



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# KONEOHJAUSJÄRJESTELMIEN HYÖDYNTÄMINEN MAANTII- VISTÄMISESSÄ

TEKIJÄ/T: Sannika Lahti

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Sannika Lahti	
Työn nimi Koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen maantiivistämisessä	
Päiväys 22.05.2020	Sivumäärä/Liitteet 23
Ohjaaja(t) Juha Pakarinen, tuntiopettaja ja Kai Auvinen, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Avesco Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>3D-koneohjausjärjestelmät ovat nykypäivänä olennainen osa rakentamista, varsinkin väylärakentamisessa. Opinnäytetyössä esitellään mitä on maantiivistäminen käytännössä ja mitä hyötyä 3D-koneohjausjärjestelmistä on maantiivistystyössä. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuoda esiin mitä tietoa tiivistystyöstä saadaan koneohjausjärjestelmää käyttäen.</p> <p>Opinnäytetyö suoritettiin VT5 Juva-Nuutilanmäki työmaalla ja työssä käytettiin Trimblen 3D-koneohjausjärjestelmää Maanrakennus V.Inola Oy:n valssijyrässä ja seurattiin mitä tietoa järjestelmästä saatiin ja mitä hyötyä saaduista tiedoista oli. Aineiston keräämiseen on käytetty internet lähteitä, Avesco Oy:n ja Sitech Finlandin työntekijöiden haastatteluja ja omia käyttökokemuksia.</p> <p>Opinnäytetyössä tuotiin esille koneohjausjärjestelmän hyötyjä ja kehitettäviä asioita, joilla järjestelmästä saataisiin vielä luotettavampi. Koneohjausjärjestelmän ansiosta tiivistystyö voidaan dokumentoida koko tiivistettävältä alueelta. Koneohjaus kertoo tiivistettävän kerroksen tiiveydestä ja painumasta, sekä laskee yliajokerrat ajon aikana. Nyt järjestelmä ei huomioi muiden koneiden ajoa tiivistettävällä alueella ja niiden ajon aiheuttama tiiveys jää mittaamatta, siinä olisi vielä kehitettävää.</p>	
Avainsanat maarakennus, tiivistys, koneoppiminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Building and Structural Engineering			
Author(s) Sannika Lahti			
Title of Thesis Benefits of Machine Control System in Soil Compaction			
Date	May 22, 2020	Pages/Appendices	23
Supervisor(s) Mr Juha Pakarinen, Lecturer and Mr Kai Auvinen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Avesco Oy			
<b>Abstract</b> <p>The aim of this final year project was to present soil compaction in practise as well as benefits of machine control system for soil compaction work. The aim was to bring out what information about soil compaction can be obtained using a machine control system. Today 3D-machine control systems are an essential part of construction, especially in road construction.</p> <p>The project was carried out VT5 Juva – Nuutilanmäki site and Trimble 3D machine control system was used in a roller compactor owned by Maanrakennus V.Inola Oy. With the equipment it was monitored what kind of information the system provided and what were the benefits from the information. The material used in this thesis was gathered from internet sources and by interviewing the staff of the companies Avesco Oy and Sitech Finland.</p> <p>As a result of this project, the benefits of the machine control system were brought up as well as the things that need to be developed to make the system more reliable. Thanks to the machine control system, the soil compaction work can be documented for the entire area, where soil compaction is done. The machine control system tells about the tightness and sag of the layer to be compacted and calculates the overrun times while driving. Now although the system does not take into account the other machines driving in the area and the tightness caused by them remains unmeasured, there is still room for improvement.</p>			
<b>Keywords</b> earth construction, compaction, machine learning			

## SISÄLTÖ

LYHENTEET.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 MAANTIIVISTYS .....	7
2.1 Maantiivistyksen tarkoitus.....	7
2.2 Tiivistyskalusto, jossa hyödynnetään koneohjausjärjestelmiä .....	7
2.3 Muita tiivistysmenetelmiä .....	8
3 KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT .....	10
3.1 Koneohjausjärjestelmien tarkoitus.....	10
3.2 Toimintaperiaate.....	11
4 3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN HYÖDYT MAANTIIVISTÄMISESSÄ .....	12
5 POHDINTA.....	21
LÄHTEET .....	23

## Lyhenteet

CMV (Compaction Meter Value) = Tiivistysmittarin arvo, kertoo tiivistettävän maarakenteen tiiveydestä. Mitä tiiviimpää maaperä on, sitä suurempi on CMV-arvo. Saadaan jyrässä olevasta mittalaitteesta.

MDP (Machine Drive Power) = MDP-arvo saadaan jyrän omasta mittarista. Sen avulla voidaan arvioida maaperän tiiveyttä ja kantavuutta. Arvo itsessään mittaa energiaa, jonka valssijyrä tarvitsee liikkeessaan maaperän yli. Mitä pehmeämpi maaperä, sitä enemmän energiaa jyrä tarvitsee kulkiesaan yli.

RTK-GNSS (Real Time Global Navigation Satellite System)= Paikallinen GNSS-tukiasema lähettää tietoa liikkuvalla mittausyksikölle, tarkan GNSS-paikannuksen menetelmä. [3]

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni idea lähti vuonna 2016 kun aloitin työskentelemään Jännevirran siltatyömaalla Maanrakennus V.Inola Oy:ssä. Aloitin urani maarakennusalalla valssijyrän ratissa opetellen samalla käyttämään 3D-koneohjausjärjestelmää. Koneohjausjärjestelmää opetellessa tehtiin yhteistyötä Avesco Oy:n ja Sitech Finlandin kanssa ja Avesco Oy:stä tulikin opinnäytetyöni tilaaja.

Maantiivistäminen on olennainen osa rakentamista, varsinkin väylähankkeilla tiivistyksen tärkeys korostuu. Teiden rakentamisessa eri kerrosten oikeaoppinen tiivistäminen parantaa teiden käyttöikää ja siihen tulisi kiinnittää enemmän huomiota, mitä nykypäivänä kiinnitetään. "The road is only as good as the weakest layer". (Norbert Mattivi – CCS Compaction Control System, Intelligent Soil Compaction)

Koneohjausjärjestelmien avulla maantiivistämisen valvominen on helpompaa ja tiivistämisen laatu paranee. Järjestelmät helpottavat koneen käyttäjää ja urakoitsijaa, kun ei tarvitse arvailla onko kaikki tarvittavat alueet tiivistetty, onko yliajokertojen määrä tarpeeksi ja ovatko ne tarpeeksi tiivistyneet.

Opinnäytetyössä kuvataan koneohjausjärjestelmien hyötyjä maantiivistämisessä, käyttäen Caterpillarin valssijyrää johon on asennettu Trimblen koneohjausjärjestelmä. Tätä GNSS-jyrää käytettiin VT5 Juva-Nuutilanmäki työmaalla, jossa pääurakoitsijana toimii Kreate Oy ja aliurakoitsijana Maanrakennus V.Inola Oy.

Tässä opinnäytetyössä esitellään ensin lyhyesti, mitä on maantiivistäminen ja mitä ovat koneohjausjärjestelmät. Näiden kahden osion jälkeen paneudutaan siihen, mitä hyötyä koneohjausjärjestelmästä on maantiivistämisessä.

## 2 MAANTIIVISTYS

### 2.1 Maantiivistyksen tarkoitus

Maantiivistäminen on yksi tärkeimpiä työvaiheita. Sitä käytetään maarakennushankkeissa ja myöskin useissa talonrakennushankkeissa. Maantiivistäminen vaikuttaa tehtyjen rakenteiden käyttöikään ja kestävyys. Rakenteissa, joiden päälle tulee päälle vielä jatkuva kuormitus, maantiivistäminen parantaa rakenteen kantavuutta.

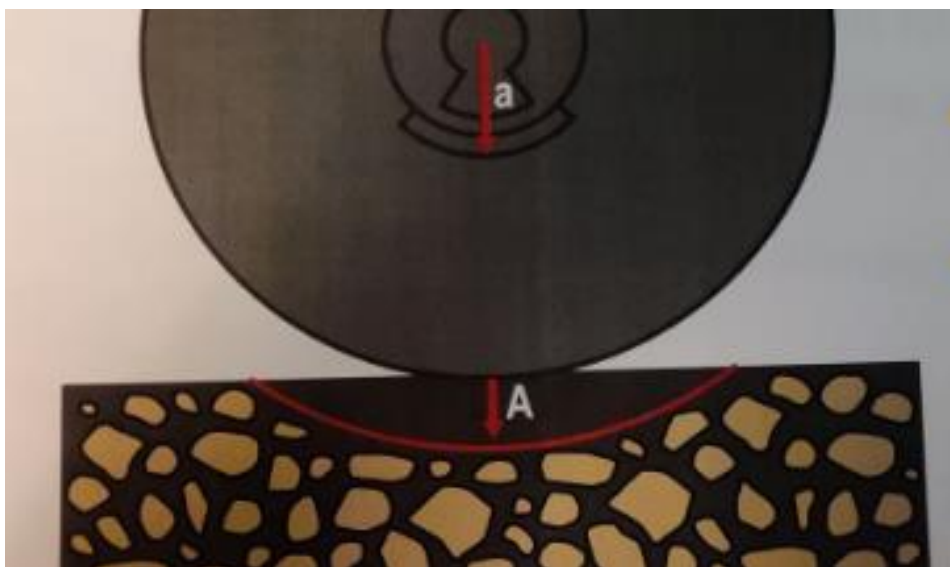
Rakennekerrokset tulee tiivistää tarpeeksi ohuina ja tasaisina kerroksina. Kerroksien kasteleminen vedellä parantaa maantiivistämisen tuloksia. Kerrospaksuus valitaan käytettävän materiaalin mukaan. [5]

### 2.2 Tiivistyskalusto, jossa hyödynnetään koneohjausjärjestelmää

Valssijyrät ovat maantiivistämisessä tehokkaita koneita ja niitä on saatavilla kohteen tarpeesta riippuen useaa eri kokoluokkaa. Valssijyriin on saatavilla koneohjausjärjestelmät, joiden avulla maantiivistäminen tapahtuu kaikista tehokkaimmin.

Valssissa värähtely tapahtuu kohtisuoraan rakennekerrosta kohtaan. Värähtelyn taajuutta ja pituutta on mahdollista säädellä. Pehmeää maaperää tiivistettäessä käytetään pitkää iskua ja matalaa taajuutta ja kovempaa maaperää tiivistäessä iskun tulee olla lyhyt ja taajuuden suurempi.

(KUVA 1)



KUVA 1 Värähtelyn suunta [5]

### 2.3 Perinteiset mittausmenetelmät

Perinteisiä menetelmiä maan kantavuuden mittaamiseen on useita, mutta yleisimmin Suomessa käytetyt menetelmät ovat levypainokoe, loadman ja troxler. Yleisimmin kuitenkin käytetään levypainokoea, sitä näkee suurilla väylätyömailla käytössä.

Levypainokokeella mitataan rakenteen kantavuutta ja se perustuu rakenteen painumaan kuormitetun levyn alla. 300 mm halkaisijaltaan oleva levy asetetaan merkittyyn mittauspisteeseen. Vastapainona toimii usein jokin suurempi maarakennuskone, esimerkiksi kaivinkone, pyöräkone tai valssijyrä. Hydraulisen tunkin avulla levyä lähdetään kuormittamaan ja mittakellot laskevat levyn alla tapahtunutta painumaa. Koe suoritetaan kahteen otteeseen tarkimman tuloksen saavuttamiseksi.

Loadman on kevyt pudotuspainolaite, jolla mitataan maaperän kantavuutta. Loadmanissa itsessään on vapaasti putoava paino ja painon tippuessa maahan, rakenteeseen syntyy kuormitusta. Pudotuspainosta syntyvästä painumasta, lasketaan rakenteen E-arvo. Loadman ilmoittaa arvon suoraan omasta näytöstään.



KUVA 2 Kevyt pudotuspainolaite Loadman (AL-Engineering Oy, 2009)



Troxler-laitteiden käyttö on vähentynyt, sillä niiden käyttö perustuu gamma-säteilyyn.

Troxler-laitteen avulla voidaan selvittää maaperän vesipitoisuus, sekä kuiva- ja märkätiheys. Tämän niin kutsutun radiometrisen mittalaitteen toiminta perustuu gamma-säteilyn vaimenemiseen mitattavassa maassa ja neutronisäteilyn takaisin sirontaan maassa olevasta vedestä. [6]

### 3 3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄT

#### 3.1 3D-Koneohjausjärjestelmien tarkoitus

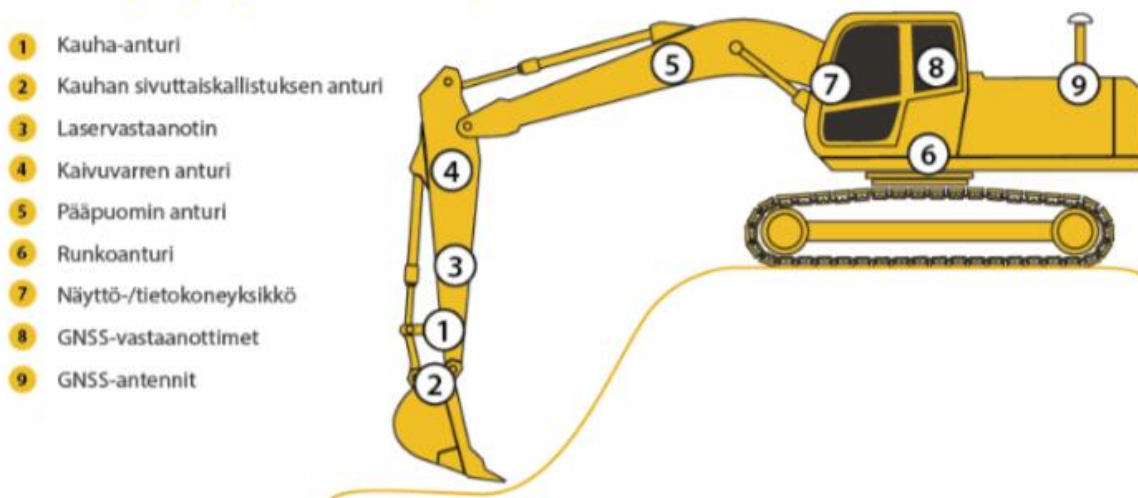
3D-koneohjausjärjestelmien suosio maailmalla on kasvanut. Suomessa eniten käytetyt koneohjausjärjestelmät ovat Trimble, Novatron ja Leica. Trimble on amerikkalainen, Novatron kotimainen ja Leica hyödyntää sveitsiläistä teknologiaa.

Koneohjausjärjestelmät helpottavat urakoitsijoiden ja koneenkuljettajien työtä ja tekevät koko maanrakennusprosessista tehokkaampaa. Kuljettajilla on koneohjausjärjestelmien ansiosta jatkuvasti korot ja sijainnit tiedossa, eikä maastoon tarvita ylimääräisiä maastomerkintöjä. [1]

Koneohjausjärjestelmien avulla minimoidaan turhat massansiirrot ja maanleikkaustyöt pois ja sen ansiosta massatalous on tehokasta. Kun ylimääräiset massansiirrot ja koneiden liikkeet saadaan karistettua, työ on kustannustehokkaampaa. Polttoainetta kuluu työkoneissa vähemmän, työtunnit ovat tehokkaampia ja materiaaleja ei mene hukkaan. Koneohjausjärjestelmät parantavat myös merkittävästi työturvallisuutta, sillä mittamiesten ja perämiesten ei tarvitse kulkea koneiden lähellä enää samalla tavalla, sillä koneenkuljettaja näkee korot ja mitat mittalaitteeltaan.

Koneohjausjärjestelmä koostuu yleensä näyttöpäätteestä, antureista, tietokoneyksiköstä, virtalähteestä, antenneista, radiomodeemista ja korjaussignaalia lähettävästä tukiasemasta. Eroja voi olla eri koneohjausjärjestelmien välillä, mutta periaate kaikissa on sama. Toimiakseen koneohjausjärjestelmän kaikki komponentit täytyy olla kunnossa. (Kuva 3)

#### Koneohjausjärjestelmän komponentit



KUVA 3 Koneohjausjärjestelmän komponentit (Novatron.fi/mita-on-koneohjaus)

### 3.2 Toimintaperiaate

3D-Koneohjaus perustuu RTK-GNSS-satelliittipaikannukseen. Työkoneeseen asennetut satelliittivastaanotinantennit vastaanottavat signaalia satelliiteilta ja sen avulla työkone paikannetaan. Tukiaseman tai verkkokorjauspalvelun tuottaman korjaussignaalin avulla työkoneen järjestelmällä saavutetaan senttimetriluokan tarkkuus. Työkoneesta itsestään tulee tarkka mittalaite. [1]

Toimiakseen GNSS-paikannus tarvitsee näköyhteyden satelliitteihin. Vähimmäismäärä on 4 satelliittia, tarkkuuksiin päästään 6-7 satelliitin näköyhteydellä. Hyödyntämällä vertailutukiaseman korjaussignaalia (RTK) päästään senttimetrin tarkkuuksiin. Käytävissä olevien satelliittien määrän voi tarkistaa mittalaitteesta.

3D-järjestelmän mittatarkkuuden pohjana on perusedellytyksenä myöskin se, että koneen runko, puomisto ja kauhat on mitoitettu oikein ja ne pitävät paikkansa. Puomiston ja kauhan anturit täytyy olla oikein kalibroitu, sekä 3D-GNSS sijainnit täytyy olla kalibroituna suhteessa koneen runkoon.

#### 4 3D-KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄN HYÖDYT MAANTIIVISTÄMISESSÄ

Tämän opinnäytetyön aikana työskenneltiin VT5 Juva-Nuutilanmäki työmaalla. Työmaalla hyödynnettiin koneohjausjärjestelmää maantiivistämisessä. Käytössä oli Maanrakennus V.Inola Oy:n omistama 13tn valssijyrä. Jyrään oli asennettu Trimblen koneohjausjärjestelmä.

Mittalaitteella varustellun jyrän toiminnan kannalta oleelliset komponentit ovat tiivistysanturi, GNSS-antenni, näyttöpäätte ja modeemi internet yhteyttä varten (KUVA 5). Jyrässä antenni on asennettu maston päähän. Antenni on näkyvällä paikalla ja yhteys satelliitteihin on paras mahdollinen (KUVA 4).



KUVA 4 Valssijyrä Trimblen koneohjausjärjestelmällä varustettuna (Pohjonen 2018-08)

Koneohjausjärjestelmällä varustetun jyrän komponenttien toiminta on yksinkertainen. Satelliittiantenni ottaa yhteyden olemassa oleviin satelliitteihin ja laskee itselleen koron, sekä sijaintitiedon. Satelliittiantennien tieto on epätarkkaa satelliittien kaukaisen sijainnin vuoksi ja siksi käytämme korjaustietovirtaa. Korjaustietovirta voi olla paikallinen radiosignaali tai jokin muu vastaava VRS/GSM korjaussignaali, jolla päästään tarvittavaan tarkkuuteen.



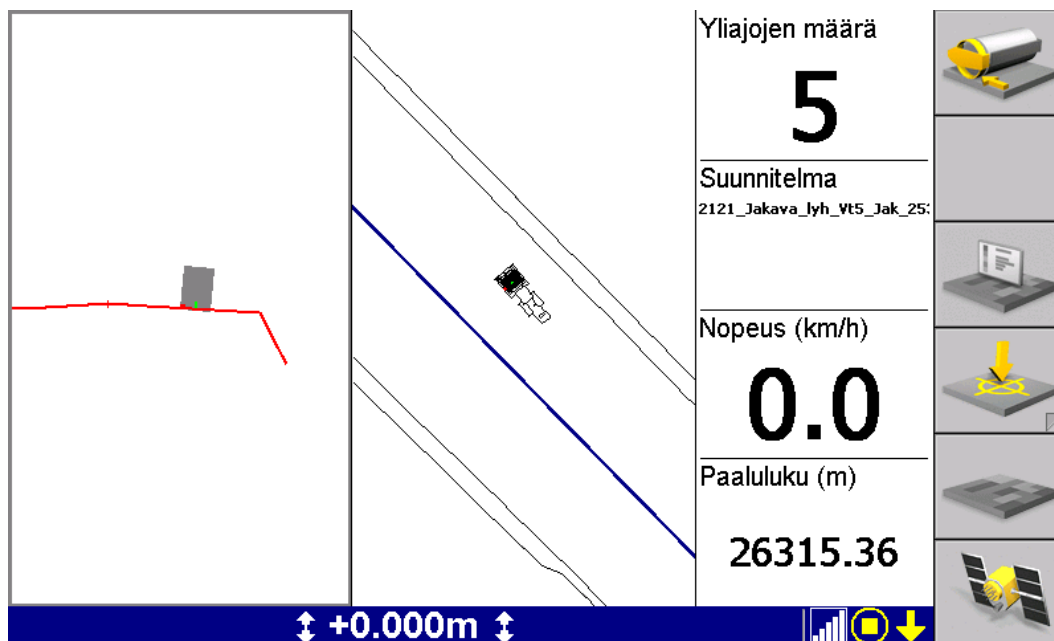
KUVA 5 Jyrän koneohjausjärjestelmän komponentit [5]

Mittalaitteen järjestelmään on asennusvaiheessa syötetty koneen mitat ja maston korkeudet ja näiden avulla saadaan kerrottua satelliittiantennin sijainti suhteessa rummussa olevaan mittapisteesseen. Lisäksi jyrän rungossa on kaltevuusanturi. Kaltevuusanturin avulla tarkennetaan koneen kaltevuustieto, eli kuinka kallellaan kone on.

Maantiivistystä tehdessä tärkeintä on saavuttaa vaadittu tiheys ja tiiveys maaperässä. Liiallista tiivistämistä tulee välttää, kuten myös liian vähäistä tiivistämistä. Kuljettaja pyrkii saavuttamaan kauttaaltaan tasaisen tiivistymisen.

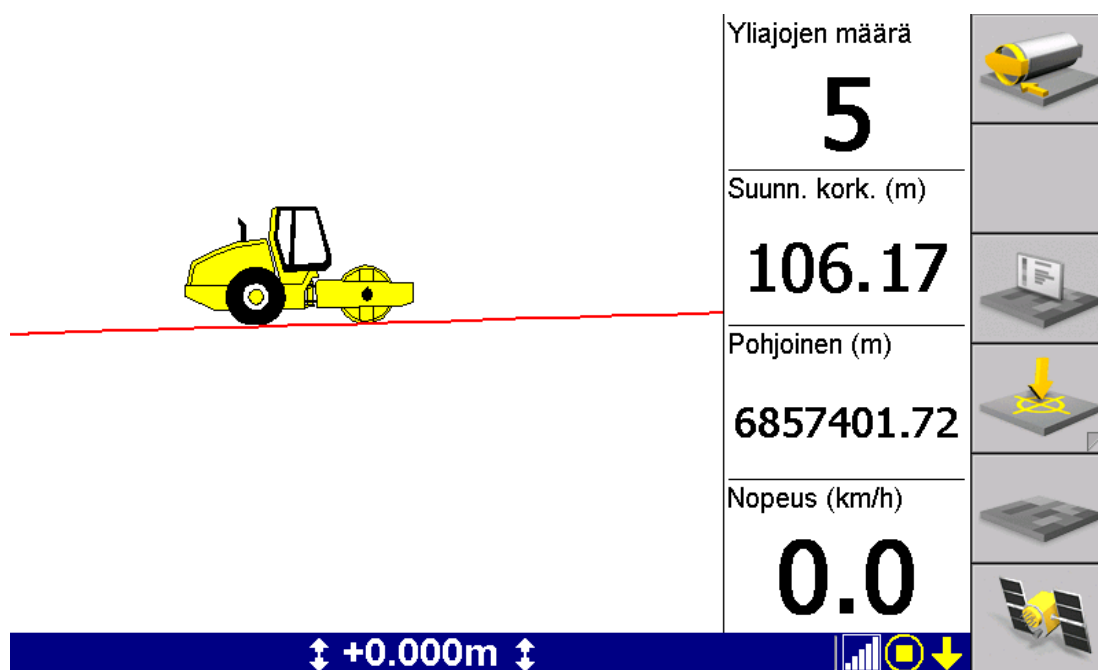
Jyrän kuljettajalle olennaisimmat seurattavat asiat mittalaitteen näytöltä ovat CMV-muutos, yliajokerrat, korot ja sijainnit. Kuljettaja pystyy näytöltä seuraamaan reaaliaikaisesti jyrän kulkua kartalla ja tämän ansiosta turha tiivistystyö voidaan minimoida ja heikosti suoritettu tiivistystyö näkyy karttapohjilta.

Karttaa seurattaessa kuljettaja voi seurata tielinjoja poikkileikkäusnäköinä, ylhäältä kuvattuna (KUVA 6) tai sivuprofiilina (KUVA 7). Riippuen arvosta mitä kuljettaja haluaa seurata, voi näytöstä valita näkömiksi CMV-tavoitearvon, CMV-muutoksen, yliajokertojen määrän, leikkaa/täytä-näköm tai näköm jossa ei näytetä mitään muita arvoja, kuin rakenteenpinnan korko.



KUVA 6 Kuvankaappaus mittalaitteen näytöstä, jaettu näkymä

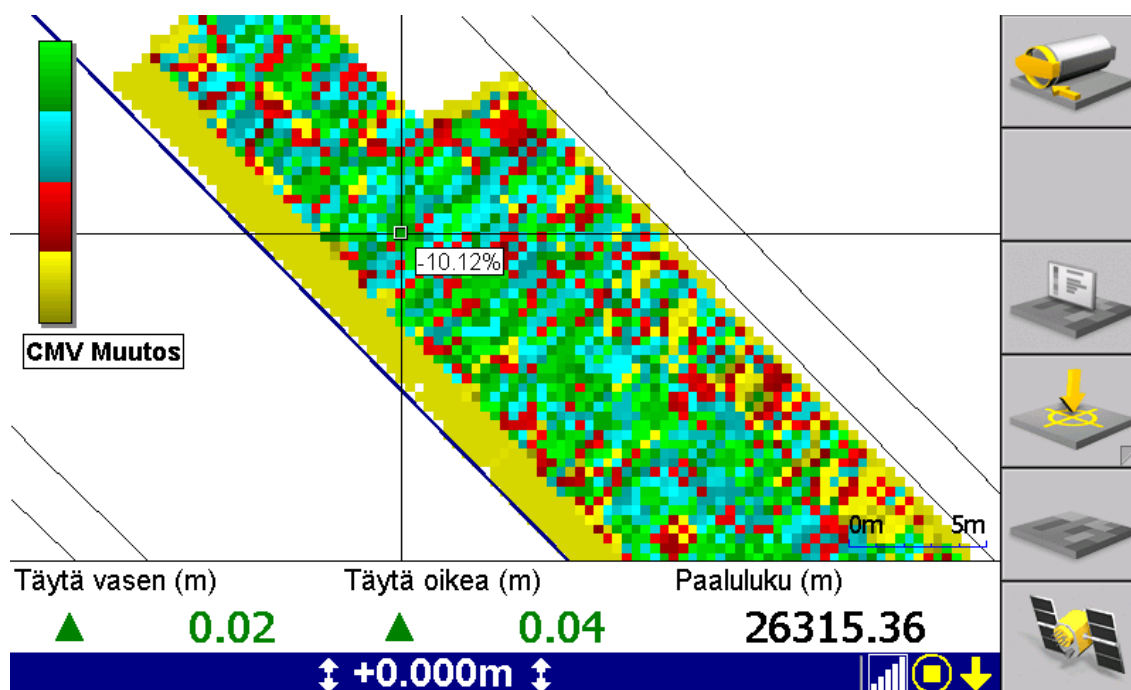
Näytöstä kuljettaja pystyy seuraamaan suunnitelman valtakunnallista korkoa ja paalulukemia. Varsinkin suurella työmaalla paalulukemien näkyminen hahmottaa kuljettajalle työmaan kokonaisuutta ja helpottaa myöskin toteumapisteiden ottoa, sillä toteumapisteet täytyy ottaa 20m välein ja paaluluke-  
masta pystyy itse katsomaan milloin kone on liikkunut 20m eteenpäin ja on aika ottaa seuraava to-  
teuma.



KUVA 7 Kuvankaappaus mittalaitteesta, jakava kerros, sivuprofiili

CMV-tavoitearvo kertoo kuljettajalle tiiviyslukemaa. Kuljettajan on helppo seurata näytöstä koko ajan tiivistäessään, missä tiivistymistä ei ole vielä tapahtunut tarpeeksi ja mihin ei tämän arvon mukaan tarvitse enää palata.

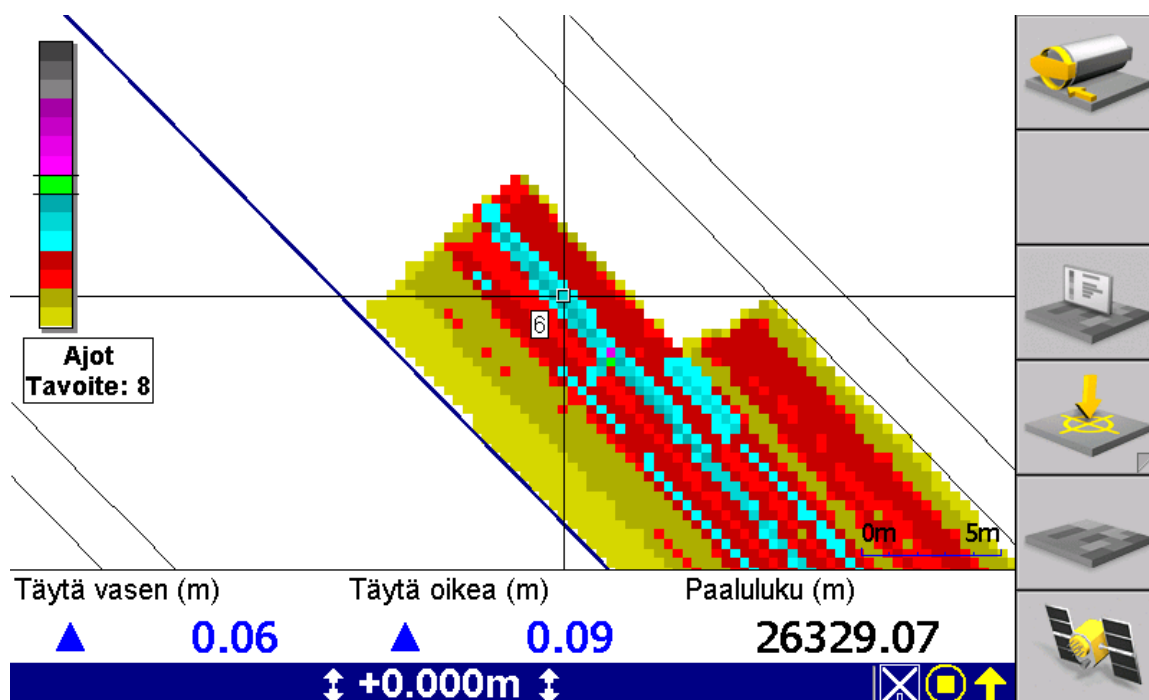
CMV-tavoitearvoa enemmän kuljettajalle kertoo CMV-muutosarvo. CMV-muutos kuvaa tiiviiden muutosta ajokertojen välillä. Alkuun arvo on suurempi, mutta kun rakenne tiivistyy, arvo pienenee, eli jäykkyys kasvaa. Kuljettajan on helppo seurata värikarttaa ajaessaan ja vaihtaa paikkaa sen mukaan, miten väri muuttuu. Virheet alueet ovat arvon puolesta tarpeeksi tiiviitä ja tiivistäminen voidaan aloittaa seuraavassa paikassa, missä alueet ovat vielä muun värisiä. (Kuva 8)



KUVA 8 Kuvankaappaus mittalaitteesta, jakava kerros, CMV-muutos

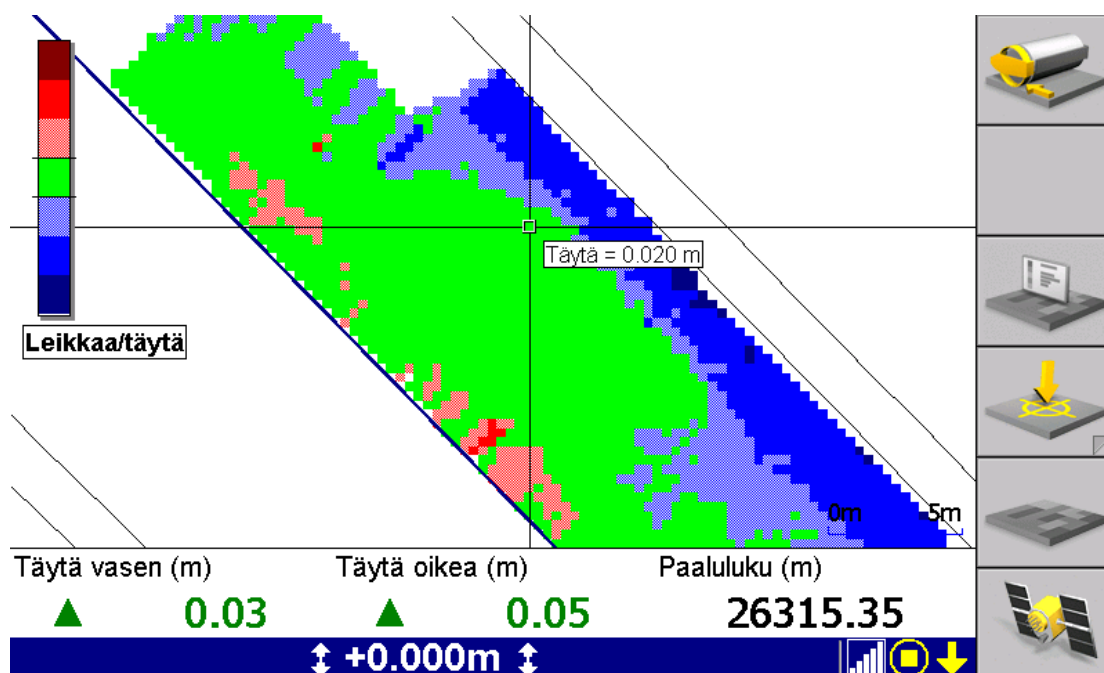
Yliajokertojen määrä on olennainen osa tiivistämistä. Kertojen määrä riippuu käytetyn koneen painosta, käytettävästä rakennekerroksen materiaalista ja rakennekerroksen paksuudesta. Näihin InfraRYL:stä löytyy ohjearvoja.

Yliajokerrat värittyvät karttakuvaan. Suositellaan, että eteenpäin ajetaan tiivistäen ja taaksepäin ajetaan valssin värähtely pois päältä. Silloin karttakuvaan värityy ainoastaan eteenpäin kuljetun matkan yliajokerta (KUVA 9).



KUVA 9 Kuvankaappaus mittalaitteen näytöstä, jakava kerros, yliajokerrat

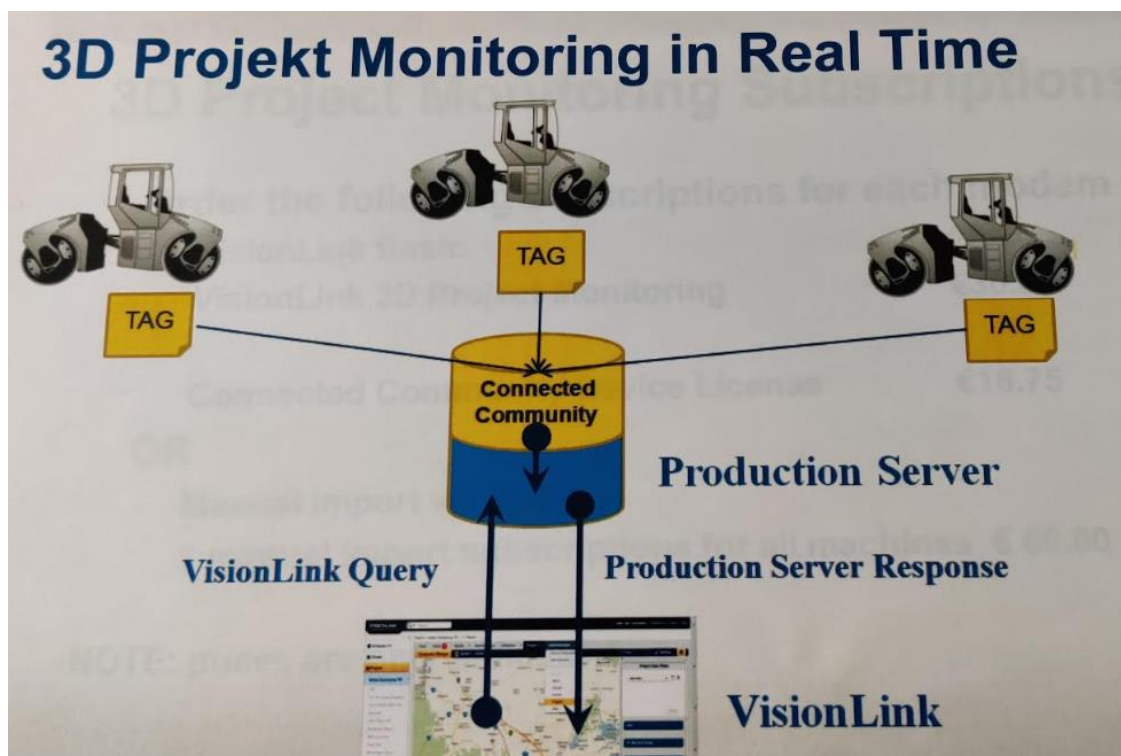
Tiivistystyötä tehdessä kuljettajan täytyy seurata myös korkomuutoksia rakenteen pinnassa. Rakenteen tiivistyessä korko muuttuu painumisen seurauksena. Mittalaitteesta näkee rakenteen muutokset reaaliaikaisesti. On helppo seurata mille alueille tarvitsee lisää tavaraa ja vastaavasti onko joillekin alueille rakenteen pinta jäänyt liian kovaksi. Nuolinäppäimiä liikuttamalla pystyy käymään väritetyn alueen läpi kokonaan ja kuljettaja näkee tarkat lukemat korkojen suhteen.



KUVA 10 Kuvankaappaus mittalaitteesta, jakava kerros, leikkaa/täytä



Kuljettaja lähettää koneohjausjärjestelmään dokumentoidun tiedon eteenpäin synkronoimalla mittalaitteen. Kaikki dokumentoitu tieto siirtyy eteenpäin pilvipalveluun, tässä tapauksessa TCC-palveluun. (-Trimble Connected Community).



KUVA 11 Koneohjausjärjestelmän tietojen kulku koneelta VisionLinkiin [5]

Kun tiedot on viety mittalaitteesta TCC:hen, niitä aletaan käsitellä VisionLinkin avulla. VisionLinkistä tarvittavat tiedot saadaan muutettua muotoon, jossa ne voidaan toimittaa eteenpäin tilaajalle tai asiakkaalle. Kaikista 3D-koneohjausjärjestelmillä varustelluista koneista saadaan ulos paljon tietoa, mutta maantiivistämisessä olennaiset tiedot ovat yhteenveto CMV-luvuista ja yhteenveto yliajojen määrästä tiivistetyiltä alueilta ja kerätyt toteumapisteet.

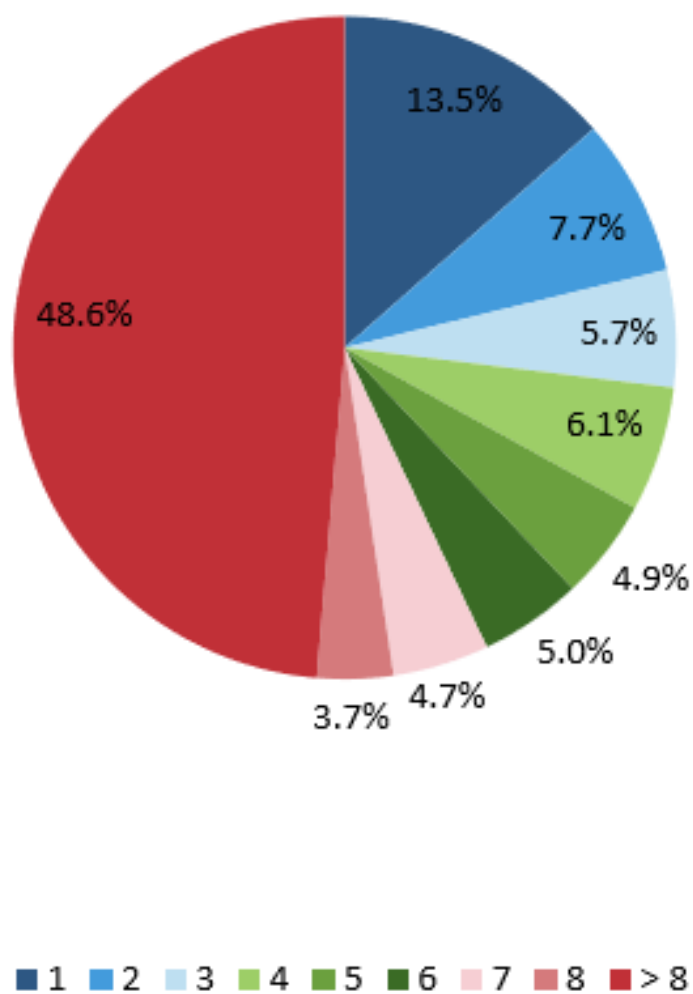
Visionlinkin raportit näyttävät tiedot excelissä. Sieltä näkee kaavojen, lukujen ja karttojen avulla tapahtuneen tiivistystyön ja työn tuloksen. Tällä työmaalla yhteenvedot ja raportit tekee ja toimittaa eteenpäin työmaan mittamies, joka on perehtynyt koneohjausjärjestelmiin perusteellisesti.

KUVA 12-14 näkyy, miten data tulee Visionlinkistä ulos. Tässä on valittuna aiemmin olleen työmaan tiivistystiedot kantavan kerroksesta. Ajokerrat ovat datan mukaan 48,6% olleet liian useasti ajettu ja 5% ajoista on sattunut määritetyn optimimäärän mukaan, eli kuusi yliajokertaa. Vauhti on ollut 56,7% liian nopeaa ja 25,9% vauhti on ollut optimi. CMV-muutoksen tiedoissa 59,6% jäykkyys ei ole kasvanut ja 7% muutos on ollut hyvä.

**Filter:**

YLIAJOKERTOJEN MÄÄRÄ

Date Range: 31/08/15 07:00 - 29/06/16 09:47

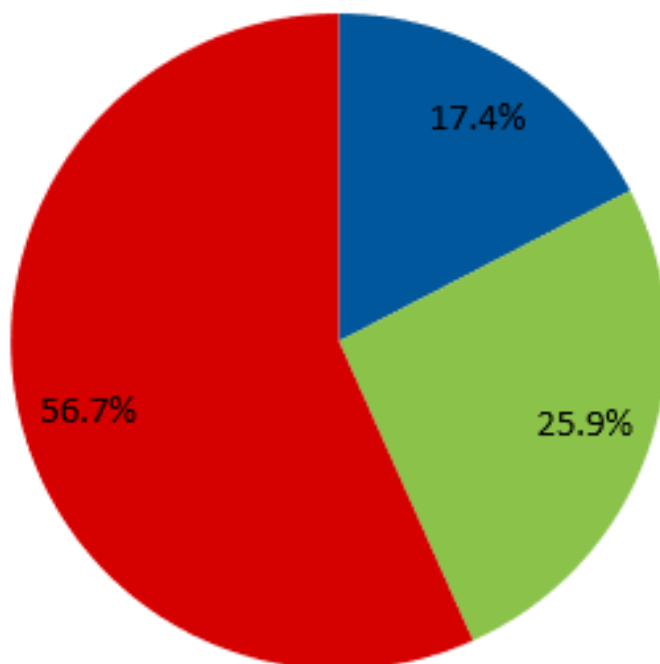
**Pass Count Details**

KUVA 12 Yliajokertojen määrä Visionlinkistä tuotuna

**Filter:**

AJONOPEUS

Date Range: 31/08/15 07:00 - 29/06/16 09:47

**Speed Summary**

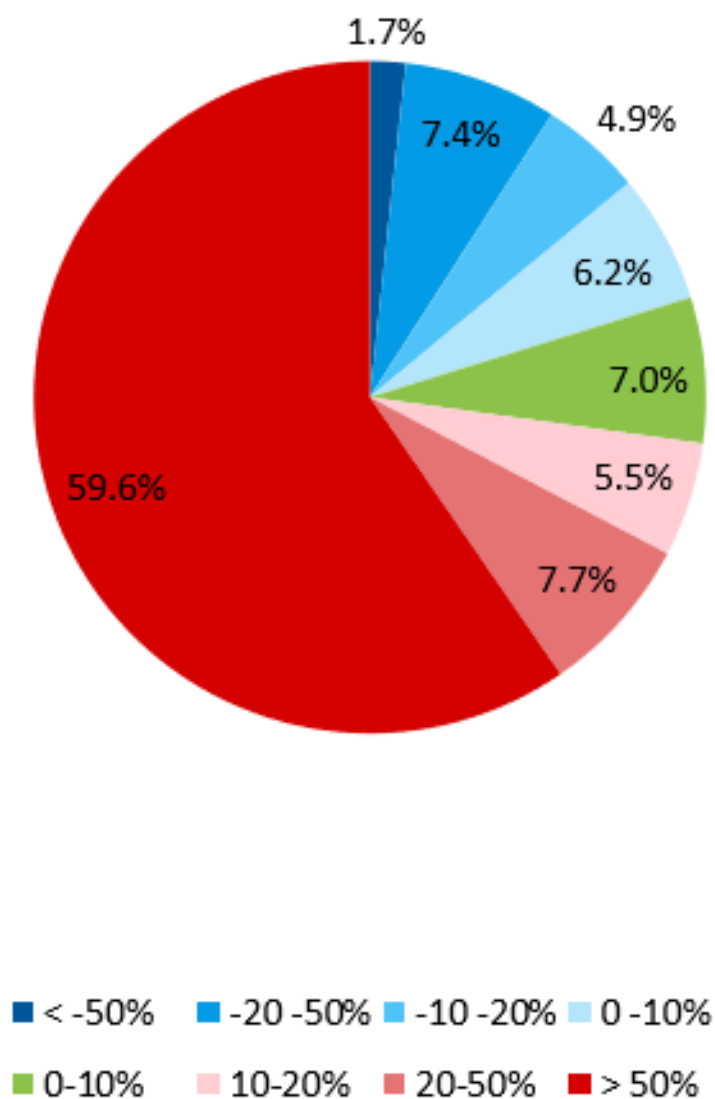
■ < 5.0kmph ■ 5.0-10.0kmph ■ > 10.0kmph

KUVA 13 Jyrän ajonopeudet Visionlinkistä tuotuna

**Filter:**

CMV-MUUTOS

Date Range: 31/08/15 07:00 - 29/06/16 09:47

**CMV % Change**

KUVA 14 CMV-muutos Visionlinkistä tuotuna

Koneohjausjärjestelmän avulla valvojalle voi toimittaa raporttina kaiken, mitä tietoja kuljettajakin itselleen näytöstä saa. Kaavioiden lisäksi valvoja näkee raportista, mikä on tiivistetty rakennekerros ja karttakuvasta näkee samalla, millä alueella työmaalla tiivistys on tapahtunut, eli mistä alueesta kaavioiden lukemat kertovat.

## 5 POHDINTA

3D-koneohjausjärjestelmän käyttö maantiivistämisessä on vielä uusi asia monelle taholle. Koneohjausjärjestelmät kaivinkoneissa, höylissä ja puskukoneissa ovat vakiinnuttaneet paikkansa jo aikaisemmin ja tilaajat vaativatkin usein työmailla koneohjauksen käyttöä näissä koneissa. Tiivistämisessä koneohjauksen hyötyjä ei vielä tunneta laajalti ja useilla työmailla koneohjausta ei maantiivistämisessä vaadita.

Alkuun on tärkeää perehdyttää kuljettaja käyttämään mittalaitetta koneessa. Aika on rahaa ja ilman perehdytystä kuljettajan työaikaa kuluu mittalaitteen toiminnan ihmettelyyn ja opetteluun itsenäisesti. Tällöin koneohjausjärjestelmän käyttö ei ole enää tehokasta. Tehokkaimman ja kustannustehokkaimman tiivistämisen saavuttamiseksi kuljettaja osaa suorittaa työnsä perehdytyksen jälkeen itse ja osaa hyödyntää koneohjausjärjestelmää työssään.

Koneohjausta tiivistäessä käyttäessä saadaan tiivistiedot ja yliajokerrat koko tiivistettävältä alueelta. Värikarttoja seuraamalla voidaan varmistua koko rakenteen laadukkaasta tiiveydestä reunasta reunaan. Näin varmistutaan siitä että koko rakenne on tiivistetty, eikä mikään kohta ole jäänyt jyräämättä.

Koneohjausjärjestelmä kerää tiivistystietojen lisäksi paikkatietoa samaan aikaan. Koneenkuljettajan työ helpottui huomattavasti koneohjausjärjestelmää käyttäen. Yliajokertoja ei tarvinnut muistaa itse sillä jos työ jäi illalla kesken, karttanäkymästä näki mistä piti aamulla jatkaa.

Kehitettävää tiivistystyön koneohjausjärjestelmistä myös löytyy. Nyt koneohjausjärjestelmä ei ota huomioon tiivistymistä, joka on tapahtunut ennen jyräämistä. Kun dumperit ja autot ajavat murskekerroksen yli, tapahtuu kerroksessa tiivistymistä koko ajan. Tätä tiivistymistä ei järjestelmä osaa ottaa huomioon.

Katvealueella ajaessa GNSS-järjestelmä ei aina löydä korjaustietovirtaa ja tällöin mittalaitteen korko ei toimi tai saattoi paikoitellen olla virheellinen. Myös huono nettiyhteys vaikuttaa mittalaitteen toimivuuteen. On tärkeää että mittamies käy välillä tarkastamassa, että valssin korko pitää paikkaansa.

Koneenkuljettaja joka levittää murskeen tai muun täyttömateriaalin kerrokseen, joutuu arvioimaan miten paljon ylikorkeaksi kerros täytyy jättää, että se painuu toleranssien sisälle tiivistämisen ansiosta. Jyrästä pystyi seuraamaan tiivistymistä ja korkomuutoksia koko ajan ja ohjeistamaan täyttömateriaalin levittävää kuljettajaa tarvitseeko täyttöä ottaa lisää tai onko kerros tehty liian korkealle. Leikkaa/täytä-näkymästä on tässä todella paljon hyötyä.

Erityisen tärkeää on myös muistaa tietojen tallentaminen koneohjausjärjestelmässä oikeaa mallia käyttäen. Jakavaa kerrosta tiivistäessä pitää vaihtaa näyttöön jakavan kerroksen malli päälle. Näin tieto tallentuu oikeaan kansioon ja lähettäessä tietoa eteenpäin tiedetään, mistä kerroksesta tiiviys-tiedot ovat.

Tiivistäminen on kokonaisuudessaan yksi tärkeimmistä vaiheista rakennekerrosten rakentamisessa. Tulevaisuudessa koneohjausjärjestelmät kehittyvät ja varmasti myös maantiivistämisessä tilaajat alkavat vaatia järjestelmien käyttöä.

Koneohjausjärjestelmän hankkiminen maksaa itsensä pitkällä aikavälillä takaisin, kunhan järjestelmälle on jatkuvaa käyttöä. Kustannukset järjestelmän hankkimisesta ovat noin 25 000 € - 35 000 € välissä. Mikäli esimerkiksi levykuormituskokeita voitaisiin tulevaisuudessa virallisesti korvata koneohjausjärjestelmällä saaduilla tiiviystiedoilla, olisi koneohjausjärjestelmän käyttö kannattavampaa taloudellisesti pitkällä aikavälillä katsottuna.

## LÄHTEET

1. Novatronin kotisivut, <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>
2. Trimblen kotisivut, <https://construction.trimble.com/products-and-solutions/compaction-control-soil-compactors>
3. Väyläviraston kotisivut, [https://vayla.fi/documents/20473/367242/MP\\_tiivist%c3%a4misen\\_pi-lottiraportti\\_final.pdf/5b713a47-5889-4a62-bbf1-5f1efa4cda8d](https://vayla.fi/documents/20473/367242/MP_tiivist%c3%a4misen_pi-lottiraportti_final.pdf/5b713a47-5889-4a62-bbf1-5f1efa4cda8d)
4. Jaakkola. M . 2017 Mallipohjaisen tiivistämisen pilotti. Oulu. Destia
5. Compaction control system – Intelligent Compaction, Trimble Heavy Civil Compaction, Norbert Mattivi, Jyrän koneohjausjärjestelmän koulutus- ja käyttöohje, Hannu Jurvelin/Avesco Oy luovut-tama esitysaineisto
6. Rakennuskoneen kotisivut, <https://www.rakennuskone.fi/laadunvarmistuksen-menettelyt/>