

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Veijo Rasanen

## **3D-koneohjaus kaivinkoneenkuljettajan näkökul- masta**

Opinnäytetyö 2018

## Tiivistelmä

Veijo Rasanen  
3D-koneohjaus kaivinkoneenkuljettajan näkökulmasta, 26 sivua  
Saimaan ammattikorkeakoulu  
Lappeenranta  
Rakennusalan työnjohdon koulutus  
Opinnäytetyö 2018  
Ohjaaja: lehtori Paula Kokko, Saimaan ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyön tarkoituksena oli käsitellä 3D-koneohjauksen käyttöä maanrakennustyömaalla kaivinkoneenkuljettajan silmin työnjohdollisia näkökulmia painottaen.

Työssä käytiin läpi koneohjauksen hyödyntämistä työnjohdon työmaalla seurattavissa asioissa, kuten aikatauluhallinnassa, laadunhallinnassa, kustannushallinnassa sekä työturvallisuuden kehittymisessä.

Työssäni pystyin hyödyntämään omaa yli 15 vuoden kokemustani erilaisista maansiirtotöistä ilman koneohjausta ja koneohjausta apuna käyttäen.

Työssä käytettiin hyväksi omia kokemuksia, internet-materiaaleja, lehtimateriaaleja, aiheesta tehtyjä opinnäytetöitä sekä yhden laitevalmistajan tuotepäällikön haastattelua.

Lisäksi sain esittää yhdelle laitevalmistajalle käyttäjänä esille tulleita kehitysehdotuksia.

Avainsanat: 3D-koneohjaus, tietomalli, massatasapaino

## **Abstract**

Veijo Rasanen

3D-machine control system from the point of view excavator operator, 26 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Construction site management

Thesis 2018

Instructor: lecturer Paula Kokko, Saimaa University of Applied Sciences

The purpose of the thesis was to find out reasons why 3D-machine control system is useful on the construction sites from the excavator operator and foreman point of view. On the construction sites the foreman must take care of the timetable, quality, cost and safety of the work.

The work was commissioned by Saimaa University of Applied Sciences.

The information was gathered from literature, the Internet, newspapers and interviews.

The final result of this thesis was that 3D-machine control system is an important part of the construction sites nowadays and in the future.

Keywords: 3D-machine control system, information model, mass balance

# Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	3D-koneohjaus.....	6
2.1	Koneohjaus osana tietomallia.....	6
2.2	Koneohjauksen komponentit .....	7
2.3	Koneohjauksen käyttömahdollisuudet .....	8
3	Aikatauluhallinta koneohjauksen avulla .....	9
3.1	Maanrakennustyömaan aikataulullinen toteutus ennen ja nyt .....	9
3.2	Perinteinen maanrakennusprosessi vs. moderni prosessi.....	10
4	Laadunhallinta koneohjauksen avulla .....	12
4.1	Laadunhallinta ennen ja nyt.....	13
4.2	Koneohjauksen laadunhallinta paikannussignaaleja tarkentamalla .....	15
4.2.1	RTK-mittaus radiotukiaseman avulla.....	15
4.2.2	Verkko-RTK-mittaus.....	17
4.3	Laadunhallinnalliset pistokoemittaukset .....	17
5	Kustannushallinta koneohjausta apuna käyttäen.....	17
5.1	Kustannusseuranta .....	17
5.2	Esimerkkilaskelmia koneohjauksen tuomasta kustannussäästöstä.....	18
6	Koneohjauksen hyödyt työturvallisuuden kehitykselle .....	20
7	Kehitysehdotukset laitevalmistajalle .....	21
8	Yhteenveto ja pohdinta .....	23
	Kuvat.....	25
	Taulukot.....	25
	Lähteet.....	26

# 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, kuinka kaivinkoneissa yleistynyt 3D-koneohjaus on tullut kuljettajan avuksi maanrakennusprojektin toteuttamisessa. Itselläni on yli 15-vuoden kokemus erilaisista maansiirtotöistä ja pääsääntöisesti olen työskennellyt kaivinkoneenkuljettajana. Kolmen viime vuoden aikana olen saanut työskennellä kaivinkoneilla, joissa käytössä on 3D-koneohjaus. Koneohjausjärjestelmää olen saanut käyttää Ekokemin projektissa Nokialla, joka oli Suomen historian suurin pilaantuneiden maamassojen vaihtotyömaa, sekä Joensuu kaupungin kunnallisteknisillä työmailla uuden infran rakentamisessa sekä vanhan infran kunnostuksessa. Tässä opinnäytetyössä käsitelen kaivinkoneenkuljettajana koneohjauksen antamia hyötyjä työnjohdollisia näkökulmia painottaen. Työnjohtajan työnkuvaan työmaalla kuuluu aikatauluhallinta, laadunhallinta sekä kustannushallinta ja työturvallisuudesta huolehtiminen. Työkokemukseni avulla pystyn vertaamaan työntekoa kaivinkoneella perinteisesti sekä 3D-koneohjauksen avulla.

Koneohjausjärjestelmiä käytetään nykyään myös puskukoneissa, pyöräkuormaajissa, tiehöylissä, täryjyrissä, poravaunuissa, asfaltinlevittimissä sekä asfaltin jyrsimissä. Viimeisimpänä myös työnjohdolle on tullut omat päätelaitteet, joilla voidaan nähdä sama näkymä, joka koneiden kuljettajillakin on käytössä.

Maanrakennustyömaata ulkopuolelta katselevalle 3D-koneohjauksen käyttö työmaalla näkyy ainoastaan korkokeppien puuttumisena sekä kaivinkoneen peräosassa olevista pienikokoisista satelliittiantenneista. Nykyisin on yleistynyt myöskin oma tukiasema työmailla, joka ohikulkijan silmin näyttää pieneltä merikontilta, johon on kiinnitetty pitkä antenni. Tukiaseman tehtävänä on lähettää kaivinkoneelle paikannuskorjaussignaalia.

## 2 3D-koneohjaus

### 2.1 Koneohjaus osana tietomallia

Maanrakennustyömaiden arki on muuttunut viidentoista viime vuoden aikana kolmiulotteisiin malleihin perustuvan koneohjauksen myötä. Kolmiulotteisiin malleihin siirtyminen on vaikuttanut koko maanrakennusprosessiin niin suunnittelussa kuin itse konetyössäkin. Kolmiulotteisten mallien kehittyessä työni koneenkuljettajana on muuttunut ratkaisevasti. Kuljettajana pystyn seuraamaan suunnitelmia koneeni näytöltä ja saan tarvitsemiä työmaan mittatiedot suoraan ilman välittäjiä. Työskennellessäni pystyn seuraamaan ja merkitsemään toteutuneita korkoja ja sijaintitietoja koneen ohjausjärjestelmän avulla. Koneenkuljettajan toimenkuva on muuttunut paljon itsenäisemmäksi ja vastuullisemmaksi. Työmaan työnjohdon toimenkuvakin on tämän johdosta muuttunut enemmän työmaan aikataululliseen ohjaukseen sekä siellä toimivien eri urakoitsijoiden toimintojen ja työsuoritusten yhteensovittamiseen.

Työmaakohtaiset projektitietopankit, langaton reaaliaikainen liikenne liikkuvien toimijoiden kesken, vielä älykkäämmät robotisoidut toiminnot ja internetiin kytkeytyvät tietojärjestelmät avaavat mahdollisuuksia, joita kukaan ei olisi voinut kuvitella vielä runsas kymmenen vuotta sitten. Automaatioteknologia voidaan saatujen kokemusten perusteella arvioida olevan täynnä erilaisia mahdollisuuksia tienrakentamiseen. Tienrakentamiselle automaatiotekniikka merkitsee uutta nousua informaatiotekniikan aikakaudelle. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 66.)

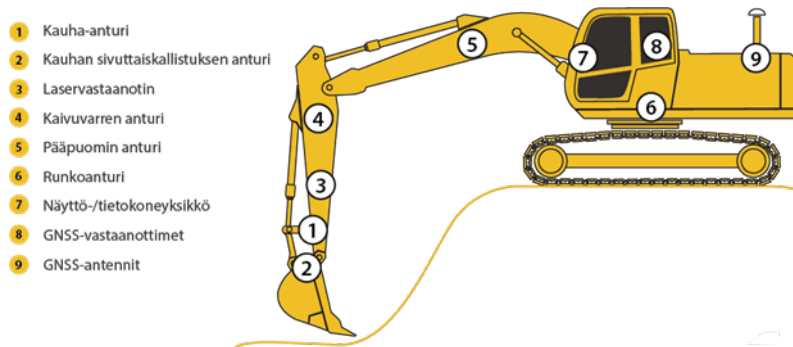
3D-koneohjauksesta puhuttaessa muodostuu helposti mielikuva, että se on oma itsenäinen järjestelmänsä. Koneohjaus on kuitenkin enemmän kuin koneessa itsessään olevat ohjausjärjestelmät. Todellisuudessa se on yksi osa kokonaisuutta, jota kutsutaan tietomallinnukseksi. Luvussa 2.2 tulee tarkemmin selville, mihin tietomallinnuksella pyritään ja miksi myös koneenkuljettajan työ on osana sitä kokonaisuutta.

Tietomallinnuksen tavoitteena on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävä kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin kehittäminen ja parantaminen. Tietomalleja on tarkoitus hyödyntää koko infra-

kohteen elinkaaren ajan, alkaen suunnittelusta ja lähtötietojen keräämisestä aina rakentamisvaiheen jälkeiseen käyttöön ja ylläpitoon asti. (Ahonen 2015, 8.)

## 2.2 Koneohjauksen komponentit

3D-koneohjauksella varustetussa kaivinkoneessa (kuva 1) on kaksi satelliittiantennia koneen takaosassa. Koneen ohjaamossa sijaitsevat satelliittisignaalin vastaanotin sekä tietokone- ja näyttöyksikkö. Koneeseen on kiinnitetty myöskin antureita, jotka sijaitsevat koneen rungossa, pääpuomissa, siirtopuomissa sekä sopivassa kohdassa kauhan niveltä.



Kuva 1. Paikannusjärjestelmä kaivinkoneessa (Novatron 2018)

3D-koneohjauksessa terän tai kauhan sijainti voidaan osoittaa yksiselitteisesti. Tällöin puhutaan koordinaateista X, Y ja Z. 3D-järjestelmissä yhdistetään koneohjaus ja paikkatieto. Koneeseen sijoitettu anturijärjestelmä määrittää tietoa puomien asennosta jonkun koneessa olevan pisteen suhteen. Kun tunnetaan koneen sijainti kolmiulotteisessa koordinaatistossa, voidaan kauhalle määrittää yksiselitteinen sijainti XYZ-avaruudessa. (Nieminen 2011, 10)

Seuraavassa kuvassa 2 on havainnollistettu XYZ-koordinaatit kuljettajan silmin katsottuna kaivinkoneen ohjaamosta.



Kuva 2. XYZ-koordinaatit kuljettajan silmin (Veijo Rasanen)

### 2.3 Koneohjauksen käyttömahdollisuudet

Kuvassa 2 on meneillään kadun viimeistelytyö ennen asfaltointia. Katupohjan kantava kerros on viimeistelytiehöylällä ja minulla on työvaiheena katukaivojen nosto. Kaivot ovat olleet piilossa murskekerroksen alla, jotta tiehöylä on voinut viimeistellä murskepinnan ilman, että tarvitsee varoa katukaivojen kansia. Kaivojen sijainnit mittamies on lähettänyt minulle koneohjausjärjestelmään, joten hänen ei ole tarvinnut tulla niitä enää maastoon erikseen merkitsemään.

Kaivinkoneen 3D-koneohjauksen avulla voidaan toteuttaa myös muita infratyömaalla tehtäviä suunnitelman mukaisia töitä kuin pelkästään maamassojen leikkaus- ja vastaanottotöitä. Koneohjauksen avulla voidaan toteuttaa esimerkiksi putkikaivannot kunnallistekniikalle, kaapelointityöt (sähkö ja tietoliikenne), erilaiset lisävarusteasennukset (katuvalaistuksen jalustat, liikennemerkkien portaalit), rumputyöt sekä vaativat kuivatustekniset työt (ojitukset sekä hulevesikosteikat). Kaikki edellä esimerkkeinä esille tulleet työt voi kuljettaja tehdä itsenäisemmin ja



vapauttaa apumiehen/miehistön muihin valmisteleviin töihin, pois pelkästä suunnitellun korkotason tai sijainnin seuraamistyöstä.

### **3 Aikatauluhallinta koneohjauksen avulla**

Aikataulu on oleellinen osa jokaista rakennustyömaata, oli kyseessä sitten infrarakennus- tai talonrakennustyömaa. Infrarakennustyömaalla tyypillisemmin käytetään jana-aikataulua ja paikka-aikakaaviota. Harvinaisempia infrarakentamisessa käytössä olevia aikataulutyyppisiä ovat myös toimintaverkko ja tuotantoaikakaavio. Kaivinkoneenkuljettajalle tämä informaatio on esillä työmaatoimistossa tai se käydään pääpiirteittäin läpi työmaan perehdytystilaisuudessa.

Aikataulunhallinnan esittämiä erilaisia vaateita ja hyötyodotuksia automaatiolle ovat työkoneiden tekemän työn määrän mittaaminen tehtävittäin jatkuvasti, tehtävien reaaliaikaisen valmiusasteen määrittäminen reaaliaikaisesti, automatisoitujen tehtävien reaaliaikainen seuranta, projektihallintaan liittyvän tiedonkeruuprosessin helpottaminen, odotusten ja seisokkien minimointi, reaaliaikainen toteutumantiedon tuottaminen työnjohdon käyttöön, työnaikaiset muutos- ja optimointimahdollisuudet (työkoneketjut), toteutumantrendinmukainen valmistumisajankohdan tietäminen sekä nopeampi ja joustavampi yllättäviin tilanteisiin reagointi. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 57.)

#### **3.1 Maanrakennustyömaan aikataulullinen toteutus ennen ja nyt**

Ennen koneohjauksen yleistymistä aikataulu oli monesti jo jäljessä, kun kaivinkone saapui aloittamaan uuden työmaan maansiirtotöitä. Tähän johtaneita syitä olivat mm. suunnitelmien odottaminen, mittaushenkilöstön vähäisyys sekä olemassa olevien kaapeli- ja kunnallisteknisten linjojen sijaintien määrityksen viivästyminen. Kaivinkoneen oli siis miltei mahdotonta aloittaa työtään, koska aloitusvalmista työpistettä ei ollut. Kuljettaja tai urakoitsija joutui siis odottamaan, että kyseiset tiedot tulisi näyttämään ja ilmoittamaan sekä merkitsemään maastoon.

Koneohjaus mahdollistaa nykyisin vaivattoman työmaan aloituksen kaivinkoneelle ja työn tilaajalle. Työmaat pyritään käymään mahdollisimman ajoissa talentamassa digitaaliseen muotoon. Tämä tarkoittaa siis suunnittelijan suunnitelmien päivittämistä sekä olemassa olevien kaapelointien ja kunnallisteknisten linjojen koordinaattien siirtämistä osaksi koneohjausmallia.

Edellä mainitut toimenpiteet tekee yleensä mittamies, joka on tehnyt tarvittavat maastomittaukset. Hän on laittanut uuden työmaan mittauserustan kuntoon eli mitannut kunnolliset lähtöpisteet tarvittaviin kohtiin työmaalle ja sen jälkeen toimitustyönä päivittänyt koneohjausmallin käytössä olevaan tietokantaan esimerkiksi pilvipalvelimelle. Työmaata aloittaessaan kaivinkoneenkuljettajan ei enää tarvitse odottaa työmaan informaatiota, vaan hän voi ladata sen esimerkiksi ennalta sovitulta palvelimelta tai käytössä olevalta muistitikulta. Tämän tiedon lataaminen tehdään kaivinkoneessa olevalle 3D-koneohjauksen tietokoneelle ja latauksen jälkeen työmaan informaatio on kuljettajalla käytettävissä koneessa sijaitsevalla näytöllä. Tiedoston latauksen jälkeen kuljettaja vain kalibroi koneen ja tarvittavien kauhojen sijaintitiedot tiedetyllä mittapisteellä. Näiden toimenpiteiden läpikäynnin jälkeen kaivinkone voi aloittaa tarvittavan työn tekemisen esimerkiksi pintamaanpoiston työmaalla ilman, että työskentelyalue ja tarvittavat korkotiedot olisi merkitty maastoon ihmisen toimesta.

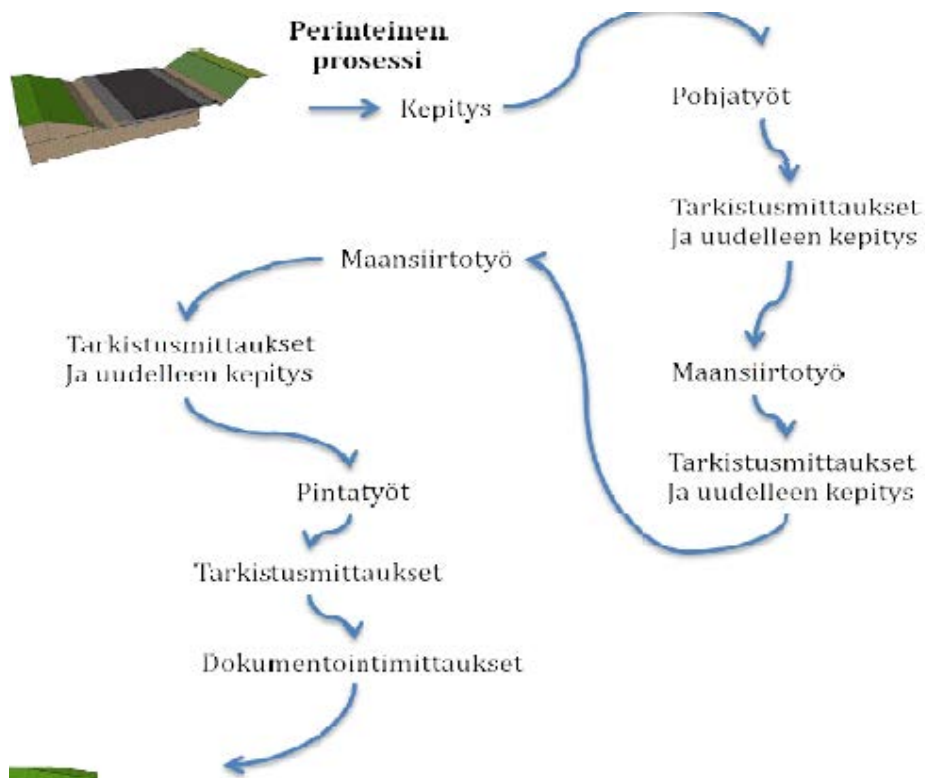
### **3.2 Perinteinen maanrakennusprosessi vs. moderni prosessi**

Aikataulullisesti maanrakennustyömaan eteenpäin vieminen on kuljettajalle ja tilaajalle nopeampaa ja joustavampaa. Kun kuljettajalla on käytössään koneohjausmalli koko työmaa-alueelta, hän voi siirtyä työpisteeltä toiselle esteettömästi, jos jossakin kohdassa ilmenee työmaan etenemistä hidastavia esteitä, esimerkiksi kalliota, joka täytyy poistaa. Työskentely on mahdollista myös mihin vuorokauden aikaan tahansa, koska esimerkiksi pimeys ei estä mittaustiedon reaaliaikaista saatavuutta.

Kaivinkoneenkuljettajalla on aina töitä, eli hänen ei tarvitse enää odotella, että joku tulisi mittamaan. Samoin myös työmaan hukka vähenee, eli ei kaiveta liikaa eikä liian vähän (Tanska 2013). Espoon kaupungin edustajan haastattelussa vuo-

delta 2013 tulee ilmi, kuinka koneohjaus on tuonut paljon edistystä heidän pilotti-kohteissaan työmaiden eteenpäin viemiseen, myös aikataulunäkökohdat huomioon ottaen.

Seuraavissa kuvissa 3 ja 4, jotka ovat peräisin Jussi Kauppinen Tampereen Yliopistossa vuonna 2010 tehdystä diplomityöstä, voidaan nähdä maanrakennustyömaan ajallinen kulku mittaustöineen sekä dokumentointineen. Kuvista voidaan selkeästi nähdä kuinka koneohjausjärjestelmien käyttö maanrakennuksessa lyhentää työmaan läpivientiaikaa useita kymmeniä prosentteja.



Kuva 3. Perinteisen maanrakennustyömaan työaikajakauma kuljettajan silmin (Kauppinen 2010, 2)



Kuva 4. Nykyaikaisen maanrakennustyömaan työaikajakauma kuljettajan silmin (Kauppinen 2010, 2)

#### 4 Laadunhallinta koneohjauksen avulla

Laadunhallinta on maanrakennustyömaalla prosessi, jota täytyy seurata koko työmaan ajan, koska siellä käsitellään paljon maa-aineksia. Rakenteista kaivetaan huonoja maa-aineksia pois ja tuodaan hyviä maa-aineksia tilalle, joten on tärkeää, että massatasapaino pystytään laadullisesti hallitsemaan. Massatasapainon hallinta edellyttää, että ei kaiveta liikaa maamassoja pois ja tuoda liikaa uusia maamassoja tilalle. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset asettavat toleranssit, joiden antamissa arvoissa tehtävät toimenpiteet tulee saada toteutettua. *”InfraRYLin sisältötavoitteena on määrittää työn lopputuloksen rakennustekninen laatu. Lähes kaikille lopputuotteille esitetään valmiin rakenteen toleranssit ja yleiset laatuvaatimukset sekä työille että rakennustarvikkeille (materiaalille)”* (Saimia Finna, InfraRyl etusivu, yleistä).

Työnaikaisen laadunvarmistuksen tavoitteena on ennaltaehkäistä virheiden syntyminen. Työmaatoiminnot olisi järjestettävä siten, että koko ajan kyetään varmistamaan tavoiteltavan laadun saavuttaminen. Erikoisen tärkeää tämä on välittömästi tuotantoa ohjaavissa tehtävissä. Paikalleen mittausten tarkkuutta tulisi seurata ja kontrolloida jatkuvasti. Jos työkoneissa käytetään automatisoituja ohjausjärjestelmiä, tulisi myös niiden ohjaustarkkuutta kyetä seuraamaan ja kontrolloimaan. Tarkkuuden ja laadun seurantaan tarvitaan referenssit ja tehtävään soveltuvat vertailumenetelmät. Periaatteessa tuotantoa ohjaavissa tehtävissä käytettävät toleranssit tulisivat olla tiukemmat kuin valmiiden tuotteiden tarkastusmitauksissa vertailukohtana käytettävät toleranssit. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 58.)

#### **4.1 Laadunhallinta ennen ja nyt**

Laadunhallinta ennen koneohjausjärjestelmien käyttöönottoa oli yksinään toimivalle kuljettajalle haasteellista ja siinä kului paljon tehokasta työaika. Esimerkiksi kadunrakennustyömaan maanleikkauksia tehtäessä oikean korkotason pitäminen laatuvaatimuksien mukaisena vaati erillistä mittauksia. Mikäli apumiestä ei ollut saatavilla, piti korkotaso käydä itse mittaamassa ajokepin tai tasolaserin avulla korkokeppeihin merkityn informaation perusteella. Yleensä kiireisen aikataulun aiheuttaman paineen alla korkotason seuraaminen pyrittiinkin tekemään mahdollisimman harvoin. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että luotettiin oman näkökentän antamaan silmämääräiseen informaatioon kauhan sijaintiin korkokeppeihin verrattuna. Pelkkä silmämääräiseen havainnointiin perustuva korkotason varmistus saattoikin aiheuttaa jopa kymmenien senttimetrien eron suunniteltuun korkotasoon verrattuna.

Taulukosta 1 voidaan nähdä Infrarakentamisen yleisten laatuvaatimusten antama tarkkuus ja tasaisuusvaatimus maanleikkaustöille. Toleranssien antamisessa tarkkuusvaatimuksissa voidaan nähdä esimerkiksi, että vaihteluväli on korkeustasossa 0... -100 mm. Kuljettajalle se tarkoittaa, että suunniteltuun leikkaustasoon korkeussuunnassa ei saa jäädä koskaan liikaa poistettavaa maa-ainesta.

TARKASTELTAVA RAKENNE	TARKKUUSVAATIMUS, mm
Leikkausluiskien taitepisteiden sijainti vaakasuunnassa	0...+200
Leikkauspohjan korkeustaso rakennekerrosten alla, yksittäinen poikkeama <sup>1)</sup>	0...-100
Ojan pohjan sijainti vaakasuunnassa	± 150
Ojan pohjan korkeustaso <sup>2)</sup>	0...-100
1) Louhepatjan alla 0...-200 mm	
2) Ojan pohjalle ei saa syntyä yli 50 mm syviä lamikoita	

Taulukko 1. Tarkkuus- ja tasaisuusvaatimukset (InraRyl 2017, Maaleikkaukset ja kaivannot, 11)

Kaivinkoneeseen asennetun koneohjausjärjestelmän yleistymisen kuljettajan apuna on helpottanut edellä mainittujen laatuvaatimusten mukaisen työn toteuttamista. Koneohjausjärjestelmä mahdollistaa kuljettajalle jatkuvan kauhan korkeus- ja sijaintiaseman seurannan, jolloin laadunvalvonta ja toteutumien keräys tapahtuvat reaaliajassa. Huolellinen kuljettaja pystyykin rauhallisesti toimiessaan saavuttamaan jopa +- 10 mm tarkkuuden, joka on erinomainen saavutus maa-aineksien kanssa työskenneltäessä. Seuraavassa taulukossa 2 voidaan vertailuksi myös nähdä vuonna 2014 laadittujen yleisten inframallinnusvaatimusten työkoneautomaatiolta vaadittava tarkkuus maanrakennuksessa.

Rakenneosa	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL)	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL)	Työkoneautomaatiolajärjestelmältä vaadittava tarkkuus XY;Z
	mm	mm	mm
Maaleikkaus, maapenger, tie ja rata	-0 / +200	+0 / -100	+100;+30
Louhepenger	-0 / +200	+0 / -100	+100;+30
Suodatinkerros, tie	-0 / +150	+40	+100;+30
Jakavakerros, tie	-0 / +150	+30	+50;+30
Kantavakerros, tie	-0 / +150	+20	+50;+30
Eristyskerros yläpinta, rata	-0 / +100	+0 / -50	+50;+20

Välikerros yläpin- ta, rata	-0 / +50	+0 / -20	+50;+20
--------------------------------	----------	----------	---------

Taulukko 2. YIV2014 työkoneautomaatiolta vaadittava tarkkuus maanrakennus-työmaalla.

## 4.2 Koneohjauksen laadunhallinta paikannussignaaleja tarkentamalla

Reaaliajassa tapahtuva kauhan korkeus- ja sijaintiasematieto perustuu RTK-GNSS-satelliittipaikannukseen. Tukiaseman tai verkkokorjauspalvelun tuottaman korjaussignaalin avulla työkoneen järjestelmällä saavutetaan senttimetriluokan tarkkuus (Novatron 2018). Seuraavaksi hieman tarkemmin edellä mainituista tukiasema- ja verkkokorjauspalveluista, joita työmaalla voidaan hyödyntää.

### 4.2.1 RTK-mittaus radiotukiaseman avulla

Perinteisessä RTK-mittaustavassa pystytetään itse tukiasema tunnetulle koordinaattipisteelle tai hyödynnetään kiinteää tukiasemaa, joka on sijoitettu esimerkiksi rakennuksen katolle. Tukiasema lähettää liikkuvalla vastaanottimelle eli kairinkoneelle omat koordinaattinsa ja mittaamansa havaintotiedot. Tämän jälkeen liikkuvan vastaanottimen tehtävänä on ratkaista alkutuntemattomat koordinaatit sekä tarvittavat suureet. Ratkaisun kesto riippuu tukiaseman ja vastaanottimen välisestä etäisyydestä, mutta ratkaisu pitäisi tapahtua aina alle minuutissa. (Niskanen 2017, 15.)

Tukiaseman ja liikkuvan paikantimen välille muodostetaan tiedonsiirtoyhteys radiomodeemin tai matkapuhelinverkon avulla, jonka jälkeen liikkuva asema paikantuu reaaliajassa. Matkapuhelinverkon kanssa muodostettu yhteys toimii noin 10 kilometrin säteellä ja 20 kilometrin etäisyydellä vain poikkeuksellisen hyvissä olosuhteissa. Radiomodeemin toimintasäde on enintään kymmenen kilometriä. Menetelmä toimii luotettavasti, kun molemmilla vastaanottimilla on käytössä 6 - 7 yhteistä satelliittia, mutta satelliitteja täytyy olla aina vähintään viisi. (Niskanen 2017, 15 – 16.)

Radiotukiasemat ovat yleisempiä laajoilla työmailla, joissa on useita koneita. Tästä syntyy kustannussäästöjä VRS-verkkoon verrattuna ja lisäksi radiotuki- asema on täysin riippumaton verrattuna matkapuhelinverkkoon, jossa saattaa olla operaattorikohtaisia ongelmia. Radion kanssa hyvissä olosuhteissa kantama on noin 4–5 km suuntaansa ja matkapuhelinverkkoa käytettäessä tarkkuus huonee noin 1,5 cm/10 km. Periaatteessa matkapuhelinverkon kautta siirrettynä kantama on rajaton mutta tarkkuus maanrakennukseen riittävä vain alle 20 km säteellä. Matkapuhelimillakin kuuluvuus voi vaihdella etäisyyden kasvaessa tukiasemiin erilaisten esteiden, kuten puuston ja mäkien vaikutuksesta. Siksi myös maanrakennuksessa matkapuhelinverkon kautta paikannussignaalin tarkkuus heikkenee. RTK FIX ratkaisuun tarvitaan vähintään 5 yhteistä satelliittia. (Virtanen 2018.)

Kiinteän tukiaseman etuihin kuuluu helppo sijainnin ymmärrettävyys ja mittausten toistettavuus, kun kiinteää tukiasemaa ei ole liikutettu pisteeltään. Tukiasemakaluston kustannukset ja aika, joka kuluu uuden tukiaseman asettamiseen, ovat kiinteän tukiaseman heikkoja puolia. (Niskanen 2017, 16.)



Kuva 5. Kiinteä tukiasema kadunrakennustyömaalla (Veijo Rasanen)



#### **4.2.2 Verkko-RTK-mittaus**

Verkko-RTK-mittaus hyödyntää yhden tukiaseman sijaan tukiasemaverkostoa. Tukiasemaverkon ansiosta mittauksesta saadaan luotettavampaa ja etäisyyksiä tukiasemiin voidaan kasvattaa. VRS (Virtual Reference Station) tarkoittaa virtuaalista tukiasemajärjestelmää, joka sisältää vastaanottimen varusteineen, ohjelmiston ja tiedonsiirtotekniikan kokonaisuudessaan. Paikannus tapahtuu, kun kiinteät tukiasemat lähettävät satelliittitietonsa laskentakeskukseen. Myös liikkuva paikannin lähettää likimääräisen sijaintinsa laskentakeskukseen matkapuhelinverkon avulla. Laskentakeskus muodostaa saatujen paikkatietojen avulla liikkuvan paikantimen lähelle virtuaalista tukiasemaa ja lähettää korjausdataa liikkuvaan paikantimeen. Kun liikkuvan paikantimen sijainti muuttuu yli 5 kilometrin etäisyydelle virtuaalisesta tukiasemasta, laskentakeskus laskee uuden virtuaalisen tukiaseman paikantimen viereen. (Niskanen 2017, 16.)

#### **4.3 Laadunhallinnalliset pistokoemittaukset**

Lopullinen pistokoeluontoinen laadunhallinnallinen mittaus eli tarkemittaus toteutetaan yleensä työmaan mittamiehen toimesta. Koneohjauksen ansiosta tarkemittauskertoja on pystytty vähentämään ja mittamiehen työnkuvaa muuttamaan. Robottitakymetrin avulla hän pystyy ottamaan millimetrin tarkkuudella olevan sijainnin suunnitellusta rakenteesta. Mikäli poikkeamia ilmenee, hän informoi kairinkoneenkuljettajaa ja tarvittava korjaus voidaan toteuttaa. Kadunpohjarakenteissa maa-aineksille on sallittu käytännössä  $\pm 20$  mm virhemarginaali ja tuohon lukemaan olen koneenkuljettajana onnistunut maarakenteiden teossa pääsemään koneohjauksen avulla.

### **5 Kustannushallinta koneohjausta apuna käyttäen**

#### **5.1 Kustannusseuranta**

Rakentaminen on toimintaa, jossa kustannusseuranta on jokapäiväistä. Maanrakennuksessa kuin myös talonrakennuksessa työntekijöiden ja työnjohdon tulee

kiinnittää huomiota siihen, että projekti toteutetaan mahdollisimman kustannus-  
tehokkaasti laadusta tinkimättä. Maanrakennuksessa maa-ainesten kaivaminen,  
tasoittaminen ja tiivistäminen sekä maa-ainesten kuljetus muodostavat suurim-  
man osan rakennuskustannuksista.

Kustannusten ohjauksessa työmaan kannalta oleellista olisi, että työkokonai-  
suuksien toteutuneita kustannuksia voidaan määrittää luotettavammin ja niitä voi-  
daan edelleen verrata tavoitebudjettiin. Kehittyneessä automaatiossa työkonei-  
den ja materiaalsiirtojen ohjauksjärjestelmien hyödyntäminen koko prosessissa  
mahdollistaa työ- ja materiaalmäärien toteutumaseurannan miltei reaaliajassa.  
Tiedot on mahdollista tallentaa päivittäin ja mittausjärjestelmistä voidaan luoda  
suorat yhteydet myös laskutukseen. (Heikkilä & Jaakkola 2004, 58.)

Koska koneohjauksen yleistyminen mahdollistaa reaaliaikaisen korkotason seu-  
rannan kaivinkoneenkuljettajalle, on esimerkiksi ylimääräistä maamassan kaivua  
pystytty huomattavasti vähentämään. Ylimääräinen pohjamaan kaivu suunnitel-  
lun leikkaustason alapuolelle, esimerkiksi kadun rakennekerroksia toteutetta-  
essa, on saattanut aiheuttaa helposti suuria lisäkustannuksia. Yleensä pois kai-  
vettu maa-aines on routivaa ja sen tilalle tuodaan routimattomia maa-aineksia  
esimerkiksi hiekkaa, soraa tai erilaisia murskeita.

## **5.2 Esimerkkilaskelmia koneohjauksen tuomasta kustannussäästöstä**

Seuraavassa esimerkkilaskelmassa esille tulee, kuinka paljon kustannuksia ai-  
heuttaa 10 cm:n ylisyvään kaivaminen katutyömaalla 1000 m<sup>2</sup>:n suuruiselta alu-  
eelta. Laskelmassa käytän hinnastona pääkaupunkiseudun keskimääräisiä suo-  
ritehintoja tilavuuskaivulle ja soratäytölle tammikuussa 2018 (FMC Laskentapal-  
velut 2018, 14).

Poistettava maa-aines on esimerkiksi silttiä ja se kaivetaan viereen, eli ei kulje-  
teta pois. Kaivuutyö maksaa 3,16 euroa / m<sup>3</sup>ktr.  $1000 \text{ m}^2 * 0,10 \text{ m} = 100 \text{ m}^3\text{ktr}$ .  
 $3,16 \text{ euroa} / \text{m}^3\text{ktr} * 100 \text{ m}^3\text{ktr} = 316 \text{ euroa}$ , joka on ylikaivuun kustannus.

Ylisyvään kaivetulle alueelle tuodaan täytteeksi soraa. Täytesoran hinta on kulje-  
tettuna ja levitettynä 22,10 euroa / m<sup>3</sup>rtr. Soratäytön hinnaksi saadaan  $100 \text{ m}^3\text{rtr}$

\*  $22,10 \text{ euroa} / \text{m}^3\text{rtr} = 2210 \text{ euroa}$ . Ylikaivuun kokonaiskustannukseksi  $1000 \text{ m}^2$ :n alueella tulee siis kaikkiaan 2526 euroa.

Edellä esitetty laskelma osoittaa, kuinka helposti kustannukset voivat nousta, jos tehdään ylimääräistä kaivutyötä. Koneohjausjärjestelmän ansiosta ylimääräinen maamassojen kaivaminen on saatu vähenemään, koska kuljettaja pystyy koko ajan itse seuraamaan suunniteltua korkotasoa ja omalta osaltaan hallitsemaan kustannuksia.

Koneohjausjärjestelmän ansiosta saavutetaan säästöä myös muissakin asioissa kuin ainoastaan maa-aineksissa. Kustannussäästöä voidaan saada esimerkiksi kaivinkoneen polttoaineissa, maa-ainesten kuljetuskaluston polttoaineissa, mittaustyön ajankäytön tehostamisessa, maanrakennustyöntekijöiden työajan tehostamisessa sekä työnjohdon työtehtävien muutoksessa.

Polttoainesäästöä kaivinkoneelle saadaan, kun turha kaivutyö saadaan rajattua pois. Esimerkiksi 24t työpainoisella telakaivinkoneella, jolla polttoaineenkulutus on noin 14 litraa tunnissa, tunnin ylimääräisen työn vähentämisellä työpäivän aikana, voidaan polttoainekustannuksissa säästää noin 14 € moottoripolttoöljyn hinnan ollessa noin 1 €/litra. Tämän säästön aikaansaaminen 20 työpäivänä kuukaudessa tekee siis 240 € säästöä kuukaudessa. Lisäksi maa-ainesten kuljetusten vähentyessä kuorma-autojen turha polttoaineen kulutus laskee myös.

Mittaustyössä koneohjaustyömaalla verrattuna perinteiseen työmaamittaukseen jää 4 mittaus- ja kepityskertaa pois esimerkiksi aikaisemmin mainitulla  $1000 \text{ m}^2$ :n katualueella. Mittaustyön hinta on 55 €/h ilman arvonlisäveroa sekä mahdolliset kilometrikorvaukset (Koillismittaus 2018). Alueen mittauksissa ja kepityksissä menee noin 1h/kerta. Kokonaiskustannussäästöksi tulee siis tuolle alueelle 220 euroa.

Koneohjatulla työmaalla maanrakennustyöntekijöiden ei tarvitse olla jatkuvasti kaivinkoneenkuljettajan apuna koron mittauksessa. Korkomittauksen sijaan he voivat tehdä valmistelevia töitä, esimerkiksi siirtää tarvittavia putkimateriaaleja lähemmäksi putkikanaaleja tai täyttövaiheessa tiivistää kaivantoon tuotavia maa-aineksia.

## 6 Koneohjauksen hyödyt työturvallisuuden kehitykselle

Työturvallisuus on nykyisin todella tärkeää. Jokaisella työmaan työntekijällä on oikeus lähteä kotiin yhtä terveenä kuin on töihin tullutkin. Maa- ja vesirakennustyömailla käytössä on niin sanottu MVR-mittari. Siinä havainnoitavia asioita ovat muun muassa:

- työskentely ja koneenkäyttö
- kalusto
- suojaukset ja varoalueet
- ajo- ja kulkuväylät
- järjestys ja varastointi.

MVR-mittarin avulla voidaan maanrakennustyömaalla suorittaa lakisääteiset kunnossapitotarkastukset. Tarkastuksen tekijä havainnoi koko maanrakennustyömaan pienissä alueissa kerrallaan vakiolomaketta käyttäen tekemällä tukkimiehenkirjanpidolla kunnossa tai korjattavaa- merkintöjä keskeisistä työtapaturmaan vaikuttavista asioista. Havaintojen perusteella työmaalle määritetään MVR-taso, joka kertoo kunnossa olevien asioiden suhteen kaikkiin tehtyihin havaintoihin. Mikäli kaikki havainnoitavat asiat ovat tarkastuksen aikana kunnossa, MVR-taso on sata prosenttia. (Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu 2018)

### **Koneohjaus ja työturvallisuus**

Koneohjauksen yleistyminen on tuonut mukanaan monia työturvallisuutta lisääviä näkökohtia. Kuljettaja joutui ennen poistumaan koneen ohjaamosta useasti, koska hänen täytyi välillä käydä mittaamassa tasolaserin tai ajokepin avulla kaivettavan tai muotoiltavan alueen korkotasoa. Ohjaamosta poistuminen tai sinne nouseminen aiheutti monesti virheliikkeitä, jotka tuntuivat kuljettajan kehossa. Erilaiset liukastumiset ja pienet venähdykset olivat hyvin yleisiä. Itsekin koneeseen noustessa olen joutunut välilevyn pullistuman kokemaan. Koneohjauksen yleistyminen on vähentänyt poistumistarvetta ohjaamosta ja näin ollen vähentänyt edellä mainittuja työtapaturmia.

Työskenneltäessä maanrakennustyöntekijöiden kanssa, esimerkiksi kunnallisteknisiä kaivantoja tehtäessä, on työturvallisuus parantunut myös heidän osaltaan, koska heidän ei tarvitse jatkuvasti oleskella kaivannossa kaivinkoneen kauhan työskentelyalueella seuraamassa korkotasoa. Kuljettajan kaivaessa he pysyvät valmistelemaan tarvikkeita lähemmäksi asennusta varten. Kun kuljettaja on esimerkiksi saanut putkiarinan korkotason valmisteltua tiivistystyötä varten, hän voi antaa luvan työpareilleen tulla kauhan työskentelyalueelle.

Kaivantoturvallisuus on todella tärkeää maansiirtotyömailla ja koneohjaus on osaltaan parantanut sitä. Kaivannot voidaan luiskata koneohjauksen avulla suunniteltuun kaltevuuteen, mikäli maalaji ja työkohde sen mahdollistavat. Kaivantuentoja käytettäessäkin kuljettaja pystyy itsenäisemmin seuraamaan korkotasoa, ilman apua. Tietysti mikäli olemassa olevia kunnallisteknisiä linjoja tai kaapelointeja on kaivettava esille, täytyy työparin olla kauhan lähetyillä apuna tekemässä havaintoja ja viimeistelemässä lapiotyönä esille kaivaminen.

## **7 Kehitysehdotukset laitevalmistajalle**

Minulla on ollut mahdollisuus käyttää kolmen laitevalmistajan koneohjausjärjestelmiä. Laitevalmistajia ovat olleet TopCon, Leica ja Novatron. Eniten olen saanut työskennellä suomalaisella Novatronin valmistamalla laitteistolla. Siksi tämän luvun kehitysehdotukset koskevat Novatronin laitteistoa.

Laitteistoa käytettäessä on esille noussut muutamia mahdollisia käyttäjää helpottavia parannusehdotuksia. Yksittäinen kuljettaja ei niitä voi toteuttaa, mutta yhteistyössä laitevalmistajan ohjelmoitsijoiden kanssa ne saattaisivat olla mahdollisia.

Ensimmäinen kehitettävä kohde on viesti-kenttä, joka ilmoittaisi päivitetyistä suunnitelmista, jotka on lähetetty kaivinkoneen järjestelmään. Mittamies tai suunnitelmatietojen jalostaja joutuu aina työmaan aikana päivittämään tietokoneellaan suunnitelmia, joita lähettää sitten työmaalla työskenteleville koneille päivitettyinä. Usein mittamies ei ehdi ilmoittaa puhelimella kuljettajille lähettämistään päivityksistä, joten ruudulle ilmestyvä viesti päivitetyistä suunnitelmista olisi tarpeellinen tieto.

Toinen kehitettävä kohde on pikanäppäin käytettävälle koordinaattijärjestelmälle. Varsinkin pyöräalustaisella kaivinkoneella tai pyöräkuormaajalla voi joutua liikkumaan eri työmaiden välillä, joilla on käytössä eri koordinaattijärjestelmä. Sama tilanne voi tulla eteen myös tela-alustaisella kaivinkoneella työmaata vaihdettaessa. Eteen on tullut tilanteita, joissa koordinaattijärjestelmä ei vaihdu uutta työmaatietoa ladattaessa, eikä mittamies aina muista siitä ilmoittaa. Mikäli koordinaattijärjestelmää ei vaihda, voidaan vahingossa tehdä rakenteita väärään korkoon ja joutua tekemään ne uudestaan.

Kolmanneksi kehitettävä kohde on pikanäppäin kauhan vaihdolle, jotta sitä ei tarvitsisi etsiä 2D-valikon kautta. Lisäksi olisi hyvä, jos järjestelmä hälyttäisi kauhanvaihdosta yhdessä kauhanvaihdon lukituksen kanssa, jotta ei tapahtuisi kuljettajan huomaamatta korkotason muutoksia kaivettavalla tai tasoitettavalla alueella, koska eri kauhojen mitat vaihtelevat. Myös jonkinlainen vilkkuva symboli näytöllä auttaisi huomioimaan kauhan vaihdon. Nykyään saattaa kuljettaja kaivaa toisella kauhalla huomaamattaan väärään korkotasoon, mikäli tulee nopeita kauhanvaihtotilanteita eteen.

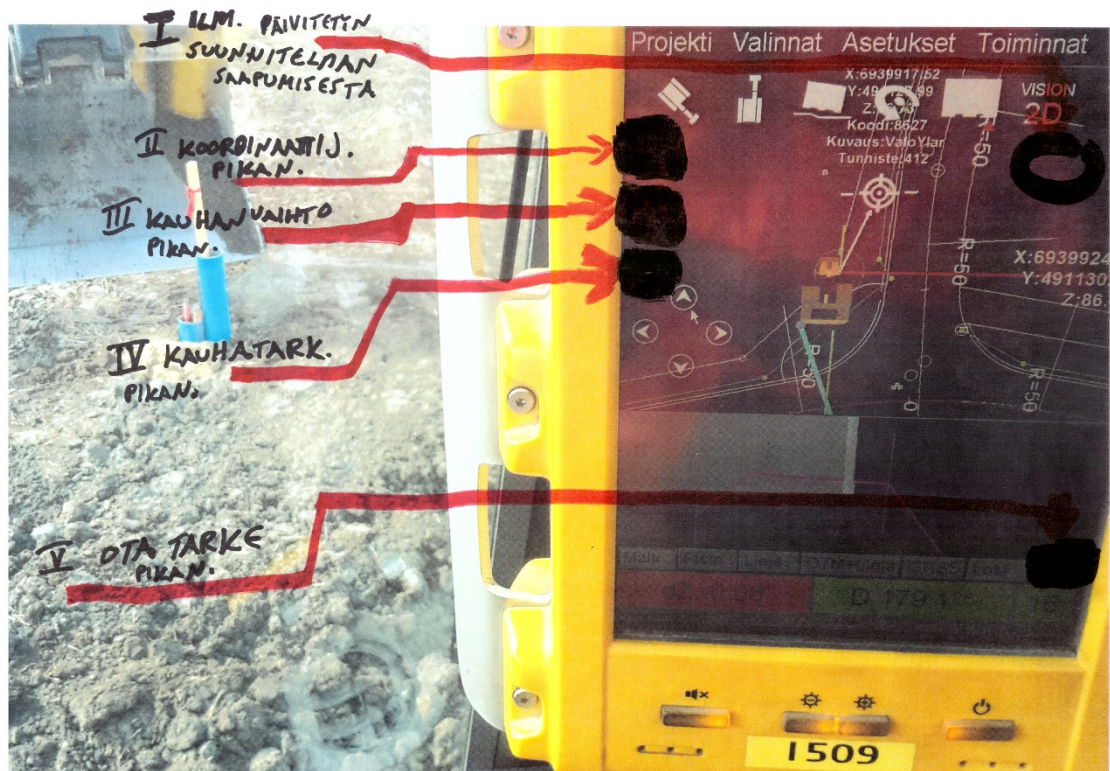
Neljäntenä kehittämiskohteena on laitteistoa käytettäessä noussut esiin pikanäppäin kauhan tarkistusta varten, koska kauhan koordinaattiasetukset on tärkeää tarkistaa päivittäin. Kun tarvittava näppäin on helposti löydettävissä, jää turha valikoiden availu pois.

Viidenneksi kehittämiskohteeksi on noussut mahdollisten tarkepisteiden ottamista varten selkeä näppäin myös niille. Tällä hetkellä tarkepistepisteen ottaminen tapahtuu satelliittimäärän osoittamaa näppäintä käyttäen, mutta sillä kohdalla voisi lukea myös pelkästään ”ota tarke”.

Kuudentena kehittämiskohteena on mahdollisuus pitää työaikakirjanpitoa koneen tietokoneella, koska välillä voi joutua urakassa tekemään myös tuntiveloitettavia töitä. Se voisi olla oma osansa toiminnat-valikossa. Työaikakirjanpitoon kuljettaja voisi merkitä tarvittaessa eri työvaiheisiin kuluneita aikoja, jotta erillistä paperista kirjanpitoa ei tarvitsisi pitää. Työnjohtohan pystyy jo seuraamaan etäyhteydellä koneiden toimintaa työmaalla, mutta kuljettajakin voisi mielellään pitää kirjanpitoa koneessa olevalla koneohjauksen tietokoneella.

Tulevaisuudessa varmaankin koneen ohjaamossa olevan näyttöruudun koko tulee keventymään tablettitietokonemaisempaan suuntaan. Näyttöruudun keventymisen avulla sen siirrettävyyttä saman urakoitsijan eri koneiden välillä voitaisiin lisätä ja mahdollista käyttöä työmaahan tutustumiseen ilman kaivinkonetta hyödyntämään. Kauhapyöryksentunnistuskin tulee vielä varmasti kehittymään varmatoimisemmaksi kuin tällä hetkellä käytössä olevat kokeiluversiot.

Kuvassa 6 on koneohjauksen näyttö, johon on merkitty edellä selostetut kehittämiskohteet.



Kuva 6. Koneohjauksen näyttö ja ehdotukset pikanäppäinten sijainnille (Veijo Rasanen)

## 8 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä opinnäytetyössä on perehdytty kuljettajan näkökulmasta 3D-koneohjausjärjestelmän käyttöön kaivinkoneessa. Näkökulmat ovat painottuneet työnjohtokoulutuksessa painotettuihin työnjohtajan toimenkuvassa seurattaviin asioihin. Näkökulmat ovat olleet aikatauluhallinta, laadunhallinta, kustannushallinta

sekä työturvallisuuden kehittyminen. Lisäksi on esitelty koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatetta sekä esitetty muutamia järjestelmän kehitysehdotuksia yhdelle laitevalmistajalle helpottamaan laitteiston käyttöä.

Opinnäytetyöprosessin aikana olen saanut syventää omaa tietämystäni koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteesta ja sen tuomista huomattavista käytännön hyödyistä kaivinkoneenkuljettajalle, joka monesti on koneen omistaja, sekä koko maanrakennusprosessille. Järjestelmän hankintahinta, noin 30000 €, saattaa aluksi tuntua korkealta, mutta tekemieni yksinkertaisten esimerkkilaskelmien perusteella yksi iso kymmenien tuhansien neliöiden maansiirtotyömaa pystyy tuomaan sen hankintahinnan koneurakoitsijalle takaisin säästyneinä rakennuskustannuksina.

3D-koneohjausjärjestelmät eri valmistajien toimesta eivät enää katoa maanrakennustyömailta, vaan ovat oleellinen osa koko maanrakennustyömaan läpiviemistä. Laitteistoja kehitetään koko ajan, jotta ne palvelevat entistä enemmän koko rakentamisen ketjua. Koneohjausjärjestelmä on yksi osa koko rakennusprosessin tietomallintamista, jolla pystytään palvelemaan koko hankkeen elinkaarta.

Koneohjausjärjestelmästä saatava hyöty vaatii koko maanrakennusprojektissa olevien osapuolten yhteistyötä alkaen tilaajasta. Koneenkuljettajalla edessään oleva työmaan suunnitelmatieto täytyy pystyä pitämään yksinkertaisesti luettavana, koska liiallinen informaatio hidastaa kuljettajan työskentelyä. Esimerkiksi koko ison työmaan informaation ollessa kuljettajan käytettävissä, hänellä menee aikaa oikeiden tietojen valintaan näytöltä. Tämän vuoksi olisikin suotavaa, että suunnitelmätiedon käsittelijä lähettäisikin tietoa koneille työpiste kerrallaan. Eri-tyisesti suunnittelijoille ja mittamiehille, jotka muokkaavat työmaasuunnitelmat koneohjausmalliksi, koneohjausmallin kuljettajanäkymän pitäminen työvaiheittain selkeänä on haaste.



## **Kuvat**

Kuva 1. Koneohjauksen komponentit kaivinkoneessa, s.7, (Novatron.fi)

Kuva 2. XYZ- koordinaatit kaivinkoneenkuljettajan silmin, s.8

Kuva 3. Perinteinen maanrakennusprosessi, s. 10, (Jussi Kauppinen, Kustannustehokas suuntima-anturi kaivinkoneen työohjaukseen, Diplomityö 2010, Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2)

Kuva 4. Moderni maanrakennusprosessi, s. 11, (Jussi Kauppinen, Kustannustehokas suuntima-anturi kaivinkoneen työohjaukseen, Diplomityö 2010, Tampereen Teknillinen Yliopisto, 2)

Kuva 5. Kiinteä tukiasema kadunrakennustyömaalla, s. 15

Kuva 6. Koneohjauksen näyttöyksikkö kehitysehdotuksin, s. 21

## **Taulukot**

Taulukko 1. Maanrakennuksen tarkkuus- ja tasaisuusvaatimukset, s.12, InfraRyl 2017/1, 11.5.2017, s. 11

Taulukko 2. YIV2014 tarkkuusvaatimukset koneohjausjärjestelmille, s. 13, Toni Ahonen, Tietomallipohjainen koneohjaus työmaalla, Insinööriö 2015 s.18

## Lähteet

Ahonen, T. 2015. Tietomallipohjainen koneohjaus työmaalla. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu

FMC Laskentapalvelut. Hintaraportti. Suoritteet pääkaupunkiseutu. Rakennuslehti nro 7. sivu 14. 23.2.2018

Heikkilä, R. & Jaakkola, M. 2004. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Tiehallinnon selvityksiä 61/2004

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2017. Maaleikkaukset ja kaivannot

Kauppinen, J. 2010. Kustannustehokas suuntima-anturi kaivinkoneen työnhjaukseen. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto

Koillismittaus 2018. Listahinnat. [www.koillismittaus.fi/hinnasto](http://www.koillismittaus.fi/hinnasto)

Nieminen, J-M. 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. Opinnäytetyö. Saimaan Ammattikorkeakoulu

Niskanen, M. 2017. Koneohjauksen perusteet ja koneohjausmallin luominen. Opinnäytetyö. Savonia-Ammattikorkeakoulu

Novatron 2018. Mitä on koneohjaus. <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus>. luettu 21.1.2018

Saimia Finna 2018. InfraRyl-palvelu. <https://ezproxy.saimia.fi:2076/infra-ryl/extra/yleista.html.stx>

Tanska, H. 2013. Tietomallintaminen Espoon pilottikohteessa 2013. haastattelu. [www.youtube.com/watch?v=VzQiHibuPYo](http://www.youtube.com/watch?v=VzQiHibuPYo)

Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu 2018. MVR-mittari. <http://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/tyoolosuohdemittarit/mvr-mittari>

Virtanen, T. Tuotepäällikkö. Novatron Oy. haastattelu. 6.3.2018