

Mikko Tappola

Koneohjauksen käyttäminen laadunosoitukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikka
Insinöörityö
1.3.2016

Tekijä Otsikko	Mikko Tappola Koneohjauksen käyttäminen laadunosoitukseen
Sivumäärä Aika	23 sivua + 1 liitettä 1.3.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Reijo Aalto laatupäällikkö Roope Korpela tekninen johtaja Pertti Heininen koneohjaus Krister Lönnberg tuotantoinsinööri Janne Mononen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia koneohjausjärjestelmien mittaustarkkuuksia suhteessa perinteisiin tarkemittausmenetelmiin. Näiden kahden metodin eroja vertailemalla on tarkoitus selvittää mahdollisuus hyödyntää koneohjausjärjestelmiä osana laadunosoitusmenettelyä.</p> <p>Tutkimukseen liittyviä mittauksia toteutettiin kolmella eri maanrakennustyömaalla Espoossa. Näin toimittiin, jotta saataisiin mahdollisimman kattava vertailuaineisto. Mittaukset suoritettiin yhteistyössä työmaalla toimivien koneohjausjärjestelmällä varustettujen kaivinkoneiden kuljettajien kanssa. Mitattavina rakenteina oli pääasiassa tien eri rakennekerroksia sekä vesihuoltojärjestelmien putkien selkiä.</p> <p>Saatujen mittausaineistojen käsittely ja tarkistaminen suoritettiin 3D-Win-ohjelmalla ja keskiarvojen ja muiden matemaattisten vertailuarvojen laskemisessa hyödynnettiin Exceliä. Näillä ohjelmilla saatiin selvitettyä koneohjausjärjestelmien tarkkuus niin pintavertailuna kuin yksittäisien pisteiden vertailuina. Molemmilla vertailutavoilla päästiin alle InfraRYLin lopputuotteen laatuvaatimuksien. Silti katveisilla alueilla mittaustarkkuudet eivät olleet yhtä hyviä kuin olettaa saattoi.</p> <p>Lopullisena johtopäätöksenä voi pitää, että koneohjausjärjestelmää voi hyödyntää osana laadunosoitusmenettelyä. Näin on etenkin silloin, kun rakenne on toteutettu samalla koneohjausjärjestelmällä ja kuljettajille on ohjeistettu tarkemittaus hyvin ja selkeästi.</p>	
Avainsanat	koneohjaus, laadunosoitus, maanrakennus

Author Title	Mikko Tappola Using machine control to indicate quality
Number of Pages Date	23 pages + 1 appendices 1 March 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Reijo Aalto, Senior Lecturer Roope Korpela, Quality Manager Pertti Heininen, Technical Director Krister Lönnberg, InfraBIM Modelling Janne Mononen, Technical Engineer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study whether it is possible to use a machine controlled excavator instead of more traditional methods to indicate quality of survey measurements. The study was carried out by comparing surveying data from a machine controlled excavator to data retrieved by a surveyor with a total station.</p> <p>To ensure proper data for the comparison, the surveying data was collected from three different construction sites located in Espoo. The surveys were performed in cooperation with the drivers of the machine controlled excavators. The surveys focused mainly on various road structures.</p> <p>The survey data was processed and checked for mistakes with 3D-Win software. MS Excel was used to calculate the averages and other mathematical reference values used when comparing the machine control data to the data from a total station. The results showed that the data surveyed with machine controlled excavators was almost as precise as that retrieved with a total station. However, working in GPS blind spots weakened the precision.</p> <p>In conclusion, a machine controlled excavator can with benefit be part of the quality control procedure together with traditional surveying methods.</p>	
Keywords	machine control, quality control, construction

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Mittaustekniikat ja mittalaitteet	2
2.1	Robottitakymetri	2
2.2	3D-koneohjausjärjestelmä	4
2.2.1	Sisäinen orientointi	5
2.2.2	Ulkoinen orientointi satelliittipaikannuksella	5
2.2.3	Satelliittipaikannuksen virhetekijät	8
2.2.4	Toteumapistemittaukset koneohjausjärjestelmällä	8
2.2.5	Koneohjausjärjestelmien etäseuranta	9
3	Laadunvarmistuksen tarkkuusvaatimukset	10
3.1	Laadunvarmistusmittaukset yleisesti väylähankkeissa	10
3.2	Yleiset vaatimukset koneohjaukselle: InfraRYL ja YIV2015	10
3.3	Koneohjauksella saavutettava teoreettinen tarkkuus	11
3.4	Perinteisellä mittauksella saavutettava tarkkuus	11
3.5	Mittalaitteiden laadunvarmistus	12
4	Mittaussuunnitelma	12
4.1	Projektit	12
4.1.1	Kauklahdenväylä ja Kurttilan alue	13
4.1.2	Länsi-Espoon vesijohto	13
4.1.3	Saunaniemen asemakaava-alue	14
4.2	Mittapistet, mittalaitteet ja ketjun sisäinen tarkkuus	14
4.3	Pisteverkot ja mittausmäärät	14
4.4	Kalibrintiverkkoa koskevat määrittelyt ja vaatimukset	15
4.5	Mitattavat rakenteet ja kohteet	15
4.6	Mittaus- ja käyttöolosuhteiden epätarkkuuksien määrittelyt	16
4.7	Koneohjauksen käyttö tarkkuutta heikentävissä olosuhteissa	16
4.8	Aineiston käsittely	17
5	Johtopäätökset	18
5.1	Koneohjauksella saavutettava todellinen tarkkuus	18
5.2	Koneohjauksella saavutettavan tarkkuuden riittävyys	19
5.3	Koneohjauksella toteutetun mittauksen luotettavuus	19

6	Yhteenveto	20
	Lähteet	22
	Liitteet	
	Liite 1. Tarkemittausohje työkoneen kuljettajille	

Lyhenteet ja käsitteet

Glonass	Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema. Venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä. Tällä hetkellä osajärjestelminä ovat GPS ja Glonass. Myös valmiudet eurooppalaiselle Galileo- ja kiinalaiselle Compass-satelliittipaikannusjärjestelmille.
gooni	Kulman mittaussyksikkö, joka on $1/100$ suorasta kulmasta. Käytetään pääasiassa maanmittaustekniikassa.
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltalainen satelliittipaikannusjärjestelmä. Ensimmäinen siviilikäyttöön vapautettu järjestelmä.
IMU	Inertial Measurement Unit. Inertianmittausalusta, jonka avulla tietokone pystyy laskemaan ja mallintamaan kaivinkoneen puomin liikkeit koneohjausjärjestelmässä.
MEMS	Micro Electro Mechanical System. IMU-yksikön osa, joka mittaa yksikön kiihtyvyyttä piikiteen liikkeen perusteella.
RTK	Real Time Kinematic. Satelliittimittausmetodi, jossa tunnetun aseman avulla korjataan vastaanottiin saapuva signaalia, jolloin saavutetaan senttimetritarkkuus.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä perehdytään koneohjaukseen ja sen tarkkuuteen. Koneohjauksella tarkoitetaan työkoneenkuljettajan opastamista koneessa olevan näytön avulla, jossa näkyvät tarvittavat tiedot itsenäiseen rakentamiseen. Nykyisin koneohjausjärjestelmiä hyödynnetään jo kattavasti maanrakennustöiden toteutuksessa maastomallien avulla. Urakoitsijat haluavat tehostaa koneohjausjärjestelmien hyödyntämistä. Seuraava vaihe on hyväksyttää tilaajilla koneohjausjärjestelmien käyttäminen laadunosoitukseen eli toteumatietojen mittaamiseen mittamiehen sijasta.

Tämän insinööriyön tavoitteena on todentaa koneohjauksen käyttö toimivana ja luotettavan osana laadunvarmistusmenettelyä sekä tutkia, onko koneohjausjärjestelmän paikannustarkkuus tarpeeksi hyvä, jotta sillä mitatut toteumapisteet voidaan hyödyntää toteumakuvissa. Selvitys toteutetaan Graniittirakennus Kallio Oy:n infrarakennushankkeilla pääkaupunkiseudulla. Koneohjausjärjestelmän käytännön tarkkuus selvitetään vertailemalla kaivinkoneella mitattuja toteumapisteitä vastaaviin takymetrillä mitattuihin tarkepisteisiin. Tavoitteena on osoittaa, että koneohjausjärjestelmä on tarkka ja luotettava menetelmä laadunosoitukseen. Tarkkuuksien vertailun avulla pyritään todentamaan, että tulevaisuudessa tarkkeiden mittaaminen voitaisiin siirtää mittahenkilöstöltä työkoneidenkuljettajille. Tällä saavutettaisiin tehokkaampi työn eteneminen. Työn painopiste on laadunosoituksen tutkimisessa, ei niinkään mittaustekniikoiden perusteiden käsittelyssä.

2 Mittaustekniikat ja mittalaitteet

Tässä luvussa käsitellään työssä käytettävät mittaustekniikat ja laitteet. Mittaustekniikkana mittamiehen osalta käytetään takymetrimittausta, jotta saavutetaan mahdollisimman todenmukainen vertailu. Mittalaitteena on Leican TS15-takymetri. Toisena vertailun kohteena on koneohjausjärjestelmä, joka on Scanlaserin Leica PowerDigger 3D. Koneohjausjärjestelmä toimii satelliittipaikannuksella.

2.1 Robottitakymetri

Robottitakymetrillä mitataan kulmia ja etäisyyksiä. Näiden havaintojen avulla kojeessa oleva ohjelmisto laskee tarkat koordinaatit halutuille kohteille. Robottitakymetrin etu edeltäjiinsä nähden on, että sen käyttö hoituu yhdeltä mittaajalta kahden sijasta. Takymetri seuraa automaattisesti mittaajan käyttämää prismaa (kuva 1). [16, s. 3.]



Kuva 1. Insinööriyön mittauksissa käytetään kuvan mukaista Leican TS15-robottitakymetriä sekä prisma-sauvaa, jossa on kiinnitettynä maastotallennin.

Takymetrillä mitattaessa tulee noudattaa niin sanottua hyvää mittaustapaa. Hyvällä mittaustavalla tarkoitetaan hyväksi koettuja ja todennettuja mittausmenetelmiä ja käytäntöjä. Hyvä mittaustapa voidaan jakaa kolmeen pääsääntöihin. 1. Käsitteiden ja esitystapojen tulee olla alan käytännön mukaisia, jotta muidenkin alalla työskentelevien on helppo ymmärtää ja hyödyntää mittausten tuloksia. 2. Mittalaitteet tulee huoltaa ja tar-

kistaa säännöllisesti ja tarpeen vaatiessa kalibroida uudestaan. 3. Mittauksissa kiinnitetään huomiota toistojen laatuun ja sellaisten havaintomenetelmien käyttöön, joilla voidaan hallita mittausten virheitä. [16, s. 8.]

Maanrakennustyömailla käytetään pääasiassa vain vapaalle asemapisteelle orientointia johtuen sen paremmasta soveltuvuudesta muuttuviin tilanteisiin. Vapaalle asemapisteelle orientoitaessa takymetri sijoitetaan ennalta tuntemattomaan paikkaan. Takymetrille saadaan tunnettu sijainti eli koordinaatit mittaamalla vähintään kolme tunnettua tähtystä eli esimerkiksi tarroja, joiden koordinaatit ovat ennalta tiedossa. Orientoinnin varmistamiseksi olisi hyvä vielä tarkistaa orientointi tähtäämällä neljännelle tähykselle, mikäli mahdollista. [14, s. 24–27; 16, s. 13.]

Takymetrissä on sisäiseen tarkkuuteen vaikuttavia systemaattisia ja satunnaisia virheitä. Systemaattiset virheet saadaan poistettua mittaustuloksista kalibroinnilla ja laskentaan tehtävillä korjauksilla (esim. sääkorjaus). Satunnaisvirheisiin ei pysty vaikuttamaan, koska niiden aiheuttajat ovat ennalta arvaamattomia. Satunnaisvirheitä voivat olla esimerkiksi ilman lämpöväreily, värinä tai jokin muu vastaava ajasta tai paikasta riippuva häiriötekijä. Jokainen havainto sisältää vähän satunnaisvirhettä, mutta näitä voidaan analysoida tilastollisilla menetelmillä. Tilastollisista menetelmistä useimmiten käytetään Gaussin käyrää, joka kuvaa satunnaisten virheiden jakautumista tasaisesti kaikkiin mittaustuloksiin. [3, s. 22–24; 9, s. 33–38.]

Takymetrillä mitattaessa mittauskaukoputki tähdätään prismaan tai käytetään robottitakymetrin automaattista prisman haku ja lukinta toimintoa. Kun takymetri on tähdätty tai lukittu prismaan, sillä voidaan mitata kulma ja etäisyys suhteessa asemapisteeseen. [9, s. 246.]

Kulmahavainnot saadaan takymetrin pysty- ja vaakakulmakehiltä sähköisesti ja automatisoidusti mittauksen suorituksen jälkeen. Tyypillinen takymetrin kulmanerotuskyky on 0,1 mgon eli 0,0001 goonia. [9, s. 248.]

Takymetrin etäisyyden mittaukseen käytetään elektro-optista mittaustapaa. Elektro-optisessa mittauksessa vertaillaan takymetrin lähettämän signaalin ja prismasta heijastuvan signaalin kantoaallon värähtelyä. Signaalista mitattava matka saadaan vaihe-eromittauksella. Vaihe-eromittauksessa lasketaan kokonaiset aallonpituudet ja osa-aallonpituus eli vaihe-ero. Näiden avulla koje saa laskettua prisman etäisyyden takymetristä. Etäisyyden

mittauksen tyypillinen tarkkuus on 1–5 mm, ja sen lisäksi laitevalmistajat antavat kojeen ja prisman välimatkasta riippuvan virheen, jonka yksikkö on ppm (parts per million). [16, s. 10–12.]

2.2 3D-koneohjausjärjestelmä

3D-koneohjausjärjestelmällä tarkoitetaan työkoneen kuljettajan avuksi luotua opastavaa järjestelmää, joka kertoo reaaliajassa esimerkiksi kaivinkoneen kauhan sijainnin koordinaatistossa. Koneohjausjärjestelmällä varustetut työkoneet sisältävät muuten normaalin työkoneen lisäksi tietokoneyksikön, näyttöpäätteen, satelliittivastaanottimia (2 kpl), gsm/radiomodeemin, virtalähteen sekä antureista. Tietokoneyksikkö vastaa satelliittivastaanottimista ja antureista saadun tiedon prosessoinnista laskentaohjelmalla ja sen välittämisestä käyttäjälle näyttöpäätteen kautta. Tietokoneyksikkö saa GSM-modeemilta korjaussignaalin tukiasemaverkosta, jonka pohjalta se laskee työkoneelle sijainnin sekä järjestelmän toiminnan kannalta välttämättömän satelliittien geometrian. Tukiasemaverkko voi olla joko työmaakohtainen oma tukiasema tai virtuaalinen tukiasema, josta kerrotaan lisää luvussa 2.2.2. [1, s. 3; 8, s. 16–17; 14, s. 3–4.]

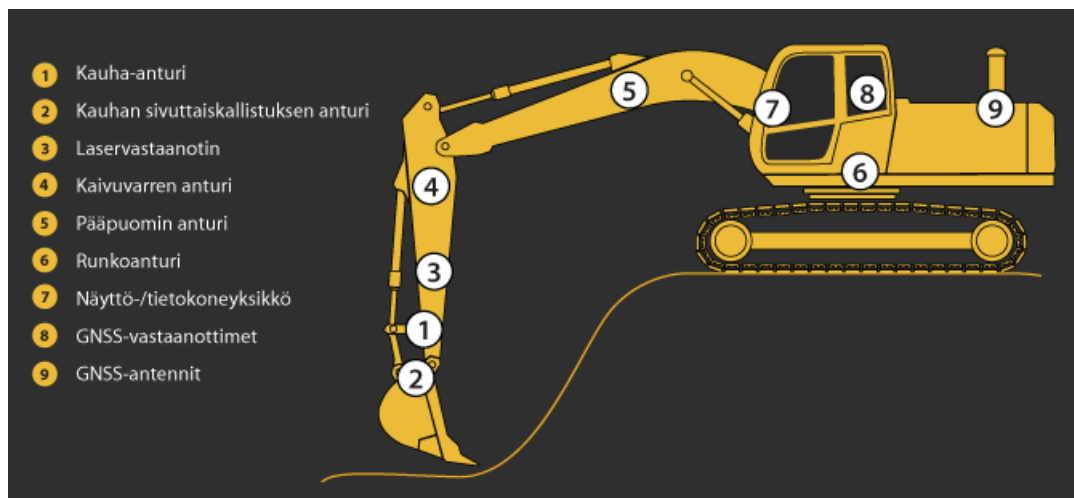
IMU-yksiköitä eli inertianmittausalustat asennetaan työkoneen runkoon sekä jokaiseen nivellettyyn osaan, joka vaikuttaa koneohjausjärjestelmään määritetyn mittauspisteen sijaintiin kuten kaivinkoneen kauhan huulilevy. IMU-yksiköissä hyödynnetään MEMS-kiihtyvyyssantureita, joiden toiminta perustuu piikiteeseen ja sen liikkeen muutoksen mittaamiseen. Tästä saadulla tiedolla tietokoneyksikkö laskee mittauspisteen sijainnin suhteessa satelliiteista saatuun sijaintiin. Näin saadaan mittauspisteen x-, y- ja z-koordinaatit. Antureiden antamien tietojen pohjalta tietokoneyksikkö laskee työkoneelle vastaavan geometrian kuin satelliiteillekin. [13, s. 14–16; 14, s. 4–5.]

Koneohjausjärjestelmän ideana on saavuttaa työkoneelle tarkka sijainti hankealueella ja välittää tämä tieto työkoneen kuljettajalle, jonka on helppo havainnollistaa työkoneen sijainti ja halutun pinnan sijainti maastossa näyttöpäätteeltä. Jotta näyttöpäätteelle saadaan selkeä 3D-kuva, laitteistoon pitää tuoda toteutusmalli XML- tai DXF-formaatissa. [13, s. 14–16; 14 s. 37.]

2.2.1 Sisäinen orientointi

Koneohjausjärjestelmän sisäinen orientointi jakautuu kahteen osaan. Ensimmäisenä määritellään työkonteen geometria eli työkonteen sisäinen koordinaatisto. Merkitsevät tekijät kaivinkoneen sisäisessä orientoinnissa on puominosien ja antennijärjestelmän sijainti suhteessa kaivinkoneen pyörähdysakseliin nähden (kuva 2). Pyörähdysakseli toimii ikään kuin koordinaatiston origona. Kaivinkoneen kaikkien puomien pituudet tulee määrittää kauhasta aina runkoon saakka. Koneohjausjärjestelmän ohjelmisto osaa määrittää annetuista puomien pituuksista ja antureista kauhan mittauspisteen sijainnin suhteessa pyörähdysakseliin. [6, s. 7–9; 14, s. 3–6.]

Jälkimmäinen vaihe sisäisen orientoinnin saavuttamiseksi on määrittää satelliittiantennien sijainti suhteessa työkonteen pyörähdysakseliin. Satelliittiantennit asennetaan kaivinkoneen vastapainon puolelle metrin korkuisen jalustan päälle, jotta vältetään kaivinkoneen ohjaamon aiheuttamalta katveelta. Jos sisäinen orientointi tehdään väärin tai se epäonnistuu, tämä aiheuttaa järjestelmän virheellisen toiminnan. [6, s. 7–9; 14, s. 3–6.]



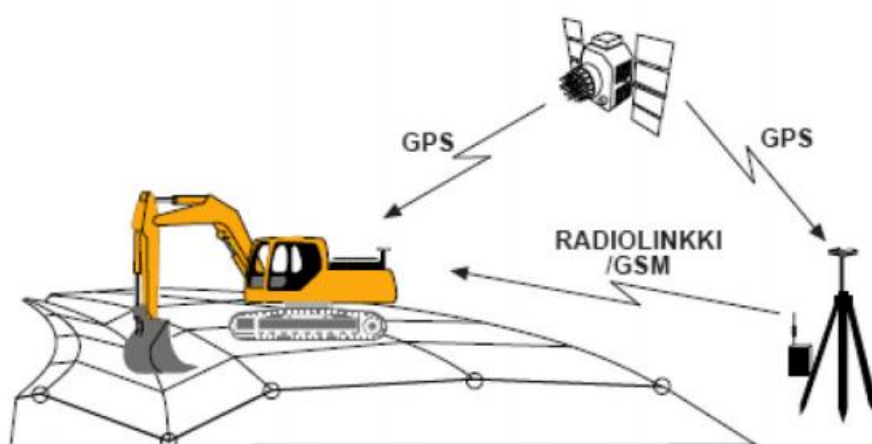
Kuva 2. Koneohjausjärjestelmän tärkeimpien komponenttien sijainti kaivinkoneessa, jotta sisäinen orientointi voidaan suorittaa [19].

2.2.2 Ulkoinen orientointi satelliittipaikannuksella

Koneohjausjärjestelmän ulkoinen orientointi vastaa satelliittipaikannuksella saatavaa sijaintia. Satelliittipaikantaminen perustuu maapalloa kiertäviin satelliitteihin, joita ovat yhdysvaltalaiset GPS-satelliitit ja venäläiset Glonass-satelliitit. Näiden lisäksi ovat kehitteillä eurooppalaisten Galileo- ja kiinalaisten Compass-satelliitit. Satelliitit lähettävät sig-

naalia eri aallonpituuksilla. Signaaleihin on sijoitettu tiedot satelliitin numerosta, sijainnista kiertoradalla ja kellonaika. Näiden tietojen avulla vastaanottimet maassa selvittävät etäisyyden satelliitteihin kantoaaltojen aallonpituuden avulla. Kun vastaanottimella on tarvittava määrä satelliitteja näkyvillä, voi vastaanotin laskea sijaintinsa. [4, s. 17–19; 9, s. 280–282.]

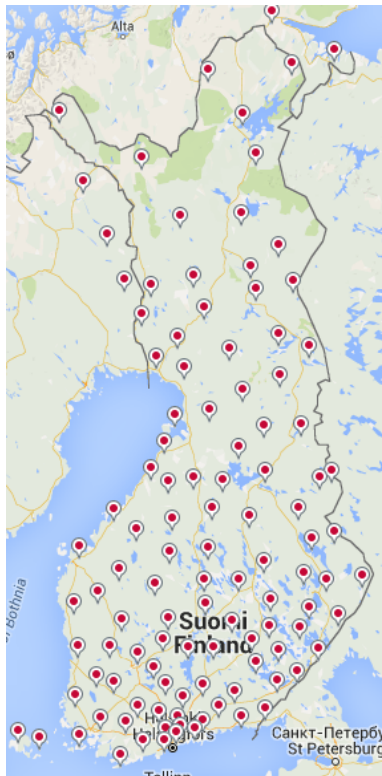
Useimmiten mittausalalla satelliittipaikannuksesta puhuttaessa tarkoitetaan RTK- ja verkko-RTK-paikannusta. RTK eli real time kinematic eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaaminen perustuu suhteellisen paikanmäärittämiseen. Sillä saavutetaan välittömästi vastaanottimen sijainti senttimetritarkkuudella. RTK-paikannuksen oleellinen osa on toinen vastaanotin, mittaajan vastaanottimen lisäksi, joka sijaitsee tunnetulla pisteellä. Tunnetulla pisteellä sijaitsevaa vastaanotinta kutsutaan referenssiasemaksi. Vastaanottimet havaitsevat satelliiteista tulevat kantoaallot ja laskevat niiden aallonpituuksien avulla etäisyyden satelliitteihin. Kun vastaanottimet ovat saaneet etäisyydet vähintään neljään eri satelliittiin, saadaan laskennalla vastaanottimille tarkat koordinaatit. Referenssiaseman koordinaatteja verrataan tunnettuihin koordinaatteihin, josta saadaan korjausarvo mittaajan vastaanottimelle. Mittaajan vastaanotin korjaa omia havaintojaan ja sijaintiaan korjausarvojen perusteella, jolloin saavutetaan lopullinen paikannustarkkuus noin 1–2 senttimetrin välille taso- sekä korkeuskoordinaatistossa (kuva 3). [9, s. 291–305; 12, s. 13–19; 14, s. 12–19.]



Kuva 3. Yksinkertaistettu esimerkki satelliittien ja referenssiaseman toiminnasta, jonka avulla työ-koneelle saadaan tarkka sijainti [11].

RTK-mittauksessa käytettävän korjausdatan lähettäminen vastaanottimeen tapahtuu joko radiomodeemilla tai matkapuhelinverkossa. Radiomodeemia käytettäessä realistinen kantama on kuuden kilometrin luokkaa maastosta riippuen. Matkapuhelinverkossa tiedonsiirrolla ei ole käytännössä kantamarajaa, mutta mittaustavan omien rajoitteiden vuoksi suositeltavaa on pyrkiä toimimaan 10 kilometrin säteellä referenssiasemasta, jotta tarvittava tarkkuus saavutetaan. [12, s. 13–19; 14, s. 12–19.]

Verkko-RTK-paikannus toimii vastaavasti kuin RTK-paikannus, mutta sen toiminta säde on yhtä laaja kuin tukiasemaverkkokin. Verkko-RTK perustuu tukiasemaverkkoon. Tämä menetelmä perustuu useammasta referenssiasemasta eli tukiasemasta saadun korjausdatan määrään. Laajan verkon avulla saadaan paremmin mallinnettua pois ilmakehän aiheuttamat virheet paikannukseen. Leican omaa tukiasemaverkkoa kutsutaan SmartNetiksi. Se kattaa lähes koko Suomen lukuun ottamatta Pohjois-Suomen syrjäisimpiä seutuja. SmartNet koostuu yli sadasta kiinteästä tukiasemasta (kuva 4), jotka lähettävät jatkuvasti korjausdataa vastaanottimille. Verkko-RTK on muuten yhtä tarkka menetelmä, mutta johtuen tukiasemien mahdollisesta sijaitsemisesta yli 10 kilometrin etäisyydellä vastaanottimesta saattaa korkeussijainnin tarkkuus pudota 3–4 senttimetrin luokkiin. Tästä johtuen yleensä työmaille perustetaan oma tukiasema tukemaan korkeustarkkuutta. [11, s. 25–29; 14, s. 12–19.]



Kuva 4. Leican SmartNet-tukiasemaverkon yli 100 tukiasemaa kattavat koko Suomen [18].

2.2.3 Satelliittipaikannuksen virhetekijät

Satelliittipaikannuksen virhetekijöistä voidaan puhua myös mittausolosuhteina. Epäedullisissa olosuhteissa tehtyihin mittauksiin liittyy enemmän virhettä (epävarmuutta) kuin hyvissä olosuhteissa tehtyihin. Virhettä paikannukseen aiheuttavat satelliittien sijainti taivaalla ja niiden geometria, ilmakehä ja monitieheijastukset kuten rakennuksista heijastuvat signaalit. Korjausdatan vastaanottoa häiritsee voimakkaat sähkömagneettisen säteilyn lähteet, kuten sähkö- ja voimalinjat. [9, s. 305–315; 11, s. 17–18.]

Satelliittigeometria tarkoittaa satelliittien sijoittumista taivaalle suhteessa mittaajaan. Geometria on hyvä silloin, kun satelliitteja on tasaisesti koko näkyvän taivaan alueella. Monitieheijastuksilla tarkoitetaan vastaanottimen tulevien signaalien heijastumista lähellä olevista rakenteista tai ympäristötekijöistä, kuten rakennukset ja puusto. Heijastuminen aiheuttaa virhettä tarkkuuteen, kun signaali ei tule suorinta reittiä vastaanottiin. Ilmakehän vaikutus mittauksien tarkkuuteen perustuu ionos- ja troposfäärin vaikutukseen signaalien kulkuaikaan. Suurin vaikutus on lähellä horisonttia, koska signaalit joutuvat kulkemaan pidemmän aikaa ilmakehässä. Tämän takia satelliittipaikantimet hylkäävät automaattisesti satelliitit, jotka sijaitsevat alle 20 asteen kulmassa horisontista. [9, s. 305–315; 14, s. 12–14.]

2.2.4 Toteumapistemittaukset koneohjausjärjestelmällä

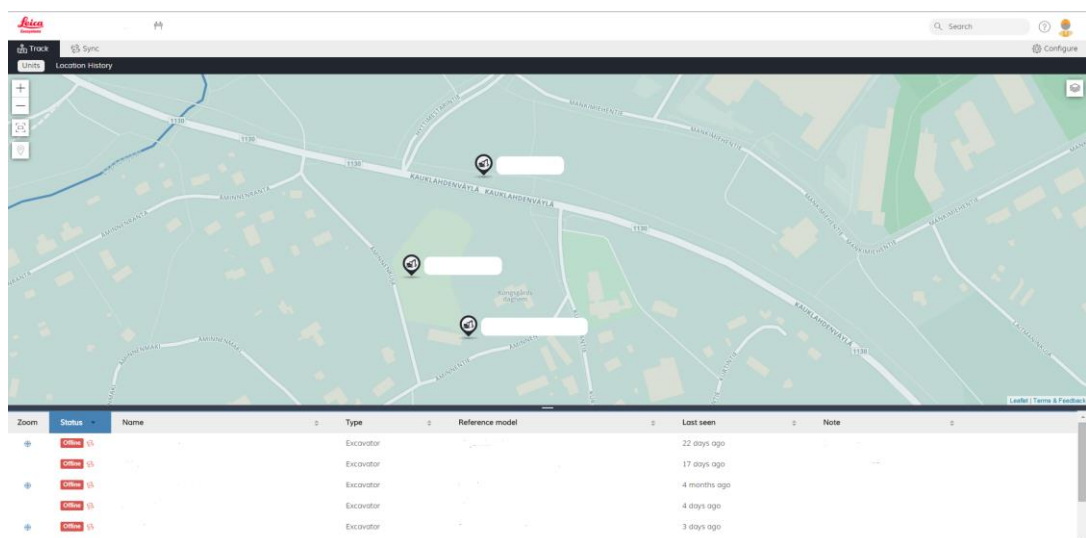
Koneohjausjärjestelmällä varustetun kaivinkoneen kaikki käytössä olevat kauhat on määritelty mitoiltaan järjestelmään, jotta konekuskki voi mitata tarkepisteitä millä tahansa kauhallalla. Kauhojen mittasuhteet eroavat toisistaan, mutta jokaisessa on peruseriaatteena kolme eri mittapistettä, kauhan huulen keskikohta sekä huulen molemmat reunat. Kaivinkoneen kuljettaja voi vaihtaa mittapistettä tehtävän työn tai tarpeen mukaan. (Kuva 5.) [14, s. 72–74.]



Kuva 5. Työkoneen kuljettajalla olevan päätteen näkymä rakenteiden työstö- ja mittausvaiheessa. Kuvassa kuljettaja on valinnut mittapisteeksi kauhan keskikohdan.

2.2.5 Koneohjausjärjestelmien etäseuranta

Kaikkia työmaalla toimivia koneohjausjärjestelmällä toimivia koneita voi seurata Leica Geosystems:n oman etäyhteyttä hyödyntävän internetsovelluksen avulla nimeltään iCon Telematics (kuva 6). Sovelluksessa näkee reaaliajassa kaikkien työkoneiden sijainnit kartalla sekä, mitä referenssitiedostoa ne käyttävät työskentelyyn. Sovelluksen kautta saa myös helposti siirrettyä tarvittavat tiedostot työkoneisiin, ja sama toimii, kun työkoneiden mitaamat toteumapisteet halutaan saada editoitaviksi toteumamallia varten.



Kuva 6. Internetsovellus iCon Telematics:n näkymä Kauklahdenväylän työmaalta. Sovelluksessa voi seurata reaaliajassa työkoneiden sijaintia [20].

3 Laadunvarmistuksen tarkkuusvaatimukset

3.1 Laadunvarmistusmittaukset yleisesti väylähankkeissa

Väylähankkeiden tierakenteille on asetettu InfraRYL:ssä kahdenlaisia vaatimuksia; toimivuus- ja teknisiä vaatimuksia. Toimivuusvaatimuksissa määritellään tien ominaisuudet ja niiden vaatimukset. Esimerkiksi tien pinnan pitää olla tasainen ja ehyt, eikä se saa olla haitallisen liukas. Tekniset vaatimukset ovat tien rakentamisen ja lopputuotteen materiaali-, mitta- ja tiiviysvaatimuksia, jotka väylän tulee täyttää. Teknisissä vaatimuksissa määritellään myös rakenteille sallitut poikkeamat sekä laadunvarmistusmittausten tarve ja määrä. [7.]

Tien geometrian laadunvarmistamiseksi tehdään mittauksia tien kaikista maa-, pohja- ja kalliorakenteista, päällysy- ja pintarakenteista, vesihuoltojärjestelmistä sekä rakennusteknisistä rakennusosista kuten sillat. Näiden kaikkien toteumille on määrätty omat toleranssiarvot sekä poikkeamarajat suunnitelmaan verrattuna. Mittauksilla osoitetaan rakennettujen pintojen korkeus-, sijainti- ja kaltevuustietojen laatu. [2, s.20–21; 7.]

Edellä esitettyjen vaatimusten toteutumista tulee seurata ja dokumentoida jatkuvasti hankkeen edetessä mittamiehen toimesta ja koneohjausjärjestelmällä mittamiehen ohjeistuksen mukaisesti. Hankkeen valmistuttua mittauksista kootaan laadunvarmistuskansio, joka pitää sisällään kaiken mittausaineiston. [2, s.20–21; 8, s. 19–21.]

3.2 Yleiset vaatimukset koneohjaukselle: InfraRYL ja YIV2015

InfraRYL on rakennustietokokoelma yleisistä laatuvaatimuksista infrahankkeissa. Kokoelma on laadittu määrittelemään hyvä ja laadukas rakennustapa myös niissä tilanteissa, kun hankkeen osapuolet ovat eri mieltä. Kokoelma sisältää kaksi erillistä laadullista osiota: toimivuus- ja tekniset vaatimukset. Toimivuusvaatimuksia ovat rakenteen elinkaareen liittyvät laatu. Tekniset vaatimukset kohdistuvat rakenteen valmistumishetkenä vaadittuun laatuun, joista tärkeimmät ilmenevät taulukosta 1. [7.]

Taulukko 1. InfraRYLin sallimat poikkeamat rakenteissa ja koneohjausjärjestelmiltä vaadittava tarkkuus näitä rakenteita työstettäessä [7].

Rakenneosia	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama	Koneohjausjärjestelmältä vaadittava tarkkuus XY;Z
	mm	mm	mm
Maaleikkaus, maapenger	-0/+200	+0/-100	+-100;+-30
Louhepengeri	-0/+200	+0/-100	+-100;+-30
Suodatinkerros	-0/+150	+-40	+-100;+-30
Jakavakerros	-0/+150	+-30	+-50;+-30
Kantavakerros	-0/+150	+-20	+-50;+-30

InfraRYLn lisäksi on valmisteilla rakenteiden mallintamiseen liittyvät ohjeistukset, jotta tilaajilla ja palvelujen tarjoajilla olisi yhteinen näkemys siitä, mitä ja milloin mallinnetaan. Näitä ohjeita on työstetty vuodesta 2014 alkaen, ja tällä hetkellä puolet tulevista ohjeistuksista ovat lausunnolla eri toimijoilla. Puolet ohjeistuksista, jotka olivat loppuvuodesta 2014 lausunnolla, julkaistiin 5.5.2015. YIV2015 eli inframallivaatimukset antavat tällä hetkellä vain suuntaa siitä, mitä tulevaisuudessa tullaan vaatimaan koneohjausjärjestelmien tarkkuudesta, mikäli niitä käytetään rakentamiseen tai laadunvarmistamiseen. [5.]

3.3 Koneohjauksella saavutettava teoreettinen tarkkuus

Laitevalmistajien antamat teoreettiset paikannustarkkuudet ovat tasossa 10 mm + 1 ppm ja korkeudessa 20 mm + 1 ppm. Teoriassa koneohjausjärjestelmien paikannustarkkuuden tulisi riittää rakenteiden tekemiseen ja oman työn laadunvarmistukseen toteumapisteitä mittaamalla. [10.]

3.4 Perinteisellä mittauksella saavutettava tarkkuus

Perinteisellä mittauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä takymetrillä suoritettavia tarkkaimmista mittauksista mittamiehen toimesta. Takymetrillä suoritettavat mittaukset toimivat tutkimuksen absoluuttisena nollatuloksena ja vertailukohtana.

Takymetrimittauksella saavutettavaan tarkkuuteen vaikuttaa muutama eri asia. Vaikuttavia tekijöitä ovat työmaalle tuotujen lähtöpisteiden tarkkuus ja niistä tehtävä takymetrin

orientointi vapaalle asemapisteelle sekä mittamiehen inhimillinen virhe. Parhaimmillaan takymetrillä mitattuun kohteeseen tuleva virhe on noin 5 mm. Tämä on tarpeettoman tarkkaa mittaamista suurimpaan osaan tarkemitattavista kohteista.

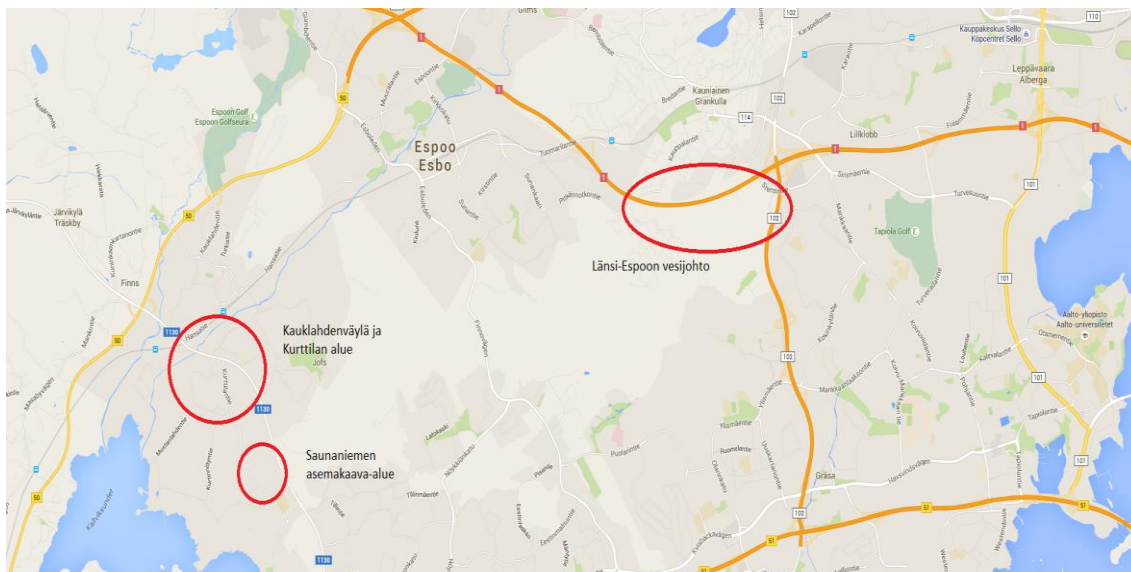
3.5 Mittalaitteiden laadunvarmistus

Satelliittimittalaitteiden laadunvarmistus perustuu hyvään satelliittigeometriaan ja gsm- tai radioyhteydellä saatavaan korjausdataan tukiasemilta. Muita mittausten laatuun vaikuttavia seikkoja ovat katveet kuten puusto ja rakennukset, jotka joko estävät tai heijastavat satelliittisignaaleja kulkemasta vastaanottimeen. Myös ilmakehän eri kerrokset vaikuttavat signaalien kulkuun ja lopulliseen mittaustarkkuuteen. Kun kaikki edellä mainitut tekijät on otettu huomioon, satelliittipaikannusjärjestelmillä päästään tyydyttävään tarkkuuteen, joka on tasokoordinaatistossa 10 mm + 1 ppm ja korkeuden virhe on 20 mm + 1 ppm. Mittalaitteista on kerrottu tarkemmin luvussa 2. [9, s. 291–315.]

4 Mittaussuunnitelma

4.1 Projektit

Insinööriyötä varten valittiin kolme kohdetyömaata, jotka eroavat toisistaan mitattavilta rakenteiltaan ja olosuhteiltaan. Työmaat ovat Graniittirakennus Kallion maanrakennushankkeita Espoossa. Kauklahdessa on näistä kaksi ja kolmas sijaitsee Länsi-Espoossa Suurpellon alueella. Kauklahdessa rakennetaan pääasiassa väyliä sekä kunnallistekniikkaa ja Suurpellolla pääpainopiste on runkovesijohdon rakentamisessa (kuva 7).



Kuva 7. Kartta työmaiden sijainneista suhteessa toisiinsa [21].

4.1.1 Kauklahdenväylä ja Kurttilan alue

Yhtenä kolmesta projektin kohdetyömaista toimii Kauklahdenväylän parantaminen ja Kurttilan alueen kunnallistekniikan perustaminen. Projektiin kuuluu myös Lasimäenlaakson vanhan kaatopaikan peittäminen sekä kulkuväylän rakentaminen Lasilaakson asuinalueelle.

Tämä projekti on pääpainopisteenä mittauksissa, johtuen alueelle rakennettavien rakenteiden monipuolisuudesta ja alueella toimivien koneohjausjärjestelmällä toimivien kaivinkoneiden määrästä verrattuna muihin työmaihin. Alueelle tehdään useita erilaisia rakenteita perinteisestä kadunrakentamisesta harvinaisempaan kaatopaikan peittämiseen. Kadunrakentamisen yhteydessä asennetaan myös tarpeelliset vesihuollon putket sekä tele- ja sähkösuojaputket. Suurin osa työmaan rakenteista tehdään kaivinkoneilla, joissa on koneohjausjärjestelmä. Näillä kaivinkoneilla otetaan samalla tehdyistä rakenteista toteamatietoa, jota verrataan takymetrillä mitattuun tarkepiesteaineistoon.

4.1.2 Länsi-Espoon vesijohto

Toisena vertailuprojektina on Länsi-Espooseen Suurpellon ja Kuurinniityn välille rakennettava runkovesijohto. Rakennusurakan pääkohteena on rakentaa hieman yli kaksi ki-

lometriä vesijohtoa uutta asuinalueen varten. Urakkaan kuuluu myös vähän kunnallistekniikan rakentamista tulevan asuinalueen perustaksi. Projekti valittiin osaksi työtäni, koska osa vesijohdon rakentamisesta tapahtuu puustosta aiheutuvalla katveen alueella.

4.1.3 Saunaniemen asemakaava-alue

Saunaniemen asemakaava-alue sijaitsee vajaan kilometrin päässä Kurttilan alueesta. Saunaniemen alueella rakennetaan pääasiassa katurakenteita sekä kunnallistekniikkaa. Alue on suurimmaksi osin avointa peltoaukeaa, joten alueella mittauksien varmuuden ja tarkkuuden tulisi olla hyvä.

4.2 Mittapisteet, mittalaitteet ja ketjun sisäinen tarkkuus

Lähtöpisteinä mittauksille käytetään työmaalle perustettua lähtöpisteverkkoa. Lähtöpisteet on tuotu Espoon kaupungin käyttökiintopisteistä. Mittalaitteina käytetään takymetriä Leica TS15 mittamiehen toimesta ja vertailukohteena satelliittipaikannuksella toimivaa Scanlaserin Leica PowerDigger-3D-koneohjausjärjestelmää. Mittausten sisäinen tarkkuus varmistetaan toteuttamalla mittauksia tarvittava määrä, jotta voidaan eliminoida mittauksien satunnaiset virheet pois. Systemaattiset ja karkeat virheet eliminoidaan käsin kun aineistoa käsitellään mittausten jälkeen. Yleisin systemaattisen virheen aiheuttaja on kalibroimaton mittalaite, ja karkeitakin virheitä voi tulla mittajaan huolimattomuudesta. Mittausketjulle saadaan hyvä sisäinen tarkkuus, kun mittalaitteet on kalibroitu oikein ja mittajat ovat ammattitaitoisia ja hyvin ohjeistettuja.

4.3 Pisteverkot ja mittausmäärät

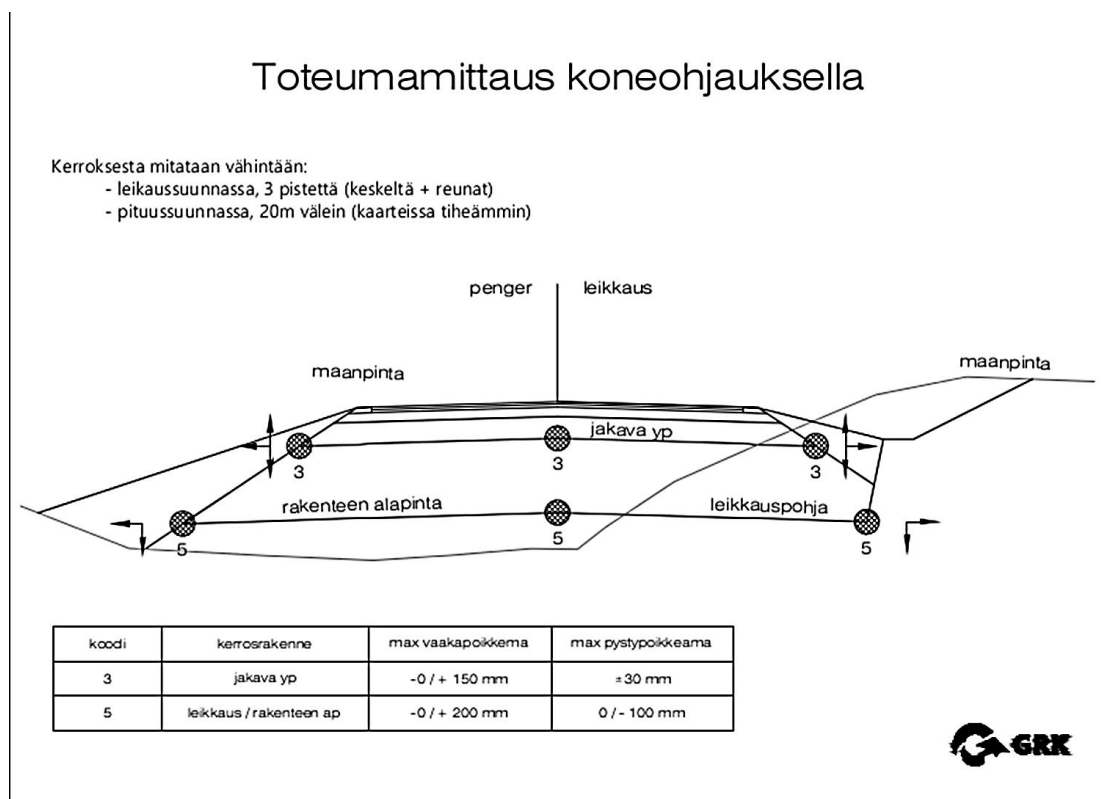
Koneohjausjärjestelmällä mitataan toteumapisteitä viiden metrin välein linjamaisista kohteista kuten vesijohto ja alueelliset kohteet mitataan 5 m kertaa 5 m ruutuun kuten pyörätien jakavan kerroksen pinta. Myös mittamies mittaa samalla tiheydellä, mutta takymetrillä. Näin toimitaan, jotta saadaan mahdollisimman kattava ja tarkka mittausaineisto vertailua varten. Tarkepisteitä mitattaessa tavoitteena olisi mitata joka kymmenes piste samasta kohtaa ja mieluiten samaan aikaan molemmilla sekä koneohjauksella että takymetrillä. Tämän tarkoituksena olisi saada eksaktia tietoa koneohjauksen tarkkuudesta suhteessa takymetrin tarkkuuteen ilman alueellisia vaihteluita.

4.4 Kalibrintiverkkoa koskevat määrittelyt ja vaatimukset

Koneohjausjärjestelmille tehdään työmaalle kalibrintiverkko, jonka avulla voidaan seurata järjestelmien tarkkuutta päivittäin työn edetessä. Kalibrintiverkko pitää olla koko työmaan kattava ja suhteellisen tiheä, että sen käyttö olisi mielekästä ja tehokasta. Kalibrintiverkon pisteiden materiaalin ja sijoittelun pitää olla tarkkaan suunniteltua, jotta saataisiin taattua pisteiden säilyvyys ja luotettavuus niiden tarkkuuteen. Pisteet tulisi sijoittaa kiinteisiin kohteisiin kuten kallioon tai johonkin vastaavaan kiinteään elementtiin.

4.5 Mitattavat rakenteet ja kohteet

Mitattavia rakenteita ja kohteita ovat teiden rakennekerrokset, vesihuoltojärjestelmät ja -laitteet, kaapelisuoja-putket, luiskien taitepisteet, avo-ojan vesijuoksu, kalliot sekä betonirakenteet. Rakennekerroksista mitataan kolme pistettä jokaisesta poikkileikkauksesta taiteviivojen kohdalta (kuva 8). Vesihuoltojärjestelmät mitataan normaalista tavasta poiketen putkien selistä, jotta mittaus onnistuu tarkasti myös kaivinkoneilla.



Kuva 8. Ote työkonien kuljettajille jaetuista ohjeista toteumapisteiden mittaukseen liittyen.

4.6 Mittaus- ja käyttöolosuhteiden epätarkkuuksien määrittelyt

Koneohjausjärjestelmällä mittaaminen katveisilla alueilla heikentää mitattujen arvojen luotettavuutta. Katveilla tarkoitetaan lähinnä puustoa ja korkeita rakennuksia. Katveet estävät tai häiritsevät satelliitivastaanottimia saamasta satelliiteista lähtevää sijaintitietoa, jota järjestelmä käyttää lasiessaan koneen sijaintia. Takymetrillä mittaaminen onnistuu katveisilla alueilla, mutta sillä ei voi mitata rankassa vesi- tai lumisateessa tai pimeässä toisin kuin satelliittipaikannuksella toimivilla työkoneilla. Takymetrin tarkkuuteen vaikuttaa myös ilman lämpöväreily etenkin pidemmällä matkoilla. Nämä ongelmat johtuvat takymetrin vaatimasta näköyhteydestä mitattavaan kohteeseen.

4.7 Koneohjauksen käyttö tarkkuutta heikentävissä olosuhteissa

Koneohjauksen käyttö katveisilla alueilla on mahdollista, mutta kyseenalaista, johtuen satelliittimittauksen vaatimista näkyvyydestä taivaalle (kuva 9). Tarkemittauksia voi suorittaa, jos voi olla varma laitteiston tarkkuudesta kyseisessä paikassa. Laitteistoihin voi asettaa tarkkuusrajan, jolloin ei voi ottaa toteumapisteitä. Useimmiten rajana käytetään viiden senttimetrin tarkkuutta. Koneohjausjärjestelmän toimintaa muuttuvissa olosuhteissa ja ympäristöissä tutkitaan työmailla. Pienikin puusto voi vaikuttaa mittauksien tarkkuuteen muutamia senttejä. Koneohjauksen mittauksen tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan pyrkiä parantamaan huonoissa olosuhteissa laitteiston tarkkuuden tarkastamisella lähiympäristöön tehdyillä seurantapisteillä. Mikäli havaitaan ongelmia koneohjausjärjestelmän tarkkuudessa, merkitään muistiin paikka, jossa on ollut ongelmia mittausten tarkkuuden kanssa, jotta tuloksia voidaan analysoida paremmin.



Kuva 9. Työkohte, jossa koneohjausjärjestelmän tarkkuuteen ei voitu luottaa johtuen suuresta katveesta.

4.8 Aineiston käsittely

Mittausaineistot kerätään kaikista työkoneista ja mittamiehen omista mittalaitteista ja käsitellään ja tarkistetaan 3D-Win-ohjelmalla. Kerätyistä tiedostoista eritellään eri rakennekerroksien tai rakenteiden pisteet omiksi aineistoikseen. Tätä helpottaa, jos pisteet on koodattu selkeästi ohjeistuksen mukaan. Oikein koodatut pisteet on helppo poimia 3D-

Win-ohjelmalla. Mikäli näin ei kuitenkaan ole, pisteet pitää käydä yksitellen läpi ja sijoitella oikeisiin tiedostoihin.

Aineistoista poistetaan ensiksi selkeät karkeat virheet. Kun karkeat virheet on saatu poistettua aineistoista, voidaan aloittaa vertailu. Vertailu on helpoin suorittaa kirjoittamalla mittausaineistot ulos CSV-muotoon, jonka avulla pistetiedot voidaan avata suoraan Excel-taulukkolaskentaohjelmassa. Excelin avulla voidaan suorittaa erilaisia vertailuja ja laskukaavoja tarkkuuksien selvittämiseksi. Vertailuaineistosta tuotetaan erilaisia taulukoita, joista ilmenevät mittausten keskivirheet ja keskihajonnat eri rakenteissa.

5 Johtopäätökset

5.1 Koneohjauksella saavutettava todellinen tarkkuus

Todellinen tarkkuus selvitettiin tekemällä vertailumittauksilla eri rakenteista kohdetyömailla. Vertailumittauksia suoritettiin yksittäisinä vertailupisteinä ja laajempina yhtenäisinä pintavertailuina. Yksittäisiä vertailupisteitä mitattiin eri rakenteista ja pinnoista kuten vesijohdoista, telesuojaputkista ja tien rakennekerroksista. Pintavertailuja suoritettiin tien rakennekerroksista ja kallioista.

Yksittäisiä pistevertiluja suoritettiin eri rakenteista koko projektin ajan. Mittaukset toteutettiin pääasiassa merkkamalla haluttu kohde maalirastilla, joka mitattiin takymetrillä ja koneohjausjärjestelmällä. Näin suoritettujen vertailumittausten tuloksena saatiin, että koneohjausjärjestelmän tarkkuus verrattuna takymetriin on korkeuden osalta keskimäärin 18 mm, x-koordinaatin kohdalla 41 mm ja y-koordinaatin kohdalla 44 mm. Korkeuden keskiarvo vastaa koneohjausjärjestelmiä markkinoivien yhtiöiden lupauksista laitteiston tarkkuudesta. Pitää ottaa huomioon, että mittaustulosten joukossa on myös ei-optimiolosuhteissa mitattuja tuloksia, vaikka niiden vaikutus on vähäinen lopputulokseen, kyse on muutamista millimetreistä. X- ja y-koordinaattien suurehko poikkeama johtuu suoraan työkoneiden mittaustavasta eli pisteet mitataan kauhalla, joka on useimmiten pari metriä leveä. Kun mittapiste on keskellä kauhaa, kauhan keskipisteen arvioiminen on erittäin hankalaa. Siten 4 senttimetrin eroavuus tasokoordinaateissa on aivan inhimillinen.

Pintavertailut tehtiin mittaamalla esimerkiksi tien jakava rakennekerros koneohjausjärjestelmällä ja takymetrillä. Molemmilla mittaustekniikoilla saaduista pisteaineistoista tehtiin 3D-Win-ohjelmalla pintamallit. Pintamallien eroja vertailtiin Mallien yhdistäminen -toiminnon avulla. Tässä esimerkki vertailussa yhtenäistä pintaa oli noin 354 neliometriä, ja tällä alueella mitattujen pintojen eroksi jäi 4,67 kuutiometriä. 345 neliometrin alueella 4,67 kuutiometriä vastaa keskimäärin noin 13,2 mm:n eroavuutta pintojen välillä.

Kallioista tehtyjen pintavertailujen erot olivat moninkertaiset verrattuna tasaisista pinnoista tehtyisiin vertailuihin. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että kallioden pinnanmuodot ovat niin epäsäännöllisiä. Tulokset riippuvat aivan siitä, kuinka hyvin eri mittaustekniikoilla mitatut pisteverkot sattuvat sopimaan yhteen. Tämän työn yhteydessä mitattujen kallioden pintojen keskimääräiseksi eroksi tuli noin 11 cm vajaan tuhannen neliometrin alueella.

5.2 Koneohjauksella saavutettavan tarkkuuden riittävyys

Koneohjauksella rakennetaan jo nykyisellään useita rakenteita joiden tarkkuusvaatimukset ovat alle 50 mm, mutta yli 10 mm. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi teiden eri rakennekerrokset, vesihuoltojärjestelmät tai telesuojaputket. Näiden samojen rakenteiden laadunvarmistuksen voisi mielestäni tuottaa yhtä lailla koneohjauksella mitatuilla toteumapisteillä, koska tuskinpa koneohjausjärjestelmän tarkkuus merkittävästi huononee siinä välissä, kun työkonie muotoilee pinnan haluttuun sijaintiin ja korkeuteen ja ottaa siitä toteumapisteen välittömästi tämän jälkeen.

Koneohjauksen käytöstä ja sen tuomista hyödyistä rakennustyömailla on olemassa monia tutkielmia, jotka tukevat sen käyttämistä rakennusvaiheessa, joten en näy mitään syytä siihen, miksei sitä voisi vastaavasti käyttää myös laadunvarmistukseen. Luvussa 5.1 on käsitelty koneohjauksella saavutettua todellista tarkkuutta, mikä todentaa sen riittävyyden myös laadunvarmistukseen.

5.3 Koneohjauksella toteutetun mittauksen luotettavuus

Koneohjauksella toteutetun mittauksen luotettavuus mittaustarkkuuden osalta on samaa tasoa kuin perinteisilläkin mittaustavoilla. Mittausten luotettavuutta voidaan parantaa

säännöllisellä koneohjausjärjestelmän tarkkuuden tarkistamisella, joko mittamiehen tai tarkistuspisteiden avulla. Koneohjauksen ainoa mahdollisesti epäluotettava komponentti on työkoneen kuljettaja ja hänen taitonsa ja ymmärryksensä tarkemittauksen suhteen. Senkin epätodennäköisyys on pieni, jos kuljettajat saavat selkeän ohjeistuksen tarkemittaukseen kuten liitteenä oleva Graniittirakennus Kallion oma Tarkemittausohje kuljettajille (liite 1). Siinä on selkeästi ohjeistettu, että tarkepisteet mitataan vasta kun tehty pinta tai rakenne on toleranssien sisällä.

Kaukalahden väylän työmaalla kokeiltiin yhden työkoneen paikannusjärjestelmän korjauslähteen vaihtamista työmaan oman tukiaseman korjaussignaalista yleiseen mobiiliverkonkorjaussignaaliin ja sen vaikutusta paikannustarkkuuteen. Työmaalla on oma tukiasema, josta työkoneet saavat paikannukseen korjauksen radioyhteyden avulla. Yksi työkoneista päätettiin poistaa työmaan tukiasemasta ja siirtää ottamaan datakorjausta SmartNet-tukiasemaverkosta. Smartnet on Leica Geosystems sin oma tukiasemaverkko, joka kattaa koko maan. SmartNet toimii 3G-puhelinverkossa, jonka avulla työkoneet saavat datakorjauksen paikannukseen. Muutamien tarkemitattujen pisteiden perusteella näiden kahden eri korjausdatan lähetysmenetelmän välillä ei havaittu merkittäviä eroavuuk-sia. Erot olivat keskimäärin 10 mm kaikilla koordinaattiakseleilla. Mittaukset suoritettiin hyvissä olosuhteissa, joten erojen pitäisikin olla pieniä. Jotta ongelmilta vältytään, on suositeltavaa käyttää kaikissa työmaalla toimivissa koneohjausjärjestelmissä samaa korjausdatan lähdettä. [17.]

6 Yhteenveto

Koneohjauksella saavutetaan monia etuja niin mittausteknisiä kuin taloudellisiakin. Mit-tausteknisiin etuihin lukeutuu eri vaihtelevissa olosuhteissa työskentely. Takymetrillä ei voi mitata pimeässä tai rankassa vesisateessa, mutta koneohjaukseen nämä olosuhteet ei vaikuta mitenkään. Toinen suuri mittaustekninen etu on vedenalainen kaivaminen ja mittaaminen. Takymetrimittaus vaatii kattavan lähtöpisteverkon työmaalle toisin kuin ko-neohjausjärjestelmä, jolla voi työskennellä erittäin joustavasti ympäri työmaan. Taloudel-linen suoraan näkyvä suuri etu on mittamiehen jatkuva juokseminen mittaamassa tark-keita tehdystä rakenteista työkoneiden perässä. Samalla myös työkoneiden hyötysuhde paranee, kun niiden ei tarvitse odottaa mittamiehen saapumista paikalle ennen seuraa-vaan vaiheen aloittamista. [15, s. 31.]

Koneohjausjärjestelmien käyttäminen tehostaa ja helpottaa työmaiden laadunvalvontaa, kun työkoneilla saadaan suoraan käyttökelvollista dataa laatudokumentteja varten. Yleisien laatuvaatimusten seuraamiseen tarvitaan paljon pisteaineistoa, joka on perinteisen mittamiehen työajalla lähes mahdotonta saavuttaa kattavasti. Työkoneiden tarkkuus tulee tarkistaa säännöllisesti työmaalla sovitun järjestelmän mukaisesti, jotta voidaan todentaa laatudokumenteissa työkoneiden tarkkuus mittaushetkillä. Myös tietojen siirtäminen työkoneesta mallintajalle nopeuttaa ja helpottaa kaikkien osapuolien työskentelyä ja mahdollistaa nopean reagoinnin virhetilanteissa.

Mikäli koneohjausjärjestelmien kehitys jatkuu samanlaisena ja kuljettajien koulutukseen panostetaan entisestään, voidaan olettaa, että tulevaisuudessa työmaiden mittamiesten työnkuva muuttuu radikaalisti lähemmäs toimistotyöskentelyä kuin maastotyöskentelyä. Tällä hetkellä koneohjausjärjestelmät vaativat vielä mittaushenkilöstön läsnäoloa työmailla, koska työkoneet eivät vielä täytä kaikkein tarkimpien rakenteiden tarkkuusvaatimuksia.

Lähteet

- 1 Ahonen, Toni. 2015. Tietomallipohjainen koneohjaus infratyömaalla. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89599/Ahonen_Toni.pdf?sequence=1>
- 2 Pietarinen, Janne. 2012. Laadunvarmistusmittaukset tietomallipohjaisessa väylärakentamisessa. Tutkielma. Verkkodokumentti. Aalto University Professional Development. <http://aaltopro2.aalto.fi/lomakkeet/tilaukset/Rakentaminen/r34/PietarinenJanne_Laadunvarmistusmittaukset_tietomallipohjaisessa_vaylarakentamisessa.pdf>
- 3 Vermeer, Martin. 2013. Johdanto Geodesiaan. Verkkodokumentti. Aalto-yliopisto. <<http://users.aalto.fi/~mvermeer/johd.pdf>>
- 4 Eklöf, Oskar. 2011. Tietomalleista koneohjaukseen. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34940/Tietomalleista%20koneohjaukseen.pdf?sequence=1>>
- 5 YIV2015. 2015. Verkkodokumentti. InfraBIM. <<http://www.infrabim.fi/yiv2015/>> Luettu 5.11.2015
- 6 Laakso, Markus. 2012. Kaivinkoneen koneohjauksen hyödyntäminen talonrakennustyömailla. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41520/Laakso_Markus.pdf?sequence=1>
- 7 InfraRYL infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Verkkodokumentti. Rakennustietosäätiö RTS.<<https://www.rakennustieto.fi/infraryl/>> Luettu 22.7.2015
- 8 Helin, Toni. 2015. Inframallipohjainen koneohjaus laadunvarmistuksen työkaluna. Opinnäytetyö. Saimaan Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/95742/Helin_Toni.pdf?sequence=1>
- 9 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.
- 10 Leica PowerDigger 3D. 2015. Verkkodokumentti. Scanlaser. <http://www.scanlaser.fi/fi/leica-powerdigger-3d_1169.htm> Luettu 15.10.2015
- 11 Nieminen, Juha-Matti. 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. Opinnäytetyö. Saimaan Ammattikorkeakoulu. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27378/Nieminen_Juha-Matti.pdf?sequence=1>
- 12 Pelkonen, Jari. 2012. Koneohjausjärjestelmän käyttö ja hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40073/Final_ver.pdf?sequence=1>

- 13 Piironen, Ville. 2012. 3D-koneohjausjärjestelmä kaivinkoneissa. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41528/Piironen_Ville.pdf?sequence=1>
- 14 Laulainen, Ville-Veikko. 2015. Tietomallikoordinaattorin tehtävät 3D-koneohjatulla infratyömaalla. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88143/tietomal.pdf?sequence=1>>
- 15 Lillsund, Mika. 2014. Kaivinkoneen koneohjauksen tehokkuuden mittaaminen. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73762/Mika%20Lillsund.pdf?sequence=1>>
- 16 Huotari, Janne. 2012. AIP-Mittaus Oy:n takymetrikaluston tarkastus. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46983/Huotari_Janne.pdf?sequence=1>
- 17 SmartNet palvelu. 2014. Verkkodokumentti. Leica geosystems. <http://www.leica-geosystems.fi/images/new/common/fi_SmartNet_Bro.pdf> Luettu 29.9.2015

Kuvat

- 18 SmartNet peittoalue. 2015. Verkkodokumentti. Leica geosystems. <http://fi.smartnet-eu.com/peittoalue-kartta_19.htm> Luettu 19.11.2015
- 19 Novatronin koneohjausjärjestelmän komponentit. 2015. Verkkodokumentti. Novatron. <<http://www.novatron.fi/fi/koneohjaus.html>> Luettu 25.11.2015
- 20 Icon Telematics etäseurantasovellus. 2015. Verkkodokumentti. Leica geosystems. <<https://icontelematics.com/>> Luettu 1.12.2015
- 21 Google Maps. 2016. Verkkodokumentti. Google. <<https://www.google.fi/maps/>> Luettu 22.10.2015

Koneohjausjärjestelmien tarkemittausohje



TARKKEIDEN MITTAUS 1/11

Koneohjauslaitteella tehtävä rakenteen laadunvarmistus tehdään työvaiheessa seuraavasti:

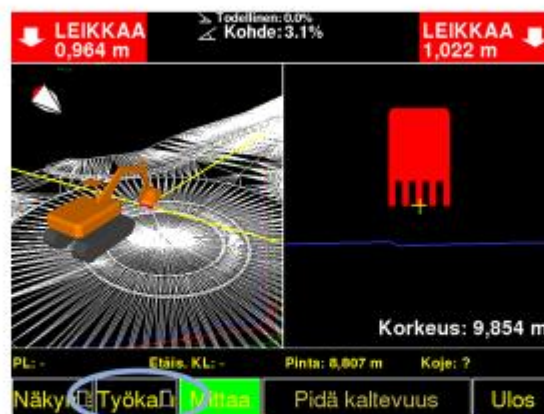
- ☐ Toteuta rakenne mallin mukaisesti kaivamalla / pengertämällä / muotoilemalla
- ☐ Tarkasta pinta työn aikana kauhalla, että se on toleransseissa
- ☐ Suorita mittaus vain valmiilta alueelta ohjeiden mukaan
- ☐ Tallenna ja synkronoi tiedot (etä synk) päivittäin tai pyydä mittamiestä hakemaan tiedot (muistitikulle)

- ① Tarkkeiden mittaamisessa tulee varmistaa, että mittaustiedot tallennetaan oikeaan tiedostoon sekä käytetään sovittuja koodeja sekä mittaustiheyttä.
- ① Muista kalibroida työkonetta työvuorossa kontrollipisteestä tai kun ohitat pisteen.

16



TARKKEIDEN MITTAUS 2/11



- ☐ Valitse alapalkista Työkalut

- ① Mittaustyö aloitetaan aina valitsemalla käytettävä tarketiedosto tai luomalla se

17



TARKKEIDEN MITTAUS 3/11



- ☐ Valitse työkalut listasta Tallenna pisteet

18



TARKKEIDEN MITTAUS 4/11

Uuden tiedoston luominen



- ☐ Paina N –painiketta
- ☐ Näpytä viereistä tyhjää ruutua
- ☐ Nimeä tiedosto **sovitulla koodilla** (kts. kohta 7/11)
- ☐ Paina OK
- ☐ Valitse luotu tiedosto koordinaattitiedosto kohtaan

19



TARKKEIDEN MITTAUS 5/11

Uusien tiedostojen luominen

- ☐ Näpytä Pisteen nimi kenttää
- ☐ Nimeä ja/tai numeroi piste
- ☐ Ruksaa kohta Näytä ajoikkunassa

① Mittaa nappi muuttuu vihreäksi tässä ikkunassa. Älä paina laatikkoa tässä vaiheessa. Näytä ajoikkunassa -valinta näyttää palkin Kaiva-tilassa.

20



TARKKEIDEN MITTAUS 6/11

Mittausten lisääminen aikaisempaan tiedostoon

- ☐ Näpytä Koordinaattitiedosto kenttää
- ☐ Valitse haluttu tiedosto
- ☐ Paina H -painiketta (aiempien mittausten näyttäminen)

21



TARKKEIDEN MITTAUS 7/11

GRK:n toteumamallien pistekoodit

Koodi	Rakenne / pistetieto	Koodi	Rakenne / pistetieto
1	Tien valmis pinta (kulutuskerros)	20	Kevennysrakenne
2	Kantava yp	21	Paalun yläpää
3	Jakava yp	22	Valaisinpylväs
4	Suodatin yp	23	Maakaapelit
5	Alusrakenteen pinta	24	Telesuojaputket
6	Massanvaihdon ap / yp	25	Betonilaatat / -rakenteet
7	Luisien taitepisteet		
8	Avo-ojaverkon vesijuoksu	30	Pintamaan poisto
9	Kalvannon pohja	31	Maanpinta (yleinen)
10	Vesihuollon laitteet	40	Kalliopinnat
11	Kalvo		
12	Rumpu, vesijuoksu	50	Kaatopaikan pohjakerrokset yp
13	Hulevesi, vesijuoksu	51	Kaatopaikan tiivistyskerros
14	Jätevesi, vesijuoksu	52	Kaatopaikan kaasunkeräyskerros
15	Salaoja, vesijuoksu		
16	Vesijohto, putken laki	0, (x)	Taustakartat
17	Arinan alapinta	999	Mittalinjat
		100	Kontrollipisteet

Konehjausaineiston nimeämisrakenne:
koodi_Kohdetieto
esim. 3_Brinkinmäentie

22



TARKKEIDEN MITTAUS 8/11

Pinnan tai kohteen toteumamittaus

PL: - Etäis. KL: - Pinta: 8,817 m Koje: ?

Näkyä Työka Mittaa Pidä kaltevuus Ulos

- ☐ Varmista, mitä pistettä käytät
- ☐ Varmista, että pinta on **toleranssissa**
- ☐ Paina **Mittaa** – painiketta kerran mittauspisteessä

① Kun kauhan mittauspistettä vastaava kohta on mitattavassa pinnassa tai pisteessä, tee tarkemmittaus. Toteumapiste tallentuu kertapainalluksella. HUOM! Tallennuksesta ei tule ilmoitusta.

23



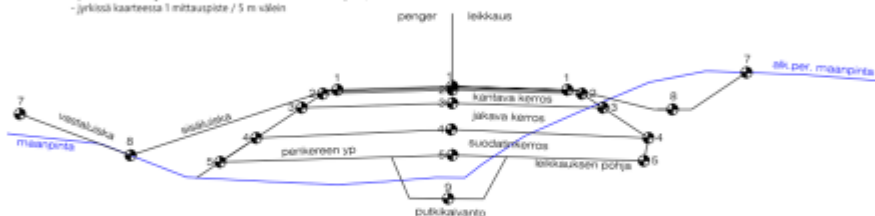
TARKKEIDEN MITTAUS 9/11

Tierakenteen tarkemittaus koneohjausjärjestelmällä

MITTAUSTIHEYD

Alusrakenteesta / kerroksesta mitataan:

- pituussuunnassa, 1 mittauspiste / 20 m välein
- poikkisuunnassa jokainen talle kuvan mukaisesti 1 mittauspiste/talle
- jyrkissä kaarteissa 1 mittauspiste / 5 m välein



koodi	kerroskerros	max vaakapokkama	max pystypokkama
1	Varmus pinta yp	-0 / + 150 mm	+20 mm
2	Kattava yp	-0 / + 150 mm	+20 mm
3	Jätkä yp	-0 / + 150 mm (maali) -0 / + 200 mm (doulet)	+30 mm
4	Suodatin yp	-0 / + 150 mm	+40 mm
5	Alusrakenteen pinta	-0 / + 200 mm (leikkaus) -0 / + 150 mm (penger)	0 / - 100 mm
7	Lusikat	-0 / + 200 mm	-
8	Aut-oja	+ 150 mm	+0 / - 100 mm
9	Käiväntien leikkauksen	+ 100 mm	+0 / - 100 mm

24

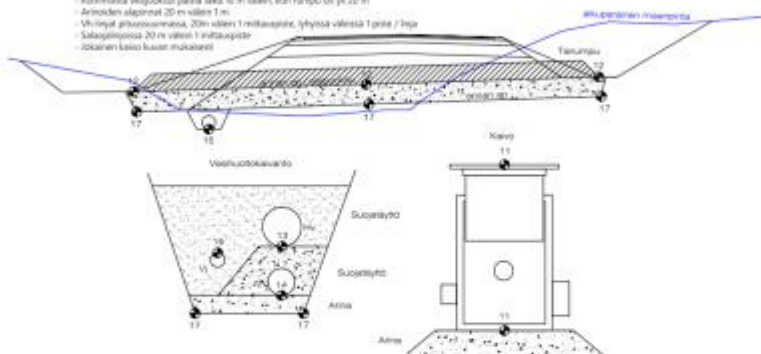


TARKKEIDEN MITTAUS 10/11

Kuivatus- ja vesihuoltorakenteiden mittaus koneohjauksella

Runku- ja linjat mitataan väliä:

- Runku- ja linjat mitataan väliä 10 m välein, kun rumpu on yli 20 m
- Ansoiden alapinnat 20 m välein 1 m
- Vihreyden pohjoispuolella, 20 m välein 1 mittauspiste, jyrkissä väleissä 1 piste / 5 m
- Suojatien pohjoispuolella, 20 m välein 1 mittauspiste
- Jokaikin kalle muuttuu



koodi	kerros	max vaakapokkama	max pystypokkama
11	Kattava	+ 150 mm (suodatinkerros) + 200 mm (penger)	+ 50 mm
12	Runku- ja linjat	+ 100 mm	+ 50 mm (suodatinkerros) + 200 mm (penger)
13	Suojatien pohjoispuolella	+ 100 mm	+ 50 mm
14	Suojatien pohjoispuolella	+ 100 mm	+ 50 mm
15	Suojatien pohjoispuolella	+ 100 mm	+ 50 mm
16	Suojatien pohjoispuolella	+ 100 mm	+ 50 mm
17	Suojatien pohjoispuolella	+ 100 mm	+ 50 mm

25



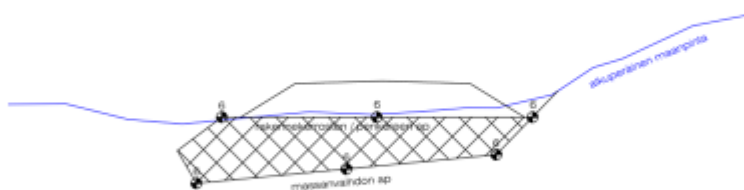
TARKKEIDEN MITTAUS 11/11

Massanvaihdon tarkemittaus koneohjausjärjestelmällä

MITTAUSTIHEYD

Massanvaihdon mitataan:

- pituussuunnassa, 1 mittauspiste / 20m välein
- poikisuunnassa massanvaihdon reunat sekä keskeltä, mikäli leveys on yli 10 m.
- jyrkissä kaarteissa, poikkeavissa muodoissa, kileissa 1 mittauspiste / 5 m paikkavälein



koodi	kerrosrakenne	max vaakapolkkeama	max pystypolkkeama
S	Aluskerroksen pinta	$\pm 0 / + 200 \text{ mm}$	$0 / - 100 \text{ mm}$
B	Isäkkäus / täkäröiden ap	$\pm 0 / + 200 \text{ mm}$	$0 / - 100 \text{ mm}$ *** kova otja

