

# **Koneohjauslaitteiden kanssa syntyvät virheet ja ongelmatilanteet työmaalla**

LAB-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
2023  
Eetu Kapiainen

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Kapiainen, Eetu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2023
	Sivumäärä 34	
Työn nimi <b>Koneohjauslaitteiden kanssa syntyvät virheet ja ongelmatilanteet työmaalla</b>		
Tutkinto Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Juho Kolehmainen, työmaapäällikkö, Destia Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kaivinkoneisiin asennettujen koneohjauslaitteiden kanssa työskennellessä tapahtuvia mittausvirheitä ja käytännön haasteita. Tavoitteena oli luoda tiivistetty käyttöopas 3D-koneohjauslaitteilla tehtävistä mittauksista ja työmaakohtaisista laatuvaatimuksista. Käyttöoppaan tarkoituksena on vähentää työmaalla esiintyviä käytännön haasteita ja toimia kaivinkoneenkuljettajien päivittäisenä tukena.</p> <p>Opinnäytetyö käsittelee mihin koneohjauslaitteiden toiminta perustuu ja mitä hyötyjä ne tuovat työmaalle. Raportissa esitellään, millaisia mittauksia koneohjauslaitteilla täytyy suorittaa ja mitä laatuvaatimuksia mittauksille on asetettu. Opinnäytetyössä esitetään, millaisia virheitä mittauksissa syntyy ja mitä käytännön haasteita laitteiden käytössä esiintyy.</p> <p>Työn tuloksena voidaan todeta, että oikeanlaisella koulutuksella ja kuljettajien perehdyttämisellä voitaisiin vähentää merkittävästi laitteiden kanssa syntyviä käyttäjävirheitä ja ongelmatilanteita.</p>		
Asiasanat 3D-Koneohjaus, koneohjauslaitteet, tietomallipohjainen rakentaminen, kaivinkoneet, infra,		

## Abstract

Author(s) Kapiainen, Eetu	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2023
	Number of Pages 34	
Title of Publication <b>Measurement errors and practical challenges of machine-controlled excavators at the site</b>		
Name of Degree Engineer (UAS), Civil and Construction Engineering		
Name, title, and organization of the client Juho Kolehmainen, Site Manager, Destia Oy		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to study the measurement errors and practical challenges when working with machine-controlled excavators. The aim was to create a short user manual of measurements and site-specific quality requirements. The purpose of the manual is to reduce practical challenges on the construction site and to act as daily support for excavator operators.</p> <p>The thesis deals with what the function of the machine control devices is based on and what benefits they bring on the construction site. The report presents what kind of measurements must be carried out with machine control devices and what quality requirements have been set for the measurements. The thesis presents what kind of errors occur in measurements and what practical challenges arise in using the machine control devices.</p> <p>As a result of the thesis, it can be stated that the right kind of training and boarding of operators could significantly reduce user errors and problem situations with the devices.</p>		
Keywords Machine control systems, model-based construction, excavators, infra-construction		

## Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Koneohjausjärjestelmät.....	2
2.1	Järjestelmätyypit.....	2
2.2	Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät .....	3
2.3	Paikannusjärjestelmät.....	4
2.4	Tukiasemat.....	6
2.5	Mittalaitteiden tarkkuuden seuranta .....	9
3	Koneohjauslaitteet työmaalla .....	10
3.1	Toimintaperiaate .....	10
3.2	Saavutettavia hyötyjä.....	12
3.3	Toteumamittaus kaivinkoneella.....	13
3.4	Seurantamittaukset.....	14
4	Käytännön haasteet työmaalla.....	16
4.1	Esimerkkien rajaus .....	16
4.2	Perehdytys ja kouluttaminen.....	16
4.3	Nimikkeistön ja termien hallinta.....	18
4.4	Koordinaattijärjestelmän muutokset .....	19
4.5	Paikannus- ja sijaintitietojen häiriöt .....	19
4.6	Työnaikaisten toteumamittausten puuttuminen .....	21
4.7	Väylän kerrosrakenteiden muoto- ja korko virheet .....	22
4.8	Varusteiden sekä putki- ja johtokaivantojen toteumamittaukset .....	23
4.9	Toteumamittausten koodivirheet.....	26
4.10	Työntekijöiden motivointi.....	27
5	Työmaalle suunnattu käyttöopas .....	28
6	Koneohjauksen käyttöönoton kehitysideat .....	31
7	Yhteenveto ja pohdinta .....	33
	Lähteet .....	34

## Käsitteet

<b>GNSS-mittalaite</b>	GNSS-mittalaite on mittamiesten ja työnjohtajien käyttöön suunnattu mittalaite, jonka avulla voidaan suorittaa mittauksia sekä tarkastella koneohjausmalleja ja työmaan taustakarttoja.
<b>InfraBIM</b>	Rakennetun ympäristön tuotemallin, inframallin ja siihen liittyvien rakenteiden ja ympäristön tietojen, englanninkielinen lyhenne.
<b>Infrakit</b>	Työmaalla käytettävä pilvialustainen projektinhallinta-järjestelmä. Palvelua käytetään esimerkiksi koneohjausjärjestelmillä varustettujen työkoneiden ja työmaatoimiston välisessä tiedonvälityksessä.
<b>Koneohjauslaite</b>	Työkoneeseen asennettava paikannus-, anturi- ja tietokonejärjestelmä, jonka avulla työkoneenkuljettaja pystyy suorittamaan erityyppisiä mittauksia työkoneella.
<b>Koneohjausmalli</b>	Työkoneiden ohjausjärjestelmissä hyödynnettävä malli, jonka laatii pääsääntöisesti urakoitsija suunnitelma- tai toteutusmalleista. Koneohjausmalli koostuu tyypillisesti piste-, viiva- ja pintamaisista aineistoista tai näiden yhdistelmistä.
<b>Perämies</b>	Kaivinkoneenkuljettajan työparina on usein lapiomies, jota kutsutaan ammattikielellä perämieheksi.
<b>Tarkastusmittaus</b>	Tarkastusmittauksilla tarkoitetaan rakennusvaiheen mallipohjaiseen laadunvarmistukseen liittyviä tukiasemien ja työkoneautoomaatiojärjestelmien säännöllisiä ja dokumentoituja paikannustarkkuuden seurantaan liittyviä tarkastusmittauksia.
<b>Tarkemittaus</b>	Tarkemittauksilla tarkoitetaan erillisellä mittalaitteella, kuten takymetri, tuotannon tietomallikoordinaattorin toimesta tai hänen valtuuttamanaan tehtävää rakenteen mittatarkkuuden todentavaa mittausa, jota ei voida mitata työkoneohjausjärjestelmällä.
<b>Toteumamalli</b>	Inframalli, joka kuvaa infrarakenteen tai -järjestelmän sellaisena kuin se kohdekohtaisesti laatuvaatimukset huomioiden toteutettu. Voidaan tehdä täydentämällä ja päivittämällä rakennussuunnitelma- tai toteutusmallia rakenteen lopullisen toteuman mukaisesti. Jokainen yksittäinen rakennepinta on oma rakennusosan toteumamalli ja kaikki rakennepinnat yhdessä muodostavat rakennetun kohteen toteumamallin.
<b>Toteumamittaus</b>	Toteumamittauksella tarkoitetaan työkoneella tehtävän toteutuneen rakenteen, järjestelmän tai taitorakenteen laadunmittausta, jolla osoitetaan kelpoisuus suhteessa suunnitelmiin. Toteumamittauksia koordinoi tuotannon tietomallikoordinaattori ja niitä suorittavat koneenkuljettajat

työkoneautomaatiojärjestelmillä varustetuilla maansiirtokoneilla tai työmaan mittaushenkilöstö mittauskalustollaan.

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee työmaalla käytettävien 3D-koneohjauslaitteiden käytössä syntyviä ongelmatilanteita ja inhimillisiä käyttäjävirheitä. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa työmaalla työskenteleville koneenkuljettajille helppolukuinen käyttöopas 3D-koneautomaatiolaitteiden käytöstä. Käyttöoppaassa halutaan tuoda esille tärkeimmät muistisäännöt ja ohjeet tiedontallennukseen sekä avata koneohjauslaitteiden käyttäjälle sitä, kuinka näyttölaitteen näkymää luetaan ja kuinka kuljettaja saa siitä mahdollisimman paljon informaatiota irti. Aihe opinnäytetyöhön rakentui työnantajan ehdotuksesta, työskentelen lähes päivittäin asian parissa ja olen todennut tämän aiheen tarpeellisuuden myös itse työmaalla. Opinnäytetyön toimeksiantajana ja tilaajana on Destia Oy.

Opinnäytetyön tuloksena pyritään luomaan lyhyt ja ytimekäs käyttöopas, jonka työntekijät pystyisivät matalalla kynnyksellä ottamaan työskentelyn tueksi. Käyttöopas tulee sisältämään ohjeet oikeaoppiseen käyttöön ja toimintoa havainnollistavia tilannekuvia. Asian kerääminen itsenäisesti työkoneessa on helpompaa asiaa havainnollistavien kuvien avulla. Oppaan on tarkoitus olla käyttökelpoinen jokaisella työmaalla, joten asiasisällön ja perusohjeistuksen on sovellettava jokaiselle työmaalle, mutta oppaassa esitetään myös työmaakohtaisia rakenteiden raja-arvoja ja mittoja, jotka ovat muokattavissa ohjeeseen työmaakohtaisesti asetettujen arvojen mukaisiksi. Tällä käyttöoppaalla pyritään vähentämään työkoneiden tallentaman mitta-aineiston virheellisyyttä, ja auttamaan kuljettajia muistamaan eri rakenteiden laadulliset ohjeet.

Destia Oy kuuluu osaksi kansanvälistä Colas-konsernia ja on nykyisin myös Suomen suurin infra-alan yhtiö. Destian päätoimialoja ovat infran suunnittelu, rakennus ja kunnossapito. Destia on mukana rakentamassa keskeistä infrastruktuuria pohjoismaissa ja panostaa suuresti tulevaisuuden infran kehitystyöhön. Colas-konsernilla työskentelee yli 57 000 ihmistä 50 eri maassa. Vuonna 2021 konsernin liikevaihto oli 13,2 miljardia euroa. Colasin tavoitteena on olla maailman johtava vastuullisten ja innovatiivisten liikkumISRatkaisujen tarjoaja. (Destia Oy 2022.)

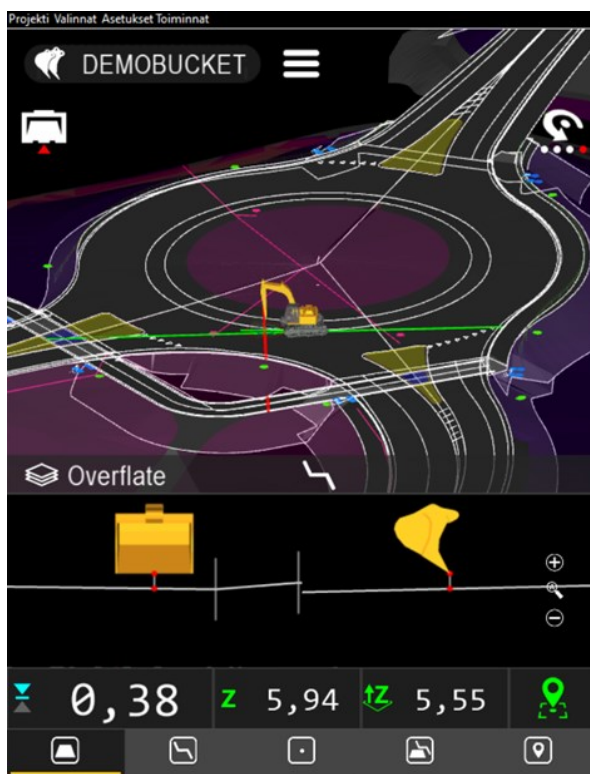
Opinnäytetyössä käsitellään myös sitä, mitkä tahot ja ohjeet ohjaavat työmaalla kaivinkoneiden tuottamaa mittausdataa ja miksi on erittäin tärkeää, että mittauksista tehdään ohjeiden mukaan. Pahimmillaan väärin tuotettu mittausdata on käyttökeltontonta ja maanpinnan alapuolisista rakenteista tallentamatonta tietoa on kallista saada jälkeenkäpäin kerättyä.

## 2 Koneohjausjärjestelmät

### 2.1 Järjestelmätyypit

Koneohjauksella tarkoitetaan työkoneisiin asennettavaa mittalaitteistoa. Mittalaitteisto avustaa sijainti- ja korkotietojen sekä mahdollisesti koneohjausmallien avulla maanrakennuksessa käytettäviä työkoneita. Työkoneet pystyvät suorittamaan koneohjauksen avustuksella erityyppisiä mittauksia työmaalla. Työkoneella on valmiudet pystyä tekemään itsenäisesti suunnitelmien mukaisia rakenteita kolmiulotteisen mallin avulla, mikäli työkone on varustettu 3D-laitteilla. Työkoneiden koneohjaus voi olla tyypiltään 1D (korkeus), 2D (tasokuvaus) tai 3D (korkeus ja tasokuvaus). (Luukkainen.)

1D-tyypin koneohjausjärjestelmässä laitteisto välittää kuljettajalle ainoastaan korkotietoa. 2D-laitteisto toimii koneen viereen määritetyn vertailupisteen avulla. Vertailupisteen avulla saadaan tietoa kauhan etäisyydestä ja syvyydestä vertailupisteen suhteen. Järjestelmässä ei ole käytössä ulkoista sijaintipaikannusta, joten konetta siirrettäessä vertailupiste on aina määritettävä uudelleen. 2D-laitteistolla voidaan tehdä esimerkiksi yksinkertaisia pintojen kaltevuuksia ja putkilinjojen pituuskaltevuuksia. 3D-koneohjausjärjestelmä pystyy hyödyntämään suunnitelmista luotuja koneohjausmalleja. Järjestelmän avulla kuljettajalle välittyy paikannustietojen lisäksi näkymä, jossa kuljettaja näkee kolmiulotteisesti kaivinkoneen sijainnin koneohjausmallin päällä (Kuva 1). (Luukkainen.)



Kuva 1. 3D-koneohjausjärjestelmän näkymä kuljettajalle (Novatron Oy)



Järjestelmä vertaa kauhan sijaintitietoja koneohjausmalleihin. 3D-laitteistoa käytettäessä on hyvä ymmärtää, että toimitaan nimenomaan kolmiulotteisessa ympäristössä. Ulkopuoliselta palveluntarjoajalta ostetun paikanninpalvelun sijaintitiedot välittyvät kolmen eri koordinaatin avulla. X-koordinaatti, joka kuvaa pohjoisen suunnan koordinaattia ja Y-koordinaatti, joka vastaavasti kasvaa itään, kertovat kauhan sijainnin tasossa, ja Z-koordinaatti kauhan korkotason. (Luukkainen.)

## 2.2 Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät

Käytössä olevia koordinaattijärjestelmiä on useita. Yleensä työmaalla ja sen suunnitelmissa on käytössä ETRS89-koordinaattijärjestelmä ja korkeusjärjestelmänä N2000-korkeusjärjestelmä. ETRS89-järjestelmän kanssa käytettävä Gauss-Krüger-karttaprojektio ja tasokoordinaatisto vastaa niin sanottua kaistakoordinaatistoa (Kuva 2). Suomi on jaettu 13 eri projektiokaistaan. Jokainen maantieteellinen pituusaste eli projektion keskimeridiaani, muodostaa oman ETRS-GKn-tasokoordinaatistonsa. Maantieteellinen pituusaste ( $19^{\circ}$ - $31^{\circ}$ ) näkyy käytettävän koordinaatiston nimessä, esimerkiksi ETRS-GK28-tasokoordinaatisto, joka on käytössä mm. Lappeenrannan alueella. (Ollikainen 2010.)



Kuva 2. Maantieteelliset pituusasteet (Maanmittauslaitos, 1)

Tämän kaistajärjestelmän rakenne on jokaisen mittalaitteistoja käyttävän työntekijän hyvä opiskella, jotta ymmärretään mihin käytössä oleva koordinaattijärjestelmä perustuu. Kaistajärjestelmä on hyvin looginen ja kuvan avulla helppo ymmärtää, syvemmälle koordinaattijärjestelmään ei ole tarvetta jokaisen työntekijän paneutua. Tällöin työntekijä ymmärtää minkä takia koordinaatistoa on välillä muutettava, kun vaihdetaan esimerkiksi työmaata.

Työkohteet voivat sijaita usein maantieteellisesti kaukana toisistaan. Mittalaitteistoa käytettäessä on tärkeää kiinnittää huomiota, että mittalaitteiston asetuksissa valittu tasokoordinaatisto ja korkeusjärjestelmä eli geoidimalli ovat oikein. Työmaiden kesken saatetaan kulkea edes takaisin useitakin kertoja, joten aina siirryttäessä on muistettava kiinnittää tähän huomiota. Pisteiden koordinaatit eroavat tasokoordinaatistojen kesken toisistaan, ja siksi on tärkeää, että valinta on tehty oikein, väärällä tasokoordinaatistolla kartoitetut pisteet tallentuvat väärillä koordinaateilla, ja aiheuttavat silloin myöhemmässä tiedonkäsittelyssä hankaluuksia ja mahdollisia virheitä. Oikean koordinaatiston ja korkeusjärjestelmän saa selville työmaan työnjohdolta tai mittamiehiltä. Väärä kaistajärjestelmän valinta ilmenee usein sillä, että projektin malliaineisto ei tule mittalaitteiston näytölle näkyviin, koska työkoneen ja suunnitelmien kaistakoordinaatit eivät täsmää toisiinsa, jolloin järjestelmä paikantaa työkoneen sijainnin väärin.

### 2.3 Paikannusjärjestelmät

Koneohjauslaitteiston paikannus voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Yleisin tapa on GPS/GNSS-paikannus radiomodeemilla tai GSM-verkkokorjauksella. Muita käytettyjä paikannustapoja ovat esimerkiksi takymetri- tai laserohjaus. Suurin osa työkoneiden paikannuksista perustuu satelliittipaikannukseen. Satelliittipaikannuksen ja tukiaseman avulla esimerkiksi kaivinkoneet voivat päästä kaivuutyössä senttimetrin tarkkuuteen. Tämä tarkkuus toteutuu ihannelanteissa, joissa ympäristön ja sään aiheuttamat häiriöt paikannuksessa ovat mahdollisimman pienet. Saatavilla olevien satelliittien määrä on oltava mahdollisimman suuri, jolloin paikannussignaali on mahdollisimman vahva ja tarkka. Yleisesti satelliittipaikannus tunnetaan termillä GPS-paikannus (Global positioning system). Global positioning system on Yhdysvaltojen kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä. Muita satelliittipaikannusjärjestelmiä ovat muun muassa Venäläinen Glonass, Euroopan unionin kehittämä Galileo ja Kiinalainen Beidou. Koska satelliittipaikannusjärjestelmiä on kehitetty jo useita, käytetään termistä nykyään yleisesti lyhennettä GNSS (Global navigation satellite system). (Luukkainen 4.)

Maapallon ympärillä kiertävät satelliitit lähettävät maahan aika- ja paikannustietoja, jotka kertovat muun muassa satelliitin sijainnin omalla kiertoradallaan suhteessa maapalloon. Työkoneiden koneohjauslaitteiden paikannusjärjestelmät vastaanottavat satelliittien lähettämää radiosignaalia. Riittävään paikannustarkkuuteen pääsemiseksi tarvitaan radiosignaalia saada vähintään neljästä satelliitista. Laite laskee signaalista saatavan tiedon perusteella esimerkiksi kaivinkoneen kauhan sijainnin X-, Y- ja Z-koordinaatit. Paikannuksen tarkkuus on tarkempi, mitä useammasta satelliitista saadaan vastaanotettua radiosignaalia samanaikaisesti. (Luukkainen 5.)

Työmaa olosuhteissa, voi paikannuksessa ilmetä usein häiriöitä. Avaruudesta saatava radiosignaali on erittäin herkkä ympäristön aiheuttamille häiriöille. Pelkästään ilman säätilanne voi vaikeuttaa signaalin välittymistä, erittäin pilvisellä ilmalla vastaanottimen lukemien satelliittien määrä voi olla alhaisempi kuin selkeällä säällä. Työmaalla häiriöitä paikannussignaaliin aiheuttavat esimerkiksi työkoneen vieressä sijaitsevat suuret puut, tiheät metsät, korkeat ja jyrkät kalliot, siltojen muodostamat katveet ja suuret työkoneet kuten nosturit, joiden suuri puomisto voi aiheuttaa signaalin heijastumista, jolloin signaali ikään kuin kulkee ”väärä reittiä” (Kuva 3). Myös muut työkoneet, jotka käyttävät koneohjauslaitteita, saattavat aiheuttaa häiriösignaaleja toisen työkoneen paikannukseen, jos pienellä alueella työskentelee suhteessa paljon eri mittalaitteistolla varustettuja työkoneita.



Kuva 3. Paikannussignaalia voi häiritä useat ympäröivät tekijät

Nämä kaikki häiriötekijät on hyvä tiedostaa laitteita käytettäessä, ja ne varmasti tulevat ajan mittaan kuljettajalle tutuksi, kun niitä syntyy. Huonon paikannussignaalin tai muun ympäristön aiheuttaman häiriön paikannuksessa huomaa hyvin nopeasti. Usein huonon paikannussignaalin vastaanottaminen ilmenee ensimmäisenä mittalaitteiden näytörüudun ilmoittamasta kauhan korkolukemasta. Korkotieto saattaa vaihdella edestakaisin muutamasta kymmenestä sentistä, metriin, vaikka työkonetta olisi täysin paikallaan. Häiriön huomaa myös, kun paikannustiedot lakkaavat seuraamasta liikkuvaa työkonetta ja sijaintitiedot eivät enää päivitty mittalaitteen ruudulle. 3D-koneohjauslaitteissa laite ilmoittaa myös kuljettajalle näytörüudulla vilkkuvalla valolla huonosta paikannussignaalin vastaanottamisesta. Tällöin kuljettaja tietää, ettei tarkkuus ole sillä hetkellä paras mahdollinen ja perehtynyt kuljettaja voi yrittää korjata tilannetta esimerkiksi siirtämällä kaivinkonetta, jolloin kaivinkone voisi mahdollisesti olla radiosignaalin suhteen ”paremmin näkyvillä”. Paikannuksen häiriötilanteet ovat tärkeä tunnistaa ajoissa. Häiriö paikannuksessa voi olla muutamien senttien luokkaa ja joskus kauhan ilmoitettu korko vääristyy puolella metrillä, jolloin kuljettajan on tärkeää osata päätellä milloin koneohjauslaitteita ei voida käyttää tai milloin niiden tarkkuus ei juuri sillä hetkellä ole paras mahdollinen.

## 2.4 Tukiasemat

Jotta senttimetriluokan tarkkuuteen päästään, on koneohjauksen apuna oltava tukiasema. Pelkällä satelliittipaikannuksella päästään paikannustarkkuudessa metrien luokkaan ja signaalia vahvistavan tukiaseman avulla tarkkuus voidaan mitata senteissä. Tukiasema voi olla työmaalle tai sen läheisyyteen sijoitettava fyysinen asema, tai vaihtoehtoisesti korjaussignaali voidaan ostaa myös virtuaalisista tukiasemista ulkopuoliselta palveluntarjoajalta. Yleensä fyysinen tukiasema on pakattu pieneen konttiin, joka tuodaan työmaalle tai sen välittömään läheisyyteen. Fyysisiä tukiasemia on myös pienemmässä muodossa, jossa tukiaseman laitteisto on pakattu esimerkiksi salkkuun. Tällaisia toimistotukiasemia voidaan perustaa esimerkiksi työmaan toimistoparakin katolle. (Luukkainen 5–6.)

Useilla suurilla rakennusfirmoilla, kuten Destialla, on hankittuna omia tukiasemia. Tukiasemia löytyy sekä fyysisenä, että virtuaalisena palveluna ostettuna. Käyttökohde ja työmaan suuruus sekä kesto määrittävät usein sen, minkä tyyppistä tukiasema ratkaisua kulloinkin käytetään. Pieneen työmaakonttiin pakattuja tukiasemia käytetään esimerkiksi silloin, kun työmaalla työskentelee useampi kaivinkone tai muu maarakennuskone, joka tarvitsee mittalaitteistoon korjaussignaalia. Konttitukiasema tuodaan paikalle myös silloin kun työmaa on kestoaltaan ja kooltaan sellainen, että fyysisen tukiaseman tuominen on logistisesti ja käyttötarpeeltaan järkevää (Kuva 4).



Kuva 4. Avoimelle paikalle sijoitettu aggregaatin voimalla toimiva konttitukiasema

Tukiaseman käyttötarvetta mietittäessä on aina otettava huomioon työmaasähkö. Kuten kaikki sähkölaitteet, tämäkin tarvitsee toimiakseen virtalähteen. Kontissa toimivaa tukiasemaa on hyvä käyttää esimerkiksi silloin kun saatavilla ei ole työmaasähköä. Sen sisälle voidaan sijoittaa esimerkiksi aggregaatti, joka tuottaa tukiasemalle tarvittavan sähkövirran ja pysyy lukollisen oven takana suojassa varastamiselta.

Jos fyysiselle tukiasemalle on tarve, ja kontteja ei ole varastossa saatavilla, voidaan tukiasema perustaa myös salkussa kuljetettavalla laitteistolla. Tämä laitteisto on kokonsa puolesta helppo siirtää ja sillä on monia vaihtoehtoisia pystytys alustoja. Usein tällainen tukiasema päädytään perustamaan työmaatoimistona toimivan parakin tai rakennuksen katolle. Laitteisto tarvitsee toimiakseen aina valovirtaa, joka saadaan usein parhaiten toimistorakennuksesta, jonka sisällä on muutakin tietotekniikkaa. Laitteiston järjestelmää on myös helppoa hallita ja alustaa mahdollisissa vikatilanteissa, kun se voidaan tehdä toimistosta käsin.

Virtuaalinen tukiasema on nimensä mukaisesti tekniikan avulla luotu virtuaalinen tukiasema kaivinkoneen läheisyyteen (Luukkainen 6). Virtuaalisen tukiaseman helppoutena on se, että korjaussignaalin saatavuus ei ole riippuvainen kaivinkoneen sijainnista. Kaivinkone ei ole siis riippuvainen kiinteästä asemasta, jonka korjaussignaalin saatavuudessa ilmenee häiriöitä keskinäisen etäisyyden kasvaessa. Virtuaalinen tukiasema ei ole myöskään altis

kaikille häiriötekijöille, joille fyysisen tukiaseman lähettämä korjaussignaali altistuu. Tämän tyyppinen tukiasema on myös erittäin käytännöllinen mittamiesten tai työnjohtajien käyttämissä GNSS-mittalaitteissa, joita käytetään päivittäin työnjohdon ja -suunnittelun apuna (Kuva 5).



Kuva 5. Työnjohdon apuna käytettävä GNSS-mittalaite

Työnjohtajien ja mittamiesten työnkuva on ajoittain varsin liikkuvaa, ja päivän aikana voidaan vieraila useillakin eri työmailla, tällöin yleisesti apuna oleva GNSS-mittalaite saa aina virtuaaliselta tukiasemalta korjaussignaalia laitteen sijainnista riippumatta. Virtuaalisia tukiasemia tarjoavat maksullisena palveluna laitevalmistajat, kuten Geotrim (Luukkainen 6). Virtuaalisen tukiaseman palvelun saamiseksi, koneen mittalaitteistoon on lisättävä palveluntarjoajan sim-kortti. Sim-kortin avulla mittalaite kykenee vastaanottamaan virtuaalisen tukiaseman tuottamaa korjaussignaalia. Virtuaalisen palvelun huonona puolena on, että jokainen mittalaite, joka tarvitsee virtuaalista korjaussignaalia, tarvitsee myös oman sim-kortin. Tämä on otettava huomioon tukiasema ratkaisuja mietittäessä, sillä korttien hankinta lisää huomattavasti myös juoksevia lisenssi- ja laitekuluja.

## 2.5 Mittalaitteiden tarkkuuden seuranta

Kehittyneistä koneohjauslaitteista voidaan käyttää jo termiä mittalaite. Tarkat mittalaitteet tarvitsevat säännöllistä kalibrointia ja viikoittaista tarkkuuden seuranta, jotta laitteen mitaustarkkuus sekä sen ilmoittamat lukemat pysyvät varmasti luotettavina. Työmaalla käytettäville mittalaitteille, kuten koneohjauslaitteille, työnjohdon GNSS-mittasauvoille ja mittamiehen mitauslaitteille on määritetty maastoon eri puolille työmaata kiintopisteitä. Mittamiehen ennalta mitaamat ja määrittämät kiintopisteet ovat tarkoitettu viikoittaiseen mittalaitteiden tarkkuuden seurantaan. Kiintopisteet mitataan ja merkitään usein esimerkiksi kiveen tai kallioon, jolloin niiden sijainti pysyy tukevasti paikoillaan. Jokaiselta maastoon merkityltä kiintopisteeltä, on mitattu sen sijainnin tarkat koordinaatit, jotka on kirjoitettu joko pisteen viereen maastoon, tai tallennettu mittalaitteiden käyttämään pilvipalveluun.

Käyttäjä voi kiinnittää pilvipalvelun kautta löytyvät kiintopisteet laitteen vertailupisteiksi, jonka avulla pisteen ja laitteen ilmoittamien koordinaattien vertailu onnistuu kätevästi. Varmennettujen koordinaattien avulla laitteen hallitsija seuraa oman mittalaitteensa ilmoittamia sijainti- ja korkotietojen tarkkuuden säilymistä säännöllisesti koko työmaan keston ajan. Kiintopisteelle on merkitty merkintämaalilla joko pisteympyrä tai risti, jonka keskelle mittalaitteen sijoittamalla ilmoitettuja sijaintitietoja voidaan verrata toisiinsa. Kaivinkoneenkuljettaja asettaa kauhan ensin kauhan pohja pystyasennossa ja toisen kerran kauhan pohja alaspäin merkittyyn pisteeseen niin, että kauhan huulilevyn keskikohta on merkityn kohdan keskellä. Koneohjauslaite voidaan määrittää asetuksista mittaamaan kauhan sijainti- ja korkotietoja, joko kauhan huulilevyn keskikohdasta tai vaihtoehtoisesti valittavana on vasen tai oikea huulilevyn kulma. Kuljettaja pystyy seuraamaan kiintopisteiden avulla itsenäisesti oman kaivinkoneensa mittalaitteen sijainti- ja korkotietojen paikkaansa pitävyyttä säännöllisillä tarkistuksilla.

### 3 Koneohjauslaitteet työmaalla

#### 3.1 Toimintaperiaate

Kaikkien työmaalla olevien osapuolten etu on, että työ saadaan valmistumaan aikataulussa tarkkuudesta ja laadusta tinkimättä. Koneohjausjärjestelmät auttavat tehostamaan maanrakennusurakoitsijan tekemää työtä, sekä pääurakoitsijan työmaanhallintaa ja laadunseurantaa. Mittalaitteiston näytöruutu ohjaa kuljettajaa saavuttamaan rakennettavan pinnan korkotason nopeasti ja helposti kerralla oikein. Yhdellä kertaa valmistunut työvaihe säästää urakassa usein materiaalien menekkiä, muiden työntekijöiden, kuten mittamiehen ja työnjohtajan työpanosta, polttoainekustannuksia ja tärkeää työaikaa. Tuottavasta työskentelytavasta hyödytään myös kannattavuuden parantumisella.

Lisäämällä työkoneeseen 3D-mittalaitteet ja kalibroimalla sen kauhat yhteensopiviksi laitteiston kanssa, saadaan kuljettajalle tietoon työmaan korkomaailma ja kauhan XYZ-koordinaattien sijainti. Tämän avulla suurimmasta osasta työvaiheita selviydytään ilman erillisiä korkomerkintöjä tai perinteisiä sihtilappuja ja lasereita. Usein mittalaitteisto on yhdistetty pilvipalvelun kautta johonkin työmaan projektipankkina toimivaan palveluun, esimerkiksi infrakittiin. Palvelun kautta mittalaitteisto pystyy vastaanottamaan työmaan taustakarttoja ja koneohjausmalleja. Koneohjausmallit ovat suunnitelmamalleista jalostettuja kolmiulotteisia pinta- tai linjamalleja, jotka ovat yhteensopivia koneohjauslaitteiden kanssa (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 9).

Kuljettaja voi valita yhden tai useamman rakenneosan pintamallin saman aikaisesti näkyviin näytölle. Suunnitelmien hahmottaminen on myös helpompaa näytön reaaliaikaisesta 3D-kuvasta, joka seuraa työkoneita ja näyttää kauhan sijainnin kolmiulotteisten suunnitelmien päällä. Koneohjausjärjestelmän paikannus perustuu RTK-GNSS satelliittipaikannukseen. Työmaalle sijoitettavasta tukiasemasta tai vaihtoehtoisesti verkkokorjauspalvelun tuottamasta korjaussignaalista saavutetaan työkoneen mittalaitteistoon senttimetriluokan tarkkuus (+/- 2cm). Koneohjausjärjestelmän avulla työkoneesta saadaan itsessään tarkka mittalaitte. (Novatron Oy.) Kuvassa 6 on esitetty kaivinkoneeseen asennettavan Novatron-valmistajan 3D-koneohjausjärjestelmän komponentit ja niiden sijainti kaivinkoneessa.



## XSITE® PRO 3D-KONEOHJAUS JÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT



Kuva 6. Koneohjausjärjestelmän komponentit (Novatron Oy)

Järjestelmään kuuluvat seuraavat osat:

- Laservastaanotin
- Kauhaan, puomistoon ja runkoon kiinnitettävät anturit
- Näyttö
- Antennimastot
- Paikannusantennit
- Satelliitivastaanotin
- Tietokone

### 3.2 Saavutettavia hyötyjä

Mittalaitteet parantavat monella eri tapaa työvaiheen tehokkuutta. Kuljettaja pystyy mittalaitteiden avulla työskentelemään itsenäisemmin ja säästämään sitä kautta työpanoksia. Kuljettajan tekemä työvaihe ei sido mittamiestä säännöllisin välein merkitsemään maalilla tai sihtilapuilla rakenteen korkoja ja reunoja, vaan mittamiehen työpanos saadaan siirrettyä johonkin muuhun tärkeään työvaiheeseen. Satelliittipaikannuksen ansiosta, työkone ei ole riippuvainen siirrettävistä lasereista eikä fyysisiä korkolappuja tarvita vertailutasoksi.

Työskentely tehostuu myös huonoissa sääolosuhteissa, jolloin näkyvyys on huono koneen ulkopuolelle. Sateella ja pimeän vuorokauden aikaan korkolukemat ja suunnitelmat näkyvät näyttöruudulla koneen sisällä, tällöin kuljettajan ei tarvitse tähyttää koneen ulkopuolisia merkintöjä (Kuva 7). Kuljettaja pystyy seuraamaan näytöltä näkyvistä työmaan taustakar-toista esimerkiksi työmaan haltuunotonrajoja tai muita kriittisiä reunaviivoja. (Pitenius 2019.)



Kuva 7. Kaivinkoneet pystyvät työskentelemään koneohjauksen avulla myös yöllä

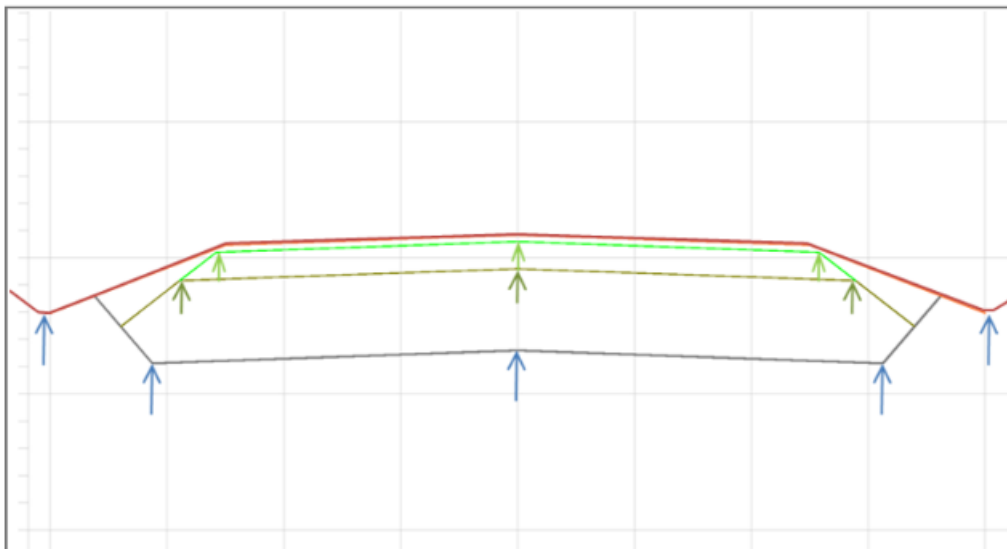
Myös työmaan tärkeintä asiaa eli työturvallisuutta saadaan parannettua koneohjauslaitteiden ansiosta. Itsenäistyneen työskentelyn avulla saadaan vähennettyä esimerkiksi mittamiehen ja työnjohdon työskentelystä johtuvaa liikkumista työkoneen ympärillä. Työturvallisuus paranee, kun suurten ja raskaiden työkoneiden läheisyydessä tarvitsee liikkua vähemmän.

Projektilla työskentelevän kaivinkoneen työnjälki on myös tasalaatuisempaa parantuneen tarkkuuden ansiosta. Parantuneen tarkkuuden myötä myös työmaalla vaadittavat tiukemat toleranssit ovat mahdollisia toteuttaa. Toleranssien avulla vältetään ylimääräistä maainesten kaivuuta ja täyttöä, joka taas vähentää materiaalin siirrosta aiheutuvia kuljetuskustannuksia. Mittalaitteisto tuo kuljettajalle myös velvollisuuksia ja vastuuta, kaivuutyön yhteydessä valmis pinta tulee dokumentoida ja todentaa mittalaitteiden avulla ennen seuraavaa työvaihetta. Kuljettaja pystyy tallentamaan kauhan avulla toteumapisteet ja keräämään tarkan mittausaineiston itsenäisesti, joka vähentää mittamiehen tarvetta. (Novatron Oy.)

### 3.3 Toteumamittaus kaivinkoneella

Koneohjauslaitteella varustetulla kaivinkoneella tehdyistä rakenteista kuljettaja tallentaa työn aikana toteumamittauksia, joita hyödynnetään työnaikaisessa rakenteiden mittatarkkuuden laadunvalvonnassa, sekä seurataan rakenteiden valmiusastetta ja etenemistä. Toteumamittauksella tarkoitetaan tehdyn rakenteen, järjestelmän, varusteiden tai taitorakenteen sijaintitiedon työnaikaista mittausta. Kuljettajan tallentamilla toteumapisteillä voidaan osoittaa tehdyn rakenteen vastaavan tilaajan antamia suunnitelmia ja laatuvaatimuksia. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 122.)

Väylärakentamisessa toteumamittaukset suoritetaan rakenneosittain vähintään 20 m välein kuvan 8 osoittamista kohdista. Toteumat mitataan rakenteen poikkileikkauksen taitekohdista. Kaivinkoneenkuljettajat täytyy perehdyttää työmaalle tullessa toteumapisteiden mittaukseen ja perehdytyksestä vastaa työmaalle nimetty tietomallikoordinaattori. Kaivinkoneen koneohjauslaitteiden mittaus- ja paikannustarkkuus on todettava ensin vastaamaan vaadittuihin rakenneosakohtaisiin tarkkuusvaatimuksiin, ennen kuin voidaan suorittaa haluttuja toteumamittauksia rakenneosista. Koneohjauslaitteiden avulla voidaan kerätä toteumapisteitä väylän maapenkereiden, leikkaus- ja kerrosrakenteiden, rakenteeseen tulevien kaapelien, suojaputkien, paineellisten ja viettoviemäreiden, kaivojen sekä erilaisten anturoiden osalta. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 122.)



Kuva 8. Kuljettajan tallentamat toteumapisteet on mitattava poikkileikkauksen taitekohdista. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 123)

Ylempiä rakennekerroksia, kuten kantavan kerroksen pintaa mitattaessa, voidaan käyttää koneohjauslaitteita, mikäli sen sijaintitarkkuus on varmuudella osoitettu vastaamaan kerroksen sijaintitoleranssia ja tarkkuusvaatimusta. Ennen toteumamittauksia, jokainen kaivinkoneen käyttämä kauha on kalibroitava mittamiehen avustuksella koneohjausjärjestelmään yhteensopivaksi. Toteumia tehdessä työkoneenkuljettajan on seurattava, että koneohjausjärjestelmän paikannustila on riittävän tarkka. Järjestelmä hakee paikannustietoa useiden satelliittien avulla, ja niiden lukumäärä näkyy kuljettajan ruudulla. Paikannus on sitä tarkempi, mitä useampi satelliitti lähettää sijaintitietoa kaivinkoneeseen. Kuljettajan näytöltä voidaan valita toteumien mitattavan joko kauhanhuulilevyn keskeltä, tai toisesta reunasta. Toteumaa mitattaessa kauhan huulilevy viedään tarkasti maata vasten haluttuun kohtaan, josta toteuma halutaan tallentaa. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 122–123.)

### 3.4 Seurantamittaukset

Työmaalla suoritetaan jatkuvaa laadunvarmistusta myös toteumamittausten osalta. Toteuma- ja tarkastusmittausten suorittamisesta vastaa työmaan tietomallikoordinaattori. Työkoneiden tuottamaa mittausdataa valvotaan esimerkiksi työnjohtajien käytössä olevilla RTK-GNSS-mittalaitteilla. Koneohjauslaitteilla tallennetuista mittauspisteistä käytetään termiä toteumapisteet. Mittahenkilön tai työnjohdon RTK-GNSS- tai täkymetrilaitteella tallentamista paikannusmittauksista käytetään termiä tarkemittaus. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 123.)

RTK-GNSS-mittalaitteella tai täkymetrillä tehdään tarkemittauksia koneohjauslaitteiden avulla tehdystä rakenteesta. Mittamiehen tai työnjohdon tekemät tarkemittauspisteet täydentävät koneenkuljettajan tallentamia toteumapisteitä, samalla voidaan tarkkailla sekä tehdä laadunvarmistusta työkoneen tekemästä rakenteesta. Tarkemittausten lisäksi työnjohto tai mittahenkilöt suorittavat mittalaitteilla työkoneille ja tukiasemille kohdistettuja tarkastusmittauksia säännöllisin väliajoin. Näin saadaan seurattua paikannuslaitteiden tarkkuutta ja mahdolliset paikannusjärjestelmien poikkeamat sekä viat koneohjausjärjestelmissä havaitaan mahdollisimman nopeasti ja niihin ehditään puuttua ajoissa. Eripuolille työmaata on perustettu tarkastuspisteitä eli ns. kiintopisteitä, joiden koordinaatit ja korkoasema on tiedossa. Näitä tarkastuspisteitä koneenkuljettajat voivat käyttää hyödyksi ja seurata itsenäisesti oman kaivinkoneensa työkoneautomaatiojärjestelmän paikkatiedon tarkkuutta. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 123.)

## 4 Käytännön haasteet työmaalla

### 4.1 Esimerkkien rajaus

Tässä osiossa käydään läpi koneohjauslaitteiden käytöstä syntyviä ongelmatilanteita työmaalla. Esimerkit ovat kaivinkoneen koneohjauslaitteiden kanssa tapahtuneita tilanteita. Tätä ei tarkoituksella toisteta jokaisessa esimerkissä.

Olen ennen ammattikorkeakouluopintojani työskennellyt kaivinkoneenkuljettajana ja osa kaivinkoneistani on ollut varustettuina 3D-koneohjauslaitteilla. Minulla on henkilökohtaisesti kokemusta kyseisistä tilanteista itse kaivinkoneenkuljettajan roolissa ja myös myöhemmin työnjohtajana työskennellessä. Työmailla työskentelen päivittäin mittalaitteiden parissa ja olen huomannut näiden edellä mainittavien ongelmien toistuvan eri työmailla.

### 4.2 Perehdytys ja kouluttaminen

Tällä hetkellä työmaalla syntyy koneohjauslaitteiden käyttöönoton puutteellisesta perehdytyksestä ja opastamisesta sekä sen jälkeisestä huolimattomasta laitteiden käytöstä johtuen, valtavasti ylimääräistä työpanosten ja resurssien käyttöä työn aikana syntyneiden virheiden jälkikäsitteilyyn ja korjaamiseen. Työkoneella suoritettavat virheelliset mittaukset ja puutteellisesti tehdyt rakenteet sitovat työnjohtoa ja mittaushenkilöstöä pois muista tärkeistä tehtävistä. Pääurakoitsijat hankkivat työmaalle tarkoituksella työkoneita, jotka ovat varustettuina mielellään 3D-mittauslaitteilla, tarjouslaskennassa toimihenkilöstö ja muut työmaan henkilöstöresurssit mitoitetaan olettaen näiden työkoneiden pärjäävän työmaalla suurimman osan ajasta itsenäisesti ja kykenevän suorittamaan rakenteiden valmistumisen lomassa tarvittavat mittaus ja kartoitus toimenpiteet. Näiden koneohjauslaitteiden ideana ja tarkoituksena on, että niiden avulla pystyttäisiin tekemään niillä varustetuista työkoneiden työskentelystä itsenäisempää ja tehostaa niiden työskentelyä niin ajallisesti, kuin käytettävien resurssien ja työpanosten kautta. Jotta tämä tarkoitus toteutuu, on edellä mainittaviin ongelmiin ja virheiden ratkaisuksi panostettava työmaalla entistä enemmän. Hyviin tuloksiin työmaalla päästään, jos laitteiden käyttöön on hyvin perehdytty ja mittalaitteisto sekä sen käyttö ja operointi on kuljettajalla hyvin hallussa.

Uusien kuljettajien perusteellinen perehdyttäminen, jollaisen jälkeen pystyttäisiin toimimaan laitteiden kanssa kuten on tarkoitettu, jää usein työmaa olosuhteissa jatkuvan kiireen ja vähäisten vapaana olevien resurssien puuttumisen takia tekemättä. Suurin osa edellä mainittavista työmaalla syntyvistä käyttäjävirheistä olisi kitkettävissä pois, jos oikeanlainen alkuperäishyönteys ja opastus koneohjauslaitteiden käytöstä olisi hallinnassa. Kuljettajille, joille koneohjauslaitteet ovat entuudestaan tuntemattomia ja tietoteknisten laitteiden hallinta ei

ole henkilökohtaisia vahvuuksia, syntyy työskennellessä toistuvia virheitä. Virheistä aiheutuu työmaan aikana paljon ylimääräistä henkilöstöressurssien käyttöä, joka kuormittaa työmaalla sekä työnjohtoa että mittahenkilöitä.

Vastuu perehdyttämisestä ei ole kuljettajalla, eikä myöskään yksin pääurakoitsijan, vaan vastuu perehdytyksestä ja laite koulutuksesta on yhteinen pääurakoitsijan ja aliurakoitsijan kesken. Molempien osapuolten on omalta osaltaan huolehdittava siitä että, yhteisellä työmaalla koneohjauslaitteilla varustetuilla työkoneilla työskentelee ainoastaan sellaisia henkilöitä, joilla on niiden käyttöön valmiudet ja kuljettaja aidosti tiedostaa mitä tekee. Pääurakoitsijan on omalta osaltaan huolehdittava, että jokainen työmaalle tuleva työkoneenkuljettaja käy läpi pääurakoitsijan oman koneohjauslaitteiden käyttöä käsittelevän perehdytyksen työmaalle tullessaan taitotasosta ja aiemmasta kokemuksesta riippumatta. Näin pääurakoitsija varmistaa omalta osaltaan, että jokainen kuljettaja on suorittanut alkuperehdytysten ja turvallisuuskoulutusten lisäksi koneohjauslaitteiden kanssa työskentelyn oikeat toimintatavat ja ohjeet läpi perehdytyksen muodossa.

Jokaisella työmaalla on tilaajan määrittämät työmaakohtaiset toleranssit ja sallitut poikkeamat toteutettaville rakenteille. Myös pääurakoitsija on määritellyt työmaakohtaisesti, kuinka laajasti se haluaa koneohjauslaitteita hyödynnettävän, ja mitkä ovat sen toimintasuunnitelman mukaiset ohjeistukset koneenkuljettajille esimerkiksi toteumapisteiden tallennuksen ja kerättävän mittausdatan suhteen. Pääurakoitsijalta on myös tarpeellista löytyä työnjohtoa tai mittaushenkilöstöä, jolla on henkilökohtaista kokemusta kaivinkoneiden koneohjauslaitteiden käytöstä. Tällöin perehdytyksessä voidaan käydä tarvittaessa kuljettajan kanssa laitteet ja toiminnot läpi fyysisesti koneen ohjaamossa.

Aliurakoitsijan on omalta osaltaan huolehdittava ammattitaitoisten kuljettajien ohjaamisesta koneohjauslaitteilla varustettuihin kaivinkoneisiin tai muihin mittalaitteistolla avustettuihin työkoneisiin. Aliurakoitsijan tulisi myös itse opastaa uudet kuljettajat uusien laitteiden käyttöön. Yhtenä yleisenä ongelmia tuottavana tekijänä on koneenkuljettajien vaihtuvuus keskenäisen työmaan aikana. Vaihtuvuus aiheuttaa usein ongelmia ja lisää vahinkoriskiä siinä kohtaa, kun koneohjausjärjestelmä ei ole tuttu tuuraavalle kuljettajalle, ja siihen perehdyttäminen työmaalle tullessa jää tekemättä. Tuuraajan jatkama työtehtävä voi olla suunniteltu tehtävän koneenkuljettajan näkökulmasta itsenäisesti ilman perämiestä. Huonosti uusiin laitteisiin perehdytetty uusi kuljettaja ja tutun perämiehen puuttuminen johtaa helposti siihen, että asiaa ajaudutaan oppimaan syntyvien virhetilanteiden kautta, joita esimerkiksi tässä opinnäytetyön tuloksena luodun oppaan avulla yritetään saada vältettyä.

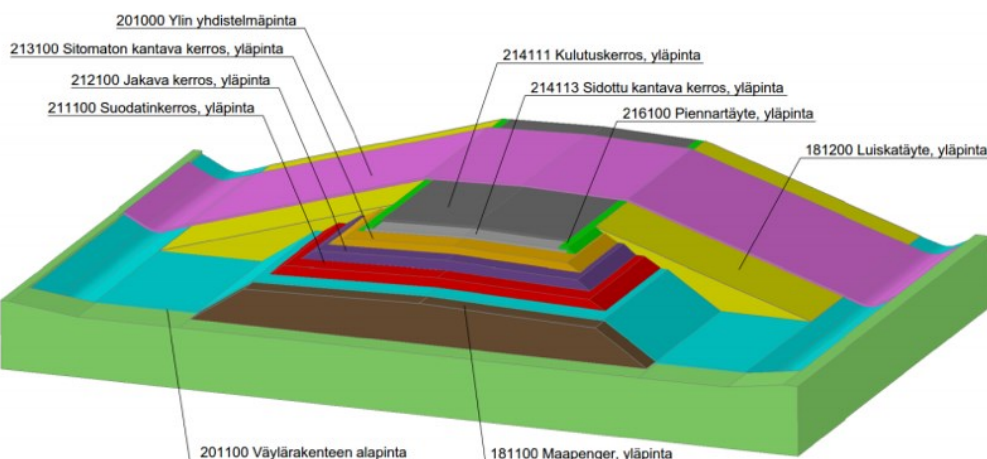
Ennalta rakennetulla perehdytysketjulla ja eräänlaisella kuljettajahallinnalla varmistettaisiin työmaalla kaksi oleellista asiaa, koneohjauslaitteiden sujuva käyttö ja perehtyneiden

kuljettajien joukko. Yhteistyöllä molemmat osapuolet hyötyisivät sekä työn sujuvuuden kannalta että taloudellisesti, kun kumpikin osapuoli varmistaisi omalta osaltaan tiedonvälityksen ja riittävän koulutuksen uusille kuljettajille.

### 4.3 Nimikkeistön ja termien hallinta

Opastuksen ja uusien kuljettajien koulutuksen puuttuessa, työskentelyn ohella sattuu paljon perustoimintojen hallitsemattomuudesta johtuvia virheitä. Yhtenä tärkeänä asiana olisi InfraBIM-nimikkeistön tunteminen, nimikkeistö sisältää infrarakenteiden ja -mallien numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Yhteisen termistön käyttö helpottaa huomattavasti mallinnushankkeita. InfraBIM-nimikkeistön käyttäminen inframallinnuksessa on ehdoton vaatimus. (Yleiset inframallivaatimukset 2021, 39.)

Kuvassa 9 on esitetty väylärakenteen pintamallit nimikkeistön mukaisesti. Väylärakentamisessa kouluttamattomalla kuljettajalla sattuu usein virhe eri kerrosrakenteita tehdessä, kun ei tunneta aiemmin mainittua pintamallien nimikkeistöä. Sen seurauksena ei tiedosteta mikä kyseinen kerrosrakenne oikeasti on mitä ollaan tekemässä, nimikkeistössä olevien termien tunteminen olisi erittäin tärkeää. Jos esimerkiksi jakavan kerroksen pintaa tehdessä ei hahmoteta, mitä näytöllä lukeva pintatunnus ”212100 Jakava kerros” numerokirjain yhdistelmä oikeastaan tarkoittaa, ei voida osata vaihtaa rakennekerrosten välillä siirryttäessä myös näytössä näkyvää koneohjausmallia, jonka mukaan työskennellään. Kun kuljettaja ei ole tuntenut nimikkeistöä ja termejä, tilanne on johtanut työmaalla helposti siihen, että täytetään esimerkiksi rakennekerroksissa jakavaa kerrosta kantavan kerroksen pintamallin korkojen mukaan. Yksinkertaisesta näppäilyvirheestä koneen kopissa, voi syntyä iso virhe työmaalla. Jokaisen koneenkuljettajan olisi tärkeää osata väylärakenteiden pintamallien nimikkeistö ja rakenneosien oikea järjestys.



Kuva 9. Väylärakenteiden InfraBIM-nimikkeistö (InfraBIM -nimikkeistö 2019, 1)



Koneohjausmallit ovat järjestetty projektin pilvipalvelussa projektipuuhun tähän standardin mukaiseen järjestykseen. Kuljettaja voi siis selata työkoneen näytöltä koneohjausmalleja tässä samassa loogisessa pintajärjestyksessä kuin kuvassa on esitetty. Kaikki koneohjausmallit ovat nimetty nimikkeistön mukaan.

#### 4.4 Koordinaattijärjestelmän muutokset

Tärkeitä perustoimintoja, jotka täytyisi hallita on laitteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmän muunnokset. Pääurakoitsijalla saattaa olla lähekkäin useita samanaikaisia työmaita, joilla on sama aliurakoitsija. Työmaiden suunnitelmissa voi silti olla suunnittelun pohjana eriävät koordinaattijärjestelmät, jos työmaat osuvat lähelle kaistakoordinaatiston rajoja. Tällöin koordinaatisto on muutettava esimerkiksi ETRS-GK28-tasokoordinaatistosta seuraavaan kaistaan ETRS-GK29-tasokoordinaatistoon, kun vaihdetaan työmaalta toiselle. N2000-korkeusjärjestelmä on usein sama kaistojen kesken, mutta tämäkin on aina varmistettava.

Yleensä kuljettajat ovat huomanneet koordinaatistovirheen nopeasti, kun koneohjausmallit eivät tule näytölle paikannusvirheen vuoksi näkyviin. Vahinkoja voi kuitenkin sattua tilanteissa, joissa kone siirtyy tekemään työtä, jossa se ei tarvitse avuksi koneohjausmalleja vaan kartoittaa esimerkiksi maastoa tai jo kaivettuja järjestelmiä toteumamittauksilla. Tällöin tallennetut toteumamittaukset tallentuvat pilvipalveluun ja projektipankkiin väärillä koordinaateilla, ja tällöin esimerkiksi työnjohtajat ja automaatio-operaattorit eivät näe tallennettuja pisteitä kartalla. Tällaiset pisteet hukkuvat muun mittausdatan sekaan, jos asia ei käy ilmi heti mittaushetkellä, myöhemmin kukaan ei osaa sanoa mistä ja mitä nämä pisteet tarkoittavat, jos ne sattuvat järjestelmästä löytymään. Toteumapisteiden koordinaatit voidaan kuitenkin korjata työnjohdon tietokoneella olevilla mittaus- ja automaatio-ohjelmistoilla. Edellytyksenä on, että kuljettaja tai työnjohto huomaa virheen hyvissä ajoin.

#### 4.5 Paikannus- ja sijaintitietojen häiriöt

Koneohjauslaitteiden ajoittaisessa tarkkuudessa esiintyy ympäristön vaikutuksista ja tarkastusmittauksien laiminlyönnistä johtuvia laitteen esittämien sijainti- ja korkolukujen vääristymiä. Kun puhutaan koneohjauslaitteissa esiintyvistä paikannusvirheistä, vahingot ja virheet ovat yleensä isoja. Kaivinkoneet ehtivät pitkän työpäivän aikana tekemään ison alan esimerkiksi väylän rakennekerroksia. Huonosta paikannussignaalista tai siihen alueellisesti kohdistuvasta ulkoisesta häiriötekijästä johtuen, laitteen ilmoittama korkolukema voi vääristyä todelliseen korkoon verrattuna niin, ettei kuljettaja sitä helposti huomaa. Valmistuneen rakenteen yläpinnan korkovirhe voi tällöin ylittää tilaajan määrittämän suurimman sallitun poikkeaman. Virheelliset rakennepinnat joudutaan aina korjaamaan kaivinkoneella, jolloin jo tiivistetystä pinnasta on hidasta lähteä jälkikäteen hieromaan oikeaa pinnankorkoa.

Työmaalla esiintyy aina ajoittaisia häiriöitä paikannuksessa, jotka vaikuttavat koneen ilmoittamaan kauhan sijaintiin ja korkolukemaan. Kuljettajan on siis seurattava merkittyjen kiintopisteiden avulla säännöllisesti, että koneen sijaintitiedot pitävät paikkansa. Erityisesti tarkkailua on tehtävä silloin, kun kone tekee työmaan sisällä pidemmän siirtymän, jolloin ympäristön häiriöitä aiheuttavat olosuhteet muuttuvat.

Kuljettajien on myös tarkkailtava koneidensa keskinäisiä mittalaitteiden korkoeroja (Kuva 10). Usein samaa väylärakennetta voi olla tekemässä useampi kaivinkone, ja tällöin rakenteen pintojen kohdatessa pinnat voivat olla kaivinkoneiden keskinäisien korkoerojen takia eritasoissa. Paikannuksessa on esiintynyt kaivinkone kohtaisia häiriöitä, toinen koneista voi työskennellä lähellä puustoa tai muuta ulkoista häiriötekijää, joka heikentää vastaanotettavaa signaalia. Myös käytettävän korjaussignaalityypin on huomattu aiheuttavan koneiden keskinäisiä paikannusvirheitä. Työkoneet, jotka käyttävät työmaalle tuotua fyysistä tukiasemaa ja sen lähettämää korjaussignaalia voivat elää eri korkomaailmassa, kuin koneet, jotka käyttävät korjaussignaalin saamiseksi virtuaalista tukiasemaa. Ero on ollut jopa 10–15 senttimetriä. Tilanne on voinut muuttua virheelliseksi töiden kuluessa, vaikka työkoneet olisikin kalibroitu oikein työmaalle tullessaan. Sijaintihäiriö pääsee syntymään, kun koneet liikkuvat isolla työmaalla ja ympäristön häiriötekijät muuttuvat. Tämä aihe on tärkeää käydä kuljettajien kanssa perehdytyksen tai laitekoulutuksen yhteydessä läpi. Työntekijöiden on tiedettävä, kuinka tärkeä merkitys työnaikaisella mittatarkkuuden seurannalla on syntyvien rakennusvirheiden välttämiseksi. Erityisesti paikannusongelmia on huomattu esiintyvän itäisessä suomessa ja itärajan läheisyydessä.



Kuva 10. Kuljettajien on muistettava vertailla sijaintitietoja myös keskenään

#### 4.6 Työnaikaisten toteumamittausten puuttuminen

Työkoneet ovat veloitettuja tekemään rakenteet mittalaitteen näytössä näkyvän kolmiulotteisen koneohjausmallin ja siinä esitettyjen korkojen sekä mittojen mukaisesti. Kuljettajien velvollisuutena on myös tallentaa työn aikana tehdyistä rakenteista sekä esiin tulleista vanhoista, käytössä olevista rakenteista toteumamittauksia. Toteumamittauksilla pystytään myöhemmin luomaan toteutuneesta rakenteesta toteumamalli sekä aineisto, jolla pystytään todistamaan tilaajalle valmiin rakenteen suunnitelman mukaisuus. Toteumamallissa kuvataan kolmiulotteisesti infrarakenne tai -järjestelmä, kuin se todellisuudessa on työmaalla laatuvaatimukset huomioiden valmistunut (Yleiset infamallivaatimukset 2021, 11). Kuljettajan keräämä mittausdata on siis erittäin tärkeää rakennusaineistoa, mutta myös urakoitsijan oikeusturva. Useimmiten pintojen päälle täytetään uusia kerrosrakenteita ja siksi on äärimmäisen tärkeää, että mitattavaa aineistoa kerätään rakenteista työskentelyn ja rakentamisen yhteydessä (Kuva 11). Valmiin pinnan alapuolisista kerrosrakenteista, putkista, järjestelmistä tai muista johteista ei enää jälkeenkäin saada mitattua tarvittavalla tarkkuudella haluttua toteumamittausta.



Kuva 11. Kuljettaja kartoittaa toteumapisteillä maapenkereen alle jäävää maanpintaa

Tällä hetkellä työmaalla puutteellisesta käyttökoulutuksesta ja koneohjauslaitteiden hallinnasta johtuvia virheitä ovat esimerkiksi kuljettajilta veloitettujen toteumapisteiden puuttuminen. Pääurakoitsija on määrittänyt toteumapisteiden keräämiselle mittaustiheydet, joka määrittää sen, kuinka tiheällä välillä väylärakenteen poikkileikkauksen taitteita on pituus-suuntaisesti mitattava. Yleisenä toteumapisteiden tiheytenä väylärakentamisessa käytetään 20 metriä. Tämä tiheys antaa tarpeeksi tarkkaa mittausdataa, jolla voidaan verrata toteutuneen rakenteen pinnan vastaavuutta suunniteltuun rakenteeseen. Nämä toteumapisteet ovat myös tärkeä osa työsuunnittelua. Niiden avulla työnjohto pystyy seuraamaan valmistuvaa rakennetta ja sen myötä projektin etenemistä reaaliaikaisesti esimerkiksi InfraKitin kautta.

Valitettavan usein toteumapisteet puuttuvat valmistuneesta väylän pinnasta kokonaan tai niitä on muistettu mitata työn edetessä vain osasta kohtaa rakennetta. Mitattujen toteumapisteiden mittaustiheys ei myöskään usein vastaa pääurakoitsijan työ- ja laatusuunnitelmissa määrittämää 20 metrin mittaustiheyttä. Pintamallien nimikkeistön hallinnasta ja myös inhimillisestä huolimattomuudesta johtuen, toteumapisteitä tallennetaan paljon väärällä aktiivisella koneohjausmallilla. Tällöin toteumapisteet tallentuvat palveluun väärällä pintatunnuksella. Väärällä pintatunnuksella tallennetut pisteet näyttävät tietokoneen ohjelmistossa, että kyseinen rakenteen pinta ei ole asetettujen toleranssien sisäpuolella. Tästä voidaan joko päätellä, että pinta on tehty väärällä koneohjausmallilla tai toteumapisteet on mitattu väärällä pintatunnuksella. Toteumien tallentaminen on koneohjauslaitteilla työskentelyn jatkapäiväisiä perustehtäviä, mikä jokaisen kuljettajan on hallittava. Tässä tehtävässä syntyy sen tärkeiden ja oleellisuuteen nähden liikaa virheitä.

Opinnäytetyön lopputuotteena syntyvän oppaan on tarkoitus parantaa tämän toimenpiteen sujuvuutta, ja vähentää kuljettajan virheitä. Perehdytyksen ja koulutuksen merkitys korostuu myös tässä esimerkissä. Toteumapisteiden avulla rakenteista luodaan lopuksi toteumamallit tilaajalle. Toteumamalleja ei vielä nykyisin kuitenkaan aina tilaajan puolelta vaadita, mutta toteumat palvelevat pääurakoitsijaa sekä tilaajaa työsuunnittelussa ja laadunvalvonnassa.

#### 4.7 Väylän kerrosrakenteiden muoto- ja korko virheet

Väylärakentamisessa yleisin ja tärkeimmistä koneohjauslaitteiden avustuksella tehtävistä työvaiheista on väylän kerrosrakenteiden tekeminen. Kaivinkoneella tehdään kerrosten yläpinnat näytöllä näkyvien koneohjausmallien mukaisesti, jotka ovat nimetty infraBIM-nimikkeistön mukaan. Yleinen työvaihe, jota koneohjauslaitteiden käytössä ei kuitenkaan hallita täydellisesti, on koneohjausmallin mukaan tehtävän rakennekerroksen pinnan saaminen oikeaa korkotasoon. Jokaiselle rakennepinnalle on määritetty tilaajan määrittämät sallitut sijainti- ja korkopoikkeamat eli toleranssit. Koneohjauslaitteet ilmoittavat rakenteen

suunnitellun pinnan korkotason, ja näyttävät kaivinkoneen kauhan huulilevyn korkeussijainnin erotuksen verrattuna koneohjausmallin rakenteen pintaan. Hyvin usein virhe tapahtuu rakennekerroksia tehtäessä, kun kerroksen valmiinpinnan korkotaso ylittää sille annetut toleranssit.

Valmiiksi saadun kerroksen pinta tiivistetään usein valssijyrällä viimeiseksi, joka usein aiheuttaa pintaan alueellisia ja yksittäisiä painumia, tai vaihtoehtoisesti koko kerrosrakenne painuu tasaisesti toleranssin ulkopuolelle. Kuljettaja on voinut myös arvioida valssista aiheutuvan painuman virheellisesti. Pinta ei valssijyrän tiivistyksen jälkeen painukkaan arvioidun senttimäärän mukaan alaspäin, jolloin rakenteen pinta jää liian paljon koholle. Pinnan painumisen muutokset valssauksen yhteydessä ovat normaalia, mutta kuljettajien täytyisi tarkistaa pinnantaso mittaamalla valssauksen jälkeen. Mahdolliset toleranssin ulkopuolelle jäävät pinnan kohdat on tasoitettava, joka jää hyvin usein tekemättä. Tällöin jos toteumat ovat mitattu ennen valssausta, kun pinta on ollut oikeassa tasossa, näyttää rakenne tietokoneelta katsottuna hyvältä ja töiden etenevän. Todellisuudessa, pinta on tiivistetty valssilla mittauksien jälkeen ja tiivistyksen jälkeinen pinnan tarkastus on jätetty tekemättä. Seuraavan päälle täytettävän kerrosrakenteen massamäärät voivat heittää paljonkin laskennallisista ja varatuista massamääristä, kun pinnan taso ei todellisuudessa ole se mitä tietokoneella näkyvistä toteumista voidaan todeta ja olettaa. Jos rakenteeseen jää suuria pintojen vääristymiä, voi poikkeavat kerrospaksuudet vaikuttaa negatiivisesti väylän suunniteltuihin kantavuuksiin ja rasituskestävyyksiin.

Kuljettajat jättävät myös epähuomiossa huomioimatta yksilölliset rakennekohtaiset toleranssit. Jokaisella rakennekerroksella on omat toleranssit. Sallitut poikkeamat ovat sitä pienemmät ja tarkemmat mitä lähemmäs valmista väylänpintaa rakennekerroksissa noustaan. Kuljettajilla on siis huomattu olevan hankaluuksia muistaa jokaisen kerroksen eriarvoiset toleranssit. Tästä syystä rakennetun pinnan taso on ollut myös usein liian alhaalla tai vaihtoehtoisesti koholla verrattuna suunniteltuun tasoon.

#### 4.8 Varusteiden sekä putki- ja johtokaivantojen toteumamittaukset

Työmaalla rakennetaan paljon myös erityyppisiä putki- ja johtokaivantoja sekä erilaisia järjestelmiä. Kaivettaessa putki- tai johtokaivantoja, kuljettajan on kaivuutyön yhteydessä tallennettava toteumapisteitä asennetuista putkista, kaapeleista, venttiileistä ja muista johteista sekä järjestelmistä. Putkikaivannoissa hyvänä nyrkkisääntönä on mitata yksi toteuma asennettua putkea kohden. Asennettavien putkien mitta on yleensä 6 metriä, jolloin toteuma-aineistosta saadaan koottua riittävän tarkka pistejoukko myöhemmin luotaviin johtokarttoihin. Toteuma mitataan putken arinan pinnasta tai putken päältä, riippuen minkä tyyppisestä putkilinjasta on kyse. Viemärit mitataan putken arinan pinnasta ja vesijohdot putken päältä.

Arinan pinnasta mitatuilla toteumilla saadaan todennettua, että viemärien vesijuoksut sijaitsevat suunnitelmien mukaisissa koroissa. Näillä toteumilla saadaan myös muodostettua karttakuvaa valmistuneesta viemäriinjasta.

Kuljettajan on tärkeää huomioida putkilinjaa tai muita järjestelmiä mitattaessa myös niissä sijaitsevat varusteet ja poikkeavat kohdat, kuten venttiilit, kaivot, jalustat, liitoskohdat, kulmakappaleet ja -tuet, kaapelikiepit yms. Nämä kohdat merkitään usein kartta-aineistossa omalla symbolilla, tai niiden sijainti on muista tärkeistä syistä saatava tallennettua jatkokeskustelua varten, siksi niiden sijainnista on tärkeää muistaa tallentaa erillinen toteumapiste (Kuva 12). Kaivannoissa kulkee myös usein paljon erityyppisiä putkia kuten kaukolämpöä, vesijohtoa, viemäreitä, tele- ja sähkösuojaputkia. Jokainen putki on kartoitettava niin että toteumapisteet ovat nimetty putkityypin ja koon mukaan. Jos samoja putkia on useita, lisätään tietoihin joko putken väri tai järjestys numero, esimerkiksi teleputki punainen, tai kaukolämpö 1. Näin saman putken toteumapisteet saadaan johtokarttoja tehdessä yhdistettyä myöhemmin toisiinsa, kun niissä on riittävän selkeät tiedot.



Kuva 12. Putkien reitit on tärkeää kartoittaa selkeästi, jotta kartasta saadaan kuvan mukainen hahmotelma

Tällaisten yksittäisten varusteiden toteumapisteet täytyy yksilöllisesti nimetä mittalaitteiston hakutoiminnolla toteumamittauksen yhteydessä. Mittalaitteiston lokityökalulla löytyy koodilista järjestelmien varusteista, joista valitaan esimerkkinä "Vesijohdon runkoventtiili" ja tallennetaan toteumapiste painamalla "tallenna sijainti" painiketta. Tällöin toteuma-aineistoon tallentuu toteumapiste koodilla "Vesijohdon runkoventtiili" ja sen koordinaatit. Jos tarvittavaa nimeä ei löydy listasta, voidaan piste nimetä halutulla koodilla näytöllä olevan näppäimistön avulla (Kuva 13). Näiden yksittäisten varusteiden toteumamittaukset ovat tärkeä muistaa nimetä ja tallentaa mittausvaiheessa oikein tunnistettavalla nimellä, jotta työnjohto ja mittahenkilöt löytävät ne myöhemmin toteuma-aineistosta. Putki- ja johtokaivannoista tallennetuista toteumista muodostetaan usein johto ja viemärikartat kolmansille osapuolille, kuten kaupungeille, energialaitoksille ja operaattoreille. Myöhemmissä rakennusvaiheissa, joissa esimerkiksi piiloon menneiden kaivojen ja venttiilien sijainti on tärkeää löytää, oikein tallennetut ja nimetyt toteumapisteet auttavat niiden tarkan sijainnin löytymisessä.



Kuva 13. Varusteista mitattavat toteumat ovat tärkeää muistaa nimetä oikein

#### 4.9 Toteumamittausten koodivirheet

Yhtenä työmaalla syntyvistä ongelmista mittalaitteiden kanssa työskenneltäessä ovat edellä mainitut putki- ja johtokaivantojen kaivuutöiden yhteydessä suoritettavat mittaukset ja varsinkin poikkeavien varusteiden kuten kaivojen ja venttiilien toteumien tallentaminen oikealla koodilla. Koodilistasta valitulla oikealla koodilla toteumapiste tallentuu tunnistettavalla nimellä. Oikea nimeäminen mittausvaiheessa jää usein tekemättä tai unohdetaan mitata pisteet varusteista ja laitteista kokonaan. Putkilinjoja mitataan myös väärillä koodeilla, jolloin toteumat tallentuvat myös väärällä nimellä.

Kolmansille osapuolille luovutettavia johtokarttoja on hankalaa saada luotua, kun lähtötiedot ovat epäselvät. Kuljettajien perehdytyksessä olisi käytävä läpi varusteiden ja laitteiden oikeaoppinen kartoittaminen sekä toteumapisteiden oikea nimeäminen, jotta kuljettajat osaisivat käyttää toimintoja oikein. Putkilinjaa tehdessä kuljettajan tallentamien toteumapisteiden tiheys on usein myös liian harvaa. Myöhemmin aineiston perusteella luodusta johtokartasta ei saada riittävän pätevää, kun mittaustiheys on ollut 6 metrin sijaan 30 metriä tai 50 metriä. Työmaalla on myös paljon tilanteita että, pisteet puuttuvat mahdollisesti 200 metrin osuudelta kokonaan. Puutteellisilla mittauksilla ei saada luotettavaa aineistoa tehdyistä rakenteista. Myös piiloon jääneet varusteet kuten kaapelikiepit tai venttiilit saattavat myöhemmin tehtävässä kaivuutyössä vaurioitua, jos niiden sijaintia ei ole asennusvaiheessa muistettu toteumamitata ja saatu merkittyä karttoihin myöhempää jatkokäyttäjää varten.

Puutteellisesti tehdyt toteumamittaukset aiheuttavat lisätyötä työmaalla jo valmiiksi työllistetyille työnjohtajille ja mittahenkilöille. Työnjohtaja tai mittamies joutuu GNSS-mittalaitteen avulla kartoittamaan putkilinjan uudelleen tai vaihtoehtoisesti työkone mittaa koko matkan uudestaan, jolloin kertaalleen tehty työ tehdään joka tapauksessa uudestaan. Jos kuvitellaan että näin käy toistuvasti samoissa tilanteissa usealla koneella eri rakenteissa. Yhteenlasketut tunnit muodostavat suuren kuluerän henkilöressurssien käytöstä uudelleen tehtävään työvaiheeseen, kun työmaan mittahenkilö käy jälkeensä käsin mittaamassa työkoneen tekemän mittaustyön uudelleen. Nämä työtunnit ovat myös pois muusta tärkeämmästä työstä ja ajasta työmaalla. Työmaan työsuunnittelu ja resurssien käyttö on suunniteltu niin että nämä työkoneet kykenisivät tekemään toteumien tallentamisen kaivuutyön ohella itsenäisesti.



#### 4.10 Työntekijöiden motivointi

Yksi syy näille edellä mainittujen ongelmien syntymiselle on ilmiönä myös työkoneenkuljettajien eräänlainen ”piittaamattomuus”. Joissain tapauksissa, koneohjauslaitteiden käyttöön liittyvien pulmien syntyessä kuljettaja ei uskalla tai viitsi soittaa työnjohdolle ja kysyä tilanteeseen ratkaisua tai mahdollisiin rakenteiden tekoon liittyviä kysymyksiä. Erityisen tärkeitä jatkokäsittelyn kannalta olisi, että toteutumien tallennuksessa askarruttavat kysymykset ja asiat uskallettaisiin selvittää. Usein työmaalla törmää tilanteeseen, että kuljettajalla ei ole ollut tiedossa toteumia mitattaessa vaadittu toteumapisteiden mittaustiheys ja oikea nimeämien. Vastaavasti rakennekerroksen valmista pintaa tehdessä ei ole muistettu, mikä on tälle kyseiselle rakennekerrokselle sallittu tasopinnan toleranssi. Myöhemmin kun työnjohto tai työmaan mittahenkilöt käsittelevät kaivinkoneiden tuottamaa mittausdataa, huomataan usein tässä vaiheessa, että mittaukset ovat puutteelliset tai että ne on jätetty tekemättä. Vastaavasti kun seuraavaa rakennekerrosta lähdetään tekemään, toinen kuljettaja ilmoittaa, että edellisen kerroksen valmis pinta on väärässä korkotasossa. Siksi rakennekerroksen pinnan taso tarkistetaan aina ennen kuin seuraavaa kerrosta lähdetään tekemään. Tässä vaiheessa esiin tulleet korkovirheet ovat kuitenkin korjattava vaadittujen toleranssien sisään, joka aiheuttaa yhden tai useamman ylimääräisen työvaiheen ja työpanoksen, jotka ovat pois muista käynnissä olevista työvaiheista.

Tämän opinnäytetyön tuloksena luotavalla tiivistetyllä oppaalla halutaan saada rohkaistua kuljettajia kysymään ongelmatilanteissa ja mieltä askarruttavissa asioissa ajoissa, jotta tällaisia jatkuvia käyttäjävirheitä ei syntyisi. Käyttöoppaan avulla kuljettajat oppisivat myös laitteiden käyttöä, ja sitä kautta jokapäiväinen työskentely olisi huomattavasti mukavampaa ja mielekkäämpää kaikkien kannalta. Selkeä lukuista opasta kuljettaja voi itsenäisesti lukea työkoneessa ja tarvittaessa tarkistaa ohjeistusta, sekä mittauksille asetettuja vaatimuksia. Toiveena on, että tämän avulla pystyttäisiin poistamaan edes osa näistä työnaikana syntyvistä virheistä ja rohkaisemaan kuljettajia kommunikoimaan työnjohdon kanssa.

## 5 Työmaalle suunnattu käyttöopas

Opinnäytetyössä luotiin työmaiden käyttöön soveltuva koneohjauslaitteiden oikea oppista käyttöä käsittelevä tiivistetty käyttöopas, joka on tarkoitettu kaivinkoneen kuljettajien jokapäiväiseen käyttöön ja työskentelyn tueksi. Käyttöopas on tiivistetty versio keskeisistä koneohjauslaitteiden käyttöohjeista ja tärkeimmistä laitteen ominaisuuksista, joita tarvitaan työmaalla päivittäin. Käyttöoppaan on tarkoitus olla sovellettavissa jokaiselle työmaalle. Oppaassa esitettävät toleranssit ja mittauspisteiden ohjearvot ovat kukin muutettavissa jokaiselle eri työmaalle asetettujen omien vaatimuserojen mukaisiksi. Ideana tällä tiivistelmällä on toimia kuljettajille matalan käyttökynnyksen ”muistivihkona” ja auttaa koneenkuljettajia muistamaan työmaan rakennetekniset laatuvaatimukset sekä laitteen yleisimmät ominaisuudet. Käyttöoppaasta ei ole tarkoitus saada teksti ja sivumäärältään runsasta tai sisällöltään puuduttavaa luettavaa. Vaan nimenomaan tarkoitus on, että hyvin lyhyellä ja yksinkertaisella sisällöllä pystyttäisiin lähestymään kuljettajia parhaiten. Käyttöoppaassa käytetään ytimekkäiden ohjeiden lisäksi havainnollistavia kuvia mittalaitteen näytöstä, joita on saatu luotua koneohjauslaitevalmistaja Novatronin Demo-ohjelmalla. Helppolukuinen sisältö parantaa mahdollisuutta, että työntekijä ottaa tarpeen vaatiessa käyttöoppaan esille.

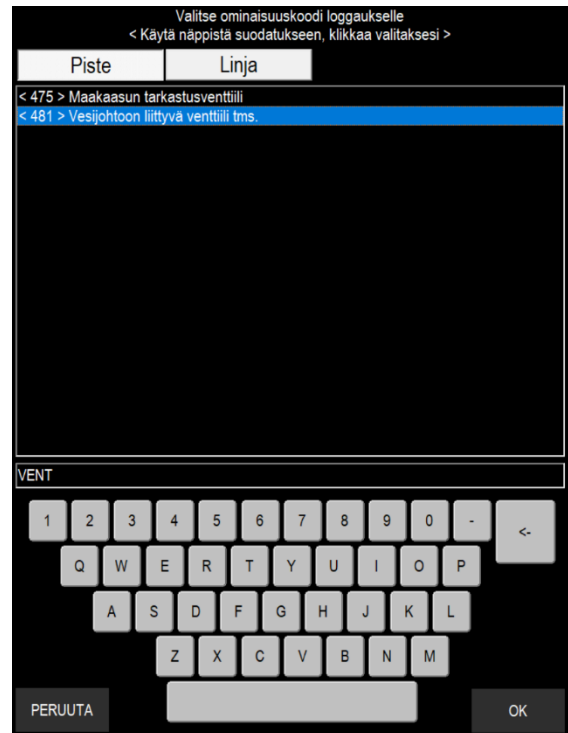
Käyttöopas esittäisi tiedot seuraaviin yleisesti vastaan tuleviin kysymyksiin:

- Sallitut poikkileikkauksen mittapoikkeamat ja toleranssit eri rakennekerroksille
- Millä tiheyksillä eri rakennekerrosten pintoja sekä linjamaisia rakenteita, kuten putkilinjoja mitataan.
- Mistä kohtaa rakenteen poikkileikkausta toteumat mitataan (Kuva 14).
- Mistä varusteista ja laitteista pääurakoitsija haluaa kuljettajien mittaavan toteumapisteitä.
- Kuinka piste- tai linjamittauksen toteumapisteet tallennetaan oikealla koodilla ja nimellä (Kuva 15).
- Kuinka koneohjauslaitteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä muutetaan, jos esimerkiksi vaihdetaan työmaata.

Työmaalla olen huomannut, että moni sivuiset ohjeet ja normit, jotka tulostetaan kuljettajille työn aloituksessa, päätyvät kaivinkoneen ohjaamon penkin taakse ja seuraavaksi ne otetaan esille, kun ohjaamo siivotaan ja ”paperinivaska” heitetään roskiin.



Kuva 14. Toteumapisteiden mittauskohdat  
(Novatron Oy)



Kuva 15. Oikean koodin valinta pisteelle  
(Novatron Oy)

Tekstin lisäksi asian ymmärtämistä auttavat tilanteita havainnollistavat kuvat. Laittevalmistaja Novatronilta saadun demo-ohjelmiston avulla voidaan luoda realistisia tilannekuvia 3D-koneohjauslaitteen näytöltä. Ohjelma vastaa kaivinkoneesta löytyvää mittalaitteen näyttöruudun näkymää ja siihen saadaan ladattua myös oikeita koneohjausmalleja sekä taustakarttoja. Tämän avulla on helppoa luoda yleisistä käyttöongelmista ja -virheistä tilannekuvia ja niiden rinnalle selkeät ohjeet. Yllä oleva kuva 14. auttaa esimerkiksi kuljettajaa hahmottamaan rakennekerroksen toteumamittauksesta kertovia ohjeistuksia. Kuvassa on tehty esimerkkinä toteumamittauksia väylärakenteen pinnasta. Kuvan avulla kuljettajan on helpompaa hahmottaa taiteviivoista tallennettavien toteumien oikeat kohdat sekä väylän suuntainen mittaussväli seuraavaan mitattavaan kohtaan. Varusteiden pistemäisissä toteumamittauksissa, jokainen toteuma on mitattava oikealla koodilla ja nimellä. Ohjeiden rinnalla esitetyn havainnekuvan, kuvan 15. avulla kuljettaja näkee minkä valikon takaa toteumapistelle päästään valitsemaan oikea koodi ja kuinka se voidaan listalta hakea.

Jokaisella rakennekerroksella on omat korkeus ja leveys suuntaiset toleranssit, joiden avulla ilmoitetaan kuinka paljon toteutettu rakenne saa mitoiltaan poiketa suunnitellusta rakenteen koosta. Muistivihkon avulla koneen kuljettajan on helppo tarkistaa esimerkiksi jakavan kerroksen yläpinnan sallittu korkotason poikkeama verrattuna suunniteltuun pinnan korkoon. Kuljettaja näkee muistivihkosta, kuinka monta senttiä jakavan kerroksen valmis

pinta saa poiketa pystysuorassa suunnassa suunnitelmissa esitettyyn yläpinnan tasoon nähden. Näitä sallittuja poikkeamia kutsutaan toleransseiksi, jotka vaihtelevat aina rakennekerroksen mukaan. Niitä voi olla vaikea muistaa ulkoa, joten tiivistelmän tarkoituksena on auttaa kuljettajia tarkistamaan ohjearvot helposti. Olen usein törmännyt tilanteeseen, jossa nämä toleranssit ja sallitut poikkeama-arvot, eivät ole olleet kuljettajan selvillä. Syystä tai toisesta asiaa ei uskalleta tai kehdeta työnjohdolta kysyä, vaan mieluummin tehdään kerros valmiiksi ”mutu” tuntumalla, jolloin yleensä korossa mennään metsään. Kun valmiin rakennekerroksen pinta on väärässä korossa ja rakennekerros joudutaan uudelleen korjaamaan, usein tässä vaiheessa kysytään sallitut toleranssit.

Erittäin tärkeä asia, johon myös tällä opinnäytetyön työkalulla halutaan vaikuttaa, on putki ja johtolinjojen, sekä laitteiden kartoitukseen. Käyttöoppaasta kuljettaja löytää tiedon ja ohjeet, millä mittaustiheydellä toteumapisteet tulee viiva- ja pistemäisistä rakenteista tallentaa. Ohjeesta kuljettajalle selviää myös, mistä varusteista pääurakoitsija haluaa, että toteumapisteet mitataan, esimerkkinä venttiilit, kaivot ja valopylväiden jalustat. Näin myöhemmin toteumapisteiden perusteella luotavista johtokartoista saadaan yhtenäisen näköiset ja luotettavat. Kun kuljettaja on osannut mittaushetkellä nimetä toteumapisteet oikein, saadaan johtokarttoihin merkittyä niille oleellisten varusteiden sijainnit. Näin saataisiin tilaajalle luovutetuksi pätevät kartastot valmiista rakenteista, kun työn aikainen kartoitus ja mittaukset on tehty ohjeiden mukaan ja oikein.

## 6 Koneohjauksen käyttöönoton kehitysideat

Jatkoa ajatellen kehitysideoita, joita voitaisiin jokaisella työmaalla ottaa käyttöön, olisi esimerkiksi jokaisen työkoneenkuljettajan pakollinen alkuperehdytys koneohjauslaitteiden käytöstä, kun työntekijä saapuu ensimmäistä kertaa työmaalle. Perehdytyksessä kerrottaisiin Destian omat pelisäännöt ja työmaakohtaiset ohjeistukset. Kuinka työmaalla halutaan, että mittalaitteita käytetään kussakin tilanteessa ja mitkä ovat oikeaoppiset tavat mitata ja tuottaa mittaustietoja. Perehdytyksen sisällössä määritetään millä laajuudella koneohjauslaitteiden mittaustoimintoja käytetään työmaalla. Työmaan käytössä olevat työnjohto ja mittaushenkilöstön resurssit vaikuttavat siihen, kuinka laajasti ja millä tarkkuudella pääurakoitsija haluaa, että työkoneet kuten kaivinkoneet suorittavat mittauksia. Näin jokainen koneohjauslaitteilla varustetuilla työkoneilla työskentelevä kuljettaja olisi käynyt ennen työn aloitusta pääurakoitsijan perehdytyksen, jossa työmaan ”pelisäännöt ja tavat” olisi tullut jokaiselle heti alussa tutuksi.

Perehdytyksessä opetettaisiin tarvittaessa myös mittalaitteiden peruskäyttö. Peruskäytöllä tarkoitetaan laitteen välttämättömiä perustoimintoja, jotka jokaisen kuljettajan on osattava. Mittalaitteiden perustoiminnot, kuten näytöllä esitettyjen korkolukemien ja kolmiulotteisesti näkyvän koneohjausmallin oikeaoppinen tulkitseminen, pinta- tai viivamallien valinta ja toteumapisteen tallennus ovat keskeisimmät toiminnot, joilla uusi kuljettaja pääsee alkuun. Perehdytyksessä olisi kuljettajien kanssa käyty läpi yleisimmät mittaus ja kartoitustilanteet, jotka tulevat vastaan työmaalla. Esimerkkeinä hyvin yleiset kaapelien, vesijohtojen, viemäreiden, jalustojen ja uutena vaadittuna myös valaistuksien kuparimaadoitusten toteumamittaukset.

Kokemattomien kuljettajien kanssa voitaisiin suorittaa töiden alkaessa myös laiteperehdytys. Laiteperehdytyksessä työnjohtaja tai mittahenkilö kävisi kuljettajan kanssa laitteen toiminnot ja näytön oikea oppisen tulkinnan konkreettisesti läpi työkoneen ohjaamossa. Tällöin kokemattomalle kuljettajalle laitteen peruseriaatteet olisi opastettu henkilökohtaisesti ja lähtökohdat oikealle työskentelytavalle olisi yhteisen perehdytyksen ansiosta kaikille samat. Tiivistetty käyttöopas auttaa jälkeenpäin työmaalla työskenneltäessä virkistämään muistia näistä perehdytyksessä käydyistä asioista. Syntyvien virheiden määrä olisi toivottavasti vähäisempi, kun ohjeet ovat helposti ja itsenäisesti tarkistettavissa oppaasta. Koneohjauslaitteita koskevan perehdytyksen käyttöönotto uusille kuljettajille muiden turvallisuusperehdytysten rinnalle, auttaisi varmasti vähentämään työmaalla syntyviä virheitä, kun asiat on ainakin kerran jokaisen kanssa käyty virallisesti läpi perehdytyksen muodossa.

Digitaalista avustusta olisi myös mahdollista kehittää koneohjauslaitteilla työskentelyn tueksi. Esimerkiksi työkoneen kopissa sijaitsevaan näyttöruutuun, jossa kuljettaja näkee kairinkoneen sijainnin 3D-mallien päällä, voitaisiin luoda pohjalle taustakartta, jossa olisi esimerkiksi merkitty halutut kartoitus pisteiden kohdat. Taustakarttaan merkityistä pisteistä kävisi ilmi rakenteen kohdat, joista halutaan, että kuljettaja mittaa vaaditun toteumapisteen. Taustakarttaan merkityt kohdat olisivat valmiiksi vaadituissa etäisyyksissä, ja mittausten tiheys olisi laatuvaatimusten mukainen.

## 7 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda käyttöopas koneohjauslaitteiden käytöstä ja työmaakohtaisista mittausohjeista kaivinkoneenkuljettajille. Lisäksi haluttiin pohtia kehitysideoita perehdytyksen ja koulutuksen parantamiseen työmaan tueksi, jotta koneohjauslaitteiden kanssa työskenneltäessä päästäisiin tehokkaampaan ja parempaan lopputulokseen. Ajatus näiden tarpeellisuudelle ja opinnäytetyön aiheelle syntyi omista kokemuksista työmaalla sekä esimiehen toiveesta.

Opinnäytetyön alussa haluttiin pohjustaa lukijalle, mistä koneohjauslaitteissa oikein on kyse. Työn alussa käytiin läpi, millaisia erityyppisiä koneohjauslaitteita työkoneisiin on saatavilla, mihin laitteiden toiminta perustuu, mitä koneohjauslaitteiden kanssa pystytään tekemään ja mitkä ovat keskeisimmät mittaustehtävät, joita koneohjauslaitteilla tehdään. Koneohjausjärjestelmien toiminta on riippuvainen monesta ulkoisesta tekijästä ja sen takia on tärkeää tuoda esiin, mihin toiminta perustuu.

Koneohjauslaitteiden kanssa työskentelystä syntyy tällä hetkellä paljon erityyppisiä käyttäjävirheitä, johtuen osittain heikosta perehdytyksestä ja koulutuksesta sekä osittain selkeiden yhteisten pelisääntöjen puuttumisesta. Opinnäytetyössä käytiin läpi yleisimmät ja eniten edustetut käyttäjävirheet ja ongelmatilanteet, jotka toistuvat ja seuraavat työmaalta toiselle.

Työmaan käyttöön suunnitellusta käyttöoppaasta oli tarkoitus saada mahdollisimman lyhyt ja ytimekäs. Tiedonvälitystä ja ohjeiden hahmottamista haluttiin tehostaa mahdollisimman havainnollistavilla kuvilla ja selkeällä tekstillä. Työntekijöitä voi olla haastavaa saada opiskelemaan jotain uutta asiaa, tai lukemaan esimerkiksi kirjallisia ohjeita. Käyttöoppaan rakenne haluttiin siis luoda niin, että se olisi kuljettajille mahdollisimman mielekästä lukea.

Yritysten tulisi panostaa työmaalla enemmän koneohjauslaitteiden käyttöönottoon ja opastukseen. Tällä hetkellä kokemattomat kuljettajat ”tyrkätään” suoraan koneenohjaamoon ja laitteiden opettelu alkaa usein työskennellessä tapahtuvien virheiden avulla. Tämä on hyvin kuluttavaa työnjohtajille ja mittahenkilöille, jotka ovat usein jo valmiiksi yli työllistettyjä.

Toivottavasti tämä opinnäytetyö toi hyvin esille sen, millaisia virheitä koneohjauslaitteiden käytössä syntyy, ja kuinka vakavia ne virheet voivat olla. Tarkoitus on, että tästä opinnäytetyöstä hahmottuu lukijalle ajatus, kuinka paljon resursseja jonkun virheen korjaamiseksi voidaan joutua käyttämään ja ajatus kouluttamisen ja perehdytyksen tärkeydestä ja hyödyistä välittyisi. Jatkokehitysidea voisi olla opinnäytetyö samasta aiheesta esimerkiksi työnjohtajien ja mittamiesten käyttämät GNSS-mittalaitteet, joiden käyttöjärjestelmä on sama kuin työkoneiden mittalaitteissa.

## Lähteet

Destia Oy. 2022. Yritys. Viitattu 10.11.2022. Saatavissa <https://www.destia.fi/tietoa-meista/>

InfraBIM- nimikkeistö. BuildingSMART Finland / Rakennustietomalli Oy. 2019. Viitattu 10.3.2023. Saatavissa <https://drive.buildingsmart.fi/s/6iBHnSKptRPGMCX>

Luukkainen, J. Maarakennuskoneiden teoriaa ja tehtäviä maarakennuskoneiden 3D-ohjauksesta. Tampereen seudun ammattiopisto Tredu. Opetusmateriaali. Viitattu 9.3.2023. Saatavissa

<https://toki.verkkokirjasto.fi/documents/409979/485093/Maanrakennus.pdf/9bfdc909-4d55-7606-54cc-8a915b0ad13c>

Luukkainen, J. XYZ-koordinaatisto X ja Y ovat tasokoordinaatteja, Z-koordinaatti kertoo korkeuden. Viitattu 16.3.2023. Saatavissa

<https://toki.verkkokirjasto.fi/documents/409979/485093/Maanrakennus.pdf/9bfdc909-4d55-7606-54cc-8a915b0ad13c>

Maanmittauslaitos. ETRS-GKn-plankoordinaatistojärjestelmä. Viitattu 13.3.2023. Saatavissa

[https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/ETRS\\_2010\\_RU.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/ETRS_2010_RU.pdf)

Novatron Oy. 3D-koneohjauslaitteen Demo-ohjelma. Viitattu 12.5.2023

Novatron Oy. Mitä on koneohjaus. Viitattu 1.2.2023. Saatavissa <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>

Novatron Oy. 2021. Xsite PRO 3D-Koneohjausjärjestelmän komponentit. Viitattu

19.05.2023. Saatavissa [https://novatron.fi/wp-content/uploads/2021/09/Xsite-PRO-3D-LANDNOVA-X\\_esite-web.pdf](https://novatron.fi/wp-content/uploads/2021/09/Xsite-PRO-3D-LANDNOVA-X_esite-web.pdf)

Ollikainen, M. 2010. Maanmittauslaitos ETRS89-koordinaattijärjestelmään. Maankäyttö 2/2010, 6–8. Viitattu 13.3.2023. Saatavissa

[http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk210/mk210\\_1365\\_ollikainen.pdf](http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk210/mk210_1365_ollikainen.pdf)

Pitenius, T. 2019. 3D-koneohjaus alkaa olla arkea maansiirtokoneissa. Nettikone

24.06.2019. Viitattu 9.3.2023. Saatavissa

[https://www.nettikone.com/artikkeli/3d\\_koneohjaus\\_alkaa\\_olla\\_arkea\\_maansiirtokoneissa](https://www.nettikone.com/artikkeli/3d_koneohjaus_alkaa_olla_arkea_maansiirtokoneissa)

Yleiset inframallivaatimukset. 2021. BuildingSMART Finland / Rakennustietomalli Oy.

Viitattu 9.3.2023. Saatavissa <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>



