



Timo Takanen

# Koneohjauksen käyttöönotto infra- rakennuskohteissa Laukaan kun- nassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

30.3.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Timo Takanen
Otsikko:	Koneohjauksen käyttöönotto infrarakennuskohteissa Laukaan kunnassa
Sivumäärä:	76 sivua + 1 liite
Aika:	30.3.2022
Tutkinto:	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	maanmittaustekniikka
Ohjaaja:	Ilkka Partonen

---

Mallipohjainen työskentely ja koneohjauksen hyödyntäminen ovat vakiintuneet infra-alan hankkeissa, ja ne ovat jo arkipäivää suuremmilla toimijoilla. Laukaan kunnassa ollaan ottamassa ensiaskelia koneohjauksen hyödyntämiseen omissa infrahankkeissa. Muutamia koneohjausmalleja on jo aikaisemmin testattu, mutta yhtään hanketta ei ole vielä viety läpi täysin koneohjausavusteisesti.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää Laukaan kunnan toimintamallia kohti koneohjattua työskentelyä sekä tutustuttaa tekijänsä syvällisemmin mallipohjaiseen työskentelyyn ja koneohjauksen hyödyntämisen teoriaan. Opinnäytetyössä tarkastellaan, kuinka nykyistä toimintamallia tulisi kehittää, jotta organisaatiossa voitaisiin siirtyä kohti täysimääräistä koneohjattua työskentelyä omissa infrahankkeissa. Laukaan kunta toteuttaa opinnäytetyön teon hetkellä katujen ja niihin liittyvien infrarakenteiden rakentamisen lähes täysin omana työnä alusta loppuun eli toimii tilaajana, suunnittelijana, toteuttajana sekä valvojana. Kaikki hankkeisiin liittyvät mittaukset tehdään omana työnä. Opinnäytetyön lähestymiskulma on painotettu maastomittaustoiminnan kehittämiseen, mutta toki muutos vaikuttaa myös muiden palvelualueiden toimintaan organisaatiossa.

Opinnäytetyön yhteydessä toteutettiin pilottihankkeena kadun saneeraus sekä kevyen liikenteen väylän rakentaminen, joka toteutettiin täysin koneohjatusti niiltä osin, kuin se vain oli mahdollista. Hankkeen aikana kerättiin käytännön kokemuksia ja havaintoja parhaista toimintatavoista. Havaintojen pohjalta esitetään kehityskohteita ja osin toimintatapojen muutoksia toiminnan kehittämiseksi kohti koneohjattua infrarakentamista Laukaalla.

Avainsanat: koneohjaus, inframalli, maastomittaus

## Abstract

Author: Timo Takanen  
Title: Introduction of machine control system in municipality of Laukaa  
Number of Pages: 76 pages + 1 appendix  
Date: 30 March 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Land Surveying  
Supervisors: Ilkka Partonen, Senior Lecturer

---

The final year project had two major aims: First, to study BIM-based working and the use of machine control system, and second, to develop the working methods of the municipality towards machine control system aided construction. The main focus of the thesis was on aspects of machine control that have to do with land surveying, and on redirecting operations towards machine control system from the old working methods. Currently, the whole street building process was taken care of by the municipality of Laukaa. Thus, it acted simultaneously as a subscriber, planner, builder and supervisor. The land survey measurements were also done by municipal crews.

The final year project included a pilot project where a construction site was done using machine control system to build a new sidewalk and renovate a street as completely as possible. The construction time was observed and the best practices in machine control were collected. These observations can be used to develop work methods towards a functional way of fully using machine control system in Laukaa in the future.

Keywords: machine control, Inframodel, BIM, land surveying

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laukaan kunnan toimintaympäristö	3
2.1	Organisaation kuvaus	3
2.1.1	Tekniset palvelut	4
2.1.2	Yhdyskuntatekniset palvelut	5
2.1.3	Hallinto-, suunnittelu- ja paikkatietopalvelut	5
2.1.4	Laukaan Vesihuolto Oy	6
2.2	Toimintaympäristön kuvaus infrarakentamisen osalta	6
2.2.1	Omana työnä tehtävät kohteet	7
2.2.2	Tilaustyönä teetetettävät kohteet	8
2.3	Ohjelmisto ja sovellusympäristö	9
2.4	Koneohjauksen nykytila Laukaalla	10
3	Koneavusteinen työskentely infrakohteissa	12
3.1	Ohjausautomaation tasot	12
3.2	3D-koneohjausjärjestelmän sisäinen tarkkuus	13
3.3	3D-koneohjausjärjestelmän ulkoinen tarkkuus	15
4	Tietomallipohjainen työskentely	19
4.1	Infrarakentamisen tietomallit ja -aineistot	19
4.1.1	Lähtötietoaineisto	20
4.1.2	Suunnitelmamallit	22
4.1.3	Koneohjausaineisto	24
4.1.4	Toteumamalli	25
4.2	Tietomallien laadunvarmistus	25
4.3	InfraBIM-nimikkeistö ja tiedonsiirtoformaattit	28
4.4	Työroolit mallipohjaisessa hankkeessa	28
4.4.1	Tilaaaja	29
4.4.2	Suunnittelijat ja pääsuunnittelija	30
4.4.3	Tietomallikoordinaattori	30
5	Maastomittaus	32



5.1	Valmistelevat mittaukset ja mittausten valmistelu	32
5.1.1	Mittausperusta	33
5.1.2	Maastomalli	34
5.1.3	Tarkastuspisteet ja tarkastusmittaukset	35
5.2	Työnaikaiset mittaukset	37
5.2.1	Tarkkuusvaatimukset	37
5.2.2	Kadun rakentaminen	38
5.2.3	Verkostokohteet	41
5.2.4	Koneohjatun työskentelyn edut	44
5.2.5	Mittaushenkilöstön suorittamat mittaukset	45
5.2.6	Laadunvalvontaan liittyvät mittaukset	46
5.3	Työn valmistumisen jälkeiset mittaukset	47
6	Case Ratatie	49
6.1	Työmaan organisaatio	49
6.2	Lähtötietoaineistojen koostaminen ja dokumentoiminen	50
6.3	Katusuunnitelmat	51
6.4	Tiedonsiirto	56
6.5	Työmaan valmistelevat mittaukset	57
6.6	Työmaanaikaiset mittaukset	59
6.7	Mittaukset työkohteen valmistuttua	61
7	Havainnot Ratatien hankkeesta ja näkemyksiä Laukaan tulevaisuuden toimintamalliksi	63
7.1	Lähtötietoaineisto ja tiedonhallinta	63
7.2	Suunnittelu, suunnitelmat ja suunnitelmien tarkastaminen	66
7.3	Tietomallien tarkastaminen ja käsittely	68
7.4	Koneohjausaineisto	68
7.5	Tiedonsiirto	70
7.6	Töiden organisointiin liittyvät havainnot	71
7.7	Työmaanaikaiset mittaukset	72
8	Yhteenveto	75
	Lähteet	77
	Liitteet	
	Liite 1: Kuvia Ratatien työmaan varrelta	

## Lyhenteet

BIM	Building Information Model, digitaalinen tietomalli
dwg	DraWinG, Autodeskin kehittämä tiedostoformaatti
dxf	Drawing Interchange Format, Autodeskin kehittämä tiedonsiirtoformaatti
FTP	File Transfer Protocol, tiedonsiirtomenetelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System, yhteisnimitys satelliittipaikannusjärjestelmien kokonaisuudelle
IFC	Industry Foundation Classes, rakennusalan tietomallien tiedonsiirtoformaatti
InfraBIM	Infrarakenteen digitaalinen tietomalli
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
JHS	Julkisen hallinnon suositus (järjestelmä lakkautettu 1/2020)
LandXML	Infra-alan kansainvälinen tiedonsiirtoformaatti
ppm	parts per million, suhdeluku yksikkö
RTK	Real Time Kinematic, satelliittipaikannusmenetelmä
VRS	Virtual Reference Station, virtuaalinen tukiasema
YIV	Yleiset inframallivaatimukset

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on kehittää työnantajani, Laukaan kunnan toimintaa tehokkaammaksi ja nykyaikaisemmaksi paikkatietopalveluiden toimintojen osalta. Ajankohtainen kehittämiskohde on koneohjauksen hyödyntäminen kunnan omissa infrahankkeissa. Koneohjaukselta on vähäisissä määrin jo hyödynnetty, mutta sitä ei ole vielä kuitenkaan otettu käyttöön täysimääräisesti. Koneohjauslaitteistot ovat yleistyneet paikallisilla, pienilläkin koneyrityksillä, ja yksittäisiä testejä koneohjausmalleilla on tehty. Koneohjauksen käyttöönotto vaikuttaisi työprosesseihin ja henkilöstön koulutustarpeeseen myös työskentely-yksikköäni, paikkatietopalveluita laajemmin.

Koneohjauksen käyttöönottoista ja hyödyntämisestä yhdyskuntatekniikan kohteissa on laadittu useita eri opinnäytetöitä, joissa lähes poikkeuksetta kaikissa todetaan, että koneohjauksen hyödyntäminen tehostaa työmaan läpi viemistä. Työtavan käyttöönotto infratyömailla vaikuttaisi suoraan paikkatietopalveluiden maastomittausten työmäärään, jotka tällä hetkellä tehdään täysin omana työnä. Opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena on kehittää organisaation työprosessia koneohjauksen hyödyntämisen näkökulmasta.

Toinen tämän opinnäytetyön tavoitteista on tutustuttaa tekijänsä syvällisemmin koneohjauksen teoriaan ja käytäntöön. Opinnäytetyössä tarkastellaan niitä seikkoja, jotka tulee huomioida onnistuneen projektin läpi viemiseksi koko hankkeen elinkaaren ajan, suunnittelusta luovutukseen. Opinnäytetyössä perehdytään pääosin mittaustyön näkökulmasta eri työvaiheisiin, kuten lähtötietojen koostamiseen, suunnitteluun, toteuttamiseen ja dokumentointiin. Tarkastelua tehdään infrahankkeiden osalta myös yleisellä tasolla Laukaan kunnan toimintamallien suhteen. Parhaiden käytäntöjen ja toimivien työskentelymallien toivotaan vakiintuvan myöhemmin osaksi päivittäistä työskentelyä.

Toimintaympäristön ja lähtötilanteen kuvaukselle on tarkoituksella annettu hieman normaalia enemmän painoarvoa, jos se antaisi mahdollisuuden hyödyntää

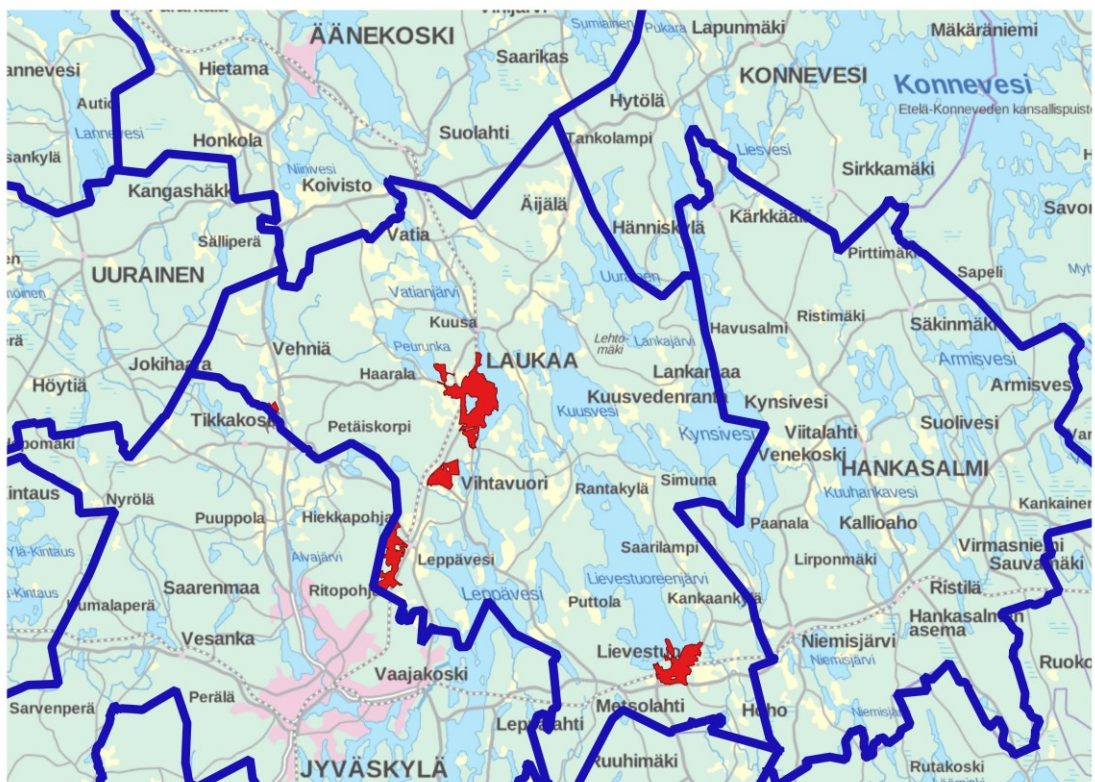
tätä opinnäytetyötä myös muissa pienissä tai keskisuurissa kuntaorganisaatioissa. Opinnäytetyön teoriaosuudessa pääpaino on asetettu koneohjattuun työskentelyyn liittyviin maastomittauksiin ja muu koneohjaukseen liittyvä teoreettinen tarkastelu on puolestaan jätetty tarkoituksella hieman vähemmälle huomiolle. Niistä on tehty jo useita laadukkaita opinnäytetöitä.

Osana opinnäytetyötä on viety läpi yksi infratyökohde, jossa rakennettiin kevyen liikenteen väylää ja samassa yhteydessä kunnostettiin vanhan kadun osuus. Tämä suoritettiin niin pitkälle koneohjatusti kuin se urakoitsijoiden toimesta vain oli mahdollista. Hankkeen aikana saatiin tärkeää oppia käytännön työskentelystä Laukaan toimintaympäristön kehittämiseksi.

## 2 Laukaan kunnan toimintaympäristö

### 2.1 Organisaation kuvaus

Laukaa on noin 19 000 asukkaan kunta Jyväskylän pohjoispuolella, Keski-Suomessa. Laukaa on maaseutumainen kunta, jolla on neljä tiheimmin rakennuttua taajamaa: kirkonkylä, Vihtavuori, Leppävesi ja Lievestuore. Laukaan kokonaispinta-ala on noin 825 km<sup>2</sup>, josta maapinta-ala on noin 650 km<sup>2</sup> ja rantaviiva on noin 680 km. [1] Asemakaavoitettua aluetta on noin 19,55 km<sup>2</sup>. Kuvasta 1 voidaan havaita, kuinka runsaasti vesistöä Laukaan alueella on ja kuinka asemakaavoitetut alueet sijoittuvat kunnan alueella. Laukaan maaperä on sora- ja moreenivoittoista, ja pohjavesialueita on suhteellisen paljon.

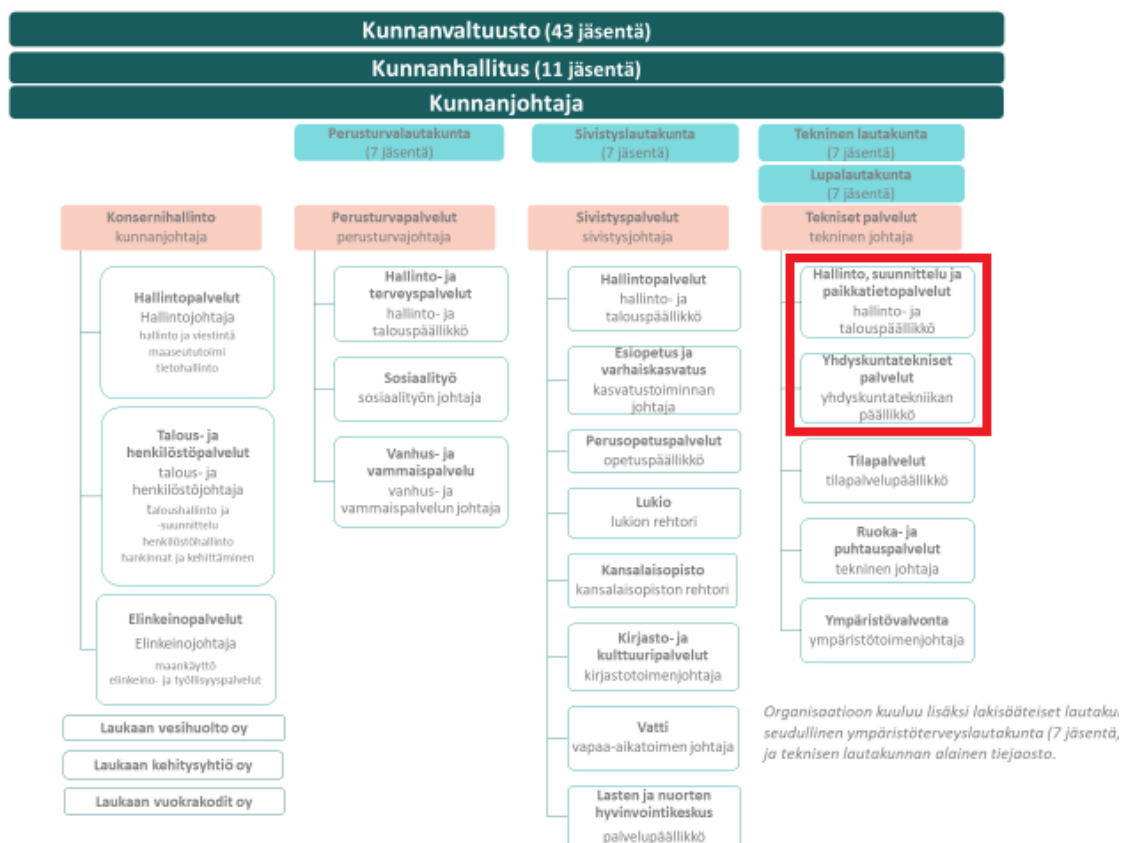


Kuva 1. Asemakaavoitetut alueet Laukaalla (taustakartta ©MML)

## 2.1.1 Tekniset palvelut

Tekniset palvelut on teknisen lautakunnan alainen palvelualue, jolla on useita tulosyksiköitä, kuten Hallinto-, suunnittelu- ja paikkatietopalvelut, Yhdyskunta-tekniset palvelut, Tilapalvelut, Ruoka- ja puhtauspalvelut sekä Ympäristövalvonta, joka sisältää myös Rakennusvalvonnan.

Teknisten palveluiden päällikkönä toimii tekninen johtaja, ja sen alaisuudessa työskentelee kaikkiaan 142 vakituista työntekijää. [2, s. 101–111.] Opinnäyte-työn aihe koskettaa pääosin Hallinto-, suunnittelu- ja paikkatietopalveluiden sekä Yhdyskuntateknisten palveluiden toimintoja, joiden sijainti kunnan organisaatiossa on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Laukaan kunnan organisaatio 2020

### 2.1.2 Yhdyskuntatekniset palvelut

Yhdyskuntatekniset palvelut on tulosityksikkö, joka vastaa kunnan yleisten alueiden rakentamisesta sekä ylläpidosta. Yleisiä alueita ovat katujen lisäksi mm. puistot, leikkipuistot ja satama-alueet. Yhdyskuntatekniikan esimiehenä toimii yhdyskuntatekniikan päällikkö. Yhdyskuntatekniikan tulosityksikkö toteuttaa katujen rakentamisen joko omana työnä tai kilpailuttaa niiden toteuttamisen. Yhdyskuntateknisten palveluiden tulosityksikössä työskentelee yhteensä 18 vakituista työntekijää. [2, s. 101–111.]

### 2.1.3 Hallinto-, suunnittelu- ja paikkatietopalvelut

Hallinto-, suunnittelu- ja paikkatietopalvelut on palvelualue, joka toimii tukipalveluna ja palvelualueena, jolla on tehtävänä palvelut jotka eivät suoraan kuulu muihin pääpalvelualueisiin. Näitä ovat mm. asumisen viranomaistehtävät, seudullisen jätelautakunnan ja joukkoliikenteen ohjausryhmätyöskentely sekä hankinnan tukipalvelut teknisille palveluille.

Suunnittelupalvelut on tulosityksikkö, joka vastaa katujen rakentamisen ja peruskorjausten suunnitelmien laatimisesta, hulevesien johtamisen suunnittelusta sekä tarvittaessa pienempien vesihuollon kohteiden suunnittelusta sekä kaikkien edellä mainittujen työkohteiden investointilaskelmien laatimisesta, seurannasta ja raportoinnista. Suunnittelupalveluissa työskentelee yksi suunnitteluinsinööri.

Paikkatietopalvelut on tulosityksikkö, joka vastaa maastomittausten suorittamisesta, kartta-aineistojen tuottamisesta ja ylläpidosta, hallinnoi kuntarekisteriympäristön toimintaa sekä kehittää ja ylläpitää aineistoa Laukaan kunnan osalta. Paikkatietopalvelut on ns. tukipalvelu, jonka toiminta heijastuu yli palvelualuearajojen. Paikkatietopalvelujen vahvuuteen kuuluu kaksi kartoittajaa sekä maanmittausinsinööri.

### 2.1.4 Laukaan Vesihuolto Oy

Laukaan Vesihuolto Oy on täysin kunnan omistama vesihuolto-yhtiö, joka toimittaa talousvettä sekä pois johtaa jätevettä asiakkailleen toiminta-alueellaan. Laukaan Vesihuolto Oy:llä on ylläpidettävänä talousvesiverkostoa noin 214 kilometriä ja viemäriverkostoa noin 218 kilometriä, laskutettavia kulutuspisteitä noin 3 870 ja vesiosuuskuntia 8 kappaletta. Liikevaihto vuonna 2020 oli noin 4 miljoonaa euroa. [3]

## 2.2 Toimintaympäristön kuvaus infrarakentamisen osalta

Laukaan kunta pyrkii toteuttamaan omana työnä mahdollisimman paljon erilaisia infrarakentamisen ja siihen liittyvän ylläpidon töitä. Tämä toimintamalli on todettu pitkällä aikavälillä ensisijaisesti edullisemmaksi ja joustavammaksi vaihtoehdoksi, koska tällöin paikallinen tietämys ja työkohteiden kontrollointi koetaan selkeänä vahvuutena. Tämä on myös jossain määrin kevyempi toimintamalli, koska tällöin työmaat ovat helpommin aikataulutettavissa ja mm. pienempien kohteiden kilpailutukseen liittyvät työvaiheet jäävät kokonaan pois. Myös reagoiminen nopeasti muuttuviin tilanteisiin on huomattavan paljon joustavampaa. Työkohteiden toteuttaminen on suunniteltu niin hallituiksi jatkumoiksi, ettei tyhjäkäyntiä synny ja tähän asti esimerkiksi lomautuksilta on vältytty. Omana työnä ei kuitenkaan voida toteuttaa useaa hanketta samanaikaisesti tai suuria hankkeita, joissa tarvitaan enemmän työkoneita tai työvoimaa. Tällöin hankkeen toteuttaminen kilpailutetaan tehtäväksi ulkopuolisella.

Laukaan kunnan tietohallinto suorittaa itse valokuitukaapelin suunnittelu- ja asennustyöt kunnan omien kohteiden välillä sekä korjaustyöt hallinnoimiensa kaapeleiden osalta.

Laukaan Vesihuolto Oy suorittaa itsenäisesti verkostonsa uudisrakentamisen lukuun ottamatta uusien katujen rakentamisen yhteydessä tehtäviä verkostoja. Näiden osalta kunta rakentaa vesihuollon verkoston kadun rakentamisen yhteydessä ja työn valmistuttua luovuttaa verkoston kaupalla Laukaan Vesihuollolle.



Uusien vesihuollon verkostojen rakentamiskustannukset ovat aina laskettuna mukaan kadunrakentamisen investointeihin riippumatta toteutustavasta. Vesihuolto suorittaa suuremmat peruskorjaukset ja kunnossapidon työt itsenäisesti.

Rakennettavat infrakohteet ja peruskorjaukset suunnittelee pääosin kunnan oma suunnitteluinsinööri. Ainostaan suuremmat kokonaisuudet, esimerkiksi laajat tasaussuunnitelmat tai suuremmat alueet, joihin liittyy myös alueellista tai maankäytöllistä suunnittelua, kilpailutetaan tehtäväksi ulkopuolisella konsultilla. Rakennettavat tai peruskorjattavat Laukaan Vesihuollon kohteet, jotka eivät liity suoraan uuden kadun rakentamiseen, teetättää vesihuolto omalla suunnittelukonsultillaan.

Kunnalla on käytössään kaksi erilaista toimintamallia infrakohteiden rakentamiseksi, joita hyödynnetään työmaan koosta sekä yleisestä työtilanteesta riippuen. Toimintamallien tarkemmat kuvaukset esitellään seuraavaksi. Kunta ei itse toteuta eikä suunnittele taitorakentamiskohteita, kuten esim. siltoja tai pajoja.

### 2.2.1 Omana työnä tehtävät kohteet

Laukaalla yleisemmin käytössä oleva malli on, että omana työnä suunnitellaan, rakennetaan ja peruskorjataan kadut ja niihin liittyvät rakenteet. Rakennus- ja peruskorjausajainen valvonta ja työnjohto kuuluvat myös omin voimin tehtäviin töihin.

Katusuunnitelmat laatii suunnitteluinsinööri. Suunnitelmakokonaisuus sisältää kadun keskilinjageometrian, kerrosrakenteet ja -vahvuudet sekä hulevesien ohjauksen, tarvittaessa myös liikenteenohjaussuunnitelman. Katuihin liittyvät valaistussuunnitelmat ostetaan puitesopimuskumppanilta. Suunnitelmat hyväksyy tekninen lautakunta.

Kun kohde lähtee toteutukseen investointisuunnitelman mukaisesti, laatii katurakennusmestari tai yhdyskuntatekniikan työnjohtaja kohteelle työsuunnitelman

työmaan läpiviemiseksi. Tässä yhteydessä suunnitellaan työvoimaresurssit sekä työmaan koosta riippuen tilataan ennakkoon materiaalit työmaalle.

Omana työnä tehtävissä kohteissa ainoastaan konetyö ja ns. erikoisuunnittelu ja siihen liittyvä työ ostetaan ulkopuolelta. Nämä on toteutettu puitesopimuksin.

Opinnäytteen teon hetkellä kunnalla on kaksi eri työryhmää, joihin kumpaankin kuuluu kaksi maarakennus ammattimiestä ja kaivinkone kuljettajineen. Kaivinkone kuljettajineen on puitesopimuksin hankittua ostotyövoimaa. Katuhöylällä tehtävät tasaustyöt ostetaan myös ulkopuoliselta toimijalta.

Lähes poikkeuksetta katujen peruskorjaukset toteutetaan omana työnä. Vesi- tai viemäririkko tapaukset sekä uusien kohteiden rakentamiset, jotka eivät tapahdu katujen rakentamisen yhteydessä, suorittaa Laukaan Vesihuolto Oy omien sopimuskumppaneiden kanssa alusta loppuun.

Kun kunta on rakentanut kadut ja sen alla olevat vesi- ja viemäriverkoston kohteet käyttöönotto valmiiksi, siirtyvät verkostot Laukaan Vesihuolto Oy:n omaisuudeksi tehtävän kaupan myötä.

Katujen ja kevyen liikenteen väylien päällystäminen ja kiveysten (reunakivet, koristekiveykset) rakentaminen kilpailutetaan ja ostetaan ulkopuoliselta.

### 2.2.2 Tilaustyönä teetetävät kohteet

Kun kohteet ovat niin suuria, ettei niitä voida järkevästi toteuttaa omana työnä tai se ei aikataulullisesti ole mahdollista, teetetään työ ulkopuolisella. Tällöin kunta joko kilpailuttaa hankkeen suunnittelun, toteutuksen sekä valvonnan eli niin kutsuttuna ST-urakkana (suunnittele & toteuta) tai kilpailuttaa pelkän työn toteutuksen laatimiensa suunnitelmien pohjalta. Tavanomaisesti suurempien kohteiden osalta toimitaan niin, että suunnittelu kilpailutetaan erikseen ja toteutus erikseen.

Kohteille tehdään tavanomaiset vastaanottotarkastukset, että työmaa on toteutettu edellytettyjen vaatimusten mukaisesti.

### 2.3 Ohjelmisto ja sovellusympäristö

Kuntasektorin tehtäväkentän ollessa laaja on myös eri käyttötarkoituksiin käytettäviä kartta- ja rekisterisovelluksia käytössä useita. Jo pelkästään teknisellä, maankäytön ja ympäristövalvonnan toimialoilla joudutaan turvautumaan useisiin eri sovelluksiin, koska vielä toistaiseksi ei ole kehitetty yhtä sovellusta, jolla voisi tuottaa, ylläpitää, analysoida ja julkaista kaikkia mahdollisia kuntasektorilla hyödynnettäviä aineistoja. Seuraavaksi kuvataan sovellukset, joita Laukaan kunta hyödyntää pääasiassa opinnäytetyön aihepiiriin liittyen. Muitakin sovelluksia on käytössä, mutta niihin ei paneuduta tämän opinnäytetyön yhteydessä sen enempää.

Laukaan kunnan ydin kuntarekisteri- ja paikkatietoympäristönä on Trimble Locus ja sen uudistuneempi selainpohjainen versio LocusCloud, joka opinnäytetyön teon hetkellä on vielä osin kehitteillä. Laukaan kunta on sovelluksen seutukäyttäjänä Jyväskylän kaupungin toimintaympäristössä, mikä tarkoittaa sitä, että Jyväskylän kaupunki on sovelluksen pääkäyttäjä ja vastaa ohjelmaympäristön toiminnasta ja käyttäjähallinnasta. Laukaa vastaa aineistojensa sisällöstä, ylläpidosta ja kehittämisestä. Trimble Locusessa ylläpidetään kartta-aineistoista mm. kantakarttaa, ajantasa-asemakaavaa sekä toistaiseksi vielä valokuitukaapelikarttaa ja kunnan omia sähköjohtoja.

Laukaan Vesihuolto Oy:llä on käytössään Trimble NIS -verkkotietojärjestelmä, joka on hankittu ostopalveluna Alva Oy:ltä Pisara-konseptin palveluna. Verkkotietojärjestelmässä ylläpidetään vesi- ja viemäriverkoston kohteita, mutta myös Laukaan kunnan hulevesiverkostoaineistoa. Osana Pisara-palvelukokonaisuutta on myös häiriötiedotusjärjestelmä, josta on mahdollista lähettää vesihuollon asiakkaille häiriötiedotteita. Palvelu hyödyntää Trimble NIS -käyttöpaikka- ja verkostotietoja.

Autocad on yleisesti tunnettu suunnitteluohjelmisto, joka soveltuu monenlaiseen suunnittelu ja karttatyöskentelyyn. Autocadia Laukaalla käytetään katusuunnitelmien ja asemakaavojen laatimiseen. Tähän käyttöön on hankittuna Novapoint-lisäsovellus, joka tuo lisää työkaluja suunnitteluun sekä kuvantamiseen. Asemakaavat laaditaan Novapointin M-color-sovelluksella, katusuunnitelmat laaditaan Novapointin Road-sovelluksella ja vesihuollonsuunnitelmat Water and sewer -sovelluksella.

Laukaalla 3D-Win-ohjelmistoa hyödynnetään mittaustietojen käsittelyyn ja maastomallien laatimiseen. Usein myös mittausten raakadatan siivoaminen ja jäsentely suoritetaan 3D-Win-ohjelmistolla ennen datan viemistä muihin kartta-aineistoihin tai rekistereihin. Ohjelmisto tukee useita tunnettuja eri formaatteja ja formaattimuunnokset ovat myös monipuolisesti käyttäjänsä määriteltävissä.

Keypron Keylight-sovelluksessa ylläpidetään ensisijaisesti kunnan katuvalo-omaisuutta. Sovellukseen on vietyä kuitenkin myös ulkoilureittien valaistuksen kohteet sekä osittain myös kunnan tilapalvelun hallinnoimien kiinteistöjen kiinteistökohtaisia sähkö- ja valaistusomaisuutta. Tavoitteena on viedä sovellukseen tulevaisuudessa myös kattavasti kunnan datakaapeli- ja sähkökaapelio-maisuus.

## 2.4 Koneohjauksen nykytila Laukaalla

Opinnäytetyöhön ryhtyessä Laukaan kunnassa on osittain jo hyödynnetty koneohjauksen mahdollisuuksia ja kokeiluluontoisesti tehty itse laadituista suunnitelmista koneohjausmalleja. Näitä on kuitenkin käytetty vain tietyissä työvaiheissa eikä koko hankkeen läpi kestävää koneohjausta hyödyntävää työskentelymallia ole vielä toteutettu ainakaan kunnan omissa työkohteissa.

Tähän asti omissa työkohteissa koneohjausta on hyödynnetty pääosin tiehöylässä viimeisten pintojen teossa sekä testattu muutamia ohjausmalleja kairinkoneissa mm. pintamaiden poistossa ja kerrospaksuuksien tarkkailussa. Käytännössä koneohjausta on käytetty niiden urakoitsijoiden toimesta, jotka

ovat itse halunneet hyödyntää koneohjausta, eikä sitä ole edellytetty urakkatarjouspyynnöissä tai puitesopimuksissa.

### 3 Koneavusteinen työskentely infrakohteissa

Koneohjattu työskentely on arkipäiväistynyt, ja käsitettä koneohjaus käytetään yleistäen useammista eri automaation ja sijainnin seurannan tasoilla toimivista järjestelmistä. Nykyään suurin osa koneohjausjärjestelmistä toimii reaaliaikaiseen maantieteelliseen sijaintiin sidotussa kolmiulotteisessa ympäristössä. Koneohjatussa työskentelyssä työkoneen järjestelmään tuodaan digitaalisessa muodossa olevat tiedot työkohteesta eri vaiheineen, joiden pohjalta työ suoritetaan.

#### 3.1 Ohjausautomaation tasot

Työkoneiden järjestelmien automaatioiden tasoja on olemassa erilaisia, kuljettajaa opastavasta täysin autonomisesti toimiviin työkoneisiin:

- Kuljettajaa opastavat järjestelmät; Työkoneeseen asennettu laitteisto avustaa kuljettajaa pääsemään ennalta määritettyyn tavoitesijaintiin ja -korkeuteen esim. graafisesti esitettävän kuvan ja numeroarvojen avulla. Itse työkoneetta ohjaa kuljettaja täysin manuaalisesti. Tavanomaisimmin opastavaa järjestelmää hyödynnetään kairavinkoneissa. [4, s. 16–17.]
- Osittain automatisoitu järjestelmä; Järjestelmä ohjaa työkoneen tiettyä toimintaa automaattisesti kuljettajan huolehtiessa koneen kuljettamisen lisäksi manuaalisesti osasta työliikkeitä. Kuljettaja huolehtii manuaalisesti asetusarvojen muuttamisesta ja tarkkailusta työskentelyn aikana sekä työkoneen ohjaamisesta. Tavanomaisin sovellus on tiehöylän kallistusautomaatiikka, jossa järjestelmä pitää terän kuljettajan asettamassa arvossa. [4, s. 16–17.]
- Täysin automatisoitu järjestelmä; Järjestelmä ohjaa työkoneen työliikkeitä automaattisesti ja kuljettajan tehtäväksi jää ainoastaan ajaa työkoneetta sekä tarkkailla automaation toimintaa. Poikkeavissa tai toimintahäiriötilanteissa kuljettaja voi ohjata konetta manuaalisesti. Tavanomaisin sovellus on tiehöylän 3D-ohjaus, jossa teränhallinta pohjautuu määritettyyn pintamalliin ja reaaliaikaiseen paikannukseen. [4, s. 16–17.]
- Autonominen järjestelmä; ilman kuljettajaa toimiva työkone, joka suoriutuu annetuista työtehtävistä itsenäisesti. Täysin autonomisia työkoneita on olemassa jo useammalla valmistajalla esim. Komatsuilla ja Volvolla. Toisilla valmistajilla työkoneet ovat tuotantokäy-

tössä ja osalla vielä pilottivaiheessa. Autonomiset työkonet soveltuvat vielä toistaiseksi vain hyvin suuriin työkohteisiin esim. kaivokset, louhokset, erittäin suuret maa-ainestenotto- ja -varastointialueet. [4, s. 16–17, 5 ja 6.]

Kuvassa 3 on esitetty Volvon Tara, pilottivaiheessa oleva autonominen dumper.



Kuva 3. Volvo Tara, pilottivaiheessa oleva autonominen dumper [5]

Tässä opinnäytetyössä käytetään käsitettä koneohjaus yleistäen ja sillä tarkoitetaan sekä kuljettajaa opastavaa järjestelmää että osin tai täysin automatisoitua koneohjausjärjestelmää.

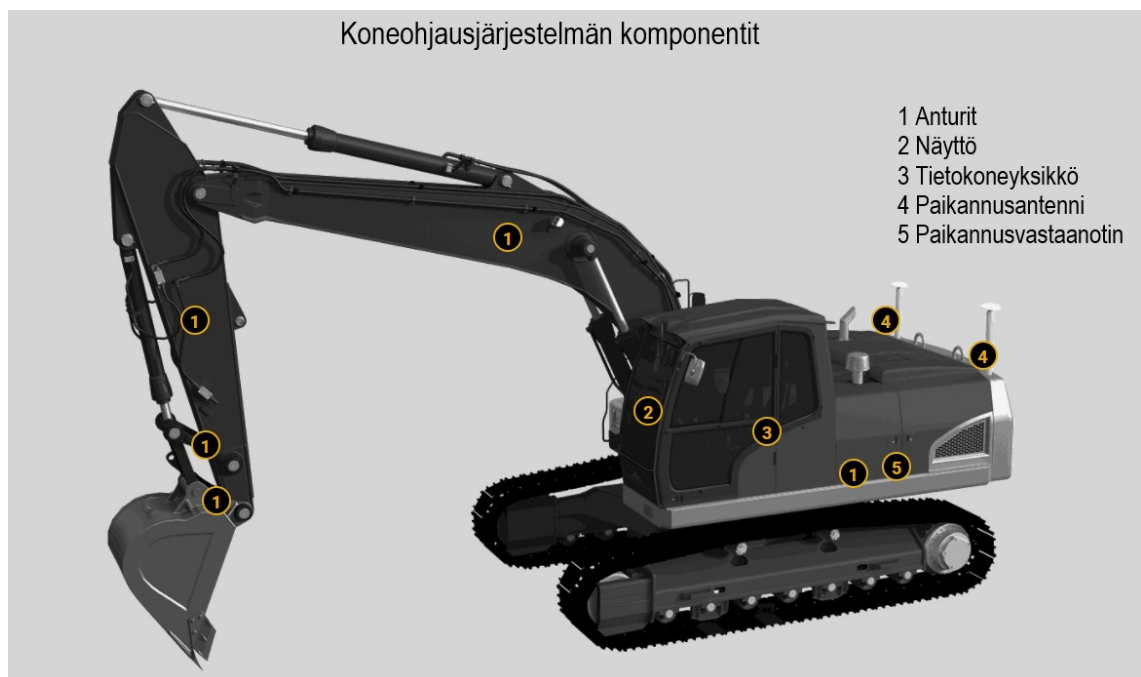
Kuljettajaa ohjaavia sekä osin tai täysin automatisoituja koneohjauslaitteistoja markkinoivat tällä hetkellä Suomessa mm. Novatron, Trimble, Leica, Topcon sekä L5Navigation, HMPStronic/Techbelar.

### 3.2 3D-koneohjausjärjestelmän sisäinen tarkkuus

3D-koneohjausjärjestelmä on työkoneseen kiinteästi asennettu laitteisto, jonka avulla havainnoidaan koneen työliikkeitä reaaliaikaisesti. Kuvassa 4 on Novatronin esitys kaivinkoneeseen asennetuista koneohjauksen komponenteista. 3D-

koneohjausjärjestelmällä varustetun työkonen työterän, esimerkiksi kaivinkoneen kauhan huulilevyn tai tiehöylän terälevyn, sijainnin tunteminen perustuu koneen sisäiseen koordinaatistoon, jossa koneen osien sijainti tunnetaan suhteessa koneen keskiakseliin tai muuhun ennalta määritettyyn, koneessa olevaan rakenteelliseen kiinteään pisteeseen, origoon. [7, s. 15.]

Työkonen origon maantieteellinen sijainti saadaan määriteltyä satelliitti- tai taylorimetripaikannuksen avulla, jolloin myös työkonen terälevyn todellinen sijainti tunnetaan. Tämä mahdollistaa mallipohjaisen työskentelyn suoraan työkohteelle laadituista suunnitelmamalleista. [7, s. 15.]



Kuva 4. Novatron Xcite®Pro -3D-koneohjausjärjestelmän komponentit (<https://novatron.fi/koneohjaus/kaivinkoneisiin/xsite-pro-edistynyt-3d>, kuvan muokkaus: Takanen)

Koneohjausjärjestelmä koostuu laitteistokokonaisuudesta, joka sisältää työkonesta riippuen

- erilaisia asento-, pyörintä- ja kallistusantureita, joiden avulla voidaan määrittää työterän sijainti ja asento koneen origoon verrattuna. An-



tureita sijaitsee kaikissa työkoneen liikkuvissa osissa, jotka vaikuttavat terälevyn sijaintiin, kuten esimerkiksi puomeissa, kauhan pyörittäjässä, jne.

- maantieteellisen sijainnin määrittämiseksi joko aktiiviprisman robotitakymetripaikannusta tai GNSS-vastaanottimet satelliittipaikannusta varten
- tietokoneyksikön, joka laskee reaaliaikaisesti antureilta ja vastaanottimilta saatujen tietojen perusteella työterän sijainnin suhteessa koneelle syötettyyn suunnitelmamalliin.
- ohjainyksikön eli näytön. Ohjainyksiköllä hallitaan laitteiston käyttöä sekä esitetään kuljettajalle tarvittavat suunnitelman ja työkoneen tiedot. Kehittyneimmillä laitteilla voidaan myös tehdä mallien noutaminen pilvipalvelimilta ja suorittaa työkoneella kartoituksia.

Koneohjausjärjestelmien sisäinen tarkkuus on hyvä, kun laitteisto on asennettu työkoneeseen huolellisesti ja kalibroitu oikein. Koneohjausjärjestelmän sisäiseen tarkkuuteen aiheuttaa tavanomaisimmin virhettä työterän kuluminen ja pidemmällä aikavälillä puomien välysten kasvaminen. Kulumista tuleekin seurata säännöllisesti ja poissulkea mahdollinen virhe tarkastamalla koneen sijaintitarkkuus ohjeistuksen mukaisesti. Myös kaivinkoneen kauhan vaihto kesken työskentelyn tulee huomioida laitteiston asetuksissa, sillä eri käyttötarkoitukseen tarkoitettujen kauhojen mitat poikkeavat toisistaan.

### 3.3 3D-koneohjausjärjestelmän ulkoinen tarkkuus

3D-koneohjauksen ulkoinen tarkkuus riippuu valitusta paikannusmenetelmästä ja vallitsevista olosuhteista.

Robottitakymetriohtu työskentely perustuu työkohteella oleviin kiinteisiin, sijainniltaan tunnettuihin pisteisiin, joiden avulla robottitakymetri orientoidaan työmaan sisäiseen koordinaatistoon tai tunnettuun koordinaatistoon. Tunnetuista pisteistä suoritettun takymetriohtu työskentelyn ulkoinen paikannustarkkuus taso- ja korkeustarkkuuden osalta on alle senttimetrin luokkaa. Tavanomaisesti takymetripaikannusta hyödyntäviä koneohjausjärjestelmiä käytetään tiehöylissä. Kuvassa 5 on esitetty tiehöylä varustettuna aktiiviprisamalla.

Takymetriohjauksen hyviä puolia on tarkkuuden lisäksi sen luotettavuus, sillä se ei ole riippuvainen ulkoisista yhteyksistä. Heikkouksia ovat tunnettujen pisteiden tiheä tarve ja lyhyehkö työskentelykantama. Häiriötekijöitä takymetriohjaukselle aiheuttaa useimmiten työmaaliikenne, joka ajoittain saattaa muodostaa näköesteitä työkoneneen aktiivitähtäyksen ja takymetrin välille, sekä mahdollinen tärinä, jos takymetriä ei voida sijoittaa riittävän kauaksi välittömästä työskentelyalueesta. Myös pimeä tai hyvin sateinen ja sumuinen keli heikentävät takymetrin käyttöä.



Kuva 5. Aktiiviprismalla varustettu tiehöylä (<https://www.maansiirtopuuha.fi/kalusto/muu-kalusto/item/11-tiehoeylae>)

Työkone voidaan paikantaa myös hyödyntäen satelliittiteknologiaa. GNSS-satelliittipaikannukseen perustuvan koneohjauksen ulkoinen tarkkuus on muutamien senttimetrin luokkaa. Satelliittipaikannuksen tarkkuuden luotettavuus on parantunut huomattavasti käytettävissä olevien satelliittijärjestelmien lisääntyessä siviilikäyttöön sekä sijainninkorjauslaskennan kehittymisen myötä. Tavanomaisesti satelliittipaikannusta hyödyntäviä koneohjausjärjestelmiä käytetään kaivinkoneissa.

Yksi satelliittipaikannuksen vahvuuksista on sen laaja toiminta-alue, koska se ei ole niin riippuvainen tunnetuista pisteistä kuin esimerkiksi takymetrillä toteutettu

paikannus. GNSS RTK -paikannus toimii koko ajan tunnetussa koordinaatistossa, ja se on heti käyttöön otettavissa eri työkohteissa, mikäli toteutusmallit ovat laadittu tunnettuun koordinaatistoon. Heikkouksina satelliittipaikannuksella on, että se on riippuvainen ulkoisista yhteyksistä. Epätarkkuutta voi aiheuttaa myös ympäristön peitteisyys, esimerkiksi korkeat kerrostalot työkoneen ympärillä tai tiheä ja korkea puusto, jotka vaikeuttavat satelliittisignaalien suoraa pääsyä työkoneen vastaanottimille. GNSS-paikannus ei ole herkkä valolle tai sään vaihteluille, kun antennia ei tarvitse optisesti havaita, mutta ilmakehässä tapahtuva auringon hiukkassäteilyn vaihtelut voi vääristää mittaustarkkuutta.

Työkoneen satelliittipaikannus voidaan toteuttaa joko RTK-mittauksena omalla tukiasemalla tai tukiasemien verkostossa, jota kutsutaan verkko-RTK-menetelmäksi. Verkko-RTK-tekniikan sijainninkorjaus on nopeammin käyttöön otettavissa työkohteilla kuin oma tukiasema, mikäli omaa tukiasemaa ei ennestään ole työkohteen lähistöllä. Omalla tukiasemalla tarkoitetaan esim. organisaation oman ylläpidon alla olevaa kiinteää tukiasemaa tai työmaakohtaista tukiasemaa. Työmaakohtainen tukiasema pitää asemoida aina tunnetulle pisteelle tai sen sijainti pitää määrittää luotettavasti erillisin mittauksin, jotta GNSS-mittausta voidaan hyödyntää luotettavasti. Työmaakohtaiselle tukiasemalle on myös säännöllisesti tehtävä tarkemittauksia, jotta sen liikkumattomuudesta voidaan varmistua.

Verkko-RTK:n hyödyntäminen on lähtökohtaisesti maksullista, ja siinä tukiasemaverkon ja korjausdatapalvelun ylläpitäjä veloittaa verkon avulla saatavan korjaustiedon käyttämisestä. Tällä hetkellä verkko-RTK-palveluita Suomessa tarjoavat mm.

- Geotrim Oy, jonka palvelu Trimnet tarjoaa VRS-palvelun (Virtual Reference Station), joka perustuu valtakunnan kattavaan yli 100 kiinteän tukiasemaverkkoon. [8]
- Hexagon. HxGN SmartNet, joka aiemmin tunnettiin nimellä Leica SmartNet, on laaja tukiasemaverkosto, joka kattaa mm. pohjoismaat ja Euroopan. Suomessa SmartNet pohjautuu yli 100 tukiasemaan. [9]

- Maanmittauslaitos. Maanmittauslaitoksen FINPOS-paikannuspalvelun verkko-RTK palvelu pohjautuu valtakunnan kattavaan Finnref-tukiasemaverkoston, jonka korjauspalvelua on saatavilla vain tutkimuskäyttöön. [10]
- Karera Oy. Karera Oy on uusi toimija, joka on vuoden 2021 lopulta lähtien tarjonnut RTK-korjauspalvelua. Palvelu pohjautuu Maanmittauslaitoksen tukiasemaverkkoon, jossa on noin 90 tukiasemaa. [11]
- kaupunkien tarjoamat RTK-korjauspalvelut, jotka perustuvat kaupungin omaan itse ylläpitämään paikalliseen tukiasemaverkkoon. Näin on mm. Tampereella, jonne on rakennettu oma muutaman tukiasemaverkko. [12]

Kiinteän ja työmaakohtaisen tukiaseman hyviä puolia ovat edullisemmat käyttökustannukset, jos kohteella työskentelee useita koneita. Näin kaikki koneet voivat hyödyntää paikalliselta tukiasemalta saatavaa vertailutietoa, eikä jokaiseen koneeseen tarvita omaa erillistä verkko-RTK-palvelun lisenssiä. Tällöin korjauspalvelun lisenssien kustannuksissa säästetään. Paikallisen tukiaseman hankintakustannukset ovat kuitenkin suuremmat kuin yksittäisten lisenssien, minkä lisäksi myös ylläpidosta syntyy kustannuksia.

Oman tukiaseman heikkouksia verrattuna verkko-RTK-ratkaisuun on rajallinen toiminta etäisyys tukiaseman ja työkoneen välillä. Etäisyysuusitus koneen ja tukiaseman välillä on alle 10 kilometriä. Verkko-RTK ei ole niin haavoittuvainen tukiasemien ja työkoneiden välisistä etäisyyksistä ratkaisun perustuessa usean tukiaseman verkostoon. Verkko-RTK-menetelmällä voidaan myös hallita paremmin ilmakehään liittyviä virhetekijöitä, kun tukiasemia on enemmän kuin yksi. [13, s. 320–321.]

## 4 Tietomallipohjainen työskentely

Tietomallipohjainen työskentely on ottanut vahvan jalansijan suomalaisessa rakentamisessa. Suuret talonrakennus- ja infrarakennusalan toimijat ovat omaksuneet tietomallipohjaisen työskentelyn osaksi päivittäistä toimintaansa, eikä ihme, sillä tietomallipohjaisesta suunnittelusta ja toteuttamisesta on havaittu olevan laajalti hyötyä niin taloudellisesti, toiminnallisesti kuin työturvallisuuden näkökulmistakin katsottuna. Lähivuosina on uutisoitu, kuinka suuret mallipohjaisesti toteutetut hankkeet ovat valmistuneet etuajassa tai budjetoitua edullisemmin.

### 4.1 Infrarakentamisen tietomallit ja -aineistot

Termit tietomalli ja tietoaineisto ovat yleisesti ottaen laajoja, ja ne voivat käytännössä pitää sisällään mitä tahansa rakenteellisesti jäsenneltyä tietoa, riippuen tieteenalasta sekä siitä, missä yhteydessä termiä käytetään. Yleisellä tasolla tietomallilla tarkoitetaan mallia, joka kuvaa tietojen välisiä suhteita. [14] Tietomallin sisältö riippuukin siitä, mihin käyttötarkoitukseen se on laadittu. Tietomallin määritelmä rakennetun ympäristön osalta on kiteytetty osuvasti Väyläviraston internetsivuilla:

Tietomallilla tarkoitetaan digitaalisessa muodossa olevan rakennelman 3-ulotteista esittämistä ominaisuustietoineen [15].

Infrarakentamisen, taitorakentamisen sekä rakennusten tietomallit koostuvat tavanomaisesti erilaisista rakenteista, laitteista ja varusteista, joihin on sisällytetty myös ominaisuustietoja. Tietomalleja voidaan tarkastella hyvin suurpiirteisestä yleiskuvasta hyvinkin yksityiskohtaiseen tietoon, kuten yksittäisiin pisteisiin ja viivoihin. Jotta tätä laajaa kokonaisuutta voidaan johdonmukaisesti hallita, täytyy olla yhtenäiset määritelmät ja ohjeistukset, jotta työskentely sujuu mahdollisimman taloudellisesti ja mutkattomasti.

Tietomalliperusteista toimimista varten on eri aloille laadittu alakohtaisia tarkentavia ohjeistuksia ja määritelmiä. Merkittävä rakennetun ympäristön tietomallinusta ohjaava verkosto Suomessa on BuildingSMART Finland ja Rakennustietomalli Oy, jotka ovat osa maailman laajuista BuildingSMART-verkosta. [16] BuildingSMART ja Rakennustieto Oy ovat laatineet ohjeistukset tietomallipohjaisten hankkeiden koko elinkaarelle. Ohjeistukset on laadittu sekä talojen ja infrarakentamisen osalle kuin myös kaupunkien mallintamiseen. Ohjeistuksia päivitetään jatkuvasti työmenetelmien ja välineiden kehittyessä, parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. [17, s. 6.]

Tämän opinnäytetyön yhteydessä on tutustuttu syvällisemmin BuildingSMART Finlandin laatimaan Yleiset inframallivaatimukset -ohjeistukseen (YIV) ja sen liitteisiin. Opinnäytetyön kirjoittamisen kestäessä on ohjeistus päivittynyt kertaalleen ja viimeisin versio yleisistä inframallivaatimuksista on julkaistu 4.10.2021. Aiempi versio ohjeistuskokonaisuudesta oli nimetty edellisen päivityksen mukaisesti YIV2019.

Edellä mainittujen ohjeistusten ja suositusten kokonaisuus on laadittu hyvin seikkaperäisesti ja kattavaksi. Kaikkien mallipohjaisissa hankkeissa työskentelevien tulikin tutustua YIV-ohjeistukseen vähintään pintapuolisesti. Alla käsitellään hyvin tiivistetysti mallipohjaiseen työskentelyyn liittyviä aineistoja, rooleja ja termistöä sekä niihin liittyviä erityispiirteitä.

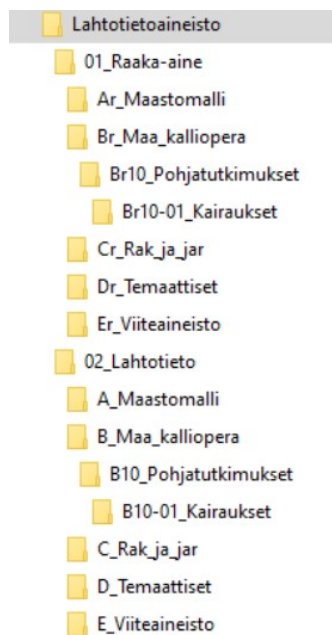
#### 4.1.1 Lähtötietoaineisto

Lähtötietoaineistolla tarkoitetaan tietoaineistojen kokonaisuutta, jotka hankitaan suunnittelun pohjaksi. Lähtötietoaineisto voi täydentyä vielä hankkeen edetessä, kun suunnittelun yhteydessä ilmenee lisätiedon tarpeita. Tästä johtuen aineistojen oikeanlainen jäsentely sekä muutos- ja metatietojen kirjaaminen ovat oleellinen osa lähtöaineistokokonaisuutta. [17, s. 49.]

Infrahankkeissa lähtötietoihin lukeutuvat mm. maastomalli ja mittausperusta, tiedot maaperästä, tiedot rakennetusta infrasta, maankäyttöön liittyvät tiedot ja -

määräykset, mahdolliset suojelupäätökset tai -määräykset sekä muut tarvittavat käytettävissä olevat kartat, kuvat ja tiedot, joista on hyötyä hankkeen aikana. Koska lähtöaineisto voi kohteesta riippuen koostua hyvin monenlaisesta aineistosta, on luotettavuuden takaamiseksi jokaiselle aineistolle dokumentoitava lähtöaineistoluettelo niiden tarkkuustaso ja alkuperä. [17, s. 51–52, 63.]

Suositus on, että kaikki hanketta varten kerätty tieto tallennetaan hanketta varten perustettuun hakemistoon. Selkeän hakemistorakenteen avulla eritellään ns. raakatiedostot käyttöön jalostetuista tiedostoista eri työvaiheittain. Kuvassa 6 on YIV-ohjeistuksessa annettu hakemistorakenne-esimerkki, jossa r-kirjaimella on eritelty raaka-aineita sisältävät kansiot muista aineistoista. Hankkeen kansiorakenteen ja aineistojen nimeämiselle on myös annettu suositukset. [17, s. 53–56.]



Kuva 6. YIV-ohjeistuksen esimerkki alakansioiden nimeämisestä [17, s. 54.]

Suunnittelussa lähtöaineistojen tarkkuudelle ja luotettavuudelle asetetaan suuri painoarvo. Tästä johtuen on huolehdittava, että aineistot tilataan ja toteutetaan asetettujen tarkkuusvaatimusten mukaisesti. Aineistoja vastaanotettaessa on varmistuttava siitä, että aineistojen tuottaja, tuottamistapa ja tarkkuudet sekä

mahdolliset epävarmuustekijät ovat kirjattuna aineistojen mukana kulkeviin metatietoihin. [17, s. 57.]

YIV-ohjeistuksessa muokkaamattomia lähtötietoja kutsutaan osuvasti raaka-aineeksi. Kun raaka-aineita muokataan suunnitteluun sopivaksi, säilytetään alkuperäinen aineisto natiiviformaatissa ja muokkaamattomana. Lähtöaineistot harmonisoidaan ja yhdenmukaistetaan mahdollisimman pitkälle, jotta ne ovat yhteensopivia suunnitteluovellusten kanssa. Myös näistä toimenpiteistä laaditaan yksilöivät metatiedot, jotta niihin voidaan tarvittaessa palata. Muokatut aineistot siirretään seuraavaa vaihetta varten niille varattuun hakemistoon, ennalta sovitussa formaatissa. [17, s. 57, 60–61.]

#### 4.1.2 Suunnitelmamallit

Suurin osa infrahankkeista suunnitellaan nykyään mallipohjaisesti. YIV-ohjeistuksessa todetaan seuraavasti:

”Mallintamisen tavoitteet ja mallien hyödyntämistavat vaihtelevat suunnitteluvaiheittain.” [17, s. 81.]

Suunnitteluprosessin aikana hyödynnetään erilaisia yhdistelmämalleja sekä aineistoja, joiden pohjalta suunnittelun tuloksena syntyy mm. yleissuunnitelmia, rakentamismalleja ja taitorakennemalleja. Mallipohjaisesti toteutettu hanke mahdollistaa aiempaa visualisemman havainnollistamisen esim. yleisö- ja sidosryhmätilaisuuksissa, työmaakokouksissa sekä hallinnollisessa päätöksenteossa. [17, s. 93–95.]

Infrahankkeen koosta riippuen, mallintamista voidaan hyödyntää esi- ja tarveselvitysvaiheessa ja yleissuunnitteluvaiheessa, joissa nykyistä ympäristöä ja suunniteltua muutosta mallintamalla voidaan havainnollistaa ja tarkastella mm. alustavia tilavarauksia ja korkomaailmaa sekä vertailla eri ratkaisuvaihtoehtoja. [17, s. 81–83.] Näitä kutsutaan yhdistelmämalleiksi. Yhdistelmämallilla käsitellään mallien yhdistelmää, joka koostuu tavanomaisesti eri lähtötietoaineistoista ja eri suunnitelmamalleista.



Yhdistelmämalli toimii suunnittelun aikaisena yhteistyö- ja kommunikointivälineenä eri tekniikkalajien suunnittelijoiden välillä suunnittelupalavereissa, eri tekniikkalajeja yhdisteltäessä. Yhdistelmämallia hyödynnetään niin ikään jatkuvassa laadunvalvonnassa, jossa säännöllisesti koostettavan mallin avulla voidaan tarkastella eri tekniikkalajien ja niiden työvaiheiden toteutumista. [18, s. 15–16, 21.] Yhdistelmämallit voivat kuvata haluttua lopputulosta hankkeesta riippuen yleiskuvallisesti tai hyvinkin yksityiskohtaisesti [17, s. 80].

Rakennussuunnitelmamalli on hyvin yksityiskohtainen malli, jossa on kuvattuna geometria ja ominaisuustietoineen mm. rakennettavan kohteen rakenteet, materiaalit, varusteet, kasvillisuus ja kalusteet. Rakennussuunnitelmamallille on YIV-ohjeistuksessa annettu hyvin tarkat määritelmät kohteiden nimeämistä sekä geometriatietojen eheyteen ja jatkuvuuteen liittyvät vaatimukset. Rakennussuunnitelmamallia hyödynnetään mallipohjaisessa hankkeessa myös urakkakäytön ja tarjouspyyntöjen lähtökohtana, koska siitä saadaan laskettua nopeasti ja tarkasti määrä-, massa- ja kustannuslaskelmat. Hyväksytyt ja tarkastetut rakennussuunnitelmamallit on tarkkuutensa johdosta siirrettävissä suoraan toteutusmalliksi ja siitä voidaan jalostaa koneohjausaineistot tulevaa rakentamista varten. [17, 85–86, 96, 115.]

Tavanomaisesti infrahankkeet sisältävät usean eri osaamisalan tuntemista vaativaa suunnitteluosaamista, joten eri vaiheet ja suunnitelmien sisällöt laaditaan eri suunnittelijoiden toimesta. Kun suunnitelmat yhdistetään, suunnitelmien kokonaisuus kuvastaa mahdollisimman seikkaperäisesti haluttua lopputulosta. Suunnitelmat tavanomaisesti muuttuvat hankkeen esisuunnittelun ja toteutuksen välisenä aikana, minkä takia versiohistoria ja siihen liittyvät metatiedot tulee kirjata huolellisesti. Suunnitelmamallien yhteensovittamisesta rakennusmalliksi vastaa tietomallikoordinaattori yhdessä eri tekniikkalajivastaavien kanssa [17, s. 94].

### 4.1.3 Koneohjausaineisto

Koneohjausaineisto laaditaan toteutusmallista, jonka tavanomaisesti muokkaa ja koostaa työmaaorganisaatio. Koneohjausaineisto koostuu mm. pintamalleista, geometrialinjoista, verkostoista sekä viiva- ja pistemäisistä kohteista ja tarvittaessa erilaisista tausta-aineistoista. [17, s. 8, 115.] Koneohjausaineistosta muokataan koneohjausmallit, jotka laaditaan eri työvaiheiden ja käytössä olevien työkoneiden koneohjausjärjestelmien erityistarpeet huomioiden mm. tiedonsiirtoformaattien osalta [17, s. 18].

Koneohjausmallien sisältö riippuu työkohteesta. Koneohjausmalleja tuotetaan vesihuollon rakentamiseen liittyen vesi-, jätevesi- sekä sadevesiverkoston ja niihin liittyvien laitteiden ja rakenteiden tiedoista, jotka muodostuvat kolmiulotteisista viivoista ja pisteistä. Kadun rakentamiseen laaditut koneohjausmallit ovat pääsääntöisesti kolmiulotteisia pintamalleja eri katurakenteen kerroksista sekä viivamainen kadunkeskilinjän geometriatieto. Tavanomaisesti eri rakennekerroksista mallinnetaan ylin pinta.

Sähkö- ja datakaapeleille voi olla luotuna omat koneohjausmallit, jotka tavanomaisesti koostuvat viivamaisista tiedoista. Näiden lisäksi koneohjaukseen voi olla tuotettuna erilaisten varusteiden tai istutusten suunnitelmatietoja.

Koneohjausyksikölle voidaan koostaa mallien lisäksi myös taustakartta-aineistoja, jotka auttavat koneenkuljettajaa hahmottamaan visuaalisemmin olemassa olevaa tilannetta työkohteella tai tavoiteltavaa lopputilannetta. Hyödynnettäviä aineistoja voivat olla esimerkiksi työkohteella jo olemassa olevien infrakohteiden tiedot tai suojeltavat kohteet. Asemakaava- ja kiinteistörajojen tiedot sekä rakennettavien katujen reunat helpottavat hahmottamaan kokonaisuutta esimerkiksi täysin rakentamattomassa ympäristössä. Myös urakka-aluerajat ja ns. VARO-kohteet ovat informatiivisia tausta-aineistoja.

Jotta koneohjaustiedostot toimivat työkoneissa täsmällisesti, on aineiston oltava tarkastettua, että sen viivat ja pinnat ovat säännönmukaisia, jatkuvia sekä

ehyitä. Aineiston laadun merkitys korostuu työkoneissa, jotka toimivat täysin automaattisesti. Tämänkaltainen työkone on esimerkiksi tiehöylä, jonka huulilevyn korkeus ja asento säätyvät automaattisesti ohjausmallin mukaan kuljettajan huolehtiessa vain työkoneen kuljettamisesta.

#### 4.1.4 Toteumamalli

Toteumamalli kuvaa valmista, toteutettua infrarakennetta kaikkine kohteineen. Toteumamalli rakentuu tarke- ja toteumamittauksin täydentämällä ja päivittämällä rakennussuunnitelmamallia tai toteutusmallia. [17, s. 11, 18.] Kattava ja tarkasti laadittu toteumamalli toimii rakennetun infran osalta myös lähtötietona, mahdollisesti myöhemmin tulevia muutostöitä varten. Mikäli toteumamalliin sisällytetään kunnossapidon tarvitsemia tietoja, sitä voidaan myöhemmin hyödyntää ns. kunnossapitomallina, jonka avulla voidaan kilpailuttaa esim. uudelleen päälylystystöitä tai muita kunnossapitourakoita. [17, s. 19–20.]

Toteumamallin yksi tärkeimmistä tehtävistä liittyy laadunvalvontaan. Kuten aiemmin mainittiin, toteumamallia koostetaan tarke- ja kontrollimittausten perusteella. Samassa yhteydessä kun mittaustieto koostetaan suunnitelmamalliin, tarkastelee tietomallikoordinaattori, että toteumamittaukset vastaavat vaatimustason mukaisesti suunniteltua lopputulosta. Mikäli poikkeamia havaitaan, selvitetään ensi tilassa, mistä poikkeamat johtuvat ja onko korjaaviin toimenpiteisiin tarvetta ryhtyä. Suunnitelmista poikkeavasti toteutetut kohteet mallinnetaan toteumamalliin ja täydennetään kohteen tiedot toteumamalliselostukseen. Muutokseen johtaneet syyt dokumentoidaan vielä poikkeamaraporttiin. [17, s. 131–133.]

## 4.2 Tietomallien laadunvarmistus

Laadunvarmistus on tärkeä osa suunnittelua sekä toteutusta, ja tarkastelua tulee tehdä läpi koko prosessin jokaisessa työvaiheessa eikä vain aineistoa edelleen luovutettaessa. Tietomallien säännöllisellä tarkastelulla varmistutaan siitä, että aineisto on riittävän kattavaa, yhteensopivaa ja tietosisällöltään oikeellista.

Tarkastelua voidaan tehdä mm. arvioimalla mallin laatua ja yhteensopivuutta, onko kokonaisratkaisu toimiva ja ristiriidaton (esim. eri tekniikkalajien törmäys-tarkastelu), onko kaikki tarvittava tieto esitetty tietomallissa riittävällä laajuudella ja vaatimusten mukaisessa muodossa? Onko malli toteutettu teknisesti laadukkaasti (eheys, jatkuvuus) ja vaatimusten mukaisessa koodistossa? Myös tiedonhallinnan mukaisesta dokumentoinnista tulee huolehtia, että eri työvaiheet ja niihin liittyvät selostukset, luettelot ja tarkastukset tulevat dokumentoitua sovitusti. [17, s. 103.]

Laadunvarmistuksen tarkoituksena on myös varmistaa tiedon siirtyminen seuraavaan vaiheeseen ohjeistusten ja vaatimusten mukaisena, avoimessa tiedon-siirtoformaattissa jota eri ohjelmistot tukevat. YIV-ohjeistuksessa todetaankin asianmukaisen laadunvarmistuksen lyhentävän hankkeiden läpimenoaikaa, vähentävän kustannuksia ja parantavan suunnitelmien laatua. [17, s. 28.]

Viimeistään ennen aineiston toimittamista seuraavaan vaiheeseen tulee laaditulle aineistolle suorittaa itselleluovutus. Itselleluovutus on työvaihe, jossa tarkastetaan, että tuotettu aineisto täyttää toimijan oman laatu järjestelmän sekä yleisten vaatimusten ja ohjeistusten mukaiset laatuvaatimukset. Itselleluovutuksella varmistutaan, ettei aineistoon ole jäänyt virheitä ja että se on tuotettu sovitusti ja yhteensopivassa muodossa. Laadittu aineisto luovutetaan eteenpäin vasta, kun kaikki tarkastuskohdat ovat todettu hyväksytysti tehdyksi. Itselleluovutuksesta laaditaan tarkastusraportti, joka toimitetaan tilaajalle osana tietomallia. [17, s. 28–29, 70, 104.] Tietomalliaineiston teknisessä tarkastuksessa, kuten viivojen ja pintojen eheyden sekä jatkuvuuden tarkistuksessa, hyödynnetään tavanomaisesti koneavusteista tarkistusta. Koneavusteisen tarkastuksen virheraportti on osa itselleluovutuksen dokumentaatiota. [17, s. 104.]

Laadunvarmistuksen vastuita jaetaan työroolien mukaan suunnittelijoille, pääsuunnittelijalle, tietomallikoordinaattorille ja tilaajalle.

Suunnittelijoiden tehtävänä on vastata omien malliaineistojensa sisällöstä ja teknisestä oikeellisuudesta ja siitä, että suunnitelmat on laadittu yleisten ja hankekohtaisten ohjeistusten ja vaatimusten mukaisesti. Suunnittelijan tulee tehdä tuottamilleen malleille sisäisiä tarkastuksia, sisäisten tarkastusdokumenttien mukaisesti, jotta varmistutaan ettei malleihin jää virheitä tai puutteita. Tarkastuksia tehdään tasaisesti suunnittelun edetessä eikä pelkästään ennen itselleluovutusta. Itselleluovutus on tehtävä kaikille suunnitelma-aineistoille ennen niiden eteenpäin toimittamista, ja se on dokumentoitava. Ennen aineiston eteenpäin luovuttamista suunnittelijan tulee varmistua siitä, että aineisto soveltuu käyttötarkoitukseensa ja että se on toteutettu tilaajan määrittelyiden mukaisesti. Tietomallin tarkastaminen ei korvaa suunnitteluratkaisun tarkastamista, jolla tarkoitetaan mm. rakennettavan kohteen toteutuksen teknistä ratkaisua, laadullisia tekijöitä, mitoitus, määräysten mukaisuutta ja vaikutuksia ympäristöön. [18, s. 36; 17, s. 101–102.]

Pääsuunnittelija tai suunnittelun tietomallikoordinaattori vastaa eri tekniikkalajien suunnittelijoiden kanssa suunnitelmien yhteensovittamisesta (yhdistelmämallin laatiminen) sekä siitä, että mallinnus ja sen dokumentoiminen ovat tehty vaatimusten mukaisesti [17, s. 23, 101–102]. Tietomallikoordinaattori ohjaa ja koordinoi tarkastustoimintaa sekä tekee laadunvarmistusta läpi koko hankkeen [17, s. 106].

Tuotannon tietomallikoordinaattorin tehtävään kuuluu mm. rakentamissuunnitelmamallin tarkastaminen ja sen edelleen toimittaminen työmaan eri toimijoille [17, s. 23].

Tilaajan velvollisuuksiin kuuluu varmistaa, että suunnittelijat ovat tehneet laadunvarmistukset tuottamilleen aineistoille ja dokumentoineet ne. Tilaajan tulee tehdä myös vastaanotetulle aineistolle laadullinen tarkastus ja tarvittaessa palauttaa se suunnittelijalle korjattavaksi, mikäli havaitaan puutteita tai virheitä. Tilaaja voi teettää tarkastamisen tarvittaessa myös ulkopuolisella. Tärkeintä on, että aineiston tarkastajalla on riittävä osaaminen ja vaadittavat sovellukset tietomallien tarkastamiseksi. [17, s. 102.]

### 4.3 InfraBIM-nimikkeistö ja tiedonsiirtoformaatit

Yleiset inframallivaatimukset täydentyvät infraBIM-nimikkeistöllä, jolla esitetään mallipohjaiselle työskentelylle yhtenäiset numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Nimikkeistö palvelee tietomallipohjaisia hankkeita niiden koko elinkaaren ajan lähtötietojen hankinnasta toteuma mittauksiin ja ylläpitoon. [19] Työmaamittauksia palvelemaan on laadittu erillinen infrarakentajakoodaus eli RAK-koodaus, joka täydentää infraBIM-nimikkeistöä. RAK-koodaus on luotu vakioimaan nimeämiskäytännön hyödyntämistä mittalaitteissa, jotka eivät vielä tue ominaisuustietojen kirjaamista. RAK-koodauksen avulla koodikirjastoa on laajennettu niin, että yksilöivällä koodilla voidaan selkeästi erotella mitatut kohteet materiaali- ja ominaisuustietoineen. RAK-koodistoa tulee käyttää ainoastaan työmaan tiedonsiirtoon ja ennen tiedon toimittamista eteenpäin, se tulee muuttaa inframodel4-formaattiin. Nykyaikaisilla mittalaitteilla kohteille voidaan syöttää riittävät attribuuttitiedot, eikä erillisen RAK-koodiston käyttäminen ole enää tarpeen. [20]

Jotta tietomallit olisivat mahdollisimman hyvin saavutettavissa, tulee aineistoja jakaa mahdollisimman pitkälle avoimia tiedonsiirtoformaatteja hyödyntäen. Inf-ratioiden osalta avoin tiedonsiirtoformaatti on Inframodel (IM), joka perustuu kansainväliseen LandXML-formaattiin. Taitorakenteiden tiedonsiirrossa käytetään IFC-formaattia (Industry Foundation Classes), joka on kansainvälisesti käytetty avoin formaatti. Avoimien formaattien hyödyntäminen eri ohjelmistoissa on kuitenkin vielä osin haasteellista formaattien puutteellisuuksien takia. Tästä johtuen mm. suunnitteluaineisto on luovutettava eteenpäin myös natiiviformaatissa. Toimitetaan aineistoa eteenpäin missä formaatissa tahansa, on aineiston oltava hankkeelle määritellyssä koordinaatistossa ja sen on noudatettava sovitua nimikkeistöä. [17, s. 33–35.]

### 4.4 Työroolit mallipohjaisessa hankkeessa

Tietomallipohjaisesti toteutettavan hankkeen vaiheisiin lukeutuu erilaisia rooleja niin suunnittelun kuin toteuttamisenkin osalta. Hankkeen laajuus usein määrittää, kuinka paljon eri roolit sulautuvat keskenään. Mitä suurempi hanke, sen

suurempi merkitys on hankkeen koordinoinnilla ja ohjaamisella. Yksi tärkeimmistä tekijöistä hankkeen onnistuneessa toteutuksessa on hankkeeseen osallistuvien tahojen välinen yhteistyö ja vuorovaikutus. [17, s. 21–22.] Alla käydään läpi tietomallipohjaisen infrarakennushankkeen suunnittelu- ja rakennusvaiheen keskeisimpiä henkilöstörooleja.

#### 4.4.1 Tilaaja

Tilaaja on hankkeen keskeisin toimija. Mikäli hanke toteutetaan tietomallipohjaisesti, tulee tilaajan olla hyvin perillä tietomallipohjaisesta työskentelystä ja siihen liittyvistä työtavoista, vaiheista ja vaatimuksista. Tilaaja määrittelee mitä hankkeessa tehdään, miten tehdään ja milloin tehdään. Tilaaja vastaa hankkeen valmistelusta, läpiviennistä ja vastaanottamisesta. [17, s. 22.]

Hankkeen kilpailutusvaiheessa tilaajan tulee kirjata tarjouspyyntöön mm. infomallinnusta koskevat määrittelyt ja vaatimukset, jotka voivat olla teknisiä tai toiminnallisia. Myös hankkeen mahdolliset erityispiirteet tulee huomioida kilpailutusvaiheessa. Suuremmissa hankkeissa, joissa on mukana useampia erityisalojen suunnittelijoita, voi tilaajan olla hyödyllistä laatia alustava tiedonhallintasuunnitelma yhdessä suunnittelijan kanssa. [17, s. 24.]

Lähtötiedoista mittausperustan tuottaminen on tilaajan vastuulla. Sen tuottaminen voi olla osana suunnittelutoimeksiantoa, tai se voidaan tilata erillisenä toimeksiantona. Mikäli koko hanke kilpailutetaan ST-urakkana (suunnittele ja toteuta), on mittausperustan tuottaminen pääurakoitsijan vastuulla. [17, s. 36.]

Tilaajan vastuut ja velvollisuudet toimitettujen tietomalliaineistojen laaduntarkastuksen osalta on käsitelty aiemmassa luvussa 4.2. Rakentamisen aikainen laadunvarmistus tilaajan osalta on kontrollimittausten suorittaminen. Kontrollimittauksilla varmistetaan työmaaorganisaation tuottamien toteuma- ja tarkemittausten oikeellisuus. Kontrollimittausten suorittaminen voidaan niin ikään ostaa mittauskonsultilta. [17, s. 124.]

Tilaaajan tulee varmistua, että kaikki hankkeelta vaaditut ja hankkeen aikana syntyneet dokumentit ovat laadittu hyväksytysti ja toimitettu tilaajalle. Tilaaja arkistoi hankkeessa syntyneet dokumentit, tietomallit ja muun aineiston sekä hyväksyy ja vastaanottaa valmiin hankkeen.

#### 4.4.2 Suunnittelijat ja pääsuunnittelija

Suunnittelijat vastaavat omien tekniikka-alojensa mallintamisesta tiedonhallinta-suunnitelmassa edellytettyjen suunnittelu- ja mallinnusohjeiden mukaisesti. Eri tekniikka-alojen suunnittelijat yhteistyössä tietomallikoordinaattorin tai pääsuunnittelijan kanssa varmistavat, että tuotetut mallit ovat yhteensopivia ja keskenään ristiriidattomia. Mallinnussuunnittelun kokonaisuuden organisoinnista ja aikatauluttamisesta vastaa pääsuunnittelija. [17, s. 22–23, 94.] Suunnittelijoiden työn laadunvarmistuksen yksi tärkeimmistä vaiheista on itselleluovutus.

#### 4.4.3 Tietomallikoordinaattori

Tietomallikoordinaattorin tehtäviä voidaan jakaa työvaiheiden mukaan suunnittelun ja tuotannon tietomallikoordinaattorin rooleihin.

Suunnittelun tietomallikoordinaattorin päätehtävät liittyvät mallintamistyön suunnitteluun ja aikatauluttamiseen yhdessä hankeorganisaation kanssa sekä eri tekniikkalajien suunnittelijoiden kanssa mallien laadunvarmistuksesta, yhteen sovittamisesta ja ristiriidattomuudesta sekä dokumentoinnista huolehtimiseen. Myös yhdistelmämallin kokoaminen ja ylläpito kuuluvat suunnittelun tietomallikoordinaattorin tehtäviin. [17, s. 23.]

Tuotannon tietomallikoordinaattorin tehtäviin kuuluvat toteutusaineistojen laatiminen ja tarkastaminen rakennussuunnitelma-aineistojen pohjalta yhdessä työnjohdon kanssa. Toteutusaineiston eli koneohjausaineistojen, paikalleen mitausaineistojen sekä muiden toteutusmallien jakelu ja ohjeistus eri työmaan toimijoille kuuluu niin ikään tuotannon tietomallikoordinaattorille. Tuotannon tieto-



mallikoordinaattori laatii yhdessä hankkeen työnjohdon ja suunnittelun tietomallikoordinaattorin kanssa mittaus suunnitelman, ellei sitä ole sisällytetty osaksi laadunvarmistussuunnitelmaa.

Tietomallikoordinaattori vastaa perehdytyksen toteuttamisesta laadunvarmistukseen liittyvissä asioissa työmaalla toimiville tahoille, kuten esim. kaivinkoneenkuljettajille. Näitä ovat mm. työkoneella tehtävien toteuma- ja tarkemittausten ohjeistus ja valvonta. Myös työmaan aikaiset mittaukset ja niiden koordinointi, mittausperustan ylläpito sekä koneohjauslaitteiden mittaustarkkuuksien seuranta voivat kuulua tuotannon tietomallikoordinaattorin tehtäviin. Tehtävään voidaan nimetä hankkeen mittausvastaava. Edellä mainittujen lisäksi tehtävään kuuluu digitaalisen luovutusaineiston laatiminen yhdessä työnjohdon kanssa. [17, s. 23, 119, 121–122.]

Yllä käsiteltyjen työroolien tehtävät korostuvat tietomallipohjaisen työskentelyn eri vaiheissa. Hankkeen aikana työskentelyyn osallistuu monia muitakin tärkeitä työn tekijöitä työn kestäessä, mm. mittaajia ja työkoneenkuljettajia. Heidän tehtäväsisältönsä ja vastuunsa hankkeen kestäessä ovat yleisemmin ottaen tiedostettuja, eikä niihin tässä yhteydessä syvennyttä tarkemmin.

## 5 Maastomittaus

Aivan kuten eri työvaiheiden tietomallityöskentely on jaettu karkeasti kolmeen osaan, voidaan jakaa myös työkohteeseen liittyvät maasto- ja merkintämittaukset. Työvaiheisiin löytyy eri organisaatioiden laatimia ohjeistuksia, joissa on määritelty kunkin työvaiheen toimintamalleja sekä laadullisia että tarkkuuksiin liittyviä vähimmäisvaatimuksia. On kuitenkin hyvä huomata, että ohjeistukset on laadittu kyseessä olevan organisaation tarpeisiin ja toimintamalleihin sopiviksi. Nämä ohjeet ovat erittäin hyvin yleisesti sovellettavissa, mutta välttämättä ne eivät ole aina tarkoituksenmukaisesti tai taloudellisesti järkevästi hyödynnettävissä aivan kaikkiin työkohteisiin. Ohjeistukset ovat kuitenkin erittäin hyvä lähtökohta oman työskentely-ympäristön tarkasteluun ja suunnitteluun. Yleisten ohjeistusten lisäksi voi olla laadittu myös hankekohtaisia määräyksiä ja ohjeistuksia mittauksiin ja niiden dokumentointiin liittyen.

Maastomittaustyötä tehdään hankkeen lähtötietojen koostamisesta aina valmiin kohteen toteuma- ja ylläpitomittauksiin. Isommissa hankkeissa voi mittaajia olla useista eri organisaatioista useassa eri työvaiheessa, joten tehtävien organisointi ja dokumentointi ovat hyvin tärkeitä.

### 5.1 Valmistelevat mittaukset ja mittausten valmistelu

Valmistelevien mittausten tuloksena syntyy tärkeä osa lähtötietoaineistoa suunnittelun pohjaksi. Lähtötietoaineistoon lukeutuvat mm. mittausperusta, maastomalli sekä hankealueella mahdollisesti sijaitsevat tarkemitattavat verkostot (vesihuolto-, hulevesi-, kaasu-, sähkö- ja kaukolämpöverkostot). Myös mahdolliset VARO-kohteet eli työskentelyn aikana varottavat kohteet on hyvä kartoittaa ennen työhön ryhtymistä.

Ennen mittaustöihin ryhtymistä laaditaan hankekohtainen mittaussuunnitelma mm. mittausperustan ja maastomallin toteuttamiseksi sekä työturvallisuussuun-

nitelma. Tavanomaisesti nämä tulee hyväksyttäväksi tilaajalla ennen töihin ryhtymistä. Työturvallisuussuunnitelman laatiminen on ehdoton silloin, kun toimitaan tien tai radan läheisyydessä.

Seuraavissa alajaksoissa kuvataan yksityiskohtaisemmin lähtötietoaineistojen sisältöä erityispiirteineen.

### 5.1.1 Mittausperusta

Mittausperustalla tarkoitetaan hankealueelle rakennettavaa pisteverkkoa, joka sidotaan mittauksin tunnettuun taso- ja korkeuskoordinaatistoon. Käytettävä koordinaatisto määritellään hankkeen tilausvaiheessa. Koko hanke pohjautuu rakennettuun mittausperustaan. Mittausperusta tulee rakentaa ennen maastomallin laadintaa hankkeen alueelle. [21, s. 8.] Mittausperusta on oltava käytettävissä hankkeen suunnitteluvaiheesta luovutukseen ja sitä tulee tarvittaessa ylläpitää hankkeen kestäessä. Mittausperustan ylläpitämisestä vastaa tuotannon tietomallikoordinaattori. [17, s. 23.]

Mittausperustan rakentamisesta ja maastomallin laatimisesta ja niiden tarkkuusvaatimuksista on annettu seikkaperäinen ohjeistus Väylän (ent. Liikennevirasto) Tie- ja ratakankkeiden maastotiedot -mittausohjeessa, jonka oleellimmat seikat on pyritty esittämään tiivistetysti alla.

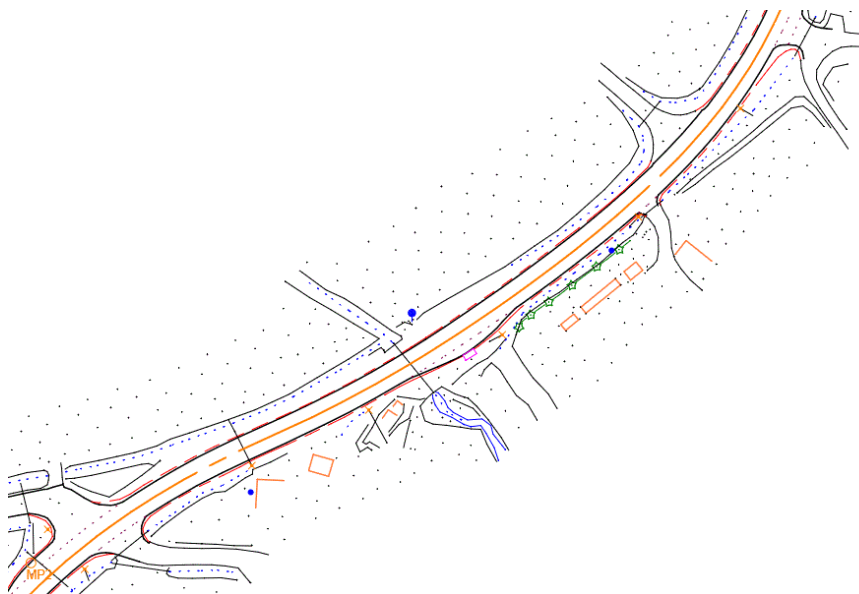
Ennen mittausperustan rakentamista ja siihen liittyviä mittauksia tulee laatia mittausuunnitelma, joka hyväksytetään tilaajalla. Mittausuunnitelmasta tulee ilmetä tarvittavat lähtöpistetiedot, mittaustapa, -kalusto ja henkilöstö, havaintojen suoritustapa, laskentamenetelmät ja -ohjelmat sekä tarvittavat kartat ja muut oleelliset tai selventävät dokumentit. Usein tilaaja edellyttää mittausuunnitelman yhteydessä toimitettavaksi myös työturvallisuus- ja riskienhallintasuunnitelman, joissa on arvioitu työkohteen mahdolliset työturvallisuusriskit ja keinot, joilla riskejä pyritään minimoimaan ja poissulkemaan. Tärkeintä on, että mittaushenkilöstö tiedostaa riskit ja asennoituu niihin oikeanlaisesti.

Mittausperusta muodostuu hierarkkisesti kaksitasoisena, josta ylemmän luokan pisteet muodostuvat 1–1,5 kilometrin välein mitattavista peruspisteistä sekä alemman luokan käyttöpisteistä, jotka sijaitsevat peruspisteiden välissä. Käyttöpisteiden välinen etäisyys toisistaan on 100–400 metriä. Vierekkäisiltä käyttöpisteiltä on oltava näkyvyys toisilleen ja pisteiden tai pisteparien tulee kattaa koko hankkeen alue. Perus- ja käyttöpisteet tulee rakentaa pysyvän luontaisina kiinteään alustaan. Pisteinä käytetään ankkuroitavaa pulttia (koko vähintään 90 mm x 16 mm). Mittaustyön aikana voidaan tehdä myös apupisteitä mittauksia helpottamaan, mutta näitä ei rakenneta pysyvinä pisteinä.

Taso- ja korkeussijainnit mitataan peruspisteille JHS 184 -ohjeistuksen mukaisesti. Peruspisteiden tulee täyttää pisteluokan E4 tarkkuusvaatimukset, jotka ovat 10 ppm sekä taso- että korkeustarkkuudessa. Käyttöpisteiden tulee täyttää pisteluokan E5 tarkkuusvaatimukset, jotka ovat 20 ppm tasotarkkuudessa ja 10 ppm korkeustarkkuudessa. Suhteellinen keskivirhe tasosijainnin osalta tarkoittaa siis enintään 4 millimetriä, jos pisteiden väli jää alle 200 metriin. Apu- ja tukipisteiden tarkkuusvaatimus on 50 ppm sekä taso- että korkeustarkkuuksissa. Tarkkuusvaatimusta kuvaava luku ppm (*parts per million*) määritellään suhteellisena tarkkuutena pistevirheen suhteessa matkaan saman luokan viereiseen pisteeseen verrattuna. [21, s. 11–13.]

### 5.1.2 Maastomalli

Maastomalli on maaston pintoja ja rakenteita mahdollisimman hyvin kuvaava, digitaalisessa muodossa oleva aineisto, joka muodostuu taiteviivoista ja pisteistä sekä niistä lasketuista pinnoista ominaisuustietoineen [21, s. 9]. Maastomallin laatimisesta, tietosisällöstä ja laatuvaatimuksista on niin ikään ohjeistettu hyvin seikkaperäisesti Väylän hankkeiden vaatimusten osalta. Kuvassa 7 on esitetty erästä kevyen liikenteen väylän hanketta varten laadittu maastomalli osaksi lähtötietoaineistoa.



Kuva 7. Maastomalli, joka on laadittu kevyen liikenteen väylän suunnittelun pohjaksi

Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohje on alun perin laadittu Väylän tilaamia hankkeita silmällä pitäen, mutta toimii erittäin hyvänä yleisohjeena myös muille organisaatioille. Laukaan ympäristössä on kuitenkin tiettyjä historian tuomia ominaispiirteitä, joiden toteuttaminen ohjeistuksen mukaisesti toisi hyvin paljon lisätyötä ja saattaisi hidastaa hankkeiden toteuttamista. Tähän asiaan paneudutaan syvemmin osiossa 7.1.

### 5.1.3 Tarkastuspisteet ja tarkastusmittaukset

Tarkastuspisteet ovat työkohteen alueelle rakennettuja kiinteitä pisteitä, joilla voidaan suorittaa tarkastus työkohteiden koneohjauslaitteiden paikannustarkkuudesta ja tarvittaessa suorittaa karkea kalibrointi. Tarkastuspisteiden tulee pohjautua työkohteen mittausperustaan. [17, s. 123.] Tarkastuspisteet on syytä rakentaa hankealueelle vasta suunnitelman vahvistuttua, jotta niiden sijoittelussa voidaan huomioida eri työvaiheissa alueiden käyttö. Näin varmistetaan pisteiden säilyminen työskentelyn aikana mahdollisimman tarkoituksen mukaisesti, mahdollisesti jopa läpi koko hankkeen.

Työkoneelle tulee tehdä tarkastusmittaukset aina ennen työskentelyn aloittamista työkohteessa. Työkoneista, joilla tehdään maaleikkauksia, penkereitä, suodatin- ja jakavaa kerrosta (kaivinkone, puskuetraktori, pyöräkuormaaja), tulee koneohjauksen tarkkuus tarkistaa viikoittain. Koneista, joilla tehdään tien kantavan kerroksen ja radan väli- ja eristyskerroksia ja muita viimeistelytyöitä (esim. tiehöylä, asfaltinlevitin), tarkastetaan tarkkuus kerran vuorokaudessa. Tarkastus tehdään viemällä terä tai kauhan huulilevy tarkastuspisteen päälle tai erillisellä mittauksella. [17, s. 123–124.]

Tarkastus suoritetaan vertaamalla koneohjausyksikön antamia sijaintitietoja mitattuihin sijaintitietoihin. Mikäli koneohjauksen tarkistusmittauksissa havaitaan poikkeamaa, joka ylittää taulukossa 1 määritellyt arvot, tulee koneohjausyksikkö kalibroida. Työkoneen kalibrointi suoritetaan koneohjauslaitteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kalibroinnissa tulee noudattaa erityistä tarkkaavaisuutta. Ennen kalibroinnin suorittamista on mm. huomioitava, että valittuna on oikea kauha, mahdollinen kauhanpyörittäjä on ajettu oikeaan asentoon ja kauhan mittapiste on varmasti katsottu oikeaksi.

Jokaisesta tarkastuksesta laaditaan dokumentaatio, josta selviää tarkastettu työkone ja käytetty kauha/laitte, tarkastuksen ajankohta, suorittaja ja mittausmenetelmä, koneohjauksen koordinaattiarvot poikkeamiseen sekä tarvittaessa kuvaus mahdollisista korjaavista toimenpiteistä [17, s. 124].

Työkoneen kuljettajalla tulee olla käytettävissä suorat yhteystiedot työkohteen tietomallikoordinaattorille tai mittausryhmän jäsenille. Näin työkoneenkuljettaja voi tilata viipymättä erillisen tarkistusmittauksen koneen laitteiston mittaustarkkuuden varmistamiseksi tai tilanteessa, jossa esimerkiksi tarkastuspisteet on todettu tuhoutuneiksi tai niiden epäillään siirtyneen.

## 5.2 Työnaikaiset mittaukset

Maanrakennustöiden aikana mittauksia voidaan suorittaa sekä perinteisellä maastoonmerkinnällä että koneavusteisesti. Lähtökohtainen ajatus koneavusteisella työkohteella kuitenkin on, että enenevässä määrin mittamiehiä nähtäisiin entistä harvemmin työkohteissa. On kuitenkin tiettyjä työvaiheita, jotka vaativat suurempaa mittaustarkkuutta eikä niitä välttämättä voida suorittaa koneavusteisesti. Näitä ovat mm. viettoviemärin rakentaminen.

Tuotannon tietomallikoordinaattori laatii yhdessä työnjohdon kanssa toteutusaineiston, johon kuuluu mm. hankkeen mittaussuunnitelma. He vastaavat myös toteutusaineiston jakelusta koko työorganisaation toimijoille. Työnaikaisia mittauksia koordinoi tuotannon tietomallikoordinaattori, joka vastaa mm. työmaamittauksista, koneohjauslaitteiden toimivuudesta ja mittaustarkkuuden valvonnasta. [17, s. 23.]

Työn kestäessä suoritetaan eri tarkoitusta palvelevia mittauksia. Näitä ovat mm. paikalleen mittaukset eli merkintämittaukset, tarkemittaukset, kontrollimittaukset ja toteumamittaukset. Mittausten suoritustapa ja vastuullinen toimija riippuu siitä, miten työt on sovittu ja organisoitu tehtäväksi. Mittausten vastuuttaminen eri tahoille on organisaatio kohtaista ja toimintamalleissa voi olla eroja organisaatioiden välillä. Tästä johtuen on syytä laatia seikkaperäinen mittaussuunnitelma ja huolehtia että kaikki hankkeeseen osallistuvat sitä noudattavat. Oikea-aikaiset ja riittävän usein pidettävät työmaapalaverit ovat tässä asiassa tärkeitä.

### 5.2.1 Tarkkuusvaatimukset

Eri kohteiden ja työvaiheiden mittauksille asetetut tarkkuusvaatimukset määrittävät pitkälti sen, missä vaiheessa hanketta voidaan hyödyntää koneohjausta ja milloin työ tulee suorittaa henkilötyönä paremman tarkkuuden mittausten menetelmillä. Mittausten tarkkuuksille on annettu vaatimuksia ja -suosituksia erilaisissa ohjeistuksissa, mutta jokaisen hankkeen tilaaja kuitenkin viime kädessä määrittää tarkkuusvaatimukset tilausvaiheessa.

Mittausten tarkkuusvaatimuksista on ohjeistettu infrarakentamiseen liittyen mm. Liikenneviraston ohjeistuksissa (Väylä), Liikenne- ja viestintävirasto Traficom in määräyksessä, Yleisissä inframallivaatimuksissa, Vesilaitos yhdistyksen ohjeissa, jne. Ohjeistukset eivät ole tarkkuusvaatimuksiltaan kaikilta osin yhteneviä.

### 5.2.2 Kadun rakentaminen

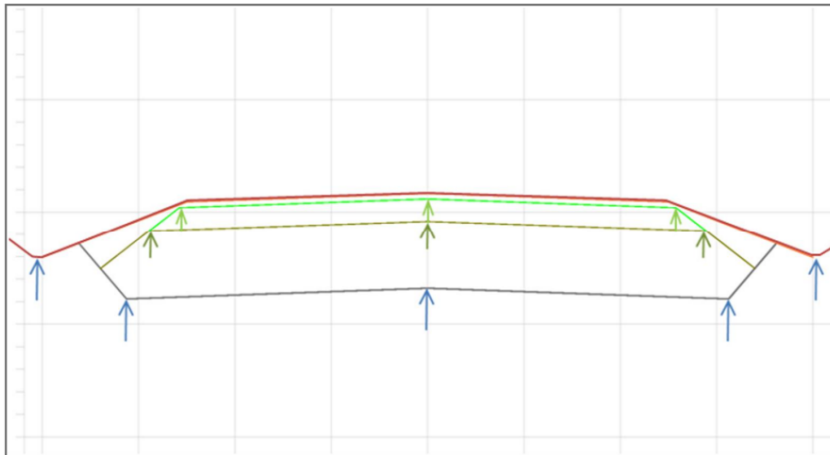
Mallipohjaisesti toteutettujen, koneohjausta hyödyntävien hankkeiden edut ovat parhaimmillaan suurien alueiden muokkaamisessa. Koneohjatun työskentelyn edut syntyvät, kun toteutettavan hankkeen pinta-ala ja liikuteltavat maamassat ovat suuria. Kuljettajaa ohjaavan laitteiston hyödyntäminen vähentää huomattavasti mittahenkilöstön tarvetta kohteessa, kun perinteistä maastoon merkintää ei enää tarvitse tehdä entisessä laajuudessaan. Turha yli- ja alikaivaminen vähenee, kun kaivinkoneenkuljettaja tietää reaaliaikaisesti, kuinka kaivutyö etenee suhteessa tavoiteltuun tilanteeseen. Tämä heijastuu kustannussäästöinä ylimääräisten maamassojen pois ajon osalta ja vähentää lajitellun maa-aineksen tilalle hankinnan tarvetta. Myös kaivutöiden osalta syntyy säästöjä, kun turhat liikkeet jäävät vähemmälle. Katujen rakentamisessa koneohjauksen hyödyntäminen on perusteltua.

Koneohjauslaitteisto siis opastaa kaivinkoneenkuljettajaa toteuttamaan maanrakennustyötä suunnitelman mukaisesti, ja koneohjattu tiehöylä voi ohjata itse työterän asentoa noudattaen laadittua suunnitelmaa. Nykyaikaisella koneohjausyksiköllä varustetulla kaivinkoneella on mahdollista suorittaa myös kohteiden kartoituksia ja toteumamittauksia.

Katuja ja teitä rakennettaessa toteumapisteitä voidaan mitata maarakennekerroksien taitepisteistä kaivutyön etenemisen tahdissa ilman, että tarvitsee odottaa mittaushenkilöstön saapumista paikalle. Toteumapisteet ovat samaan aikaan sekä oman työn kontrollointia, että osana tulevaa toteumamallia. Toteumapisteitä tulee YIV-ohjeistuksen mukaan mitata kadun eri rakennekerroksista



vähintään 20 metrin välein. Toteumapisteet suositellaan mitattavaksi toteutuneiden kadunrakenteiden poikkileikkauksen määrittävien taitteiden kohdilta, jotka on esitetty kuvassa 8. Jokaiselle hankkeelle on kuitenkin hyvä laatia oma projektikohtainen mittausohje työkoneenkuljettajille toteumapisteiden mittaamiseksi varsinkin siinä tapauksessa, jos hankkeella on huomioitavia erityispiirteitä. Suositeltavaa on tehdä mittauksia myös mm. johtokanaalien tai kaivanto-ojien pohjien maarakenteiden toteutumisesta. [17, s. 122–123.]



Kuva 8. Suositus työkoneella tehtävien toteumamittauspisteiden mittauskohdista [2, s. 123].

Mikäli työkoneella tehdään katurakenteen toteumamittaukset, on varmistuttava siitä, että koneohjauslaitteiston sijainnintarkkuus täyttää sille asetetut vaatimukset. Taulukossa 1 on kuvattu InfraRYL-ohjeistuksessa edellytetyt tarkkuusvaatimukset toteutuneilta maarakennekerroksilta sekä mittaustarkeyttä vaatimukset koneohjauslaitteistolta. [17, s. 119.]

Taulukko 1. Maarakenteiden mittaustarkkuusvaatimukset ja koneohjausjärjestelmiltä vaadittava tarkkuus. InfraRYL [17, s. 116–117.]

Tie- ja katurakenteet					
Rakennekerros	Mittausväli (m)	InfraRYL mittavaatimukset		Työkonejärjestelmältä vaadittava tarkkuus	
		XY (mm)	Z (mm)	XY (mm)	Z (mm)
Kantava kerros	20	-0... + 150	+20... -20	+50... -50	+20... -20
Jakava kerros	20	-0... +150	+30... -30	+100...-100	+30... -30
Suodatin kerros	20	-0... +150	+40... -40	+100... -100	+30... -30
Väylärakenteen alapinta	20	-0... +200	+0... -100 Louhepatjan alla +0... -200	+100... -100	+30...-30

Tie- ja katurakenteen kantavan kerroksen korkeustarkkuusvaatimus on suhteellisen tiukka. Jotta esitettyyn tarkkuusvaatimukseen päästään GNSS-ohjatulla laitteistolla, tulee laitteiston olla hyvin kalibroitu ja koneenkuljettajan huolellinen. Takymetriohjatulla laitteistolla vaadittuun tarkkuuteen päästään hyvin.

Katujen rakenteiden rakentamisen yhteydessä toteutetaan katuvaloverkoston kaapeleiden ja valaisinpylväiden jalustojen asentaminen. InfraRYL-vaatimuksissa on määritely, että pylväiden valmiit jalustat tulee asentaa laadittujen suunnitelmien mukaisesti. Poikkeamaa suunnitelman mukaisesta sijainnista suhteessa tien- tai mittalinjan poikittaissuunnassa saa olla enintään 100 mm. Pakottavista syistä jalustan paikkaa voidaan siirtää enintään yhden metrin tielinjan pituussuunnassa. Pylväsvälit on tasoitettava koko osuudella, jos useita peräkkäisiä pylväitä joudutaan siirtämään. Jalustan oikea sijainti todetaan tarkemmittauksin. [22, kohta 33620.3.]

### 5.2.3 Verkostokohteet

Verkostokohteiden rakentamisen ja dokumentoimisen tarkkuusvaatimukset asettaa tavanomaisesti verkon- tai verkostonhaltija, joka usein toimii myös tilaajana. Monissa ohjeistuksissa ja määräyksissä tarkkuusvaatimusten määrittely painottuu tarke- ja toteumamittausten tarkkuusvaatimuksiin ja varsinaisen paikalleen mittauksen tarkkuusvaatimuksia ei ole eritelty.

#### Kaapelit

1.6.2020 on tullut voimaan Traficomien määräys (71/2020M), joka määrittelee maanalaisten kohteiden mittaustarkkuusvaatimukset. Traficomien määräyksen mukaan vesi- ja viemärikohteet, kaukolämpö- ja kaasuverkostot, data- ja sähkökaapelit ja näihin liittyvät rakenteet kuten suoja-putket, kaapelikanavat yms. tulee kartoittaa ja toimittaa sijaintitietopalveluun. Määräyksen mukaan 1.1.2021 jälkeen rakennettujen fyysisten verkoston osien tasosijainti tulee kartoittaa ja ilmoittaa taajamissa  $\pm 100$  mm:n tarkkuudella sekä taajamien ulkopuolella olevan verkoston osalta  $\pm 500$  mm:n tarkkuudella. Kohteiden korkeus tulee ilmoittaa joko korkeuden sijaintina tai syvyystietona maanpinnasta  $\pm 100$  mm:n tarkkuudella. Tiedot ilmoitetaan ETRS-TM35-tasokoordinaatistossa ja korkeustiedot N2000-korkeusjärjestelmässä. [23, s. 9–10.] Sijaintitietopalvelu ei ole vielä opinnäytteen tekemisen hetkellä käytettävissä, ja palveluun pääsee siirtämään tietoja vasta 1.4.2022 alkaen. Palvelun käyttö varsinaisesti alkaa 1.10.2022, jolloin tietojen tulee olla toimitettuna. [24] Sijainti- ja ominaisuustietoja kerätessä tämä on kuitenkin ollut jo otettava huomioon.

Liikenneviraston ohjeistuksen Tievalaistusverkon kartoitus ja digitointi [25] liitteessä on määritelty taajama-alueen kartoitustarkkuudeksi pisteen suhteelliseksi pistekeskivirheeksi  $\pm 100$  mm ja maksimivirheeksi  $\pm 200$  mm, ja haja-asutusalueella vastaavat vaatimukset ovat  $\pm 200$  mm ja  $\pm 400$  mm [27, liite 1, s. 3]. Verkon- ja verkoston haltijalla voi kuitenkin olla omat tiukemmat määräykset dokumentointimittauksille kuin Traficom ja Liikennevirasto määräyksessään edellyttävät.

## Vesihuoltoverkostot

### Jätevesi

InfraRYL-vaatimuksissa on määritetty, että jätevesijärjestelmän vietto- ja paineviemärin suurin sallittu poikkeama suunnitellusta tasosijainnista on  $\pm 100$  mm, paineviemärin korkeussijainti saa poiketa enintään  $\pm 100$  mm. Kaivojen sijainti vaakatasossa saa poiketa niin ikään enintään  $\pm 100$  mm. Viettoviemärin sallitut kaltevuus- ja korkeusaseman poikkeamat suunnitelluista ovat esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Jäteveden viettoviemärin sallitut kaltevuuspoikkeamat (InfraRYL taulukko 31100:T8)

Suunnitelman mukainen kaltevuus ‰	Kaltevuuspoikkeama kaivovälillä enintään ‰
> 5	1,5
3...5	1,0
< 3	1,0

Edellä esitetyt enimmäispoikkeamat ovat sallittuja vain, jos ne eivät vaikuta negatiivisesti viemäri rakenteen toimivuuteen tai johtohaarojen rakentamiseen [22, kohta 31100.4.1]. InfraRYL määrittelee, että kaivojen ja putkien suunnitelman mukaisen sijainnin toteamiseksi tulee suorittaa tarkemmittaus avoimesta kaivannosta [22, kohta 31100.5.3.1]. Tarkkuusvaatimuksia dokumentointimittauksille ei ole esitetty.

### Vesijohto

InfraRYL-vaatimuksissa on määritetty, että vesijohdon ja vesijohtoverkoston laitekaivojen suurin sallittu poikkeama suunnitelluista taso- ja korkeusaseman sijainneista on  $\pm 100$  mm [22, kohta 31300.4.1]. Dokumentointimittauksille ei ole annettu tarkkuusvaatimuksia, mutta on määritetty, että verkoston kohteet tulee kartoittaa avonaisesta kaivannosta [22, kohta 31300.5.3].

## Hulevesiviemäri

InfraRYL-vaatimuksessa on määritelty, että hulevesijärjestelmän vietto- ja paineviemäriin suurin sallittu poikkeama suunnitellusta tasosijainnista on  $\pm 100$  mm, paineviemäriin korkeussijainti saa poiketa enintään  $\pm 100$  mm. Hulevesikaivojen tasosijainti saa poiketa suunnitelman mukaisesta sijainnista enintään  $\pm 100$  mm reunatuen vieressä ja muualla  $\pm 200$  mm. Hulevesilinjan pituussuunnassa sallitaan  $\pm 300$  mm poikkeama, mikäli kaivoon ei ole tiedossa liittymiä. Viettoviemäriin sallitut kaltevuus- ja korkeusaseman poikkeamat suunnitelluista on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Huleveden viettoviemäriin sallitut kaltevuuspoikkeamat (InfraRYL taulukko 31200:T8)

Suunnitelma-asiakirjojen mukainen kaltevuus, ‰	Kaltevuuspoikkeama kaivovälillä enintään, ‰	Korkeuspoikkeama enintään, mm
> 5	1,5	50
3...5	1,0	30
< 3	1,0	20

Edellä esitetyt enimmäispoikkeamat ovat sallittuja vain, jos ne eivät vaikuta negatiivisesti viemäriin rakenteen toimivuuteen tai johtohaarojen rakentamiseen [22, kohta 31200.4.1]. InfraRYL määrittelee, että kaivojen ja putkien suunnitelman mukaisen sijainnin toteamiseksi tulee suorittaa tarkemmittaus avoimesta kaivannosta [22, kohta 31200.5.3.1]. Tarkkuusvaatimuksia dokumentointimittauksille ei ole esitetty.

Vesilaitosyhdistyksen laatimassa Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi-ohjeistuksessa on kaikille vesihuollon verkoston kohteille määritelty dokumentointimittauksen tarkkuusvaatimukseksi taso- ja korkeustarkkuuden osalta  $\pm 20$  mm mitattavasta kohteesta riippumatta [26, s. 39]. Ohjeistuksessa on nostettu esille GNSS-mittauksen epävarmuustekijä korkeustiedon suhteen ja kehoitettu

vesilaitoksia ottamaan kantaa vaadittuihin mittauskäytäntöihin omissa tarkemittausohjeissaan. Ohjeistuksessa on myös painotettu, että halutessaan vesilaitokset voivat kieltäytyä vastaanottamasta koneohjausjärjestelmällä suoritettuja mittauksia verkostosta, koska viettoviemärin korkojen osalta ei menetelmällä välttämättä päästä haluttuun mittaustarkkuuteen. [26, s. 35.]

#### 5.2.4 Koneohjatun työskentelyn edut

Jos tilaajan määrittelemät sijaintitarkkuusvaatimukset mahdollistavat työkonella suoritettavat tarkemittaukset rakennetuista verkostokohteista, tämä jouduttaa työskentelyä huomattavasti. Tällöin kaivinkoneella voidaan mitata tarkkeet sitä mukaa, kuin ne rakentuvat, ja kaivantoa voidaan peittää työn etenemisen rytmissä eikä mittahenkilöstön aikataulujen ehdoilla. Monessa tapauksessa koneella tehtävä kartoitus tuo säästöä ja lisää työturvallisuutta, kun mittamiehen ei ole tarvetta mennä syvän, vetisen ja liukkaan kaivannon pohjalle. Kaivannoissa johdot ja kaapelit voivat mennä lähellä toisiaan, ja niitä voi olla hyvinkin paljon, joten kuljettajan tulee tuntea hyvin laitteistonsa tarkkuus ja mittausmenetelmät sekä hallita hyvin kohteiden koodaus niitä dokumentoitaessa. Myös mitattujen tietojen jälkikäsitteilyn osaamista vaaditaan, jotta tiedot ovat selkeästi seuraavan käsittelijän hyödynnettävissä.

Joissain tapauksissa mittaukset tulevat tehtyä työkoneella jopa nopeammin kuin ne henkilötyönä tulisivat tehtyä. Työkoneella voidaan suorittaa mittauksia myös paikoista, joihin ei jalkaisin ole turvallista pääsyä. Esimerkkejä tällaisista kohteista voivat olla mm. veden peitossa olevat kohteet (pitkäpuomisella koneella tehtävät syväkaivut), korkealla olevat kohteet (kalliroleikkaukset ja -hyllyt), jyrkänousuiset kohteet, joihin ei jalkaisin päästä turvallisesti tai joissa ei ole mielekästä työskennellä (luiskat, jyrkänteet). Myös sortumisvaarassa olevat kohteet kuuluvat tähän joukkoon, ennen kuin ne on saatu vakautettua (maapenkereet, kapeat ja syvät kaivannot).

Suurimmat edut syntyvät kuitenkin infrakohteiden rakentamisessa työajan joustavuudesta, mittahenkilöstön vähentyneestä tarpeesta sekä mahdollisista yli- ja alikaivamisen vähentymisestä aiheutuneista säästöistä.

#### 5.2.5 Mittaushenkilöstön suorittamat mittaukset

Koneohjattu työskentely ei suinkaan tee mittahenkilöstöä täysin tarpeettomaksi. Mittauksia joudutaan suorittamaan myös henkilötyönä pitkin hanketta. Vaikka työkoneilla suhteellisen itsenäisesti pystytään työskentelemään, tulee laiterikkojen tai muiden yllättävien syiden takia hankkeen mittaushenkilöstön olla hyvin perillä hankkeesta ja sen eri vaiheista. On myös työvaiheita, joihin ei ole vielä kehitetty koneohjattua laitteistoa työtä avustamaan.

Vietollisten kaivojen ja putkistojen suunnitelman mukaiset sijainnit ja juoksupintojen korot merkitään usein maastoon mittahenkilöstön toimesta, jolloin vaatimusten mukaiset tarkkuudet täyttyvät. Usein verkostoa rakentava henkilöstö käyttää työssään apuna taso- tai putkilaseria. Tällöin sen saa asetettua laseriin rakennettavan putkilinjan kaadot kaivoväleittäin merkintöjen avulla. Koneohjausyksikön avulla voidaan tehdä kaivanto ja asennusalusta putkilinjalle ja kaivoille valmiiksi hyvin lähelle tavoitekorkoa, mutta lopullinen asennuskorkeus tulee varmistaa tarkemman mittausmenetelmän avulla.

Mittaushenkilöstön toimesta tehdään maastoon merkintöjä myös työvaiheissa, joita ei voida koneohjatulla laitteella yksiselitteisesti tai järkevästi osoittaa, tai työvaiheissa, joihin ei ole vielä kehitetty koneavusteista laitteistoa sijaintia määrittämään. Näitä työvaiheita voivat olla mm. asfaltin reunojen merkitseminen asfaltin levityskonetta varten, mikäli levittimessä ei ole koneohjauslaitteistoa, valettavaa reunakiveä varten tehtävien ankkurointien merkitseminen tai koristekiveystä varten tehtävät maastomerkinnot.

Työmaan järkevän toteuttamisen kannalta voi vastaan tulla myös työvaiheita, jolloin työkoneella ei päästä enää järkevästi suorittamaan toteumamittauksia rik-

komatta jo rakennettua infraa. Tällöin tarkemittaukset ovat järkevämpää toteuttaa henkilötyönä. Kuvassa 9 on tämän kaltainen tilanne kadunrakennuksen vaiheesta, jossa kaivinkone on valmistellut pinnan valmiiksi kaapeloinnille ja siirtynyt työskentelemään toisaalle kaapeloinnin ajaksi.



Kuva 9. Kaapelointivaihe kadun rakentamisessa

### 5.2.6 Laadunvalvontaan liittyvät mittaukset

Koneohjatulla työkohteella työmaaorganisaation tulee suorittaa toteuma- ja tarkemittauksia työn laadun varmistamiseksi työkoneesta irrallisella menetelmällä esim. GNSS- tai takymetrimittauksena. Toteumamittauksia tulee tehdä työn edetessä mm. toteutetuista rakennekerroksista ja vesihuollon kohteista. Tarkistusmittauksia suoritetaan mm. tarkastuspisteille sekä mahdollisen työmaa kohtaisen tukiaseman sijainnin varmistamiseksi. Mittaukset suorittaa tuotannon tietomallikoordinaattori. [17, s. 126.]

Kontrollimittaukset tulee suorittaa tilaajan toimesta. Kontrollimittausten on tarkoitus olla työmaaorganisaatiosta irralliset, joilla varmistetaan työmaaorganisaation tuottamien tarke- ja toteumamittausten laatu. [17, s. 126–127.]



Oikein kalibroidun koneohjatun kaivinkoneen mittaustarkkuus on riittävä täyttämään Traficomien määräyksessä esitetyt tarkkuusvaatimukset, mutta ei välttämättä Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n suosituksia. Traficomien ohjeistus mahdollistaa, että kaivinkoneella voidaan dokumentoida maan alle jäävät kohteet, kunhan huolehditaan mittaustarkkuuden toteutumisesta ja kohteiden oikeanlaisesta koodauksesta. InfraRYL-ohjeistuksen mukaan vietolliset kohteet tulee kartoittaa tarkemmin mittausmenetelmin. Voitaneen todeta, että on tilaajan asettamista määräyksistä kiinni, miltä osin toteumamittaukset voidaan suorittaa koneohjauslaitteistoa hyödyntäen ja miltä osin ei.

### 5.3 Työn valmistumisen jälkeiset mittaukset

Kun työkohteet on valmis ja työkoneet ovat poistuneet työkohteelta, suoritetaan toteutettujen kohteiden kartoitukset. Kartoitukset ovat lähes poikkeuksetta osa kantakartan sekä vesi- ja viemäriverkostokartan ylläpitotyötä, mutta myös tehdyn työn kontrollointia ja viimeisiä vaiheita toteumamallin laadinnassa.

Maastoa kuvaavien kohteiden eli kantakartan sisällön vähimmäisvaatimukset sekä sijainnintarkkuus vaatimukset on esitetty JHS 185 -suosituksessa [27]. Tilaajaorganisaatiolla voi itsellään olla tarkemmat vaatimukset dokumentoitavan sisällön suhteen. Monesti kuntasektorilla tietoa koostetaan eri tietojärjestelmiin rakennetusta infraomaisuudesta. Näitä ovat esimerkiksi toteutettujen kohteiden tai asennettujen varusteiden ominaisuustiedot tai omaisuuden hallintaan ja investointeihin liittyvät tiedot. Tietoja voidaan kerätä mm. liikennemerkkien, opasteiden, katuvalaisimien, monumenttien tai taideteosten ym. varusteiden osalta.

Vesihuollon kohteista osa voi olla helpommin ja turvallisemmin dokumentoitavissa vasta kohteen valmistuttua. Näitä tyypillisemmin ovat jätevesi- ja sadevesikaivot, jolloin samalla kertaa saadaan mitattua sekä juoksupintojen korot liittyvistä putkista, että kansien korko. Asennusvaiheessa on täytynyt varmistua, että kaivot ja putket ovat asennettu suunnitelman mukaiseen sijaintiin. Dokumen-

tointimittauksia helpottamaan on olemassa erilaisia lisävarusteita, kuten kuvassa 10 näkyvä kaivolatta, jonka voi kiinnittää prisma-sauvaan kaivon juoksupintojen korkeuden kartoitusta helpottamaan.



Kuva 10. Prismasauva, jossa on kiinni kaivolatta

Mikäli tiedossa on, että kaivot tulevat jäämään maanpinnan alle, on ne ehdottomasti tarkemmitattava ennen peittämistä. Näitä voivat olla esimerkiksi pelloilla sijaitsevat, kyntösyvyyden alapuolelle jäävät kaivot. Muita vesihuollon kohteita valmiin maanpinnan tasolta voivat olla mm. vesijohtventtiilien karat, vesipostit ja palopostit.

## 6 Case Ratatie

Opinnäytetyön alkuvaiheessa ollaan ryhtymässä tekemään kevyen liikenteen väylää Lievestuoreen taajamaan Ratatien varteen. Työt oli tarkoitus aloittaa ke- säkuun alussa 2021, ja työn piti olla valmis koulujen alkuun mennessä, elokuun puolessavälissä. Kevyen liikenteen väylän rakentamiselle on tullut tarve, koska alueelle on hiljattain valmistunut uusi koulu, jonka myötä tienkäyttäjien määrät ovat kasvaneet. Kevyen liikenteen väylän rakentamisen yhteydessä saneerataan myös osa Ratatien ajorataa sekä uusitaan katuvalaistus.

Kyseinen työkohte otettiin käytännön tarkastelukohteeksi, koska tälle työkohteelle osoitettiin kaivinkone, jossa on koneohjauslaitteet ja ne ovat tarvittaessa käytettävissä. Työkohteen valmistelun ja toteutuksen aikana pohditaan hyviä käytänteitä juuri Laukaan kunnan työskentelymalliksi, jossa se toimii sekä tilaajana, suunnittelijana että toteuttajana.

Työkohteen suunnitelmat on laadittu ja hyväksytty, ennen kuin se valikoitui esimerkkitapaukseksi opinnäytetyöhön (ensimmäinen katusuunnitelma hyväksytty 9.3.2021). Työkohdetta ei ole valmisteltu etukäteen koneohjauksen tai mallipohjaisen työskentelyn näkökulmasta ja mm. koneohjauksen vaatimat tarkistuspiisteet on tehty alueelle jälkeen päin. Samoin työkohteen aikataulut ja materiaalihankinnat oli tehty jo aiemmin.

### 6.1 Työmaan organisaatio

Ratatien työmaalla työskenteli työryhmä, joka koostuu kahdesta maanrakennusammattimiehestä ja kaivinkoneesta kuljettajineen. Kaivinkoneessa oli käytössä Novatronin Xcite3D-koneohjauslaitteet. Työkohdetta valvoi yhdyskuntatekniikan rakentamisen työnjohtaja, joka oli aikataulutannut työmaan sekä hankkinut tarvittavat materiaalit työkohteeseen. Koska työkohte toteutettiin kesälomakauden aikana, toimi työnjohtajan sijaisena osan aikaa katurakennusmestari.

Mittausorganisaatio oli esimerkkikohteessa poikkeuksellisen suuri, johtuen työmaan aikaisesta tarkastelu- ja oppimisprosessista. Mittausorganisaatio käsittää kaksi kartoittajaa ja maanmittausinsinöörin (opinnäytteen antaja). Työkohteeseen tai organisaatioon ei ole nimetty tietomallivastaavaa, mutta käytännössä katsoen se on opinnäytetyön suorittaja.

Työmaaorganisaation kesken pidettiin työmaamittauksiin keskittyvä aloituspalaveri 11.6.2021, jonka pääpaino oli koneohjauksessa ja siihen liittyvien tehtävien suorittamisessa ja työnjaossa. Työn ollessa lähes luovutusvalmis pidettiin samalla kokoonpanolla myös yhteenvetopalaveri 11.10.2021.

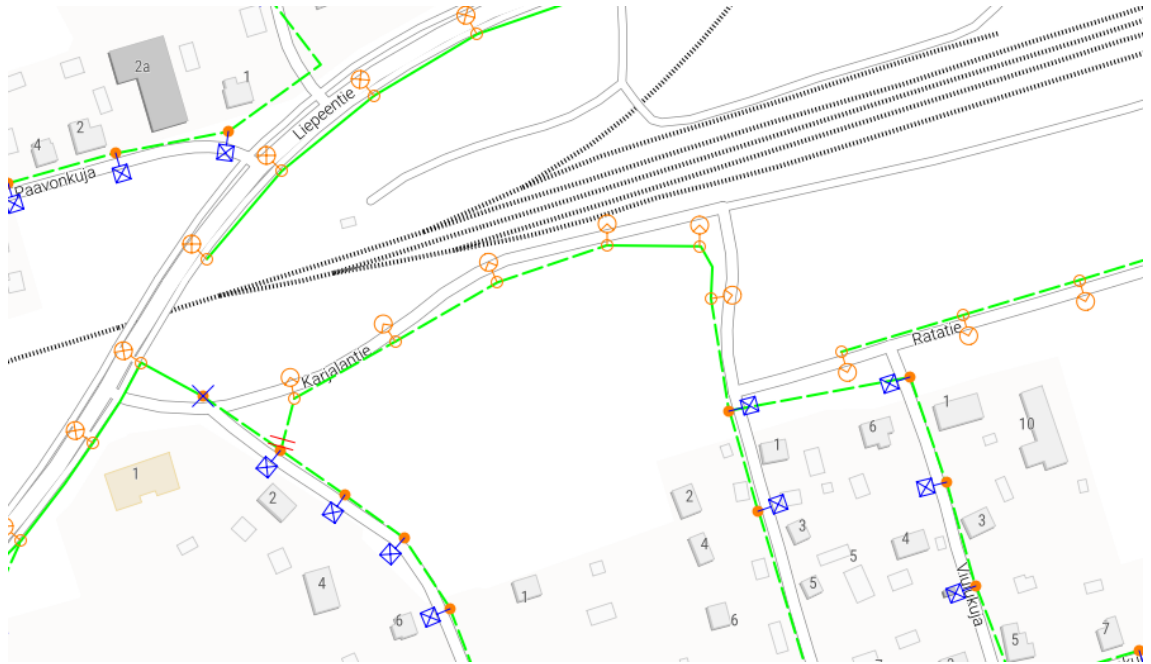
## 6.2 Lähtötietoaineistojen koostaminen ja dokumentoiminen

Hyvissä ajoin ennen suunnitteluun ryhtymistä suunnitteluinsinööri oli tilannut paikkatietopalveluilta maastomallin suunnittelualueesta. Maastomallin teon yhteydessä alueelle ei ollut laadittu mittausperustaa, kuten aiemmin ei ollut tehty muillekaan työmaille. Maastomallin teon yhteydessä oli mitattu myös tarkkeet alueella olevista vesihuollon kohteista. Maastomallin sisältö oli kuvattu Finland Standard -koodeilla, joka oli Laukaalla aikaisemmin käytössä olleen AutoCadin ominaisuuskoodilistaus maastokohteille.

Muita suunnittelijalle toimitettuja lähtöaineistoja olivat otteet asemakaavasta, kantakartasta, alueella mahdollisesti olevat kunnan hallinnoimat data- ja sähkökaapelit sekä vesihuollon verkoston kohteet. Aineistot olivat kunkin työvaiheen mukaan tallennettuna kunnan palvelimelle käyttäjäkohtaisiin hakemistoihin, ja vain luovutusvalmiit työt oli jaettu eteenpäin seuraavan vaiheen tekijälle. Toisin sanottuna, hankkeella ei ole ollut omaa hakemistoa, jossa kaikki tieto olisi ollut kootusti kaikkien hankkeeseen oikeutettujen henkilöiden saatavilla. Luovutusformaattina oli AutoCadin dwg-formaatti. Kaikilla kunnan työmaille käytettävä koordinaatisto oli ETRS-GK26 ja korkeusjärjestelmä N2000.

Varottavia kohteita alueelta ei ollut etukäteen dokumentoitu, koska suunnittelun aikana ei ollut vielä tiedossa, että kohde toteutetaan tietomallivasteisesti.

4.5.2020 suoritetun maastokatselmuksen aikana todettiin, että ns. VARO-kohdeet olisi ollut syytä käydä dokumentoimassa ennen mallin edelleen luovuttamista varsinaiseen työkäyttöön. Alueella olevan metsäsaarekkeen molemmin puolin kulkivat katuvalaistuksen ilmakaapelit, jotka ilmenevät kuvasta 11. Näitä ei kuitenkaan ollut tarvetta käydä kartoittamassa, vaan linjat purettiin alueelta työskentelyn ajaksi.



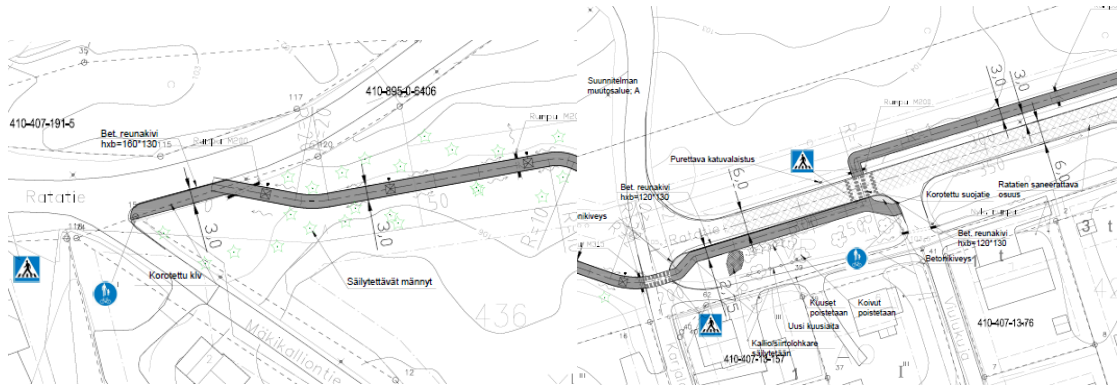
Kuva 11. Katuvalaistuskaapelit kevyen liikenteen väylän alkupäästä (Keylight)

### 6.3 Katusuunnitelmat

Hyväksytty Ratatien kevyen liikenteen väylän katusuunnitelma sisälsi myös Ratatien saneerauksen. Katua saneerattiin niiltä osin, kun uutta kevyen liikenteen väylää rakennettiin nykyisen kadun viereen. Suunnitelman mukaan vanha katu kunnostettiin ns. verkottamalla ja päällystämällä uudelleen.

Suunnitelma sisälsi kadun ja kevyen liikenteen väylän keskilinjageometriat, rakenteet kerrospaksuuksineen, jotka ilmenevät pituus- ja poikkileikkauksista, huilvesien poisjohtamis- sekä valaistus- ja liikenteenohjaussuunnitelman. Suunni-

telman oli laatinut kokonaisuudessaan Laukaan kunnan suunnitteluinsinööri luukuun ottamatta valaistus suunnitelmaa, jonka oli laatinut puitesopimuskumppani. Kuvassa 12 on nähtävillä oloa varten laadittu perinteinen ote suunnitelman viimeisimmästä versiosta. Kyseistä suunnittelukokonaisuutta eivät ole tarkastaneet muut kuin suunnitteluinsinööri itse.



Kuva 12. Kuvia Ratatien viimeisimmästä suunnitelmasta

Puitesopimuskumppanin laatiman valaistussuunnitelman on tarkasti suunnitteluinsinööri vastaanottovaiheessa pdf-dokumenttien perusteella. Valaistus suunnitelman tietomalli oli käytännössä valaisimien sijainti ilman korkeustietoa dxf-formaatissa.

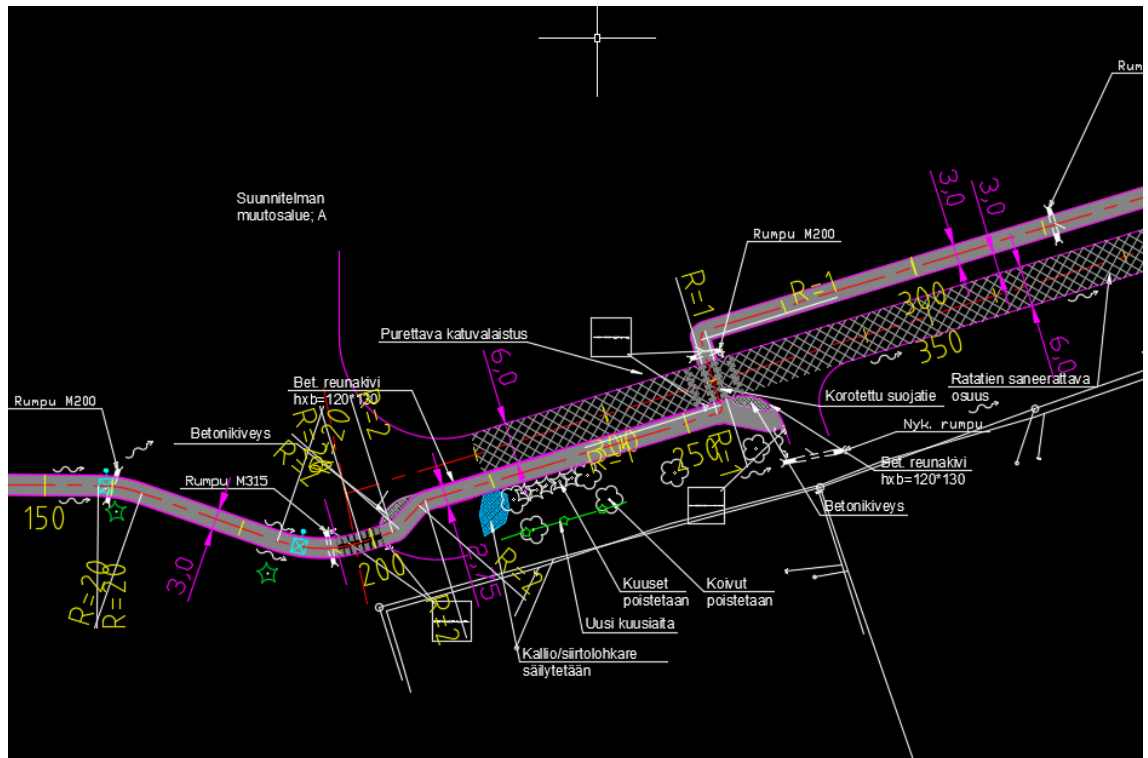
Ratatien hankkeen aikana alkuperäiseen suunnitelmaan jouduttiin tekemään kaksi eri muutosta. Ensimmäinen muutos tehtiin, kun erään kiinteistön edustalla oleva koristeellinen iso kivi/kalliolohkare haluttiin säilyttää kiinteistön omistajan toiveesta. Toinen muutos jouduttiin tekemään maakaapelin takia. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kevyen liikenteen väylän oli tarkoitus kulkea koko matkan samalla puolen Ratatietä. Tämä olisi vaatinut sähköverkonhaltijalta maakaapelin siirtoa, jonka kustannus oli arvioitu huomattavan paljon vähäisemmäksi kuin verkonhaltija lopulta siirrolle hinnaksi määritteli. Kustannusten säästämiseksi tilanne ratkaistiin siirtämällä kevyen liikenteen väylä kulkemaan kadun toiselle puolelle loppuosaltaan.

Osana opinnäytetyötä haluttiin saada kokemusta myös mallien tarkastamisesta. Mallien tarkastaminen ennen niiden toimittamista työkoneille on myös laadun varmistamisen kannalta välttämätön toimenpide. Tätä varten tuli tutustua syvällisemmin nykyiseen suunnittelukäytäntöön ja valmistuneisiin suunnitelmiin.

Tarkastelu aloitettiin silmämääräisesti AutoCad-ohjelmistolla. Tarkastelun yhteydessä tehtiin seuraavia havaintoja.

Nykyisessä työskentelytavassa aineistot ovat olleet vain sen henkilön käytettävissä, joka kyseistä työvaihetta kulloinkin tekee ja vasta valmiit työt siirretään seuraavaan vaiheeseen toisten nähtäväksi. Kun valmiit suunnitelmat oli siirretty seuraavaan vaiheeseen, olivat suunnitelmista jääneet kuvautumatta dwg-kuvalle linkitetyt liikennemerkkit kokonaan ja vain niiden hakemistopolku kuvautui työssä. Nämä näkyvät kuvassa 13 tyhjinä valkoisina neliöinä, joiden kuuluisi kuvastaa liikennemerkkien kuvakkeita.

AutoCad-tiedostosta ei voitu tutkia sen kolmiulotteista eheyttä rakenneviivojen osalta, koska suunnitelma oli kuvattu kaksiulotteisena, ilman korkeustietoa ja ilman rakennekerroksia. Kyseinen kuva oli tarkoitettu vain tulostamista varten lautakuntakäsittelyyn ja työmaalle paperiversioksi. Rakennekerrokset korkeuksiin olivat kuvattuina suunnitelman pituus- ja poikkileikkauksissa.



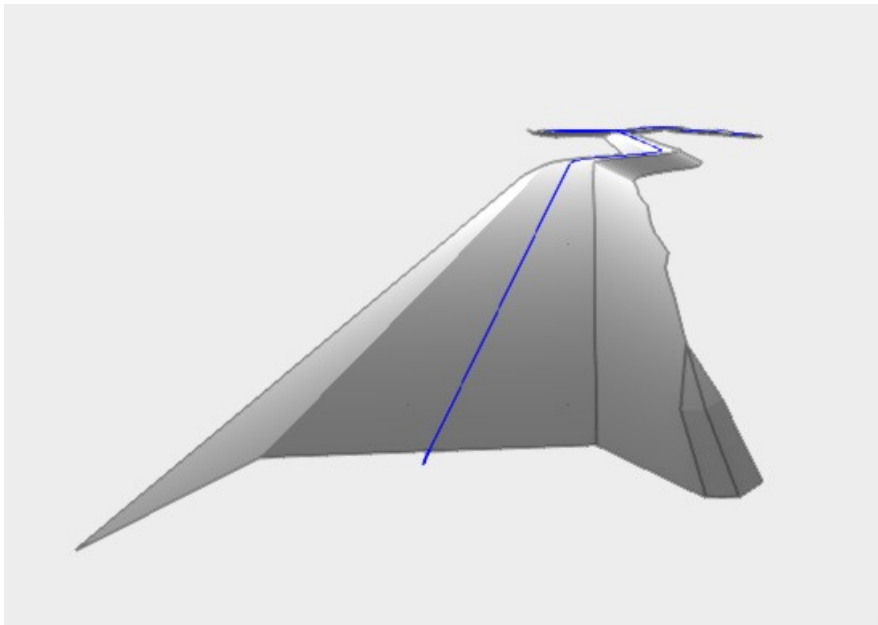
Kuva 13. Katusuunnitelma Autocad-ohjelmistossa

Novapoint Road -sovelluksen lisensoinnista johtuen suunnitelman tarkastelu itsenäisesti ei ollut mahdollista. Tällä hetkellä lisenssit ovat Laukaalla konekohtaisia, ja ainoastaan suunnitteluinsinöörillä on tämä sovellusosio käytettävissään. Suunnitteluinsinöörin johdolla tarkasteltiin, kuinka katusuunnitelmat laaditaan lähtöaineistojen pohjalta valmiiksi suunnitelmaksi Novapoint Road -sovelluksella. Samoin tutustuttiin, kuinka vesihuollon kohteet suunnitellaan katusuunnitelmien laatimisen yhteydessä Novapoint Water and sewer -sovelluksella. Rata-tien työkohteessa ei kuitenkaan ollut tarvetta suunnitella uusia tai muutettavia vesihuollon kohteita.

Tämän jälkeen katsottiin, kuinka katusuunnitelma tuotetaan LandXML-formaattiin, joka toimii 3D-koneohjausmallin pohjana. Suunnitelman voi kirjoittaa ulos useassa eri formaatissa, joita ovat Leica (\*.gsi), Trimble (\*.tdf ja \*.pro), Vegdat (\*.lpl, \*.ovb, \*.sa0, \*.tvv) LandXML (\*.xml) ja Inframodel (\*.xml).

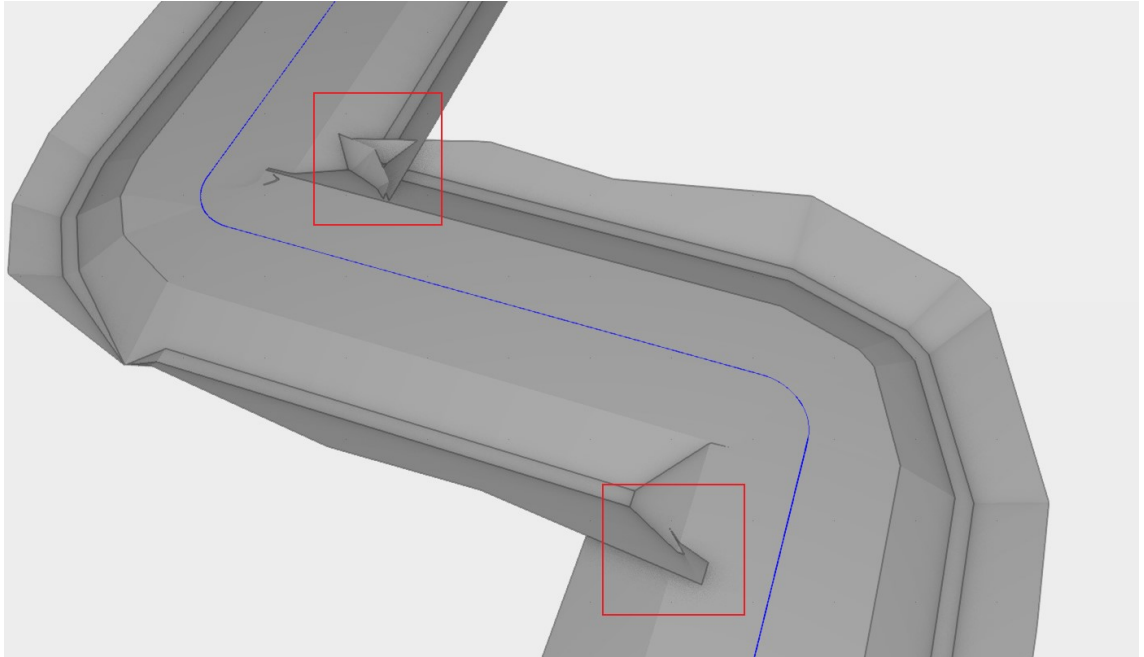


Suunnitteluohjelmistosta ulos kirjoitettuja malleja on kuitenkin mahdollista tarkastella Trimble Connect -palvelun avulla, josta on saatavilla ilmaisversio. Ilmaisversiossa on mahdollista käsitellä vain yhtä projektia kerrallaan. Connect osoittautui hyväksi ja selkeäksi käyttää tavanomaisessa mallin tarkastelussa. Ilmaisversiossa ei kuitenkaan ollut mahdollista muokata malleja. Kuvassa 14 on Ratatien kevyen liikenteen väylän ylin yhdistelmäpinta tarkastelussa Trimble Connect -palvelussa.



Kuva 14. Ratatien pintamalli kuvattuna Trimble Connect -palvelussa

Trimble Connectilla oli hyvin havaittavissa ne muutamat kohdat, joissa mallissa esiintyi virhettä. Mallissa olevat virheelliset kohdat näkyvät hyvin kuvassa 15. Virheet ilmenivät ajoradan ja kevyen liikenteen väylien risteyksessä.

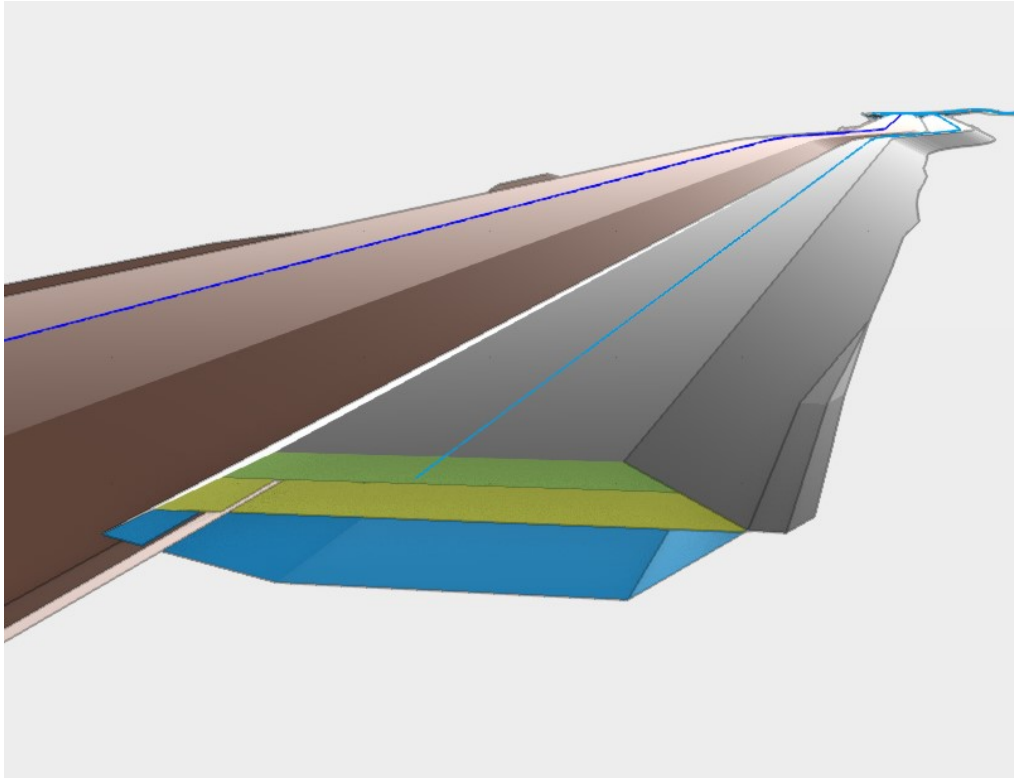


Kuva 15. Virheellisesti kuvautuva kevyen liikenteen väylän pinta

#### 6.4 Tiedonsiirto

Tiedonsiirtoa tehtiin työmaan aikana luonnollisesti molempiin suuntiin: työkooneelle ja ulos. Koska käytettävissä ei ollut vielä valmista alustaa, jolla tietoa voitaisiin jakaa, turvauduttiin perinteisesti muistitikun käyttöön.

Kaivinkoneelle toimitettiin toteutusmallit valmiista pinnasta ja tasausviivasta sekä kadun että kevyen liikenteen väylän osalta. Kevyen liikenteen väylän mallissa oli perusmaan pinta-, jakavan, suodatin- ja kantavan kerroksen pinnat, jotka ilmenevät kuvasta 16, sekä erillisenä katuvalaistussuunnitelma, jossa oli valaisinpylväiden jalustojen paikat, ilman korkeustietoa kylläkin.



Kuva 16. Ratatien suunnitelman rakennekerrokset kuvattuna Trimble Connect -palvelussa

Kaivinkoneenkuljettajan kanssa oli sovittu, että hän tekee kaivinkoneella kontrollimittauksia jokaisen kerroksen poikkileikkauksen taitepisteistä, jotta toteumaa voidaan verrata suunnitelmaan. Samalla tämä toimisi harjoituksena ohjelmiston käyttöön, koska koneenkuljettaja ei ollut tätä aiemmin tehnyt. Mittauspisteitä ei kuitenkaan mitattu kuin suodatinkerroksen pinnalta.

## 6.5 Työmaan valmistelevat mittaukset

Ratatien hanketta valmisteltaessa ei alueelle ollut laadittu mittausperustaa, johon mitattu maastomalli pohjautui. Maastomalli on aikanaan mitattu GNSS-laitteistolla VRS-mittaustavalla. Koneavusteista työskentelyä varten alueelle tuli tuoda kiinteitä pisteitä, joiden avulla työkone voi suorittaa laitteiston kalibroinnin määräajoin.

Kalibrintipisteiden sijoittelussa on hyvä huomioida, että ne eivät sijaitse työskentelyalueella tai läjitysalueilla, ne on rakennettu tukevalle alustalle ja että niitä on riittävän tiheässä työkoneiden taloudellista työskentelyä ajatellen. Pisteet rakennettiin ja mitattiin 19.5.2021, ja niiden sijainti työkohteella on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Tarkastuspisteiden sijainnit työalueella

Pisteitä rakennettaessa ei kaivinkoneenkuljettajaa tarkoituksella konsultoitu asiasta etukäteen. Näin toimittiin, jotta saadaan palaute oman harkinnan käyttämisen onnistumisesta tai epäonnistumisesta. Pisteet rakennettiin korkeuspulteihin, jotka porattiin kallioon ja isoon maakiveen. Pulttien sijainti ja korkeus määritettiin GNSS RTK -mittauksena kahden eri havaintosarjan keskiarvona, joista toinen sarja oli mitattu aamupäivällä ja toinen iltapäivällä. Yksi havaintosarja koostui kahdestakymmenestä toisistaan erillisestä laskentaratkaisun havainnosta (fix-ratkaisu), ja yhden havainnon pituus oli vähintään 10 sekuntia. Keskiarvona saatuja tuloksia verrattiin takymetrimittauksella, jolla varmistettiin pisteiden keskinäinen suhteellinen tarkkuus. Kuvassa 18 näkyy pultti ja GNSS-vastaanotin havaintosarjan mittaamisen hetkellä.



Kuva 18. GNSS-vastaanotin tarkistuspisteen päällä

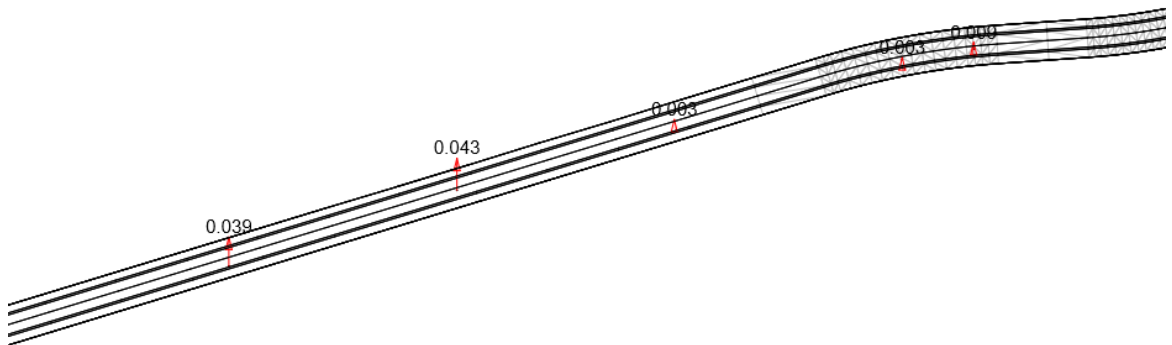
## 6.6 Työmaanaikaiset mittaukset

Tavoitetilanteessa mittamiesten ei olisi tarvetta käydä mittaamassa tarkkeita rakennekerroksista ja kohteista kuin pistoluonteisesti. Koska kyseessä oli kuitenkin pilottikohde, sovittiin yhteispalaverissa, että kartoittajat tukevat työkonetta läpi koko työmaan, jotta alueelta saadaan mahdollisimman hyvin lähtötietoa menetelmän tarkkuudesta ja sen käyttämisestä.

Jotta työmaa ei olisi halvaantunut pilottikokeilun aikana teknisiin haasteisiin, oli kartoittajilla koko ajan täysi valmius suorittaa työmaan merkintämittaukset ns. perinteisellä tavalla.

Ennen työmaan aloittamista suoritettiin kalibrointimittaus kaivinkoneen kauhan mittapisteistä, joita verrattiin mitattuihin tietoihin. Kalibroinnista ei laadittu erillistä raporttia.

Kaivinkoneenkuljettajaa ohjeistettiin toteumamittausten suorittamisesta kerroksittain. Työmaan alussa sovittiin myös, että toteumapisteitä mitattaisiin YIV-vaatimusten mukaisesti 20 m:n välein väylän suuntaisesti rakennekerrosten poikki-leikkausten taitekohdista [17, s. 122]. Toteumapisteitä oli tullut mitattua kuitenkin vain jakavasta kerroksesta. Jälkeen päin tehdyn tarkastelun perusteella ilmeni, että kaivinkoneella mitatut jakavan kerroksen toteumapisteet täyttivät tai olivat ainakin lähellä InfraRYL-vaatimusten mukaisia enimmäistoleransseja, muutamia pisteitä lukuun ottamatta. Toteumapisteitä on esitetty kuvassa 19. Suurimmat poikkeamat, n. 15 cm ja 30 cm, johtuvat erittäin todennäköisesti koneen vääristä asetuksista (väärä kauha valittuna) tai väärän rakennekerroksen pinnalta otetusta toteumapisteestä, sillä satunnaisten kontrollimittausten perusteella näin suuria poikkeamia ei missään vaiheessa työn aikana havaittu.



Kuva 19. Jakavan kerroksen toteumamittaustuloksia

Maastoon merkintöjä suoritettiin asfaltointeja varten, sillä asfaltin levityskoneessa ei ollut koneohjausta käytettävissä. Katuosuuden asfaltoinnin jälkeen merkittiin valettavan reunakiven paikka sekä vanhan että uuden asfaltin päälle.



Valettavan reunakiveyksen merkinnät asfaltilla ovat havaittavissa kuvassa 20. Reunakiven valun jälkeen kevyen liikenteen väylän viimeinen kerros viimeisteltiin pyörräalustaisella kaivinkoneella sekä tiehöylällä, joissa ei ollut koneohjauslaitteita. Tasauksen korkeus tarkastettiin henkilötyönä ennen asfaltointia.



Kuva 20. Maastoon tehtyjä merkintöjä valettavaa reunakiveä ja asfaltointia varten

## 6.7 Mittaukset työkohteen valmistuttua

Työkohteen valmistuttua on suoritettu alueen kartoittaminen osaksi kantakarttaa, jota ylläpidetään Trimble Locus -ympäristössä. Kuvassa 21 on ote päivitystä kantakartasta Trimble Locus -järjestelmässä.



Kuva 21. Ote kantakartasta hankkeen valmistumisen jälkeen

Valaisinpylväät on kartoitettu ja viety osaksi kunnan katuvalaistuskarttaa Keylight-sovellukseen. Myöhemmin puitesopimuskumppani, joka asensi katuväläisimet, on lisännyt valaisimille niiden ominaisuustiedot mm. valaisimien mallien ja valotehojen osalta. Alueelle rakennetut hulevesikaivot on tarkemittattu ja tiedot viety osaksi vesijohtokarttaa Trimble NIS -ympäristöön. Viennin yhteydessä kohteille on täytetty samalla myös niiden ominaisuustiedot, kuten kaivojen halkaisijat ja materiaalit. Uusia tai muuttuneita vesihuollon kohteita ei sijainnut tällä työkohteella. Kaikki edellä mainitut kartoitukset suoritettiin RTK-korjattuna GNSS-mittauksena.

Osa kohteista jäi mittaamatta kaivannosta huonon ohjeistuksen ja selkeän vastuunjaon puuttumisen johdosta.



## 7 Havainnot Ratatien hankkeesta ja näkemyksiä Laukaan tulevaksi toimintamalliksi

Ratatien pilottihankkeeseen lähdettiin tietoisesti ilman suurempaa ennakkovalmistelua ja -ohjausta, jotta hankkeesta saataisiin paras vaste olemassa olevien määräysten ja ohjeistusten ja Laukaan kunnan nykyisen toimintamallin välillä. Näin esille nousivat parhaiten sellaiset kehittämisen kohteet, jotka erityisesti vaativat jatkossa huomiota.

Kerätäksemme mahdollisimman paljon kokemuksia onnistumisista kuin kehittämiskohteista olemme pitäneet työmaaorganisaation kesken palaverit ennen töihin ryhtymistä ja hankkeen valmistumisen jälkeen. Näissä palavereissa pääpaino oli mittauksen läpiviemisessä työkoneen ja mittaushenkilöstön välillä. Aloituspalaverissa käytiin myös lyhyesti läpi koneohjauksen ja toiminnan perusteita, jotta tekniikka olisi tuttu kaikille hankkeen parissa työskenteleville. Yhteydenpitoa on toki ollut myös hankkeen kestäessä. Työmaaorganisaatio koostui sekä pitkän työkokemuksen omaavista että nuorista ammattilaisista, mikä oli ehdottomasti rikkaus kokemusten keräämisessä.

Seuraavissa alajaksoissa on kerrottu työskentelyn aikana esiin tulleita ongelma-kohtia sekä erilaisia seikkoja, joita tulee tarkastella ja kehittää, ennen kuin Laukaan kunnassa voidaan ryhtyä täysimittaiseen koneohjattuun työskentelyyn.

### 7.1 Lähtötietoaineisto ja tiedonhallinta

Hankkeeseen tutustuttaessa havaittiin, että lähtötietojen etsiminen organisaatiomme hakemistoista oli hankalaa eikä kaikkea tarvittavaa lähtötietoa löydetty kysymättä.

Kaikkia suunnittelijalle toimitettuja alkuperäisiä lähtötietoja, kuten mittaustietoja tai maastomallia ei löydetty ennen kuin asiaa kysyttiin suoraan lähtötiedot laatineelta henkilöltä. Tämä ongelma olisi erittäin helposti ratkaistavissa selkeän hakemistorakenteen ja tiedonhallintasuunnitelman avulla.

Laukaan kunnan toteuttaessa infrahankkeet alusta loppuun omana työnä voisi vaihtoehtona olla laatia yleispätevä tiedonhallintaohjeistus, jota noudatettaisiin kaikissa kunnan itse toteuttamissa kohteissa. Tällöin ei olisi välttämätöntä laatia erikseen hankekohtaisia tiedonhallintasuunnitelmia työn kulun ollessa samanlainen hankkeelta toiselle. YIV-ohjeistuksen liitteenä olevan mallin mukaisesta tiedonhallintasuunnitelmasta on helposti monistettavissa organisaatiolle yleiskäyttöön jalkautettava tiedonhallintaohjeistus.

Jatkossa heti hankkeen alkuvaiheessa luodaan hankekohtainen hakemisto, johon tuotetaan kaikki tietovaranto hankkeen ajalta. Hakemistoon tulee olla pääsy vähintään kaikilla Laukaan kunnan organisaation työntekijöillä, jotka työskentelevät jossain vaiheessa hankkeeseen parissa. Kaikkien hankkeeseen osallistuvien tulee sitoutua käyttämään kyseistä tietovarantoa. Vain näin toimimalla varmistetaan, että kaikilla hankkeeseen osallistuvilla on kulloinkin oikeat ja ajantasaiset tiedot käytettävissään. Tarkoituksen mukaiselle hakemistorakenteelle on annettu esimerkki Yleisissä inframallivaatimuksissa, ja se on niin ikään helposti monistettavissa ja muokattavissa Laukaan toimintaympäristöön. Hankekansion toteutus omissa hankkeissa voi olla levyjakotyypinen ratkaisu, mutta suositeltavaa on harkita hankittavaksi tähän tarkoitukseen suunniteltu sovellus tai palvelu, jonka sisältöön tarvittaessa pääsevät käyttäjäkohtaisin oikeuksin muutkin kuin kunnan työntekijät, esimerkiksi työkoneiden kuljettajat.

Isoille työkohteille (uutta katua yli 500 metriä tai suurempi asuinaluekokonaisuus) tulee laatia hankekohtainen tiedonhallintasuunnitelma jo ennen suunnitteluun ryhtymistä. Näin varmistetaan, että lähtötiedot ovat halutussa laajuudessa ja riittävän tarkasti kuvattuna alusta lähtien. Tämän merkitys korostuu eritoten silloin, jos suunnittelu tehdään omana työnä ja toteutus ostetaan ulkopuolelta. Kerran Laukaan kunnan toimintaympäristöön laadittu tiedonhallintasuunnitelma olisi erittäin helposti monistettavissa hankkeelta toiselle. Tarvittaessa tehtäisiin vain projektikohtaiset muutokset, jos hankkeessa on huomioitavia erityispiirteitä.

## Mittausperusta ja käyttöpisteet

Tähän saakka kunnan työkohteille ei ole luotu mittausperustaa, vaan maastomallit on mitattu suoraan GNSS:llä tai GNSS-sidottuna takymetrimittauksena suunnittelijalle. Tämä on ajan saatossa muovautunut toimintatavaksi, jota ei ole kyseenalaistettu, kun ongelmia ei ole ilmennyt. Näin on aikanaan päädytty toimimaan, koska kunnalla ei ole omaa ehjää runkopisteverkkoa. Toimintamalli on ollut työmäärältään kevyempi, ja se ollut mahdollista kohteissa, jotka kunta on rakentanut omana työnä. Maanrakennustyöryhmät rakentavat mm. viemäriinjat putkilaseria apuna käyttäen toimitettujen kaivonkorkojen perusteella, jolloin on varmistuttu vietolisten kohteiden oikeanlaisesta toteutumisesta eikä aikaisemmin ole ongelmia tullut vastaan.

Laukaan kunnan paikkatietopalveluiden osalta siirrytään jatkossa toimintamalliin, jossa maastomallin laadinnan yhteydessä alueelle rakennetaan JHS-ohjeistusta mukaileva mittausperusta. Näin menettelemällä varmistutaan hankkeen sisäisen ja ulkoisen tarkkuuden toteutumisesta entistä paremmin. Mittausperustat laaditaan lähtökohtaisesti JHS184-suosituksen E5–E6-luokan käyttöpisteinä, mikä mahdollistaa GNSS RTK -mittauksella suoritettua pisteverkon mittaamisen. Kunnan hankkeet ovat suhteessa pieniä ja paikallisia, minkä vuoksi kyseinen mittausluokka voidaan hyväksyä. Näin toimitaan sen takia, että Laukaan kunnan alueella ei ole enää kunnan ylläpitämää ehjää runkopisteverkkoa ja lähtörunkopisteinä voitaisiin käyttää ainoastaan Maanmittauslaitoksen ylläpitämän runkopisteverkon pisteitä. Tämä hidastaisi oleellisesti hankkeiden valmistelua, kun lähtötiedot jouduttaisiin joka kerta tuomaan suhteellisen kaukaa työkohteille.

Mittausperustan laadinnan yhteydessä rakennetaan ja mitataan myös käyttöpisteet sekä tarkastuspisteet työkoneille, jos on varmuus siitä, että hanke toteutuu. Näin työkohde voidaan toteuttaa koneohjatusti, tehdään se sitten omana työnä tai kilpailutettuna urakkana. Jos maastomallin laadinnan hetkellä ei ole varmuutta siitä, kuinka tuleva työ tulee toteutumaan, jätetään edellä mainitut pisteet rakentamatta, jotta vältetään turhalta työltä. Tämän osalta tullaan henkilöstö

kouluttamaan uudenlaiseen toimintamalliin, jotta maastossa tehtävät työt sekä niiden dokumentoiminen sujuvat jatkossa luontevasti.

Maastomallit mitataan Liikenneviraston tie- ja ratahankkeiden mittausohjeen mukaisesti, kuten on toimittu tähänkin saakka. Mittaustiedostot tallennetaan sekä alkuperäisenä että muokattuna hankkeen kansioon.

## 7.2 Suunnittelu, suunnitelmat ja suunnitelmien tarkastaminen

Ratatie katusuunnitelmiin tutustuttaessa verkkolevyn hakemistosta löytyivät hyväksytyt suunnitelmat, mutta ne olivat osin vaillinaisia mm. liikennemerkkien symbolien puuttuessa. Näiden tiedostosijainnin määrittely oli mennyt vikaan siirrettäessä tiedostoa seuraavalle tekijälle.

Kuten hankkeen lähtötietojen, myös eri suunnitelmien tulisi olla selkeästi jäseneltynä hankehakemistossa, josta suunnitelmat löytyisivät jo hankkeen suunnittelun alkuvaiheista lähtien. Tällöin keskeneräisiä suunnitelmia voitaisiin tarvitta- vilta osin tarkastella ja mahdollisesti hyödyntää esim. lähtötietojen täydentämi- sessä jo ennen kuin suunnitelma on asetettu nähtäville tai hyväksytyt. Tällä het- kellä katusuunnitelmat on siirretty sähköisenä muiden saataville vasta kun ne ovat hyväksytyt. Tulostetut suunnitelmat ovat toki olleet jo julkisesti nähtävillä aiemmin, mutta niiden hyödyntäminen mittausten suunnittelussa ja toteuttami- sessä ei ole nykyaikaa.

Hankehakemiston hyödyntäminen selkeyttäisi myös suunnitelmien kunkin het- kistä tilannetta ja mahdollistaisi sen, että hankkeen parissa työskentelevät löy- täisivät historiatiedon suunnitelmien vaiheista mahdollisine muutoksineen; erito- ten voimassa olevan viimeisimmän version, jos matkan varrella on tullut muu- toksia.

Eri alan ammattilaisia haastatellessa kävi ilmi, että Laukaalla ei katusuunnitel- mia tai vesihuollon suunnitelmia tarkasteta useamman eri henkilön toimesta,

vaan ne menevät suoraan lautakunnalle hyväksyttäväksi ja nähtäville suunnitteleinsinööriltä. Tämä on ajan mittaan muovautunut toimintamalliksi, johon haluttaisiin muutosta. Suunnitelmat tulisi jatkossa tarkastaa eri alojen osaajien toimesta ennen hyväksyttäväksi toimittamista. Tämä ei missään nimessä ole epäluottamuslause suunnittelijoita kohtaan, vaan ajatuksena on löytää mahdolliset vaihtoehtoiset toteutusratkaisut tarkoituksen mukaisimman ja taloudellisimman lopputuloksen saavuttamiseksi heti suunnittelun alusta lähtien. Kaikki meistä tekevät joskus virheitä, ja omille virheilleen käy helposti sokeaksi, mikä on täysin inhimillistä. Mitä useampi henkilö suunnitelmia tarkastelee, sitä paremmin virheet löytyvät. Katu- ja vesihuollonsuunnitelmien laatiminen omana työnä tulisi jatkossa olla enemmän tiimityötä eri osa-alueiden ammattilaisten kesken.

Suunnitelmien tarkastelu suunnitteluohjelmistoympäristössä ei tällä hetkellä ole mahdollista muiden kuin suunnitteluinsinöörin toimesta, koska Novapoint-lisenssi on vain suunnittelijalla. Vaikka sovellus olisikin muiden käytettävissä, ei muilla todennäköisesti olisi osaamista sovelluksen käyttämiseksi. Tämän tilanteen muuttaminen ei liene tarpeen Laukaan kokoisessa organisaatiossa, mutta suunnitelmista tuotettavien rakentamismallien tarkasteluun tulee jatkossa panostaa. Suunnitelmien tarkastamista tulisi kuitenkin kehittää ottamalla käytännöksi jäsenelty itselleluovutus, jossa suunnitelma käytäisiin läpi ennen eteenpäin toimittamista.

Valaistussuunnitelmat työkohteelle laatiin puitesopimuskumppanin kanssa sovittiin, että jatkossa valaistuksen toteuttamissuunnitelmiin pylväiden jalustoille kirjataan myös suunnitellut jalustan alapinnan korkeudet. Tämän tiedon avulla kaivinkoneenkuljettaja pystyy jatkossa tekemään alustat valaisinten jalustoille ohjeistusten mukaisia toleransseja noudattaen. Opinnäytteen kestäessä tämä kehityskohde on jo korjattu, ja nykyisin valaistussuunnitelmissa on korkeustiedot jalustoilla.

### 7.3 Tietomallien tarkastaminen ja käsittely

Opinnäytetyön kestäessä mallien tarkasteluun ei ollut erikseen hankittuna siihen tarkoitettuja sovelluksia. Nopeana apuna toimi ilmaissovellus Trimble Connect, joka on hyvin visuaalinen sovellus mallien tarkasteluun. Käytettävissä on myös 3D-Win-sovellus, jonka käyttöä opiskeltiin, jotta malleja päästiin tarkastelemaan. Mallien muokkaamisen ja yhdistelemisen opiskelussa otettiin ensi askeleita 3D-Win-sovelluksen käytössä, mutta onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseen on vielä harjoiteltavaa.

Seuraava askel kohti koneohjattua työskentelyä onkin tehdä vertailua markkinoilla olevien sovellusten kesken ja hankkia tarvittavat sovellukset tietomallien käsittelyyn sekä kouluttaa henkilöstöä mallien tarkasteluun ja korjaamiseen. Ainaakin paikkatietopalvelujen henkilöstöä tulee kouluttaa tähän, sillä tietomallikoordinaattori tulee todennäköisesti jatkossa olemaan yksi paikkatietopalvelujen henkilöstöstä.

### 7.4 Koneohjausaineisto

Koneohjausmallit Ratatielle ja kevyen liikenteen väylälle tuotettiin suoraan suunnittelusovelluksesta. Koneohjausaineistoa tarkasteltiin ennen kaivinkoneelle toimitamista Trimble Connect -sovelluksella. Malleissa olleita virheitä ei osattu omin avuin korjata, ja näin olleen mallit virheineen toimitettiin työkoneelle. Kaivinkoneenkuljettaja kuitenkin kertoi, etteivät mallissa olleet virheet aiheuttaneet käytännössä mitään ongelmia. Laaditut koneohjausmallit toimivat moitteettomasti, ja niissä oli kaikki tarvittava tieto hankkeen läpi viemiseksi.

Ratatien hankkeen kestäessä ja sen jälkeen, on tullut ilmi myös muita hyödyllisiä aineistoja, joita olisi syytä jatkossa toimittaa kaivinkoneen käyttöön samalla, kun toimitetaan koneohjausmallit kadun rakennekerroksista. Mikäli infrahanke toteutetaan omana työnä, toimitetaan jatkossa työkoneille itse tuotettu koneohjausaineisto, joka koostuu vähintään seuraavista elementeistä:

- kadun rakennekerrokset tarkastettuina ja korjattuina YIV-ohjeistuksen mukaisesti, InfraBIM-nimikkeistön mukaisin luokitteluin
- katuvalaistussuunnitelma
- asemakaavatiedot pelkistettynä; kaavanmukaiset katualueet ja korttelit
- katusuunnitelman mukainen kadunreunan geometriatieto erillisenä
- vesihuollonsuunnitelmat ja tiedot olemassa olevasta verkostosta
- tiedot mahdollisista sähkö- ja televerkoista, mikäli saatavilla
- tarkastuspisteiden tiedot.

Edellä mainittujen lisäksi on suositeltavaa toimittaa myös tiedot olemassa olevista VARO-kohteista ja mahdollisista suojelukohteista. Saneerauskohteissa tai uutta kohdetta rakennettaessa ennestään rakennetun ympäristön läheisyyteen voi alueen hahmottamisen helpottamiseksi olla paikallaan toimittaa koneohjausaineiston taustalle myös karsittua kantakarttaa, joka sisältää myös kiinteistöjen rajat.

Jatkossa itse laadittujen koneohjausaineistojen tarkastamiseksi ja korjaamiseksi sekä eri mallien yhdistelemiseksi tulee selvittää markkinoilla olevia vaihtoehtoja tarkoituksen mukaisen sovelluksen hankkimiseksi ja kouluttaa henkilöstö sovelluksen käyttämiseen ja tietomallipohjaiseen työskentelyyn. Näin voidaan varmistua, että koneohjausaineisto on laadukasta ja virheetöntä ennen sen toimitamista työkoneille. Koneohjausaineiston tarkastamiseksi otetaan päivittäiseen työskentelyyn tavaksi suorittaa itselleluovutukset aineistoille ennen niiden eteenpäin välittämistä.

Mikäli tiedossa on, että hanke kilpailutetaan kokonaan ulkopuolisella ST-urakkana, jää koneohjausmallien tuottaminen hankkeen toteuttajan tehtäväksi. Näissä tapauksissa näkisin, että myös maastomittauksiin liittyvät työt tulee kilpailuttaa osana urakkaa. Tällöin kunnalla olisi vain selkeä valvontarooli hankkeessa. Työnjako Laukaan kunnan organisaatiossa tulee valvonnan osalta kuitenkin olla selkeä ja vastuiden eri työvaiheiden valvonnasta olla hyvin selvillä. Työtä valvovien tahojen pitää myös tehdä tiivistä yhteistyötä hankkeen kestä-

essä, jotta voidaan varmistua siitä, että valvonta tosiasiallisesti toteutuu. Suurissa hankkeissa avuksi voidaan ottaa esimerkiksi erikseen laadittava valvontasuunnitelma ja valvontapöytäkirjat.

## 7.5 Tiedonsiirto

Tiedonsiirron Ratatien hankkeessa teki haasteelliseksi se, ettei käytävissä ollut mitään muuta tiedonsiirtomahdollisuutta kuin viedä ja tuoda tiedot kaivinkoneelle joko USB-muistitikulla tai toimittaa ne sähköpostilla koneurakoitsijalle. Ratatien osalta tiedot vietiin poikkeuksetta USB-tikulla työkoneelle, näin tuli samalla käytyä myös työmaalla katsomassa sen hetkistä tilannetta.

Tiedonsiirtoon pohdittiin itse toteutettavissa olevia, modernimpia tapoja ratkaista tiedonsiirtoon liittyvät haasteet. Yhdeksi ratkaisuvaihtoehdoksi valikoitui pilvipalveluserveri, jolle suunnitelmia ja tiedostoja voitaisiin siirtää kaikkien niiden toimijoiden toimesta, jotka ovat hankkeelle valtuutettuna. Tämän käytännöllisyyttä ei ole kuitenkaan ehditty vielä kokeilemaan. Vaihtoehtoisesti pohdittiin myös FTP-palvelimen pystyttämistä, jonka avulla suunnitelmat saataisiin luettua suoraan työkoneille. Molemmat palvelut olisivat olleet kunnan itse ylläpitämiä. Tietoturvasyistä FTP-tiedonsiirto ei ole kuitenkaan paras mahdollinen vaihtoehto.

Omana työnä toteutettavissa hankkeissa, joissa myös kaikki mittaus- ja suunnittelutyö toteutetaan omana työnä ja tiedonsiirtoa organisaation ulkopuolelle tapahtuu vain työkoneille ja takaisin, on syytä pohtia, mikä olisi kustannustehokkain ratkaisu tiedonsiirtoon. Markkinoilla on tarjolla pilvipalveluita, joiden avulla hankkeiden tietoja voitaisiin hallinnoida ja jakaa kaikkien hankkeeseen osallistuvien kesken. Tämä on yksi huomioitava vaihtoehto, jota tulee selvittää vielä tarkemmin. Edellä mainitun kaltaisia palveluita ovat mm. Infrakit ja Novatron Xcite Manage. Edellä mainittujen palveluiden käyttö on perusteltua, kun työskentelyorganisaatio on suuri ja hankkeeseen osallistuu useita eri yritysten edustajia.



## 7.6 Töiden organisointiin liittyvät havainnot

Aivan Rata tien työmaan alkuvaiheessa pidettiin palaveri, jossa olivat läsnä mitausorganisaatio, maanrakennusammattimiehet sekä kaivinkoneenkuljettaja. Kutsuttuna palaveriin olivat myös suunnittelija sekä työnjohtaja, jotka olivat estyneitä osallistumaan palaveriin. Palaverin aikana nousi esille paljon kehitettäviä kohteita työkohteiden valmisteluun ja toteutukseen liittyen. Palaverissa käsiteltiin pintapuolisesti myös koneohjatun työskentelyn teoriaa, jotta kaikki oppisivat tuntemaan tekniikan hyödyt ja mahdolliset heikkoudet. Palaverissa sovittiin, kuinka mittaukset hoidetaan läpi työmaan sekä nostettiin esille yhteistyön ja välittömän viestinnän merkitystä, kohteen toimiessa pilottikohteena. Mittausten osalta kuitenkin voidaan todeta jälkeen päin niiden olleen joko huonosti ohjeistettuja tai niistä olisi pitänyt muistutella useammin. Näitä havaintoja käydään läpi tarkemmin seuraavassa luvussa.

Aloituspalaverin yksi suurimmista esille nousseista kehittämisen kohteista ei suoranaisesti liity opinnäytetyön aihepiiriin, mutta se oli kuitenkin erittäin oleellinen osa toiminnan kehittämistä. Tämä kehittämiskohde kohdistui lähinnä työmaakokouskäytäntöön, jonka tarkastelu toiminnan kehittämiseksi on jo aloitettu.

Hankkeen edetessä ilmeni myös kehittämiskohteita työmaan turvallisuuteen liittyen mm. liikenteen ohjaamisessa työskentelyn aikana. Tämän osalta on myös sittemmin tehty korjaavia toimia.

Toteutetaan hanke sitten kokonaisuudessaan ulkopuolisella tai tehdään osittain tai kokonaan omana työnä, tulee jatkossa jokaiselle työkohteelle nimetä hankekoordinaattori. Hankekoordinaattori vastaa hankkeen toteutuksen koordinoinnista ja valvomisesta alusta loppuun toimien samalla hankkeessa mukana olevien tahojen yhteyshenkilönä kunnan puolelta. Hankekoordinaattori voi delegoida työtehtäviään eteenpäin, eikä hänen tarvitse selviytyä yksin tehtävästä. Pääasia on, että hankkeilla on selkeästi yksi vetäjä, joka tietää, missä hankkeen kestäessä mennään. Hankekoordinaattorin tulee tuntea koneohjattu työskentely

ja siihen liittyvät erityispiirteet. Mallipohjaisen ja koneohjatun työskentelyn osalta kouluttautuminen on varmasti tarpeen.

## 7.7 Työmaanaikaiset mittaukset

Ratatie hankkeen edetessä työkohteella käytiin projektin luonteeseen nähden aivan liian harvoin. Olisi ollut erittäin mielenkiintoista saada enemmän vertailukelpoista mittausdataa eri työvaiheista. Paikkatietopalveluiden toimesta ei juuri suoritettu pistokoemaisia tarkemittauksia eri rakennekerroksista. Osittain syy lienee uudessa toimintamallissa, jonka opettelu on vielä alkuvaiheessa. Ehdoton kehityskohde tulevaan toimintamalliin on, että jatkossa mittausorganisaatiosta yksi vastuutetaan tietomallikoordinaattoriksi, jolle on varattu aikaa kyseisten tehtävien organisoimiseksi ja valvomiseksi. Varsinaiset mittaukset voi toki tehdä joku muukin, mutta yhden on oltava koko ajan tietoinen työmaista ja niiden vaiheista sekä vaadittavista mittauksista, kontroleista ja näiden dokumentoisesta. Toinen tärkeä mittauksiin liittyvä kehityskohde on mittaus suunnitelman laatiminen. Oma työ toteutettaviin kohteisiin voidaan laatia työprosessikuvaus mittauksen osalta, jossa käydään läpi eri työvaiheiden mittauksen vastuulliset suorittajat sekä sovitaan aineistojen toimitusten aikataulut. Mittaus suunnitelma tulee käydä hankkeen aloituspalaverissa henkilöstön kanssa läpi ennen töihin ryhtymistä, jotta vastuualueet ovat kaikille selvillä.

Oma työ toteutettavissa kohteissa työkoneen kuljettajalta tulee jatkossa edellyttää toteumapisteiden kartoittamista koneohjausyksikön avulla kadunrakennekerroksista sekä maan alle jäävistä kaapeleista ja paineellisista putkista. Toisinaan työskentely voi vaatia välitöntä kaivannon peittämistä, sitä mukaa kuin putkia rakennetaan. Näin voi olla esimerkiksi hyvin pehmeässä maaperässä työskenneltäessä, jolloin täyttämällä estetään putkien liikkuminen. Työkoneella kohteita kartoitettaessa mittaus henkilöstön tarve päivystää koko ajan työmaalla jää vähemmälle, ja resursseja vapautuu muihin töihin. Toki maanalaisia kohteita kartoitetaan sekä tarke- ja toteumamittauksia tehdään rakennekerroksista myös mittaus henkilöstön toimesta työkoneen kartoitusten rinnalla, mutta näin varmistetaan, ettei mitään kohteita jää kartoittamatta. Työkoneella

tehtäviä kartoituksia varten tulee laatia karsittu koodisto, jotta molemmat osapuolet tietävät, mitä kohteita on kartoitettu. Varsinainen toteumatietojen syöttäminen tietojärjestelmiin, kuten mm. Keylight- ja Trimble NIS -sovelluksiin tehdään jatkossakin paikkatietopalveluiden toimesta.

Kartoitusten tarkkuusvaatimusten määrittämiseksi tulee käydä keskustelua Laukaan Vesihuolto Oy:n kanssa ja mahdollisesti laatia mittausohjeistus kohteiden dokumentointimittausten tarkkuusvaatimuksista. Näin voidaan määrittellä tarkemmin, mitä vesihuollon kohteista jatkossa voidaan kartoittaa kaivinkoneella ja mitä tehdään mittaushenkilöstön toimesta. Jos jatkossakin maanrakennusammattimiehet toteuttavat viettoviemärien asentamisen kaivoväleittäin putkilaserin avulla suunnitelmien mukaisesti, voi tarkemittausten suorittaminen mittaushenkilöstön toimesta kaivoista olla riittävä. Maan alle jäävät putket ja niiden varusteet mitattaisiin kaivinkoneella. Näin saadaan dokumentoitua verkoston sijainti, ja maanrakennusammattimiehet huolehtisivat kaatojen suunnitelmien mukaisesta toteutumisesta. Tarkemmittauksia tehtäisiin myös avonaisesta kaivannosta aika ajoin työn kontrolloimiseksi. Edellä kuvattu toimintamalli ei välttämättä täytä Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n esittämiä tarkkuusvaatimuksia, mutta täyttää Traficomien asettamat tarkkuusvaatimukset. Edellä kuvattu menettely vähentäisi mittaushenkilöstön päivystystarvetta oleellisesti työkohteilla.

Vaatus koneohjauslaitteiston käyttämisestä, toteumamittausten suorittamisesta työkoneella sekä mittaus tietojen toimittamisesta tulee edellyttää tulevissa puitesopimus kilpailutuksissa. Samalla tulee määrittää, että kuljettajat ovat koulutettuja laitteiston käyttöön sekä veloitettuja toimittamaan mittaus tiedot tietyn ajan kuluessa työkohteen valmistumisesta halutussa koodistossa ja formaatissa. Toteumamittausten toimitus voisi olla esimerkiksi kahden viikon sisällä työn valmistumisesta tai tiettyjen työvaiheiden valmistumisen jälkeen suuremmissa kohteissa.

Kunnan omissa työkohteissa ei ole järkevää tehdä sekä tarke- että kontrollimitauksia toteuttajan ja tilaajan ollessa sama taho, vaan pelkät tarke- ja toteumamittaukset ovat jatkossa riittävät. Tämä edellyttää, että kaivinkoneelta saadaan

jatkossa ohjeistuksen mukaiset toteumamittaukset oikea-aikaisesti, jotta työn laatua voidaan seurata.

Jatkossa huolehditaan, että työkoneen kalibrointimittaukset tulee dokumentoitua, vaikka vain kevennetyllä menettelyllä. Tätä varten tullaan laatimaan oma-valvontalomake, joka jatkossa täytetään kaivinkoneenkuljettajan tai mittaajan toimesta riippuen kalibrointitavasta. Kalibrointilomakkeet tulee tallentaa hankkeen hakemistoon.

## 8 Yhteenveto

Yksi tämän opinnäytetyön tavoitteista oli tutustuttaa tekijänsä syvällisemmin mallipohjaiseen työskentelyyn sekä koneohjauksen hyödyntämiseen infratyömailla. Toinen tavoite oli kehittää työnantajani Laukaan kunnan ja sen toimintayksikön paikkatietopalveluiden toimintaa tehokkaammaksi ja taloudellisemmaksi, mitä koneohjauksen täysimääräinen hyödyntäminen infrahankkeissa edistää.

Tähän saakka koneohjausta on opeteltu Laukaan kunnassa niin sanotusti kantapään kautta. Näin toimittiin tarkoituksella myös Rata tien pilottihankkeessa, jonka aikana saatiin kerättyä arvokkaita näkemyksiä kehittämiskohteista omana työnä toteutettavien infrakohteiden läpi viemiseksi koneohjausta hyödyntäen. Hankkeen aikana tutustuttiin mallipohjaisen työskentelyn ja koneohjauksen teoriaan ja jalkautettiin sitä pienissä määrin myös käytäntöön. Saatujen oppien hyödyt siirtyvät kuitenkin sovellettavaksi suuremmilta osin tuleviin hankkeisiin, sillä henkilöstöä tulee kouluttaa lisää ja sovelluksia hankkia sujuvan työskentelyn mahdollistamiseksi.

Vaikka kehitettävää ja opeteltavaa on vielä paljon, on suuntaus oikea ja panostaminen havaittuihin kehityskohteisiin on pitkällä aikavälillä yksiselitteisen järkevää. Jo lyhyen pilotoinnin pohjalta voidaan todeta, että kokonaisvaltainen koneohjattu työskentely on taloudellisempaa ja täsmällisempää kuin nykyinen toimintamalli. Opinnäytteen kestäessä koneohjauksen hyödyntämisen edut ja mahdollisuudet ovat hahmottuneet entistä paremmin, ja paljon on toimintaa korjaavia muutoksia ehditty jo tekemään. Opinnäytettä kirjoittaessa ovat seuraavatkin hankkeet edenneet koneohjatusti, ja toiminnan kehittämistä on tehty yhteistyössä yhdyskuntatekniikan suunnittelijan ja kaivinkoneenkuljettajan kanssa.

Tärkeimpinä tämän hetken kehityskohteina näen hankkeenaikaisten mittausten suunnittelun ja toteuttamisen, tietomallien käsittelyn osaamisen ja ennen kaikkea dokumentointiin liittyvien tehtävien kehittämisen. Tällä hetkellä, kun suunnit-

telua ja toteutusta tehdään itselle, jää dokumentointi helposti tekemättä joka vaiheessa, kun tietojen ajatellaan olevan yleisesti oman väen tiedossa ja käytössä. Pilottihanke kuitenkin osoitti, ettei asia välttämättä näin ole.

Toteutetaan hanke sitten kokonaan tai osittain omana työnä tai kilpailutetaan koko hanke tehtäväksi ostopalveluna, tulee Laukaan kunnan työntekijöillä olla riittävä tietämys ja tuntemus toteuttaa hankkeet mallipohjaisesti. Tavoitetilana tulee jatkossa olla ensisijaisesti koneohjattu työskentely.

Vaikka kehitettävien kohteiden lista tuntuu olevan pitkä, olen optimistinen ja uskon, että muutokset ovat lopun viimein nopeasti ratkaistavissa kouluttautumalla ja lisäämällä tietoutta uudesta toimintatavasta. Henkilöstön kiinnostuneisuus uutta toimintatapaa kohtaan on ollut positiivista, ja toimintaa on jo nyt kehitetty matkalla kohti uutta toimintamallia.

Lopuksi haluan esittää kiitokseni Laukaan kunnan henkilöstölle, jonka kanssa koneohjattua työskentelyä on tarkasteltu. On ollut ilo huomata, että kehittämiseen suhtaudutaan työntekijöiden keskuudessa hyvin myönteisesti. Tämä on myös edellytys uuden työskentelytavan sujuvassa käyttöönottamisessa. Erityiskiitoksen haluan esittää Tmi Mika Noroselle, kaivinkoneurakoitsijalle, jonka kehitysmuuntoisen suhtautumisen ansiosta opinnäytetyöni laatiminen aiheesta oli ylipäättään mahdollista.

## Lähteet

- 1 Tilastotietoa Laukaan kunnasta. Verkkoaineisto. Laukaan kunta. 2021. <<https://www.laukaa.fi/asukkaat/kunta-ja-paatoksenteko/tietoa-laukaasta/tilastotietoa-laukaan-kunnasta/#d36b2861>> Luettu 19.3.2022
- 2 Laukaan kunnan talousarvio 2022. Verkkoaineisto. Laukaan kunta. 2021. <[https://www.laukaa.fi/asukkaat/wp-content/uploads/sites/2/2021/11/Talousarvio-2022\\_ja\\_toimintasuunnitelma\\_2023-2024\\_Kunnanjohtajan\\_talousarvioesitys.pdf](https://www.laukaa.fi/asukkaat/wp-content/uploads/sites/2/2021/11/Talousarvio-2022_ja_toimintasuunnitelma_2023-2024_Kunnanjohtajan_talousarvioesitys.pdf)> 4.11.2021. Luettu 19.3.2022
- 3 Smolander, Antti. 2020. Vesihuollon kehittämissuunnitelman päivitys. Verkkoaineisto. Laukaan kunta. <<http://laukaa02.oncloudos.com/kokous/20211953-1-1.PDF>> 1.12.2020. Luettu 19.3.2022
- 4 Kilpeläinen Pekka, Nevala Kalervo, Tukeva Pirkka, Rannanjärvi Leila, Näyhä Tuomo ja Parkkila Tommi. 2004. Älykäs tietyömaa, Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. VTT tiedotteita 2255. Verkkoaineisto <[www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf)> Luettu 15.1.2022
- 5 This is the Tara system. Volvo Autonomous solutions. 2022. Verkkoaineisto. <<https://www.volvoautonomoussolutions.com/en-en/our-solutions/our-pilots/tara.html>> Luettu 15.1.2022
- 6 What is a Frontrunner AHS truck, and how do they operate? 2022. Verkkoaineisto. Komatsu. <<https://www.komatsu.co.nz/innovation/autonomous-haulage-system/what-is-a-frontrunner-ahs-truck,-and-how-do-they-o>> Luettu 15.1.2022
- 7 Ketola, Jarkko. 2018. Koneohjauksen käyttöönotto pk-maarakennusyrityksessä. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 8 Trimnet VRS-palvelu. 2022. Verkkoaineisto. Geotrim Oy. <<https://geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs/>> Luettu 19.3.2022
- 9 HxGN SmartNet. 2022. Verkkoaineisto. Hexagon. <<https://hxgnsmartnet.com/fi-fi>> Luettu 31.1.2022
- 10 FINPOS-paikannuspalvelu. 2022. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/finpos-paikannuspalvelu>> Luettu 29.1.2022
- 11 Uusi verkko-RTK -palvelu Suomeen. Verkkoaineisto. Karera Oy. <<https://karera.fi/uusi-verkko-rtk-palvelu-suomeen-valmis/>> Luettu 1.2.2022

- 12 Tampere rakensi tarkan satelliittipaikannuksen tukiasemia. Tampereen kaupungin tiedote. Julkaistu 13.6.2018. Verkkoaineisto. Tampereen kaupunki. <[https://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2018/06/13062018\\_1.html](https://www.tampere.fi/tampereen-kaupunki/ajankohtaista/tiedotteet/2018/06/13062018_1.html)> Luettu 31.1.2022
- 13 Laurila, Pasi. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 2012. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3
- 14 Tietomalli. TePa-Termipankki. Verkkoaineisto. Sanastokeskus. <<https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/tietomalli>> Luettu 5.2.2022
- 15 Mikä on tietomalli? 2020. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli->> Luettu 31.1.2022
- 16 Näin toimimme. 2022. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <<https://buildingsmart.fi/nain-toimimme>> Luettu 31.1.2022
- 17 Yleiset inframallivaatimukset (YIV). 2022. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2021/10/Yleiset\\_inframallivaatimukset.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2021/10/Yleiset_inframallivaatimukset.pdf)>
- 18 Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. 2017. Liikenneviraston ohjeita 12/2017. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-12\\_tie\\_ratahankkeiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf)>
- 19 InfraBIM-nimikkeistö. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>> Luettu 19.2.2022
- 20 Infra rakentajakoodaus. Saate. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <[https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2018/08/Saate\\_Infra-Rakentajakoodaus\\_20180815.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2018/08/Saate_Infra-Rakentajakoodaus_20180815.pdf)> Luettu 19.2.2022
- 21 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot, Mittausohje. 2017. Liikenneviraston ohjeita 18/2017. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-18\\_maastotiedot\\_mittausohje\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf)>
- 22 InfraRYL. 2021/2, 29.12.2021. RT-tietoväylä tietokanta julkaisu. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <[https://ryl-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/ryl/InfraRYL/2021\\_2/](https://ryl-rakennustieto-fi.ezproxy.metropolia.fi/ryl/InfraRYL/2021_2/)>



- 23 Määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta (71/2020M). 2020. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, Kyberturvallisuuskeskus. <[https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys\\_71\\_verkkotietojen\\_ja\\_verkon\\_rakentamissuunnitelmien\\_toimittamisesta.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/regulation/M%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ys_71_verkkotietojen_ja_verkon_rakentamissuunnitelmien_toimittamisesta.pdf)> Luettu 2.3.2022
- 24 Sijaintitietopalvelu etenee- Verkkotietojen toimittamisen rajapintakuvaukset julkaistu. 2021. Verkkoaineisto. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom, Kyberturvallisuuskeskus. <<https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/ajankohtaista/liikenne-ja-viestintavirasto-traficomin-sijaintitietopalvelun-valmistelu-etenee>> Luettu 2.3.2022
- 25 Tievalaistusverkon kartoitus ja digitointi. Liikenneviraston ohjeita 27/2018. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2018-27\\_tievalaistusverkon\\_kartoitus\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-27_tievalaistusverkon_kartoitus_web.pdf)>
- 26 Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 66. 2021. Verkkoaineisto. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. <[https://www.vvy.fi/site/assets/files/5659/vesihuoltoverkosto\\_004\\_19022021.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/5659/vesihuoltoverkosto_004_19022021.pdf)> Luettu 3.3.2022
- 27 JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Julkisen hallinnon suositukset, järjestelmä lakkautettu 1.1.2020 tiedonhallintalain voimaantulon myötä. Verkkoaineisto. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta (JUHTA). <<https://www.suomidigi.fi/ohjeet-ja-tuki/jhs-suositukset/jhs-185-asebakaavan-pohjakartan-laatiminen>> Luettu 2.3.2022

## Kuvia Ratatien työmaan varrelta



Ensi askelia Ratatien kevyen liikenteen väylän rakentamiseksi





Kevyen liikenteen väylän pohja kaivettu perusmaalle





Kuva kevyen liikenteen väylän alusta ennen puun kaatoa



Kuva otettuna lähes samalta paikalta, väylän valmistuttua. (Kuva: Santeri Ruuska)





Ratatien ja kevyen liikenteen väylän kerroksia



Keuyen liikenteen väylän kerroksia





Kuva Ratatien, Karjalantien ja kevyen liikenteen väylän risteyksestä

Kuvia valmiista kohteesta



Kuva: Santeri Ruuska





Kuva: Santeri Ruuska



Kuva: Santeri Ruuska