaltaan kuitenkin hyvänä asiana.

8 Oma pohdinta

Koen itse opinnäytetyöni onnistuneen hyvin. Innostuksen aiheeseen sain omasta työkokemuksestani koneohjausjärjestelmien parissa ja tutkimuskysymysten ja aiheen keksimisen koin yllättävän helpoksi ja selkeäksi. Työn onnistumisen perusteena pidän sitä, että opin itse paljon koneohjauksen toimintaperiaatteesta työtä tehdessäni. Järjestelmää käyttäneenä ajattelin osaavani ja tietäväni aiheesta tarpeeksi, mutta näin ei ollut. Tämä vahvistaa luottoani siihen, että työn kohderyhmänä olevat työnjohtajat, toimihenkilöt ja suunnittelijat voivat oppia paljon koneohjausjärjestelmistä ja kaivinkoneenkuljettajan työstä työmaalla. Haastatteluja tehdessäni sain muilta haastateltavilta sellaisen tunteen, että he pitävät tekemääni työtä ja sen tarkoitusta tärkeänä myös heidän kannaltansa.

Näkisin työn tulosten ja tutkimuskysymyksien vastausten olevan paikkansa pitäviä, sekä antavan realistisen näkemyksen nykytilanteesta. Kuitenkin huomioitava asioita on kaivinkonekuljettajien koulutus koneohjausjärjestelmien käyttöön ja sen valvonnan puutteellisuus. Toistaiseksi rakennustyömailla on paljon kuljettajia, jotka ovat oppineet kaivinkoneen ajamisen, sekä koneohjausjärjestelmän käytön itse. Siihen nähden, kuinka vastuullisesta työstä on kysymys, niin on lähes käsittämätöntä miksi työmailla ei varmistuta siitä, että kuljettaja osaa järjestelmää käyttää oikein. Tähän näen ongelmaksi myös sen, että mestareilta puuttuu myös käsitys siitä mitä kaikkea koneohjauksella voidaan toteuttaa. Näkisin, että kuljettajien ja työnjohtajien kouluttamisella ja osaamisen syventämisellä saataisiin paremmin hyödynnettyä koneohjauksen potentiaali työmaan tehokkuudessa.

Jatkotutkimus aiheena haluaisin nostaa esille haastatteluissa laadunvarmistus osiossa olevan epäkohdan. Haastattelujen perusteella työmaiden laadunvarmistusohjeistukset eroavat hyvin paljon toisistaan, sekä Yleisissä inframallivaatimuksissa esitetyistä ohjeistuksista. Tutkimusaihe voisi olla minkälaisia laadunvarmistus vaatimuksia on liittyen koneohjausjärjestelmien käyttöön ja millä tavalla työmaat näitä vaatimuksia toteuttaa.

Lähteet

- [1] Laurila P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- [2] Nieminen J. 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. Opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Osoitteessa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27378/Nieminen_Juha-Matti.pdf?sequence=1 Lainattu: 15.2.2023
- [3] Kuva: Geotrim-verkkokauppa. Osoitteessa: <https://geotrim.fi/shop/konevas-taanottimet/konevastaanotin-spectra-precision-cr700/> Lainattu: 15.2.2023
- [4] Petschek P. 2014. Grading LandscapingSMART 3D-Machine Control Systems Stormwater Management. Birkhauser
- [5] Novatron. Mitä on koneohjaus. Osoitteessa: <https://.novatron.fi/mita-on-kone-ohjaus/> Lainattu: 28.2.2023
- [6] Maanmittauslaitos. Satelliittipaikannus. Osoitteessa: <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus> Lainattu: 28.2.2023
- [7] Caterpillar. 2006. Road Construction Production Study. Osoitteessa: <http://si-techsul.com/wp-content/uploads/MALAGA-PRODUCTION-STUDY.pdf> Lainattu: 15.2.2023
- [8] Väylävirasto. 2020. Mikä on tietomalli. Osoitteessa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli-> Lainattu: 28.2.2023
- [9] Infra-toimialaryhmä. Building SMART Finland. 2021. Yleiset inframallivaati-mukset YIV. Osoitteessa: <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2> Lainattu: 15.3.2023

[10] Building SMART Finland. 2018. InfraBIM-nimikkeistö. Osoitteessa: <https://drive.buildingsmart.fi/s/GTP9RdyMH9DqibR> Lainattu: 15.3.2023

[11] Väylävirasto. 2020. Inframodel3 -tiedonsiirtoformaatti otetaan yleiseen käyttöön. Osoitteessa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/inframodel3-tiedonsiirtoformaatti-otetaan-yleiseen-kayttoon> Lainattu: 15.3.2023

[12] Ketola J. 2018. Koneohjauksen käyttöönotto pk-maarakennus yrityksessä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Osoitteessa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/25855/ketola.pdf?sequence=4&isAllowed=y> Lainattu: 4.4.2023

[13] Novatron. Xsite PRO -kauhan kalibrointi. [video] Osoitteessa: <https://novatron.fi/video-xsite-pro-kauhan-kalibrointi/> Lainattu: 15.3.2023