



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

INFRARAKENTAMISEN MITTAUS- TYÖT JA TIETOMALLINNUS

TEKIJÄ: Hanna-Riikka Kleemola

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Hanna-Riikka Kleemola			
Työn nimi Infrarakentamisen mittaukset ja tietomallinnus			
Päiväys	19.2.2018	Sivumäärä/Liitteet	43/2
Ohjaajat Tuntiopettaja Juha Pakarinen ja tuntiopettaja Kai Auvinen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion kaupunki kuntatekniikkaliikelaitos Mestar, infra ja energia			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli mittaukset ja tietomallinnuksen olemassa olevien resurssien tutkiminen rakentamisen työryhmissä Mestarilla. Tarve selvittää mittaus- ja tietomallinnustyön resursseja syntyy nykypäivän mittaustekniikan vaatimuksista ymmärtää eri mittausvälineitä, paikannustekniikoita ja tietotekniikkaa. Mittaaminen on rakentamisen avainasemassa oleva tehtävä ja sen onnistuneeseen suorittamiseen tarvitaan sitoutumista ja osaamista.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuus koostuu rakentamisen aikana suoritettavien mittauksien laadusta välineineen sekä tietomallinnuksen ja koneohjauksen perusteista. Mittaukseen ja tietomallinnukseen liittyvää tutkimustyötä koskevat tulokset saatiin työmaapäälliköille teetetyssä kyselyssä sekä haastatteluiden avulla. Lisäksi opinnäytetyön taustalla tehtiin haastattelun avulla pienimuotoinen selvitys mittaus- ja tutkimustyöryhmän taloudellisesta nykytilanteesta.</p> <p>Tämän opinnäytetyön teoriakokonaisuutta voidaan hyödyntää mittaukseen ja siihen tarvittavan välineistön perehdytyksessä. Tutkimustyön tuloksena muodostui käsitys työryhmien resursseista ja lisäksi selvisi mahdollisia kehitysideoita mittaustehtävien työohjaukseen ja tietomallinnukseen liittyen. Opinnäytetyön taustalla saatiin selvitettyä mittaus- ja tutkimustyöryhmän tilannekatsausta.</p>			
Avainsanat Mittaus, mittausvälineet, tietomallinnus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author Hanna-Riikka Kleemola			
Title of Thesis Measuring Work and Data Modelling in Infrastructure Construction			
Date	19 February 2018	Pages/Appendices	43/2
Supervisors Mr Juha Pakarinen, Lecturer and Mr Kai Auvinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Municipal Enterprise of City of Kuopio			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to research the resources of measurement work and data modelling work at Mestar. Resource information is needed because today's measurement technology requires knowledge of positioning techniques and information technology skills. The measurement work has a key role on construction sites.</p> <p>The theoretical part of the thesis consists of a compilation of high-quality measurement work and tools as well as data modeling and machine control. The research was carried out by using a questionnaire and interviews which were made with the site managers. The results were compiled in an attachment. In addition, the economic situation of the research and work group was studied by using a short interview.</p> <p>The theoretical part of the thesis can be utilized when introducing measuring and the required tools. This research gave a picture of the resources available to the working group as well as ideas for controlling work. Information about the economic situation at the measuring and research group was also obtained.</p>			
Keywords measurement, measuring equipment, data modelling			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Kuopion kaupunki kuntatekniikkaliikelaitos Mestar, infra- ja energiayksikkö	6
1.2	Työn tausta ja tavoitteet	6
1.3	Käsitteitä	6
2	YLEISTÄ MITTAUKSESTA	8
2.1	Laadukas mittaaminen työmaalla	8
2.2	Mittaustehtävien lähtökohdat ja tavoitteet	8
2.3	Mittauksen suunnittelu ja työmaalle merkitseminen	9
2.4	Virhemittaukset	10
2.5	Mittausten toteutustarkkuudet	11
3	MITTAUSVÄLINEET	12
3.1	Lasermittalaitteet	12
3.1.1	Tasolaser	12
3.1.2	Putkilaser	13
3.2	Takymetri	13
3.3	GPS/GNSS-pohjaiset mittauslaitteet	14
3.3.1	Absoluuttinen paikannus	15
3.3.2	Differentiaalinen paikannus	15
3.3.3	Suhteellinen mittaus	16
3.3.4	Mittaus työmaalla	16
3.4	Mittanauha, -kela ja -pyörä	17
4	TIETOMALLINTAMINEN INFRA-ALALLA	19
4.1	Yleistä tietomallintamisesta	19
4.1.1	Mallinnusohjeet	20
4.1.2	Tiedonsiirto	21
4.1.3	Nimikkeistöt	22
5	KONEOHJAUS	23
5.1	Työkoneautomaatio	23
5.2	3D-koneohjaus	23
5.2.1	3D-koneohjausmalli	25
5.2.2	Työkoneen paikannus	25

6	MITTAAMISEN MENETTELYTAVAT JA TYÖVÄLINEET RAKENTAMISEN AIKANA.....	28
6.1	Mittaustyön riittävät resurssit työmaan tehokkaaseen sujumiseen	28
6.2	Perinteinen työmaa vai koneohjaus?.....	29
7	KYSELYTUTKIMUS MITTAUSTEHTÄVIEN JA TIETOMALLINNUKSEN RESURSSISTA RAKENTAMISEN TYÖRYHMISSÄ MESTARILLA	31
7.1	Yleistietoa kyselyn 1.osiosta	31
7.1.1	Käytössä oleva mittausvälineistö ja osaaminen	31
7.2	Yleistietoa kyselyn 2.osiosta	33
7.2.1	Tietomallintamisen resurssit	34
8	MITTAUS- JA TUTKIMUSTYÖRYHMÄN TILANNEKATSAUS.....	35
8.1	Mittauspäällikön haastattelu	35
9	YHTEENVETO.....	36
9.1	Pohdinta	36
9.2	Tutkimuskyselyjen pohjalta ehdotettavia kehitysideoita.....	37
	LÄHTEET	39

1 JOHDANTO

1.1 Kuopion kaupunki kuntatekniikkaliikelaitos Mestar, infra- ja energiayksikkö

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Kuopion kaupungin kokonaan omistama liikelaitos Mestar. Opinnäytetyössä kohdennettuna on liikelaitoksen infra- ja energiayksikkö. Jatkossa käytän opinnäytetyössä toimeksiantajasta aputoiminimeä Mestar. Kokonaisuudessaan Mestarin tuottamia palveluja ovat yhdyskuntarakentaminen, katujen, liikenneväylien, viheralueiden ja liikuntapaikkojen kunnossapito ja puhtaanapito sekä sähkö- ja valaistusverkkojen rakentaminen ja ylläpito. Mestarin missiona on olla kasvavan ja kehittyvän elinympäristön rakentaja ja ylläpitäjä sekä tuottaa kokonaisvaltaisia palveluja jatkuvasti kehittyen. Mestar on tunnettu infra- ja energiasektorin palveluntuottaja. (Mestar.fi.)

1.2 Työn tausta ja tavoitteet

Mestaria kiinnostaa mittaus- ja tietomallinnustehtävien nykytilanne omassa yksikössään eri työmaaryhmissä. Tässä opinnäytetyössä perehdytään kyseisten tehtävien olemassa olevaan resurssitilanteeseen sekä työnohjaukseen, ja selvitetään mahdollisia uusia toimintaperiaatteita ja kehitysideoita. Opinnäytetyössä esitellään rakentamisen aikana tarvittavaa yleistä mittaustietoa ja -välineistöä sekä tietomallinnuksen kautta esitellään perusteita myös 3D-koneohjauksesta. Aluksi perehdytään mittaustehtävien suorittamiseen sekä rakentamisen aikana tarvittavaan mittausvälineistöön, jonka jälkeen työssä käsitellään myös tietomallintamisen ja 3D-koneohjauksen perusasioita. Opinnäytetyön tavoitteena on saada selville tapoja ja mahdollisuuksia, joilla työmaaryhmien ja mittaryhmän toimintaa saadaan kehitettyä kustannustehokkaampaan suuntaan sekä parannettua ryhmien välisiä resursseja ja mittaustehtävien työnohjausta. Lisäksi työssä selvitetään tietomallintamisen mahdollisuutta Mestarilla ja analysoidaan mittausryhmän taloudellista tilannetta. Työssä toteutetaan kaksiosainen kysely työryhmien työmaapäälliköille ja haastatellaan olennaisessa asemassa olevaa mittauspäälliköä. Kyselyn avulla haetaan kehitysideoita mittaustehtävien työnohjaukseen ja otetaan selvää työryhmillä käytössä olevasta mittaustehtävien suorittamiseen liittyvästä resurssitilanteesta. Kysely toteutetaan työmaapäälliköille sähköpostin välityksellä toimitetun kyselylinkin avulla, jolloin vastaukset tallentuvat sähköisesti. Hyvin organisoidulla työnohjauksella, ammattitaitoisilla työntekijöillä sekä toimivalla välineistöllä saadaan työn tekemisestä sujuvaa ja tuotteliasta.

1.3 Käsitteitä

C/A-koodi	Coarse acquisition eli satelliitin lähettämä signaali (paikannuskoodi), joka on tarkoitettu siviilikäyttöön.
Galileo	Euroopan unionin suunnittelema paikannusjärjestelmä, jonka tämän hetkinen arvioitu lopullinen valmistuminen on vuoteen 2020 mennessä.
GLONASS	Venäjän ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.

GNSS	Global Navigation Satellite Systems on kaikkien eri paikannusjärjestelmien yhteisnimitys.
GPS	Global Positioning System eli satelliittipaikannusjärjestelmä, jonka on kehittänyt ja ylläpitää Yhdysvallat.
Infra 2015-nimikkeistöjärjestelmä	Infran rakennusosa- ja hankenimikkeistön ja määrittämissuositusten päivittynyt nykyinen nimitys.
InfraBim	Inframallintamisen yhteistyöfoorumi.
InfraBim-nimikkeistö	Suunnittelu-, mittaus- ja tietomallinimikkeistö.
Infra FINBIM	RYM Oy:n PRE-tutkimusohjelmaan kuuluva (InfraFINBIM-)työpaketti, jonka aikana kehittyi Yleiset inframallivaatimukset, InfraBIM-nimikkeistö ja Inframodel-tiedonsiirtoformaatti.
Inframalli	Pysyvä nimitys, jota käytetään infra-alan tietomallista.
InfraRyl	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
LandXML	XML-pohjainen tiedonsiirtoformaatti, joka sisältää määrittelyt infra- ja mittaus tiedolle (InfraBim-sanasto, versio_0.7).
Rajapinta	Liittymä, jonka kautta on mahdollista siirtää tietoja ohjelmistojen välillä tai ohjelmiston ja käyttäjän välillä (InfraBim-sanasto, versio_0.7).
RTK-GPS	Real Time Kinetic eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, jota käytetään GPS-mittauksen yhteydessä koneohjauksessa.
RTS	Rakennustietosäätiö Oy.
Tiedonsiirtoformaatti	Tietokonesovelluksilla tulkittava muoto tiedolle, sen tallentamiseksi, saantiin, siirtoon ja arkistointiin (InfraBim-sanasto, versio_0.7).
Tietomalli	Infrakohteen tai tietyn rakenteen kolmiulotteinen esittäminen digitaalisessa muodossa ominaisuustietoineen.
YIV2015	Yleiset inframallivaatimukset 2015, http://www.infrabim.fi/yiv

2 YLEISTÄ MITTAUKSESTA

2.1 Laadukas mittaaminen työmaalla

Mittaustehtävien motivoitunut ja tarkka suorittaminen työmaalla on tärkeä perusta onnistuneelle ja sujuvalle rakentamiselle. Rakentamisessa on paljon erilaisia työtehtäviä työmaan aloitus-, rakentamis- ja lopetusvaiheessa, jotka vaativat aina mittauustyötä. Kaikki eri työvaiheet liittyvät ja järjestäytyvät keskenään toisiinsa, ja seuraavaksi alkavien työvaiheiden toteutuminen vaatii aina edellisen työvaiheen onnistumista. Työmaamittaaminen on tarkkuutta vaativaa työtä, joten työmaan käytössä olevien mittausvälineiden tulee olla nykypäivään sopivia, toimivia ja luotettavia. (Topgeo.fi.)

Toimivien ja laadukkaiden mittausvälineiden lisäksi, mittauustyötä tekevien on ymmärrettävä ja osattava tehtävänsä riittävän hyvin. Mittauustyötä suorittavan täytyy tietää tehtävän suorittamiseen tarvittava aika, jotta mittavirheiden määrä ei kasvaisi kiirehtimisen takia. Jos mittauustyötä yrittää suorittaa liian nopeasti tai mittaaja ylikuormittuu tehtävien määrästä, voi se aiheuttaa mittaajan turhaantumisen ja todennäköisyys virheiden tekemiseen suurenee sekä suorituskyky pienenee. Työmaan sujuvuuden kannalta on tärkeää toimia niin mittaustryöntekijän kuin laitteiden edellyttämien tarpeiden puitteissa. Mittalaitteiden käyttöedellytysten tärkeän osan muodostavat olosuhteet, välineiden kunto ja viimeisimmistä kalibroinnista kulunut aika. (Aumala 2006, 157.)

Rakennustyömaan koko toiminnan ja tehtävien onnistumisen kannalta tärkeää on, että mittausvälineet ja -laitteet toimivat luotettavasti. Huolletuilla, kalibroiduilla ja toimivilla mittausvälineillä saadaan kustannustehokkuutta, koska toimintakuntoiset välineet nopeuttavat työn sujuvuutta ja parantavat työn laatua. (Topgeo.fi.) Opinnäytetyössä käsiteltävän aiheen keskiössä rakentamisen aikana tapahtuvien mittauksien yhteydessä käytettäviä mittavälineitä ovat lasermittalaitteet, takymetrit, GPS/GNSS-pohjaiset laitteet sekä perinteiset käsikäyttöiset mittanauhut ja -kelat.

2.2 Mittaustehtävien lähtökohdat ja tavoitteet

Viimeisimpien vuosikymmenien aikana mittaamiseen tarvittava tekniikka on edennyt nopeasti eteenpäin ja kehittyneempään suuntaan. Nykypäivänä mittaustekniikan pääsääntöisenä ominaispiirteenä on globaalien, maailmanlaajuisesti toimivien paikannustekniikoiden käyttö sekä sitoutuminen tietotekniikkaan. Vanhat pitkään käytössä olleet mittalaitteet ovat päivitetty uudenaikaisiin mittalaitteisiin ja -järjestelmiin. (Laurila 2008, 3.) Tämän päivän rakentamisen ominaispiirteisiin kuuluu, että suunnitelmat tehdään lähes poikkeuksetta suunnitteluohjelman avulla. Näin ollen mittaus- ja kartoitustyöt alkavat työmaalla jo suunnitteluvaiheessa, ja silloin mittaustehtävien tavoitteena on saada riittävät lähtökohtatiedot suunnitteluohjelman pohjatiedoksi. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 7.)

Suurimmassa osassa rakentamisen eri vaiheissa tarvitaan mittaustekniikkaa ja mittausvälineitä. Usein mitä vaativammasta työkohteesta on kyse, sitä enemmän mittausvälineitä ja mittaustaitoisia tarvitaan. Työmaalla rakentamisen aikana rakennuskohteen helpommat suoritukset tai alustavasti rakenteen sijainnin kartoittavat maastoonmerkinnät voidaan tehdä perinteisimmillä välineillä olosuh-

teiden salliessa. Tällaiset merkinnät voidaan tehdä mittanauhalla ja spray-maalilla, koska se on riittävän tarkka menetelmä ei-vaativan ja pienimuotoisemman rakenteen mittauksessa. Mittanauhalla etäisyyksiä mitatessa työmaalla tarvitaan kiintopisteitä, joiden avulla etäisyyden mittaaminen onnistuu. Kuitenkin suuremmalla työmaalla, jossa on laajoja ja tarkkuutta vaativia rakenteita, on usein järkevää käyttää GPS/GNSS-pohjaisia mittavälineitä ja mittauksen ammattilaista mittaustehtävässä. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 7.)

Mittaus ohjaa hyvin vahvasti rakentamista. Mittaustehtävissä tärkeää on tavoitella mahdollisimman varmaa ja tarkkaa merkitsemistä rakennustyömaalla. Toimintavarmuuden ja tarkan maastonmerkinnän avulla pystytään saavuttamaan suunnitelmissa asetetut toleranssit ja näin pystytään minimoimaan virheiden mahdollisuutta. Rakennustyömaalla mittaaminen ja paikantaminen ovat tärkeitä ja hyvin keskeisiä työvaiheita työn sujuvuuden ja onnistumisen kannalta. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 7.)

2.3 Mittauksen suunnittelu ja työmaalle merkitseminen

Työmaalla suoritettava mittaustyö on suunniteltava etukäteen niin hyvin kuin tehtävä sen mahdollistaa. Ennen mittaustyöhön ryhtymistä mittaajan on selvitettävä mitä on aikomus mitata ja millä välineillä mittaustyö on kannattavinta tehdä. Toteutuksen kannalta selvitetään suunnitelmia apuna käyttäen, mitkä työmaan maaston merkkaukset ovat työn etenemisen ja sujuvuuden kannalta oleelliset. Hyvällä suunnittelulla minimoidaan riskit turhien tai epäolennaisten mittausten suorittamiselle, jotka kuluttavat turhaan aikaa. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 48.)

Mittaustehtävien suunnitteluun kuuluvat kaikki tarvittavat tiedot rakennustyömaalla olevista mittatavista rakenteista. Mittaustehtävää suunniteltaessa määritetään käytettävät mittaus- ja merkintävälineet, suoritustapa ja mahdolliset ennakoitavat laskutoimitukset lasketaan etukäteen. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 48.) Mittaustehtävien sujuvuuden kannalta, pitää:

- jokaisen työvaiheen mittaustehtäviin tutustua kunnolla
- käyttäjän ymmärtää mittaustehtävän tarkoitus ja pystyä suorittamaan se oikein
- laitteiden akkujen olla ladattuina
- tarvikkeiden olla kunnossa
- mittausvälineiden olla työmaalla käyttöetäisyydellä tai vähintäänkin tiedettävä jo etukäteen mistä ne löytyvät
- varmistaa työvaiheiden oikea etenemisjärjestys.

(Rantanen, 2001, 24.)

Työmaalla, jossa mittaustyöt suoritetaan perinteisemmin eikä esimerkiksi koneohjausta käyttäen, käy mittaushenkilö tekemässä työmaalle rakentamiseen tarvittavat maastonmerkinnät. Mitatut tiedot merkitään työmaalla mittapaaluina, jotka ovat usein 50 x 50mm:n rimaa. Mittapaaluihin kiinnitetyillä sihtilapuilla on mahdollista havainnollistaa kohteen korkeusasemia. Usein merkkaukseen on mahdollista käyttää myös merkkaukseen, jolloin merkinnät tehdään suoraan maanpintaan. Merk-

kausmaalin käytön ongelmana on sen huono pysyvyys sekä kulutuksenkestävyys maanpinnassa. (Kivinen 2016, 45.)

Työmaan rakentamisen ohjausta varten paikoilleen mitattujen merkkipaalujen sijainti ei saa olla sellainen, että ne kohtuuttomasti vaikeuttavat tai estävät työmaaliikennettä ja työkoneiden työskentelyä. Usein mittapaalujen ongelmana on niiden kaatuminen, paikaltaan siirtyminen kohdennetusta paikasta tai korkeusasemasta tai ne voidaan myös tahallisesti kaataa, jolloin kaikista vaihtoehto tilanteista aiheutuu lisätyötä mittaushenkilöstölle, koska mittaus ja merkintä on suoritettava uudelleen. (Kivinen 2016, 45.) Työn sujuvuuden kannalta mittapaaluja mitataan paikoilleen kerrallaan vain tarvittavaan työvaiheeseen liittyvät merkittävät kohdat. Työmaan rakenteilla olevan työvaiheen ohjaukseen liittyvien tärkeimpien mittapaalujen (mm. geometristen kuvioiden, kulma ja keskipisteet, rakenteiden alkamis- ja loppumiskohdat jne) sijainti varmistetaan varamerkeillä mittapaalun siirtymäriskein varalta. Varamerkkien tarkoitus on tarvittaessa auttaa merkitsemään mittapaalu uudelleen paikoilleen tai varamerkkien avulla tarkistamaan rakenteen sijainti. (Soini 2009, 69.)

Merkkipaalut kannattaa mahdollisuuksien mukaan sijoittaa varsinaisen sijaintikohdan ulkopuolelle, etteivät ne haittaisi konetyöskentelyä. Merkkipaalujen sijaintikohdan ulkopuolelle asettamisessa kannattaa käyttää samaa mittamäärää jokaisen paalun kohdalla, jotta se on helposti muistettavissa. Työmaan mittaustietojen tai mittaushenkilön puuttuessa aiheutuu työmaalle viivästyksiä, koska etenkin yllättäen tulleiden mittauksien suorittamiseen menee lisää aikaa. Työmaalla suoritettavien mittaustehtävien merkkiaustavassa kannattaa noudattaa yhtenevää käytäntöä, jotta eri merkintöjen tulkitsemisesta ei muodostu ongelmaa ja väärinymmärrystä. (Soini 2009, 68; Kivinen 2016, 45.)

2.4 Virhemittaukset

Kaikki käytännössä suoritettavat mittaustehtävät, ja niistä saadut mittaustulokset ovat virheellisiä. Jokaisessa mittaustehtävässä esiintyy virheitä, koska tehtävästä tai välineestä riippumatta, minkäänlaisista mittauksista ei voida suorittaa absoluuttisen tarkasti. Kuitenkaan mittaustehtäviä suorittaessa, ei tuloksia tarvitse aina pitää virheellisenä. Tunnollisesti suoritetuissa mittaustehtävissä sattuneet mittausvirheet ovat niin pieniä, ettei niistä ole käytännön rakentamisen kannalta haittaa. Mittausvirhe voi liittyä mittauksen suorittajaan tai mittauksessa käytettävään mittausvälineeseen aiheuttamaan virheeseen. Joskus voi myös sattua niin, että suunnitelma tai suunnitelman tulkinta on ollut virheellinen tai virheellisen mittauksen syynä. Virheet jaotellaan usein kolmeen eri luokkaan:

- karkea virhe
- systemaattinen virhe
- satunnainen virhe. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 33.)

Karkeita virheitä aiheuttaa usein huolimattomuus, väärän kohteen havainnointi tai tulkinta- ja kirjausvirhe. Tehtyjä mittauksia ja niistä saatuja tuloksia on syytä ja kannattaa vertailla toisiinsa. Samassa mittauksien yhteydessä voidaan tehdä ylimääräisiä toisistaan riippumattomia havaintoja, jolloin aikaisempien mittaustuloksien vertaaminen niihin onnistuu. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 33.)

Systemaattinen virhe aiheutuu mittausvälineestä, mittaajasta, ympäristötekijöistä tai mittauksen toiminnoista laskelmineen. Jos systemaattisen virheen havaitsee, ja huomaa minkä tekijän aiheuttama virhe on, mittausvirheitä aiheuttavaan epäkohtaan voi vaikuttaa ja korjata sen. Kun mittaus-tehtäviä tehdään rakennustyön yhteydessä, on alueelle tuotujen mittatietojen oikeellisuus kaiken paikallisen mittauksen perusteena, esimerkiksi työmaalle annetun korkomerkin oikeellisuus. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 33.)

Satunnaisessa virheessä on samoja piirteitä ja se johtuu myös osittain samoista tekijöistä kuin systemaattinen virhe. Satunnainen virhe on kuitenkin vaikea ja usein mahdoton havaita. Käytännössä sattunut yksittäinen mittausvirhe voi tulla esiin silmämääräisesti käytännön toteutuksen aikana. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 33.)

2.5 Mittauksien toteutustarkkuudet

Kuten aikaisemmasta kappaleesta 2.4 Virhemittaukset selviää, mittaukset ovat aina jonkin verran virheellisiä, koska absoluuttiseen tarkkuuteen ei ole mahdollista päästä. Jos kyseessä ei kuitenkaan ole selkeästi havaittava mittausvirhe tai -poikkeama tai jokin edellisessä kappaleessa mainituista virhetapauksista, ei niin pienellä virheellä ole merkitystä käytännön toteutuksen kannalta. Mittaus- ja toteutustarkkuuden lähtökohtana on rakennettavan kohteen toteutusvaativuus. Mittaus- ja toteutustarkkuus viherympäristön nurmi- tai kasvialueiden alueella riittää senttimetrin tarkkuudella, mutta kiinteiden ja kovien rakenteiden osalta tarvittaessa käytetään millimetrin tarkkuutta. Yleensä rakentamisen aikana eri kohteiden mittaus- ja toteutustarkkuus selviää suunnitelmista tai tekstimuotoisesta työselostuksesta. Kohteiden mittaus- ja toteutustarkkuus esitetään +/- mm -merkinnällä, jossa plussa (+) tarkoittaa korkeusasetaman poikkeamaa suunnitelmista ylöspäin ja miinus (-) poikkeamaa alaspäin mainitun lukeman verran. Jos suunnitelmissa tai työselosteessa ei mainita kohteen tarkkuusvaatimuksia, tarkastellaan kohdetta ja sen tarkkuusvaatimuksia esimerkiksi InfraRyl Infrarakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 30.)

3 MITTAUSVÄLINEET

3.1 Lasermittalaitteet

Lasertekniikkaa käyttävien mittalaitteiden käyttö on arkipäivää rakentamisen aikana suoritettavissa mittauksissa. Mittaustehtävissä, joissa määritetään korkeutta, on lasersäteen avulla suoritettava mitaustapa yleisin käytetyistä. Lasersäteen avulla tapahtuvassa korkeudenmittausmenetelmässä tärkein on näkyvä tai näkymätön infrapunasäde ja tunnettu korkeusasema. Lasersäde voi olla pysty- tai vaakasuorassa tai lasersäteen voi säätää osoittamaan haluttua kaltevuutta. Rakentamisen aikana käytettävistä lasermittalaitteista käytetyimmät ovat taso- ja putkilaser. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 61–63.)

3.1.1 Tasolaser

Tasolaser on mittalaite, joka käyttää pyörivää infrapunasädettä korkeusaseman määrittämiseen. Useimmiten tasolaser pystytetään työmaalle pystysuunnassa säätävään kolmijalkaan, ja tasataan silmämääräisesti vaakasuoraan. Nykyaikaisissa tasolasereissa on itsetasaava koje, jonka avulla tasolaser tasaa itsensä karkean tasauksen jälkeen vaakasuoraan. Pystysuunnassa säätävän jalan avulla kone saadaan säädettyä haluttuun korkeuteen. Tasolaserilla voi tehdä rakennustyömalla korkeudenmittauksia yhden henkilön voimin. Jos tasolaserin ja tunnetun korkeusaseman sijainnin välillä on pidempi välimatka, tapahtuu tasolaserin korkeuden säätäminen halutulle korkeusasemalla kahden ihmisen voimin helpommin. Tasolaserin lasersäteen lajuus on tavallisesti satoja metrejä, ja mittaus-tuloksien määrittämisen tarkkuus riippuu käytössä olevan laitteen ominaisuuksista ja syötetyistä vastaanottimen säädöistä. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 61–63.)

Jos tasolaser lähettää näkyvää sädettä, voidaan yksinkertaisemmissa mittaustehtävissä laitteen antamia korkeuksia mitata tavallisella mittanauhalla ja vaikka puurimaa apuna käyttäen. Tavallisemmin mittauskorkeuksien lukemiseen käytetään kuitenkin lattaa ja lasersäteen korkeutta lukevaa vastaanotinta. Vastaanottimissa pystyy säätämään halutun toleranssin, joka määrittää mittaus-tuloksen tarkkuuden. Rakennuskohteen vaativuustasosta ja toleransseista riippuen kannattaa vastaanottimen tarkkuussäätö asettaa sen mukaisesti, että vaadittu tarkkuus on riittävä. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 61–63.)

Perinteinen mittaustyö kolmijalkaan sijoitetulla tasolaserilla ja vastaanottimella (kuva 1.) on rakenteen asennus tai työvaiheen kaivu haluttuun korkeustasoon. Tasolaserilla pystytään myös ohjaamaan maarakennuskoneen työskentelyä, kiinnittämällä vastaanotin työskentelevään koneeseen tai hyödyntämällä koneessa olevaa omaa vastaanotinta. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 61–63.)



Kuva 1. Laserjalusta, tasolaser ja vastaanotin (Geotrim.fi)

3.1.2 Putkilaser

Rakentamisen aikana käytettävistä lasermittalaitteista toinen tasolaserin lisäksi käytössä oleva perustyyppi on putkilaser. (kuva 2.) Putkilaseria pystyy käyttämään tasolaserin tapaan yhden ihmisen voimin. Putkilaser lähettää pistemäistä sädettä, joka on mahdollista kallistaa. Putkilaseria käytetään nimensä mukaisesti putkien asennustöiden aikana tapahtuvassa mitaamisessa. Putkilaserin lasersäteen avulla pystyy ohjaamaan putkien asennustyön aikana putkien asennuskaltevuutta suunnitelmiin mukaisiksi. Putkilaserissa voidaan kaltevuus määritellä suoraan prosentuaalisesti. (Eskola ja Pelttoniemi 2011, 64.)

Kun putkilaserin on pystyttänyt työmaalla tukevalle alustalle paikoilleen, pystyy sen avulla yksinkertaisimmillaan seuraamaan putken yläpinnan korkeutta tarkoitukseen tehdyllä sopivan mittaisella mittalla tai puurimalla. Uudemmissa ja kehittyneimissä putkilasereiden menetelmissä, voidaan putkilaser pystyttää jalustan varassa putken sisälle, ja säde osoittaa tarkasti putkilinjan keskikohtaa. Tässä kehittyneemmässä menetelmässä käytetään asennettavan putken sisään jalustan varaan asennettavaa vastaanotinta, joka on niin ikään putken keskelle asennettu. (Soini 2009, 72.)



Kuva 2. Putkilaser (Topgeo.fi)

3.2 Takymetri

Takymetrillä mitaamalla selvitetään vaak- ja pystykulmia sekä koneen ja mitattavan kohteen välisiä etäisyyttä. Takymetrimittauksessa haluttuun kohteeseen viedään heijastin, johon koneesta tuleva signaali kohdistetaan, ja mittaustulokset luetaan suoraan näytöltä tai tallennetaan suoraan maastotallentimen avulla koneen muistiin. Mittaustehtävää suoritettaessa mittauspisteen tiedot tallennetaan

näppäimistön avulla koneen muistiin, jolloin halutut pisteet kohdennetaan paikoilleen takymetrin näytölle tulevien ohjeiden mukaisesti. Takymetrit jaetaan mittaustarkkuuden ja ominaisuuksien mukaan eri tyyppeihin. Eri takymetri tyyppejä ovat yleismittaus, rakennusmittaus, teollisuusmittaus ja runkomittauskoneita. (Soini 2009, 63.)

Takymetrimittaukseen tarvitaan kaksi mittaajaa, joista toisen tehtävä on olla kojeella ja toisen prisman kanssa mittauspisteellä. Takymetrit ovat kehittyneet viime vuosikymmeninä erityisesti automaatiotason osalta. Perinteisen takymetrin lisäksi on olemassa robottitakymetri, jonka käyttäminen onnistuu yhden mittaajan voimin koneen automaattisesti prismaa seuraavan ja siihen jatkuvasti kohdistavan ominaisuuden avulla. Automaattisesti prismaa seuraavan toiminnon avulla mittaaja siirtyy pisteeltä toiselle ja tallentaa niiden tiedot maastotallentimeen. (Soini 2009, 63.) Maastotallentimeen voi kerätä mitattua tietoa tai siinä voi olla mittausohjelmistot ja tietojen siirtoon liittyvät toiminnot. Työmaalla rakennettaessa kohteen mittauksen osalta kaikki sijaintitiedot voivat olla takymetrin tiedossa, josta se laskee maastonmerkinnät valmiiksi. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 75.)



Kuva 3. Takymetri (Geotrim.fi)

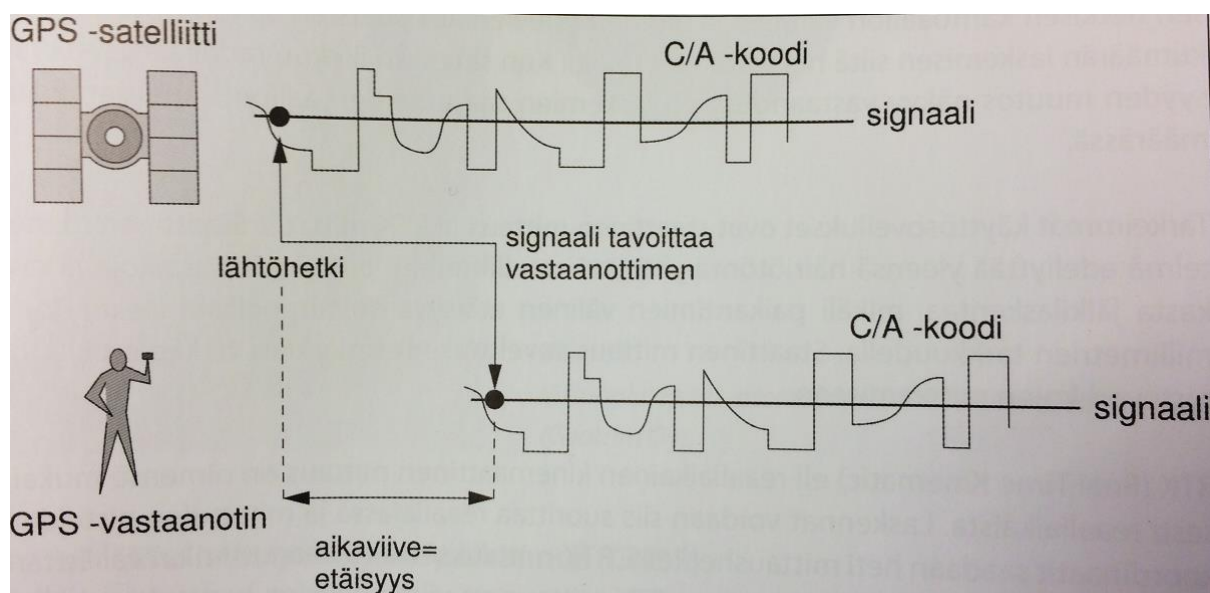
3.3 GPS/GNSS-pohjaiset mittauslaitteet

GNSS-järjestelmä tarkoittaa satelliittipaikannustajärjestelmää, jonka avulla saadaan maailmanlaajuisesta ja reaaliaikaisesta paikannuspalvelusta. GNSS-järjestelmän satelliittipaikannus perustuu nimensä mukaisesti Maata kiertäviin satelliitteihin, jotka lähettävät radiosignaaleja maanpinnalla sijaitseviin vastaanottimiin. Valtaosalle ihmisistä satelliittipaikannus tarkoittaa GPS-paikannusta, joka on Yhdysvaltojen kehittämä ja ylläpitämä paikannusjärjestelmä. Vastaavanlaisia paikannusjärjestelmiä ovat venäläinen GLONASS ja Euroopan Unionin suunnittelema Galileo. Lisäksi myös Kiina, Intia ja Japani rakentavat omia järjestelmiään. GNSS-järjestelmä on yhteisnimitys näille kaikille eri paikannusjärjestelmille. (Laurila 2008, 288,297,300.)

Satelliittipaikannuksessa mittaustapoja kutsutaan mittausmoodeiksi. Eri mittausmoodien jaottelu perustuu mittauksissa käytettäviin havaintosuureisiin, systemaattisten virheiden korjaamistekniikoihin ja havaintolaitteiden lukumääriin. Satelliittipaikannuksessa paikanmäärittämisen perusmittaustavat jaetaan kolmeen ryhmään, jotka ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja suhteellinen mittaus. (Laurila 2008, 288,297,300.)

3.3.1 Absoluuttinen paikannus

Absoluuttinen paikannus on yksinkertaisin ja käytetyin mittaustapa kaikista kolmesta eri mittaustavasta. Se soveltuu parhaiten jokapäiväiseen harrastekäyttöön tai ajoneuvonavigointiin. Absoluuttisessa paikannuksessa käytetään yhtä vastaanotinta, jossa etäisyydenmittaus perustuu satelliittien signaalien C/A-koodihavaintoihin. Satelliitin lähettämän signaalin eli vastaanotetun havaintokoodin vaihetta verrataan vastaanottimessa generoituun vastaavaan koodiin (kuva 3.), saadaan tällä keinolla selville signaalien kulku-aika ja etäisyys satelliittiin. (Laurila 2008, 300–302; Eskola ja Peltoniemi 2011, 86–87.)



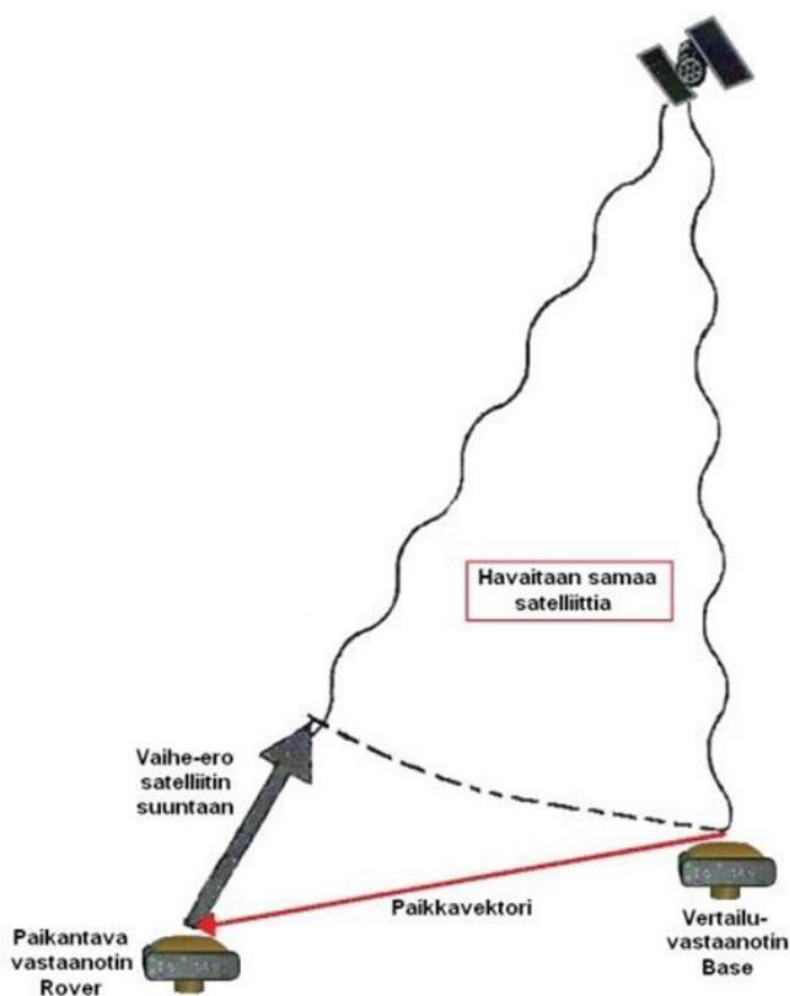
Kuva 4. Absoluuttisessa mittauksessa satelliitin ja vastaanottimen C/A-koodihavainnot (Eskola ja Peltoniemi 2011, 87).

3.3.2 Differentiaalinen paikannus

Differentiaalisessa paikannuksessa (DGPS) etäisyyden mittaus perustuu samoihin C/A-koodihavaintoihin aivan kuin absoluuttisessakin paikannuksessa. Differentiaalisessa paikannusmenetelmässä paikan määrittävää virhettä pyritään pienentämään differentiaalikorjauksella. Eli mittaamisen apuna on tunnistussa pisteessä oleva tukiasema, joka mittaa jatkuvasti havaintopaikan ja satelliitin tunnettuja koordinaatteja vastaavan etäisyyden eli poikkeamaa oikeista koordinaateista. Differentiaalisesti korjattuja etäisyyksiä apuna käyttäen vastaanottimen sijainti saadaan tarkemmin tietoon kuin absoluuttisessa paikannuksessa. (Laurila 2008, 305–306; Eskola ja Peltoniemi 2011, 87.)

3.3.3 Suhteellinen mittaus

Suhteellinen mittaus on kaikista kolmesta mittaustavasta paikanmääritykseltään tarkin. Erona absoluuttiseen ja differentiaaliseen paikannukseen on, että suhteellisessa mittauksessa käytetään C/A-koodihavaintojen vaihe-erojen sijasta mittauksen havaintosuurena satelliittien signaalien kantoaaltojen vaihe-eroja. Suhteellisessa paikanmäärityksessä tarvitaan vähintään kaksi vastaanotinta, vertailuvastaanotin ja paikantava vastaanotin. Vastaanottimista toinen, vertailuvastaanotin, sijaitsee vähintäänkin koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä. Mittausvaiheessa tunnetun pisteen ja paikannuksessa olevan vastaanottimen koordinaattierot ovat tiedossa. Vastaanottimen saavuttaessa satelliitin signaalin, se mittaa sen hetkisen kantoaallon vaiheen ja aloittaa laskemaan kokonaisten aallonpituuksien lukumäärää. (Laurila 2008, 308—310.)



Kuva 5. Suhteellisen mittauksen toimintaperiaate (Laurila 2012, 303)

3.3.4 Mittaus työmaalla

Työmaalla rakennettavia alueita tai rakenteita voidaan merkata maastoon vastaanottimen ja maastotietokoneen (kuva 4.) avulla. Maastotietokoneelta avataan rakennussuunnitelmapakettia, ja näin eri pisteitä tai viivoja voidaan navigoida koneen avulla paikoilleen. Ennen mittauksen aloittamista täytyy määrittää mittaussauvassa kiinni olevan vastaanottimen korkeusasema, jos haluaa määrittää sijain-

nin lisäksi myös korkoja rakenteille tai alueille. Jos vastaanottimen korkeus on määritetty asetuksissa metrin verran väärin, syntyy korkoihin myös metrin verran virhettä. Rakenteen paikoilleen navigoinnin aloittamisessa määritetään lähtöpiste ja määränpää. Laite näyttää nuolella suunnan ja etäisyyden, missä kohde sijaitsee. Kun määränpäästä kohti lähtee kulkemaan, korjaa laite tarvittaessa suuntaa. Määränpään ollessa lähellä näyttö muuttuu erilaiseksi, ja haluttu piste löytyy tarkemmin. Rajalinjoja pystyy merkkamaan työmaalla valitsemalla laitteesta linjatoiminnon, ja antamalla päätepiisteet. Laite havainnollistaa nuolilla linjan suuntaa, jotta haluttu linja tulee työmaalle oikealle kohdalle. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 104.)



Kuva 6. Vastaanotin ja maastotietokone (Geotrim.fi)

3.4 Mittanauha, -kela ja -pyörä

Mittanauhat, -kelat ja pyörät (kuva 5.) ovat mekaanisia etäisyyden mittaamisen välineitä. Mittanauha on käyttökelpoinen väline paikallisten ja lyhyiden vaakatasossa olevien etäisyysmittauksien suorittamiseen. Jos mittaustehtävän aikana joudutaan mittanauhaa pitämään ilmassa, tulee mittauksesta vaikeampaa ja virheiden mahdollisuus suurenee. Mittanauhalla mitattaessa on tärkeää muistaa jännittää nauha tiukalle, jotta ei syntyisi painuman aiheuttamaan mittausvirhettä. Yleensä mittavirheet johtuvat mittanauhan virheellisestä käytöstä tai tulkinnasta, esimerkiksi mittanauhan nollakohdan virheellisestä havainnoinnista. Mittanauhoissa on aina virhettä jo valmiiksi, joka liittyy valmistukseen ja lämpötilaan. Mittanauhat ovat usein 3 m:n tai 5 m:n pituisia, ja niistä pidemmät mittanauhat ovat mittakeloja. Mittakelat ovat rakenteeltaan erilaisia kuin mittanauhat. Mittapyörää käytetään tasaisilla pinnoilla etäisyyden mittamiseen. Laite on varrellinen pyörällä varustettu mittalaite, jossa tuloksen antaa pyörään kiinnitetty matkamittari. Uuden mittauksen alkaessa, mittapyörän matkamittari nollataan. (Eskola ja Peltoniemi 2011, 80,82.)



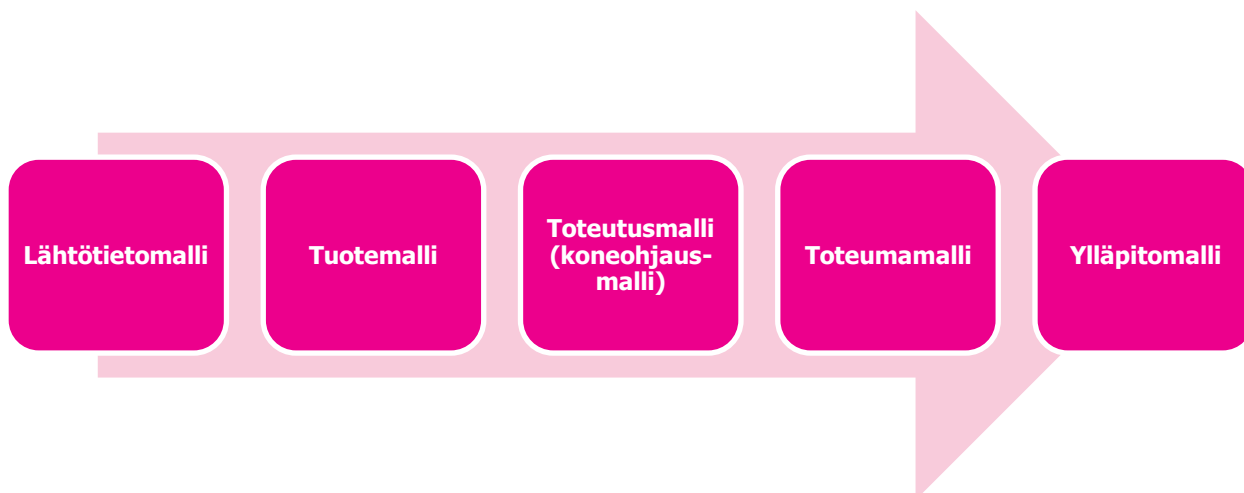
Kuva 7. Mittanauha, mittakela ja mittapyörä (Ahlsell.fi)

4 TIETOMALLINTAMINEN INFRA-ALALLA

4.1 Yleistä tietomallintamisesta

Tietomallintamisen tuotteena syntyy tietomalleja. Tietomallinnus tarkoittaa koko prosessia, jossa tuotettu tieto on käytössä koko hankkeen elinkaaren ajan suunnittelusta kohteen käytöstä poistoon asti. Tietomallinnus mahdollistaa suunnitteluvirheiden ja ongelmakohtien havaitsemisen helpommin ja aikaisemmassa vaiheessa. Yhtenä suurena etuna tietomallinnusta käyttävissä hankkeissa on, että tiedot ovat yhdessä paikassa eivätkä hajallaan monessa eri piirustuksessa ja raportissa. (Kivinen 2016, 11.)

Infra-alalla olevia tietomalleja kutsutaan inframalleiksi. Se auttaa helpottamaan erottelua talonrakennusalan tietomalleista. Inframalli on digitaalinen infrarakenteen kolmiulotteinen kuvaus, johon pystyy liittämään rakenteen ominaisuustietoja. Usein tietomallintamisen ajatellaan olevan vain 3D-muodossa esitettyjä suunnitelmia, mutta siihen liittyy myös monia muitakin asioita liittyen koko hankkeeseen. Mallintamiseen liittyviä teknisiä asioita ovat hankkeen eri vaiheiden suunnitelmien 3D-esitykset, inframallien osa-joukot sekä tietojen hallintaa, siirtämistä ja säilyttämistä eri järjestelmiin yhteensopivassa muodossa. Inframallien osajoukolla tarkoitetaan hankkeen eri vaiheeseen kuuluvien inframallien yhdistelmiä (kuvio 1). (Liikennevirasto.)



Kuvio 1. Esimerkki inframallin osa-joukosta eli eri tietomallit ja niiden järjestys (Kleemola 2018-01-30).

Infrarakentamisessa on käytössä useita eri suunnitteluohjelmistoja, joiden välillä on ollut vähän yhteisiä rajapintoja. Aikaisemmin ei ole ollut olemassa yhteistä tiedonsiirtoformaattia tai mallinnusohjeita, joten tiedon hallinta on ollut hankalaa eri toimijoiden välillä. Nykyisin on saatavilla inframallien yhtenäistämistä helpottavia julkaisuja ja työkaluja (kuva 8). Suunnittelun tueksi ja yhtenäistämiseksi on olemassa Yleiset inframallivaatimukset YIV-ohjekokonaisuus, avoin Inframodel-tiedonsiirtoformaatti ja yhteinen InfraBim-nimikkeistö, jotka ovat syntyneet ja kehittyneet Suomen infra-alan Infra FINBIM-kehityshankkeen tuotoksena. (Liikennevirasto.)

YIV Mallinnusohjeet

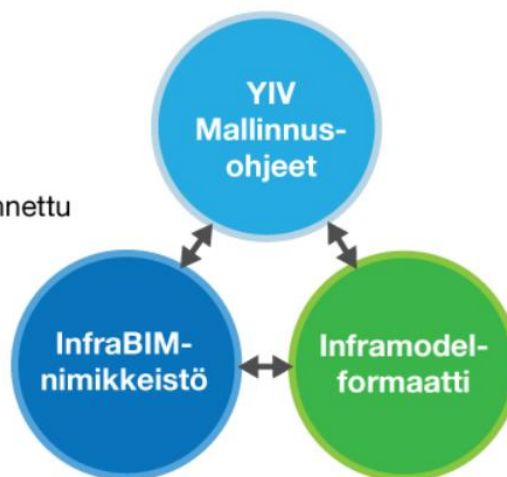
- Mitä ja miten mallinnetaan

InfraBIM-nimikkeistö

- Infra RO-nimikkeistö laajennettu inframallinnusta tukevaksi

Inframodel-formaatti

- Inframodel3
 - Määrittely
 - Käyttöohje



Kuva 8. Inframallien yhtenäistämistä helpottavia julkaisuja ja työkaluja (Buildingsmart.fi.)

Inframallinnuksesta saadaan hyötyjä useissa eri hankkeen vaiheissa koko hankkeen ajan suunnittelusta, toteutukseen ja ylläpitoon. Mallintamisen avulla tiedonkulku paranee ja hankkeeseen liittyvät tiedot tallennetaan keskitetysti samaan paikkaan, jossa niiden päivittäminen onnistuu jatkuvasti. Inframallintaminen uudenaikaisella ohjelmistolla mahdollistaa suunnitelmamuutoksien vaikutuksen näkemisen välittömästi, koska ohjelma päivittää muutoksen alla olevan rakenteen tiedot automaattisesti. Inframallintamisessa suunnittelun edellyttämä aika ei välttämättä pieneä, mutta mallinnus helpottaa eri vaihtoehtojen vertaamista toisiinsa. Tunnetuin nykyaikainen hyöty inframallintamisesta on mahdollisuus tuottaa työmaalle toteutusmalli (koneohjausmalli), jonka lataamalla paikannusta hyödyntävään työmaakoneeseen pystyy koneenkuljettaja näkemään omalta näytöltään rakennettavat kohteet korkotietoineen 3D-kuvana. Työmaalle rakentamista varten tehdyn toteutusmallin lisäksi koko projektin aikana syntyy useita tietomalleja eri vaiheisiin. Muita projektin aikana tarvittavia malleja ovat jo aikaisemmassa kappaleessa esitetyn tiedon mukaisesti esimerkiksi lähtötieto-, tuote-, toteuma- ja ylläpitomalli. (Liikennevirasto.)

4.1.1 Mallinnusohjeet

Suomessa infrarakentamista ohjaa lakien ja asetusten lisäksi InfraRyl, joka koskee infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia. InfraRyl:iin voidaan viitata urakkasopimuksessa, jotta jokaista vaatimusta ei tarvitse erikseen kuvata. InfraRyl sisältää lopputuotteiden toimivuus- ja tekniset vaatimukset. (Liikennevirasto.)

Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta buildingSMART Finland (bSF) on julkaissut Yleiset inframallivaatimukset 2015-ohjeiston (YIV 2015), jonka avulla saadaan selkeä yhteisymmärrys ja ohjeet kaikille hankkeen osapuolille siitä, kuinka hankkeen eri vaiheissa mallinnetaan. Kyseisiä inframallivaatimuksia on tarkoitus käyttää hankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina ja inframallintamisen oh-

jeina. Yleiset inframallivaatimukset 2015- ohjeen valmistelusta on vastannut iso joukko infra-alan yrityksiä ja se koostuu seuraavanlaisista 12 osasta:

1. Tietomallipohjainen hanke
2. Yleiset mallinnusvaatimukset
3. Lähtötiedot
4. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa
5. Rakennemallit; Maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päälly- ja pintarakenteet ja maarakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) ja toteutumamallin laadintaohje
6. Rakennemallit; Järjestelmät
7. Rakennemallit; Rakennustekniset rakennusosat
8. Inframallin laadunvarmistus
9. Määrälaskenta, kustannusarviot
10. Havainnollistaminen
11. Infran hallinta
12. Inframallin hyödyntäminen eri suunnitteluvaiheissa ja infran rakentamisessa.
(Buildingsmart.fi.)

4.1.2 Tiedonsiirto

Tiedonsiirtoa eri ohjelmistojen välillä tarvitaan infrahankkeissa lähes koko projektin ajan, ja etenkin suunnitteluvaiheessa siihen kuluu huomattava osa ajasta. Turhaa työtä ja ajankäyttöä aiheuttavat lukuiset tiedonsiirtoformaatit, joilla tietoja pystyy tallentamaan ja siirtämään. Formaateit ovat usein tekstitiedostoja. Eri formaateissa esitettyjen tekstitiedostojen lukemisessa ongelma on, ettei niitä välttämättä pysty lukemaan muuten kuin joka kerta samalla ohjelmistolla ja käyttöjärjestelmällä. Mikä aiheuttaa ongelmia tilanteessa, jossa toisella on käytössä eri ohjelmistot ja käyttöjärjestelmät. Näiden ongelmien vähentämiseksi on aikoinaan käynnistetty Inframodel-hanke, jonka tarkoituksena oli kehittää tietomallipohjaista tiedonsiirtoa erityisesti infran suunnittelujärjestelmien välillä. (Liukas 2009, 45—53.)

Inframodel-hankkeessa kehittyi Inframodel-formaatti, joka on kaikille infra-alan toimijoille avoin dokumentoitu tiedonsiirtomenetelmä. Inframodel-formaatin menetelmä pohjautuu LandXML-standardiin, joka on teollisuusstandardi infran suunnittelutiedon siirtoon. Inframodel on LandXML-standardin osajoukko, johon on lisätty erilaisia rakennelaajuuksia. Rakennelaajuuksien lisäämisellä on mahdollistettu tiedon siirtoa, joka ei olisi ollut alkuperäisellä LandXML-standardilla mahdollista. Inframodel on suomalaisten kehittämä tiedonsiirtoformaatti, joten se on myös kehitetty suomalaisen käytäntöön sopivaksi. (Liukas 2009, 45—53; Kivinen 2016, 18—19.)

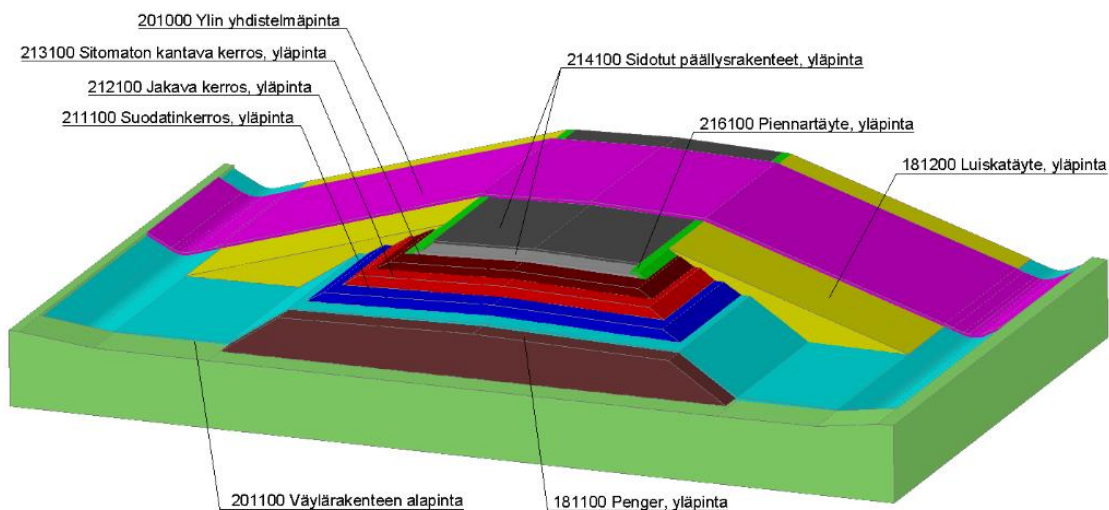
Inframodel-formaattia voidaan käyttää maastomittaustietojen siirrossa, suunnitteluohjelmien välisessä tiedonsiirrossa, suunnitelmamallien arkistoinnissa, toteutusmallien tuottamiseen koneohjausta varten sekä toteuma- tai tarketiedon siirtoon työmaalta suunnittelijalle. Inframodel-formaatin tiedonsiirron avulla hyöttyy esimerkiksi tiedonsiirron ja sen käytäntöjen yhdenmukaistumisesta ja virheiden ja hukkan määrän vähenemisestä. Inframodel-tiedonsiirron pohjana ovat InfraBim-

mallinnusohje ja infran-nimikkeistöjärjestelmä. Inframodel-formaatista on käytössä vuodesta 2014 ollut Inframodel3-versio ja Inframodel4-version käyttöönotto on helmikuussa 2018. (Rts.fi.)

4.1.3 Nimikkeistöt

Nimikkeistöjen tarkoitus on auttaa projekteissa toiminnan johdonmukaisuuteen, jäsentelemään asiat hierarkisesti sekä yhteneväisellä tavalla. Suunnitelmien laatimisessa noudatetaan infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia (InfraRYL) ja INFRA 2015 Rakennusosa- ja hankenimikkeistöä. INFRA 2015 Rakennusosa- ja hankeosanimikkeistö ja määramittausohjeesta käytetään nykyään nimitystä Infra-nimikkeistöjärjestelmä INFRA 2015. INFRA 2015 sisältää osanimikkeistöjä, jotka ovat hankeosanimikkeistö, rakennusosa- ja hankenimikkeistö, panosnimikkeistö, tuotantonimikkeistö ja lopputuote- ja toimenpidenimikkeistö. (Saarnikko 2016, 34–38.)

Tietomallintamiseen on luotu oma nimikkeistö tukemaan infrarakenteiden ja inframallien numerointi- ja nimeämiskäytäntöjä (kuva 7.) tuotteen koko elinkaaren ajaksi. Infrapuolen mallintamisessa käytettävää nimikkeistöä kutsutaan InfraBim-nimikkeistöksi, joka on suunnittelu-, mittaus-, ja tietomallinimikkeistö. InfraBim-nimikkeistö perustuu, tukeutuu ja laajentaa Infra-nimikkeistöjärjestelmän (INFRA 2015) rakennusosanimikkeistöä. Pelkästään INFRA 2015 Rakennusosanimikkeistö ei tarkkuudeltaan riitä tiedonsiirrossa ja mallintamisessa. Yhtenäisellä nimeämiskäytännöllä ja sanastolla pyritään välttämään väärinkäsityksiä, helpottamaan mallinnushankkeita sekä tähtäämään yhteiseen ymmärrykseen käytetystä terminologiasta. (Buildingsmart.fi; Saarnikko 2016, 34–38.)



Kuva 9. Yksiajorataisen tien rakennepinnoit 3D (InfraBim-nimikkeistö, versio 1.6).

5 KONEOHJAUS

5.1 Työkoneautomaatio

Työkoneautomaatio tarkoittaa työkoneeseen asennettuja automatisoituja järjestelmiä kuten paikannuslaitteita tai ohjausjärjestelmiä, joidenka tarkoitus on helpottaa ja auttaa koneen kuljettajaa työssä. Työkoneautomaatioon ja automattiseen korkeuden- ja kallistuksenhallintaa riittää työmaalla esimerkiksi maanrakennuskone, jossa on käytössä tasolasermittaukseen liittyvä ohjaustekniikka. Tällaisella yhdistelmällä työkoneella onnistuu halutun kaivutason tai tasaustason osoittaminen. Jo korkeudenohjauksen avulla pystytään vähentämään mittaustehtäviä työmalla, säästämään materiaaleja sekä minimoimaan virheitä ja turhia töitä. Korkeuden- ja kallistuksenhallintaa voidaan työmaalla käyttää puskukoneissa, tiehöylissä ja kaivinkoneissa. (Topgeo.fi; Novatron.fi.)

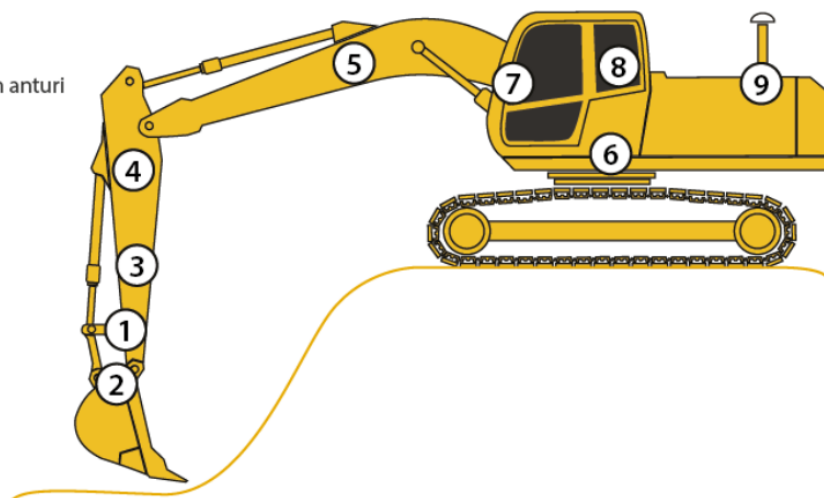
Nykyinen työkoneautomaatio on kehittynyt jo pitkälle hyödyntäen satelliittien avulla tehtävää paikannustekniikka tai takymetriohjausta apuna käyttäen. Yleinen käytössä oleva nimitys maa- ja ympäristörakentamisen automaatiolle on koneohjaus, joka on yksi osa-alue suuremmasta tietomallinnuskokonaisuudesta. Tietomallinnus on tuonut mahdollisuuden 3D-tekniikkaan, jonka avulla työkoneesta itsestään saadaan tarkka mittalaite työmaalla työskentelyyn eikä manuaalisesti suoritettavalle mittaustyölle ole enää niin paljon tarvetta, jos lainkaan. Koneohjaus lisää työmaan tarkkuutta ja tehokkuutta sekä virheiden mahdollisuus pienenee. (Topgeo.fi; Novatron.fi.)

5.2 3D-koneohjaus

Koneohjaus tarkoittaa työkoneessa olevaa ohjausjärjestelmää, johon rakennettavan kohteen kolmiulotteinen malli voidaan syöttää. 3D-koneohjauksen toimivuuden edellytyksenä on, että työkoneessa on 3D-malleja lukeva ohjausjärjestelmä, liikkeet ja kallistukset havainnoiva anturijärjestelmä sekä näyttö-/tietokoneyksiköstä työkoneen sisällä. (kuva 8.) 3D-koneohjauksessa koneen tarkka sijainti tiedetään x-, y- ja z-koordinaatistossa reaaliaikaisesti. Työkoneessa olevaan ohjausjärjestelmään ladataan toteutusmalli kohteesta tai rakenteesta, jolloin työkoneessa olevan paikannus- ja anturijärjestelmän sekä näytön avulla pystytään työmaalla rakentamaan oikeaan korkoon ja kallistukseen oikeissa paikoissa. Työkoneen sisällä olevasta näytöstä näkee reaaliaikaista kuvaa toteutussuunnitelmasta sekä työkoneen tai kauhan sijainnista suhteessa toteutusmalliin. (kuva 9.)

Koneohjausjärjestelmän komponentit

- 1 Kauha-anturi
- 2 Kauhan sivuttaiskallistuksen anturi
- 3 Laservastaanotin
- 4 Kaivuvarren anturi
- 5 Pääpuomin anturi
- 6 Runkoanturi
- 7 Näyttö-/tietokoneyksikkö
- 8 GNSS-vastaanottimet
- 9 GNSS-antennit



Kuva 8. Koneohjausjärjestelmän anturijärjestelmä (Novatron.fi)



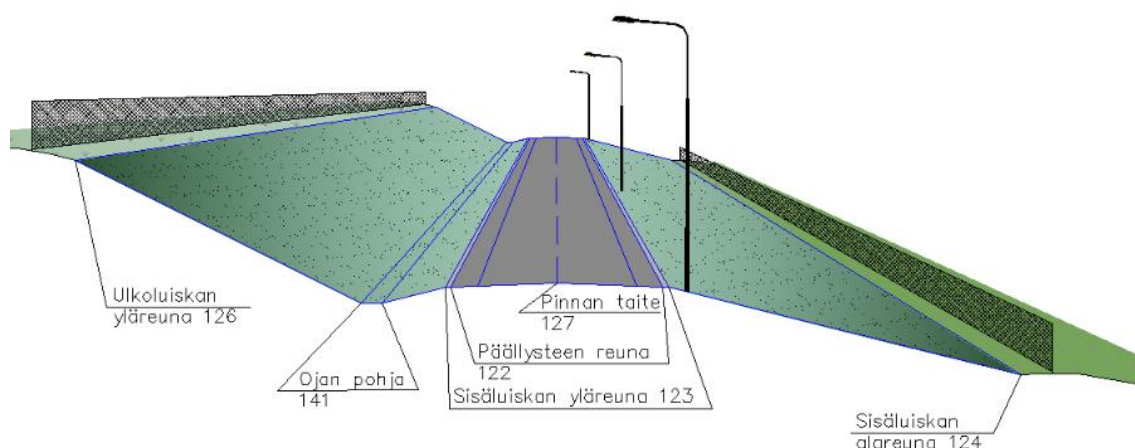
Kuva 9. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmästä näyttökuva (Novatron.fi)

3D-koneohjauksessa työkonesta saadaan mittausväline työmaalle, jolloin koneen työskentely työmaalla ei ole riippuvainen jatkuvasti koneen ulkopuolelta annetuista mittatiedoista, joita esimerkiksi mittamies voisi mitata. Koska 3D-koneohjauksella työskentely onnistuu ilman maastoonmerkintään, koneohjausta käyttävän työmaan tunnistaa ulkopuolelta usein korkomerkkien puuttumisesta. Koneohjausjärjestelmän asentaminen on mahdollista kaivinkoneisiin, pyöräkuormaajiin, puskukoneisiin ja tiehöyliin. Koneohjaus ei ole yksin toimiva itsenäinen osa vaan se kuuluu yhtenä osa-alueena koko tietomallinnus kokonaisuuteen. (Nieminen 2011, 10—15; Kivinen 2016, 34—39.)

5.2.1 3D-koneohjausmalli

Koneohjausmalli on suunnitelmamallista muokattu toteutusmalli rakennettavasta kohteesta, jonka avulla työkoneet voivat työskennellä työmaalla. Suunnittelijoiden tuottama aineisto ei useinkaan ole valmiiksi oikeassa muodossa koneohjausjärjestelmälle, joten koneohjausmalliin yhdistellään taso- ja poikkileikkauskuvia ja lisätään x-, y- ja z-koordinaatit. Koneohjausjärjestelmien malleissa esitetyt asiat voivat olla mallinnettuna pintamallina, viivamallina tai pistetietona riippuen mallinnettavasta kohteesta tai rakenteesta. Yleisten inframallivaatimusten 2015 ohjeessa on esitetty vähimmäisvaatimukset, jotka mallilta vaaditaan. (3dkoppi.fi; Yleiset inframallivaatimukset 2015.)

Tärkeä koneohjausmallin sisällöllinen vaatimus on, että kaikki koneohjausta hyödyntäen toteutettavat rakennettavan kohteen rakennusosat täytyy mallintaa ja toteutusmallin rakennepinnat ja taiteviivat nimetään InfraBIM-nimikkeistön numerointi- ja nimeämiskäytäntöjen mukaan. (Kivinen 2016, 32.) Koneohjausmallissa kaikista rakennepinnoista, jotka rakennetaan yksittäin, tehdään oma koneohjausmalli. Koneohjausmalliin mallinnetaan vain viivat, joiden kohdalla rakenteen pinnassa on taite tai viiva on muutoin merkittävä. (Kuva 10) Taiteviiva tarkoittaa jatkuvaa suoraa tai suorien muodostamaa ketjua, joilla on keskenään samat x-, y- ja z-koordinaatit. (Hannuksela 2017, 42.)

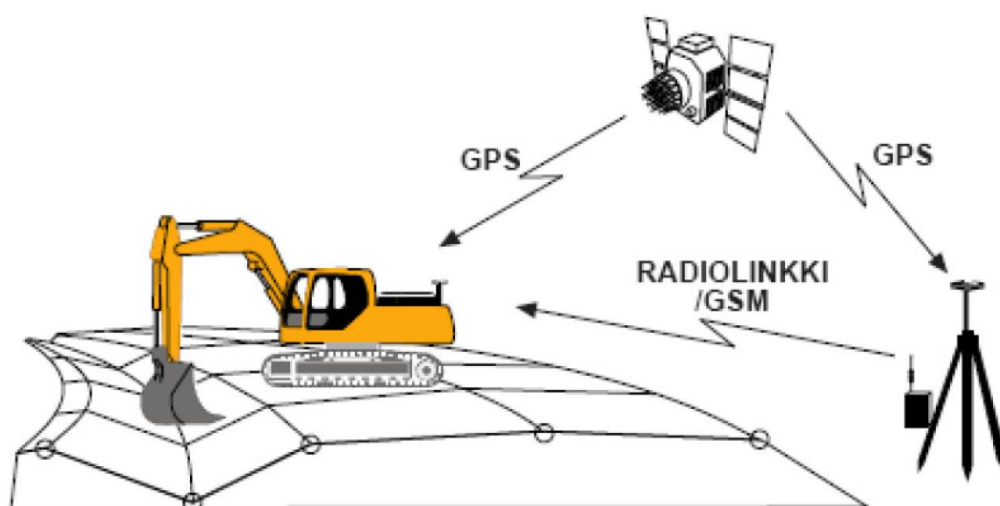


Kuva 10. Toteutusmallin ylimmän yhdistelmäpinnan taiteviivojen nimet ja koodit InfraBim-nimikkeistön ohjeiden mukaisesti (YIV 2015, Mallinnusohjeet osa 5.2, 7).

5.2.2 Työkoneen paikannus

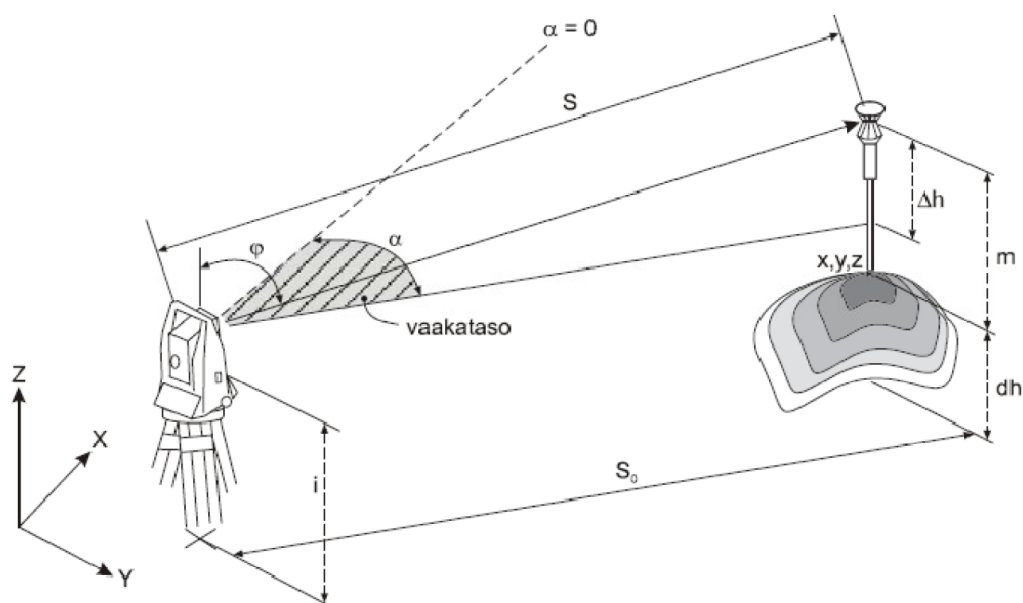
Koneohjauksessa oleva työkone voidaan työmaalla paikantaa jatkuvalla robottitakymetriseurannalla tai satelliittien avulla. Satelliittipaikannuksella työkoneen sijainti työmaalla määrittyy maapallon ympärillä kulkevien satelliittien ja niiden lähettämän paikannussignaalin avulla, joita työkoneen kartoitussyksikkö eli satelliittivastaanotin ottaa vastaan. Satelliittivastaanotin määrittää sijainnin kolmiulotteisessa koordinaatistossa, minkä jälkeen koneohjausjärjestelmä yhdistää paikatiedon ja antureiden tuottaman tiedon yhteen, ja esimerkiksi kaivinkoneen kauhan sijainti selviää. Paikannussignaali on altis erilaisille häiriötekijöille, joiden aiheuttajana voivat olla puusto, korkeat rakennukset tai lähettyvillä olevat suuret heijastavat pinnat. Etenkin infra-alalla työmaat sijaitsevat usein alueilla, joissa paikannussignaali heikentyy esteiden takia. (Kivinen 2016, 35–37; Nieminen 2011, 11–15.)

Työmaalla paikannussignaalien häiriötekijöiden ehkäisemiksi ja mittaustarkkuuden parantamiseksi käytetään tukiasemaa. Tukiasema on tunnetulla pisteellä oleva satelliittivastaanotin, joka mittaa tunnettujen ja satelliittien avulla määriteltyjen koordinaattien eroa. Tukiasema lähettää koordinaattieroista mitatun korjaussignaalin työkonteen kartoitusyksikköön, joka puolestaan korjaa paikkatiedon todellisuutta vastaavaksi. Tukiaseman avulla mitattua tarkennettua GPS-mittausta kutsutaan RTK-GPS-mittaukseksi (kuva 10). Tukiaseman sijoittaminen työmaalla onnistuu esimerkiksi työmaakonttiin tai mahdollisuuksien mukaan työmaakoppien katolle. Jos tukiasemaa ei ole erinäisistä syistä mahdollista sijoittaa fyysisesti työmaalle, voi se sijaita riittävän kantomatkan päässä useista työkohteista (korjausdatan lähettäminen jopa 30km:n etäisyydelle) tai mahdollisuutena on käyttää palveluntarjoajilta ostettua lisenssiä, jonka avulla virtuaalitulokas laskee korjaussignaalin ja lähettää sen puhelinyhteyden avulla työkonteen kartoitusyksikköön. (Kivinen 2016, 35–36; Nieminen 2011, 14–15.)



Kuva 10. RTK-GPS-mittaus (Novatron 2011)

Satelliittipaikannuksen lisäksi vaihtoehtoisena menetelmänä työkonteen paikantamiseen on robottitakymetrin käyttäminen. Takymetri on koje, jota käytetään pysty- ja vaakakulmien sekä etäisyyden mittaamiseen takymetrin sijaintipisteeltä havainnoidaan kohteeseen. Vapaalle pisteelle takymetri orientoidaan paikoilleen käyttäen apuna kahden tunnetun pisteen avulla saatua mittaustietoa ja niiden koordinaatteja, joiden avulla määrittyy takymetrin sijaintipisteen koordinaatit. Vaihtoehtoisesti takymetrin voi asentaa paikoilleen tunnetulle pisteelle prisman avulla, jolloin havaintopisteelle vietyyn prismaan heijastetun, ja siitä takaisin takymetriin heijastuvan, lasersäteen avulla (kuva 11) saadaan trigonometriaan perustuen takymetrin sijaintipisteen koordinaatit. (Kivinen 2016, 37; Nieminen 2011, 11–13.)



Kuva 11. Takymetrin toimintaperiaate (Nieminen 2011, 12.)

Koneohjauksen takymetripaikannuksessa prisma kiinnitetään työkoneeseen jolloin takymetri mittaa prisman sijaintia koordinaatistossa ja lähettää sen sijaintitiedosta kolmiulotteista koordinaattitietoa koneohjausjärjestelmään. Koneohjausjärjestelmä yhdistää takymetrin ja prisman avulla mitatun paikkatiedon ja anturijärjestelmän tuottaman tiedon, jolloin työkoneen tarkka sijainti selviää x-, y- ja z-koordinaatistossa. Koneohjauksessa käytetään robottitakymetria, joka eroaa tavallisesta takymetrin siinä, että se seuraa prismaa automaattisesti. Tavallista takymetria tai robottitakymetria työmaalla käytettäessä pitää työkoneen ja takymetrin välillä olla esteetön näköyhteys, joka voi myös aiheuttaa työmaalla ongelmia. Etenkin kaivinkoneen ja takymetrin välisessä työskentelyssä ongelmana voi olla laaja työskentelyalue sekä kaivinkoneen itsensä muodostama este näköyhteyteen kun se pyörähtää oman akselinsa ympäri. (Kivinen 2016, 37; Nieminen 2011, 11–13.)

6 MITTAAMISEN MENETTELYTAVAT JA TYÖVÄLINEET RAKENTAMISEN AIKANA

6.1 Mittaustyön riittävät resurssit työmaan tehokkaaseen sujumiseen

Työmaalla suoritetaan rakentamisen aikana lukuisia mittauksia eri työtehtävien välillä. Mittaustyön suorittamisessa vaaditaan tarkkuutta ja ottautumista, joten mittauksia suorittavan työntekijän on oltava sitoutunut ja tietoinen menossa olevasta työvaiheesta ja hänen osuudestaan siinä. Jos mittausapu tulee rakentamista suorittavan työryhmän ulkopuolelta eli ei ole niin sanotusti työryhmän oma mittamies, vaaditaan haluttuun mittaustehtävään perehtyminen hyvin ennen työmaalle saapumista. Jo etukäteen työtehtävään perehtyminen säästää aikaa ja näin ollen myös rahaa. Lisäksi mittaustyön suorittajalla on tällöin oikeat tehtävään vaadittavat välineet sekä kartat ja/tai tiedostot mukanaan ja mittaustyö voidaan aloittaa nopeammin lyhyemmän kertauksen tai yhteisymmäryksen varmistamisen jälkeen. Jos mittaustyötä suorittaa työryhmän oma mittamies, on hän tällöin jo luultavammin heti tietoinen mitattavasta kohteesta aikaisempien mittauksien jäljiltä eikä tilannekatsausta sen enempää tarvita.

Työmaalle saapuvan hyvin tehtävänsä perehtyneen mittaajan vastakohtana on tilanne, jolloin mittaaja ei tiedä yhtään millaista tehtävää on tulossa suorittamaan. Tällaisessa tilanteessa ei mittaustyön suorittajalla saata olla oikeita välineitä tai tiedostoja työmaalle saapuessa mukanaan. Tällöin tilanne vaatii yksityiskohtaisemman tilannekatsauksen ja pahimmassa tapauksessa uuden työmaakäynnin sopimisen, koska työsuoritukseen tarvittavat resurssit saattavat puuttua.

Työmaalle rakenteiden paikoilleenmerkitseminen on myös tärkeässä osassa mittaustyössä ja työsuoritukseen perehtymisessä. Työryhmän omalla mittamiehellä voi olla jo valmiiksi tiedossa mittauksen yhteisesti käytössä olevat merkintätavat, joita työryhmässä käytetään eri tapauksissa. Työryhmän ulkopuolelta tulevan mittajaan kanssa tulee käydä läpi mitä merkinnät tarkoittavat ettei tule väärinymmärrystä. Poikkeavat tavat ja käytännöt merkata mittauksia työmaalle saattavat helposti aiheuttaa väärintulkintaa, joka taas saattaa aiheuttaa rakennusvirheitä, ajan hukkaa tai vähintäänkin uudelleen mittauksen.

Työmaalla työskentelyn tuoman oman käsitykseni mukaan, olisi hyvä jos työtehtäviä suorittavista työntekijöistä mahdollisimman monella olisi mittauksen perustaidot esimerkiksi lasermittavälineiden käytöstä. Usein näillä perustaidoilla voidaan varmistaa työmaan käynnissä pysyminen ja eteneminen yleisesti ja poissaolotapauksissa. Perusmittaustaitojen osaaminen auttaa hahmoittamaan työmaalla työskentelyä kun on ymmärrystä korkeusasemista, koska ne loogisesti määrittelee myös osittain rakentamisen eri vaiheiden järjestystä. Perustaitojen osaaminen mahdollisimman usealla on hyväksi riippumatta siitä, onko työryhmän käytössä oma mittamies vai ei.

Oman kokemuksen mukaan työmaalle annetun pysyvän korkomerkin ja rakenteiden paikoilleen merkintöjen avulla pystyy työmaalla tarvittaessa rakentamaan tasolaseria ja rullamittaa apuna käyttäen. Tasolaserin ja rullamitan avulla rakennettaessa täytyy suunnitelmakartan olla koko ajan saatavilla, jolloin voi tarkistaa etäisyyksiä tai korkeusasemia mittakaavaviivaimen avulla. Kyseisillä välineil-

lä rakennettaessa tarvitaan kuitenkin myös työmaakäyntejä, joilla esimerkiksi GPS:n avulla tehdään rakenteille maastoonmerkinnät. GPS:n avulla merkintää tarvitaan työmaalle etenkin jos rakennettavassa kohteessa ei ole pysyviä rakenteita tai maamerkkejä, joista voisi etäisyyksiä mitata suunnitelmakarttaa apuna käyttäen. GPS/GNSS-pohjaisilla mittavälineillä työskenneltäessä vaaditaan lisää mittaosasaamista, mutta sen avulla rakenteiden paikoilleenmerkinnät onnistuvat yhtä välinettä käyttäen. Rakenteen oikean linjan tai nurkkakohdan lisäksi voi tarvittaessa samalla määrittää tulevan rakenteen korkeusaseman. Lisäksi työmaalle maastoonmerkintöjä GPS:llä tehtäessä ei tarvitse erikseen etsiä kiinnekohtia etäisyysmittauksien aloittamista varten, koska laite itsessään tietää sijaintinsa työmaalla ja suunnitelmakartalla paikannuksen avulla.

6.2 Perinteinen työmaa vai koneohjaus?

Mittamies on ollut perinteisesti työmaan avainhenkilö ja ensimmäinen, joka työmaalla aloittaa työskentelyn. Työmaan alkaessa tarvitaan linjoja ja paikalleenmerkintöjä, jotta työmaalla työskentelyn voi aloittaa. Mahdolliset kivet tai kannot voivat aiheuttaa merkkipaalun oikealle paikalle saamiseen hankaluuksia ja etenkin talviaikaan maastoon merkitseminen voi olla haastavaa lumen takia. Perinteisen mittapaalujen avulla rakennettaessa haasteena ovat paalujen paikoillaan pysyminen oikeassa kohdassa ja korkeusasemassa, ja tällöin voidaan tarvita useammin uudellen merkitsemistä. Työmaata rakennettaessa merkkipaalujen sijoittamisessa tulee huomioida niiden sijaintikohta, jotta ne olisivat mahdollisimman vähän koneiden tiellä.

Koneohjauksen käyttäminen työmaalla vaatii osaamista niin työkonekuskilta kuin mittamieheltä. Työskentelykoneessa tulee olla koneohjauksen mahdollistavat järjestelmät antureineen ja mittamiehen tulee ymmärtää tietomallien toiminnasta ja ominaisuuksista. Koneohjatulla työmaalla mittamiehen perinteiset työtehtävät vähentyvät kun työmaan toiminta ei vaadi enää mittauserkintöjen ja paalujen asettamista maastoon. Koneohjatulla työmaalla mittamiestä työllistää enemmänkin tarkastamiseen liittyvät mittaustyötehtävät sekä tietomallit. Mittamiehen tulee ymmärtää ja tarkastaa työkoneisiin tulevien mallien oikeellisuutta, jotta rakentaminen ja konetyöskentely ovat työmaalla sujuvaa ja mahdollisimman virheetöntä.

Perinteisen pelkästään mittamiestä käyttävän työmaan ja koneohjatun työmaan välillä on paljon eroavaisuutta ja kummastakin menetelmästä löytyy puolensa suuntaa jos toiseen. Ilman koneohjausta toimivalla työmaalla mittamiehen ei välttämättä tarvitse ymmärtää 3D-tietomalleista, mutta hänen on oltava ammattitaitoinen mittaustyössään ja laitteiden käytössä. Perinteisellä työmaalla mittamiehen ja työkoneiden välisen työskentelyn tulee olla yhtenäistä. Työmaalla suoritettavat maastoonmerkkaukset tulee olla selkeitä ja sijoitettuna niin ettei työkoneen tarvitse koko ajan varoa merkkipaaluja. Lisäksi mittamiestä tarvitaan työskentelyn aikana tekemään tarkastusmittauksia korotasoista. Koneohjautulla työmaalla tarvitaan ammattitaitoinen työkoneenkuljettaja, joka osaa rakentaa koneohjausmallin mukaan sekä ammattitaitoinen mittamies, joka ymmärtää tietomalleista ja auttaa työkoneenkuljettajaa tarvittaessa mallien toiminnallisuuden kanssa. Koneohjatulla työmaalla välttyään helpommin ylikaivun aiheuttamilta ryöstöiltä, joka taas puolestaan vaikuttaa materiaali-menekkeihin kun ei tarvita ylimääräistä täyttöä ylikaivun takia. Koneohjatulla työmaalla koneenkul-

jettaja pystyy työskentelemään itsenäisemmin, koska jatkuvan mittaamisen tarvetta ei ole. Koneohjatulla työmaalla työturvallisuus paranee kun syvempien kaivantojen pohjaltakin korko saadaan selville koneen avulla eikä mittamiehen tai muidenkaan työntekijöiden tarvitse mennä kaivannon pohjalle.

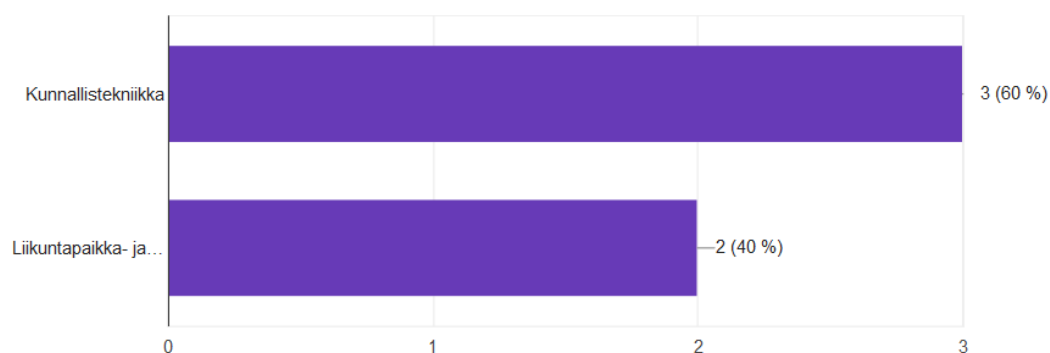
7 KYSELYTUTKIMUS MITTAUSTEHTÄVIEN JA TIETOMALLINNUKSEN RESURSSISTA RAKENTAMISEN TYÖRYHMISSÄ MESTARILLA

7.1 Yleistietoa kyselyn 1.osiosta

Työn lähtökohtana oli selvittää Mestarilla käytössä olevia henkilö- ja välineresursseja mittaustehtävien suorittamiseen liittyen. Resurssien selvittämiseksi laadittiin kysely aiheeseen liittyen. Kyselyn kohderyhmänä olivat kunnallistekniikan sekä liikuntapaikka- ja viherrakentamisen työryhmät. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää käytössä olevien henkilö- ja välineresurssien riittävyyttä työryhmissä, ja samalla kyselyssä sai antaa halutessaan kehitysideoita mittaustehtäviin liittyen. Kysely koski viittä rakentamisen työryhmää ja kyselyyn vastasi kunkin työryhmän työmaapäällikkö. Kyselyyn vastanneista työryhmistä kolme on kunnallistekniikan rakentamisen työryhmiä ja kaksi liikuntapaikka- ja viherrakentamisen työryhmiä (kuva 12). Kysely onnistui hyvin ja tutkittavat asiat selvisivät kyselyn avulla. Vastausprosentti kyselyyn oli 100 %.

Työryhmä

5 vastausta



Kuva 12. Kyselyyn vastanneiden työryhmien jakautuminen (Kleemola 2018-02-06).

Kysely toteutettiin sähköisessä muodossa. Kyselyyn vastaamiseen mahdollistava sähköinen linkki lähetettiin jokaiselle työmaapäällikölle sähköpostiin. Kyselyn toteuttaminen sähköisenä mahdollisti sen, että työmaapäälliköt pystyivät vastaamaan kyselyyn silloin kun heille oli sopivin aika työn kannalta, eikä työmaakäyntejä tarvinnut erikseen sopia jokaisen viiden työmaapäällikön kanssa. Lisäksi sähköinen vastauslomake mahdollisti vastauksien keräämisen yhteen paikkaan ja vastauksien tarkastelu oli mahdollista tiivistelmänä tai eriteltyinä vastauksina, jolloin vastauksien analysointi ja dokumentointi helpottui.

7.1.1 Käytössä oleva mittausvälineistö ja osaaminen

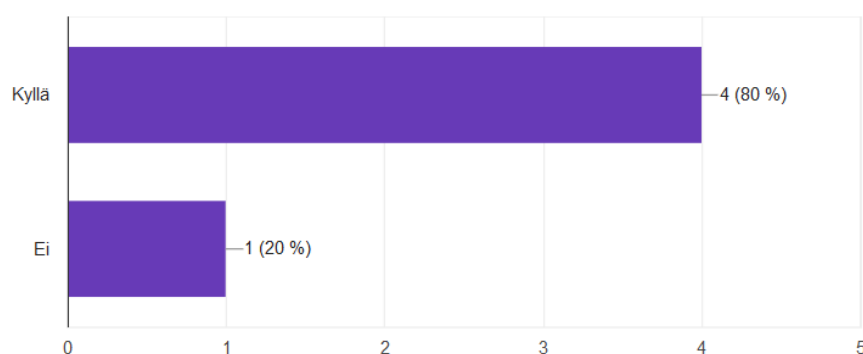
Kyselyssä selvitettiin työryhmien käytössä olevaa mittausvälineistöä. Tarkoituksena oli ilmoittaa välineiden merkki, malli ja mahdollisuuksien mukaan vuosimalli. Mittausvälineiden ilmoittaminen rajautui

lasermittalaitteisiin, joista kysyttiin taso- ja putkilasereita sekä lisäksi kysyttiin käytössä olevia GPS/GNSS-pohjaisia laitteita. GPS/GNSS-pohjaisista mittalaitteista oli tarkoitus ilmoittaa sekä vastaanotin että maastotallennin/-tietokone. Mittausvälineiden rajaus kyseisiin mittalaitteisiin perustui siihen, että muuten kyselyssä olisi täytynyt ilmoittaa kaikki työryhmän käytössä olevat mekaanisesti käytettävät mittavälineet (esim. rullamitat), jotka eivät olleet olennaista tietoa tutkimuksessa. Työryhmien käytössä oleva välineistö kerättiin kahdeksi eri taulukoksi, joista toisessa taulukossa oli liikuntapaikka- ja viherrakentamisen työryhmät ja toisessa taulukossa kunnallistekniikan työryhmät.

Käytössä olevan mittausvälineistön lisäksi kyselyssä selvitettiin työryhmissä olevaa osaamista mittaustöiden suorittamisessa. Tässäkin kysymyksessä mittausvälineiden rajaus koski taso- ja putkilasereita sekä GPS/GNSS-pohjaisia välineitä, koska oletuksena oli, että perinteisempien mekaanisesti toimivien välineiden käyttö onnistuu lähes jokaiselta joka rakentamisen parissa työskentelee. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää työntekijöiden osaamista mittalaitteiden kanssa, ja samalla sitä, kuinka paljon työmaalla tukeudutaan mittamiehen läsnäoloon. Kyselyn tuloksena saatiin tietoa, että työryhmissä lasermittalaitteiden käyttö onnistuu osassa työryhmissä noin puolelta työntekijöistä ja osassa työryhmissä kaikilta työntekijöiltä. Yleisesti kaikissa työryhmissä oli GPS/GNSS-pohjaisten laitteiden käyttöosaamista vähemmän verrattuna lasermittalaitteiden käyttöön työntekijöiden keskuudessa. Valtaosassa työryhmistä oli oma mittamies käytössä (kuva 13), joka puolestaan selittää GPS/GNSS-laitteiden käyttöosaamisesta saatua tulosta ja sitä, että kyseisten laitteiden käyttäminen luultavasti kuului pääasiassa mittamiehen osaamiseen. Muutamassa työryhmässä oli pari työntekijää, jotka eivät olleet mittamiehiä ja heillä oli perustaidot GPS/GNSS-laitteiden käytöstä.

5. Onko työryhmän käytössä oma mittamies?

5 vastausta



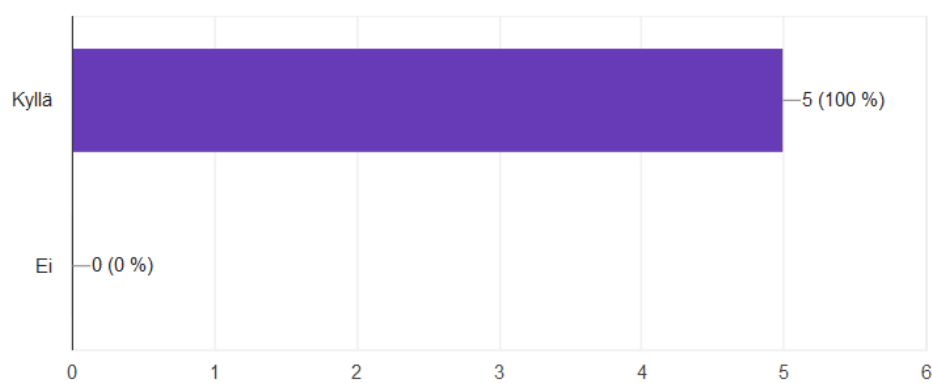
Kuva 13. Mittamies tilanne työryhmissä (Kleemola 2018-02-06)

Viimeisenä tärkeänä asiana ja mahdollisesti kehityskohteenä kyselyssä selvitettiin työmaapäälliköiden mielipidettä siitä, tulisiko kaikilla rakentamisen työryhmillä olla oma mittamies käytössä. Kyselyn lopussa oli myös mahdollisuus antaa vapaasti palautetta mittaustehtäviin liittyvistä asioista. Tässä osiossa oli tärkeää saada selville onko oma mittamies välttämätön kaikissa työryhmissä vai olisiko mahdollista, että mittamiehet olisivat kaikkien työryhmien käytössä niin sanotusti yhteisinä mitta-

miehinä. Lähes kaikissa työryhmissä oli käytössä oma mittamies ja pääasiassa se koettiin toimivaksi järjestelyksi. (kuva 14.) Työryhmän käytössä olevan oman mittamiehen koettiin helpottavan, nopeuttavan ja tehostavan rakentamista, koska ei tarvitse käyttää aikaa mittamiehen odotteluun. Työryhmässä, jossa ei ollut omaa mittamiestä, koettiin sen hankaloittavan sujuvaa rakentamista. Kyselyssä ilmeni myös osittain vastakkainen mielipide, että jokaisessa työryhmässä ei välttämättä tarvitsisi olla omaa mittamiestä, koska mittaamisen tarve vaihtelee työmaalla. Lopputulemana työryhmän omat mittamiehet koettiin parhaaksi ratkaisuksi.

3. Lähes jokaisesta työryhmästä löytyy oma mittamies. Onko tämä mielestäsi toimiva ratkaisu?

5 vastausta



Kuva 14. Tämän hetkinen mittamies järjestely (Kleemola 2018-02-14)

Mittaustehtäviin ja mittamiehiin liityen koettiin, että mittamiehen lisäksi työryhmässä olisi hyvä olla muitakin henkilöitä, jotka ymmärtävät mittaustehtävistä ja -laitteista. Tämän ajateltiin sujuvoittavan rakentamista poissaolojen tai mahdollisten eläköitymisten aikana. Kyselyn vapaan palautteen osiossa ilmeni tarve pysyä mukana ja kehittyä jatkuvasti muuttuvien mittaustekniikoiden perässä, jotta rakentaminen on sujuvaa ja nykyaikaista. Etenkin tämän päivän hengessä tietomallinnuksen ja koneohjauksen mukana tulevat lisävaatimukset tarvitsevat osaamista. Resurssitarpeiden ennakoitina ja kehitysideana toivottiin porrastetumpia lomina mittamiesten suhteen, ettei tulisi tilannetta, jolloin mittamiestä ei ole saatavilla.

7.2 Yleistietoa kyselyn 2.osiosta

Lisäksi Mestari oli kiinnostunut kunnallistekniikan sekä liikuntapaikka- ja viherrakentamisen työryhmien mittamiesten resursseista ja heidän osaamisesta tietomallinnamisessa. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää riittäisikö Mestarilla nykyiset resurssit tietomallinnuspalveluiden tarjoamiseen yksityisille vai joutuisiko nykyisiä henkilöresursseja kasvattamaan tietomallinnuspalvelun tarjoamista varten. Kysely koski pääasiassa neljää viidestä rakentamisen työryhmistä ja kyselyyn vastasi kunkin työryhmän työmaapäällikkö. Työryhmässä, jossa tällä hetkellä ei ole omaa mittamiestä käytössä, toteutettiin sama kysely tästä huolimatta. Työmaapäällikkö vastasi tasapuolisuuden nimissä kysymyksiin hypo-

teettisesti jos ryhmällä olisi oma mittamies. Kyselyyn vastanneista työryhmistä kolme oli kunnallistekniiikan rakentamisen työryhmiä ja kaksi liikuntapaikka- ja viherrakentamisen työryhmiä. Vastausprosentti kyselyyn oli 100 %.

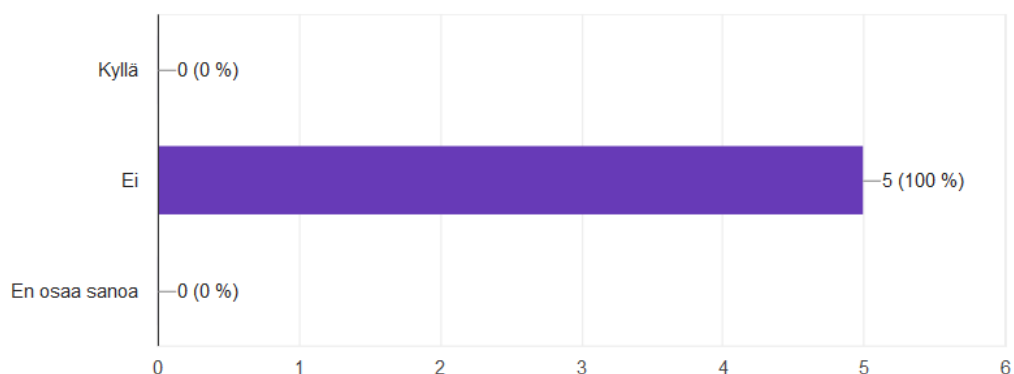
7.2.1 Tietomallintamisen resurssit

Tietomallinnusta koskevista resursseista selvitettiin mittamiesten ajankäytöllistä hallintaa ja ympäristövuotista työllistymistä mittaustehtäviin. Ajallisesti selvityksen kohteena oli osittain kyselyn 1.osion vastauksiin sivuten ja lisätietoa antaen, työllistyykö mittamies tehtävässään jatkuvasti mittaukseen liittyen vai tekeekö hän myös muita työsuorituksia työmaalla. Näillä kysymyksillä saatiin osittain vastausta myös siihen riittäisikö nykyisillä mittamiehillä aikaa tehdä tietomallinnusta myös ulkopuoliseksi ostopalveluksi. Kyselyssä haluttiin myös saada tietoa ja mielipide asiasta, riittääkö mittamiehillä ammattitaito ajankäytön lisäksi tietomallien tekemiseen laajemmin.

Yleinen ja lähes yhtenäinen mielipide haluttujen tietojen selvittämiseen kyselyssä oli, että mittamiesten ammattitaitoresurssit riittävät tietomallien tekemiseen, mutta aika ei tulisi riittämään jos tietomallinnuspalveluja lähdetäisiin tarjoamaan laajemmin. (kuva 15) Työryhmien mittamiehiä työllistävät omien työmaiden tietomallit niin paljon, että henkilöresursseja tulisi lisätä laajempaa tarjoamista varten. Kyselyn vastauksissa esitettiin myös vaihtoehtona ostopalvelujen tarjoamiseen pelkästään tietomalleihin perehtyneet työntekijät, jotka keskittyisivät tuottamaan tätä palvelua. Kyselyn avulla haluttiin saada mielipide yleisellä tasolla kannattaako tietomallinnuspalvelujen tarjoamista harkita.

7. Riittäisikö mielestäsi työryhmäsi mittamiehen aika tietomallien tekemiseen yksityisille ostopalveluksi? (Voi myös kysyä mittamiehen omaa mielipidettä.)

5 vastausta



Kuva 15. Yhtenäinen vastaus (Kleemola 2018-02-14)

8 MITTAUS- JA TUTKIMUSTYÖRYHMÄN TILANNEKATSAUS

8.1 Mittauspäällikön haastattelu

Mittaus- ja tietomallinnusresurssien lisäksi toisena tutkittavana asiana opinnäytetyössä oli mittaus- ja tutkimustyöryhmän tämän hetkinen tilannekatsaus. Tilannekatsauksessa pyrittiin selvittämään liike-toiminnan kuluja/menoja ja laskutuksen muodostumista sekä tilikauden yli-/alijäämien muodostautumisen syysseurauksia.

Tilannekatsausta lähdettiin selvittämään mittauspäällikön haastattelun avulla sekä tutkimalla lähi-vuosien talousarvioista ali- tai ylijäämiä toiminnoittain. Mittauspäällikön kanssa pohdimme toimintatietoita tuloksiin peilaten. Mittaus- ja tutkimustyöryhmään liittyvät asiat ja niistä syntyvät pohdinnat käydään pääasiassa läpi Mestarin kohdehenkilöiden kanssa, jotka ratkaisevat jatkotoimenpiteet asioihin liittyen.

9 YHTEENVETO

9.1 Pohdinta

Mittaus on yleisesti käsitteenä laaja ja se sisältää monenlaisia tehtäviä ja termejä alasta riippuen. Opinnäytetyössä tavoitteena oli saada yleinen käsitys kuinka hyvään mittausuorituksen tulisi valmistautua ja mitä mittaustuloksesta ja välineistä tulisi tietää. Lisäksi tavoitteena oli saada lukijalle käsitys asioista ja tarvittavista resursseista, joita tietomallinnus ja koneohjauksen käyttö tarvitsevat onnistuakseen. Kyselytutkimuksessa pyrkimyksenä oli saada käsitys Mestarin olemassa olevista mittausrasursseista sekä kerätä mahdollisia kehitysideoita mittaamiseen ja tietomallintamiseen liittyen. Näiden tuloksien pohjalta kerättiin työryhmien käytössä olevat mittauslaitteet kahdeksi liitetiedostoksi ja kyselyssä saadut suorat työmaapäälliköiden vastaukset koottiin yhdeksi tiedostoksi työn toimeksiantajalle omaan käyttöön. Opinnäytetyössä selvitettävänä kokonaisuutena oli myös mittaus- ja tutkimustyöryhmän liiketoiminnan taloudellinen tilanne. Taloudellista tilannetta selvitettiin mittauspäällikön haastattelun avulla, josta suurin osa tiedoista kuuluu opinnäytetyön julkaisemattomaan taustaineistoon.

Opinnäytetyössä saatujen kyselytuloksien pohjalta voi päätellä, että Mestarilla ollaan pääasiallisesti tyytyväisiä nykyisiin mittausresursseihin ja mittausjärjestelyyn. Työryhmissä olevan oman mittamiehen koettiin olevan tarpeellinen sujuvan työskentelyn ja työmaan etenemisen kannalta. Päinvastoin mittamiehen poissaolotapauksessa tai mittamiehen kokonaan puuttumisen koettiin hankaloittavan työskentelyä, ja hetkellisesti työmaalla työskentely oli jopa näissä tapauksissa hankaloitunut. Vastauksista voi tehdä päätelmiä, että työryhmä vaatii mittamiehen lisäksi mahdollisuuksien mukaan työntekijöitä, jotka hallitsevat mittaamisen perustaidot. Tällaisissa hetkissä saatettaisiin välttää tilanne, jolloin työmaan eteneminen hankaloituisi tai pysähtyisi kokonaan. Pyrkimyksenä tehokkaassa rakentamisessa kuitenkin on, että työmaalla työt eivät keskeytyisi ainakaan mittausresurssien puuttumisen takia. Työmaan käynnissä pysymisen kannalta tällaisen yllättävän tilanteen sattuessa tulee löytyä vaihtoehtoinen ratkaisu esimerkiksi toisen työryhmän mittamiehen käyttämisestä tai ostopalvelusta.

Tietomallinnus ja koneohjaus herättivät työryhmissä mielipiteitä sekä ajatuksia kehityksen mukana pysymisessä. Jos tulevaisuudessa harkitaan tietomallinuspalveluja laajempaa tarjoamista Mestarin ulkopuolelle, koettiin sen tarvitsevan lisää resursseja nykyisien lisäksi. Nykyisellä henkilöstöllä tietomallinuspalvelun tuottaminen ei olisi mahdollista ajankäytöllisistä syistä ja lisäksi se vaatisi mittamiehiltä perehtymistä useampaan olemassa olevaan koneohjausjärjestelmään kuin mitä oma työryhmä käyttää.

Työskennellessäni itse rakentamisen työmailla olen väistämättä törmännyt kyseisiin mittaamiseen liittyviin resursseihin ja niiden riittävyyteen tai riittämättömyyteen. Olen itse pohtinut ja arvioinut asiaa siltä kannalta, onko mittamiehen tarve myös riippuvainen siitä kuinka monta työmaata työmaapäälliköllä on käynnissä. Koetaanko kyselytuloksissakin mainitun vaihtelevan mittamiehen tarpeen johtuvan käynnissä olevien työmaiden määrästä ja koosta. Yhdellä isolla työmaalla mittamie-

helle voi tulla odotusaikoja jos hän suorittaa vain mittaustyötä kun taas useamman käynnissä olevan työmaan välillä mittaamista tarvitaan varmasti jokaisella työmaalla, joten odotusta ei välttämättä tule.

Aikaisemmassa kappaleessa mainitsin työskennelleeni työmaalla, joten aiheena mittaaminen on tuttua. Opinnäytetyön työstäminen tuntui helpolta siihen asti kunnes piti perehtyä tietomallintamiseen ja koneohjaukseen, koska ne ovat käytännön puolesta lähes vieraita asioita itselleni. Uusia aiheita tutkiessa pitää osata valita tietolähteensä hyvin, jotta ne ovat tarpeeksi luotettavia ja asiapitoisia. Opinnäytetyön edetessä täytyi muistaa merkata käytetyt lähteet täsmällisesti alusta alkean, koska jälkikäteen olisi ollut hankalaa tehdä lähdeluettelo totuudenmukaiseksi. Itsessään opinnäytetyön kirjoittamisessa ja Office:n käytössä ei ilmennyt ongelmia, koska ne ovat minun vahvuuksiani.

9.2 Tutkimuskyselyjen pohjalta ehdotettavia kehitysideoita

Lähtökohtana opinnäytetyössä oli saada kerätyksi mahdollisia kehitysideoita mittaustehtävien työohjaukseen. Pääasiassa nykyistä mittaustehtävien ohjautumista pidettiin hyvänä järjestelynä. Kyselytuloksissa ilmeni, että mittamiehet voisivat olla yhteisiä kuntatekniikan puolella ja samalla tavalla liikuntapaikka- ja viherrakentamisenryhmissä. Näin ollen kunnallistekniikan ja liikuntapaikka- ja viherrakentamisen mittamiehiä ei sekoitettaisi keskenään, mutta tällaisella järjestelyllä, tarvittaessa toisessa työryhmässä olevan resurssipulan sattuessa toisen niin sanotusti saman alan mittamies voisi auttaa toista työryhmää. Mielestäni mittamiehen lisäksi olisi hyvä jos työryhmässä olisi muutama henkilö, jotka osaisivat perusasiat GPS:n käytöstä eli osaisivat ainakin mitata GPS:n avulla rakenteita paikoilleen, jolloin poissaolotapauksissa ei tulisi ongelmia.

Mielestäni mittamiehiä ei kannattaisi erottaa omista työryhmistään ja sekoittaa keskenään ainakaan niin, että he työskentelisivät milloin kenenkin työmaapäällikön työryhmän käytössä. Uskon, että mittaustehokkuutta syntyy myös rutiinien kautta sekä sillä, että mittamies työskentelee tiiviisti oman työryhmänsä tai oman alan työryhmänsä kanssa. Omassa työryhmässä tai niin sanotusti oman alan työryhmässä toimiva mittamies tietää paremmin mittaus- ja merkintäkäytännöt sekä osaa työstää mallit sellaiseksi kun niiden täytyy olla mittaustyön suorittamista tai koneohjausmallia varten. Ammattitaitoinen mittamies osaa varmasti sopeutua nopeasti tilanteeseen kuin tilanteeseen, mutta onko totaalisessa mittamiesten sekoittamisessa kaikkien ryhmien välille vaarana kuitenkin stressaantumista tai ajan hukkaamista väärin asioihin. Jos työmaalla mittamiehelle tulee liikaa odotusaikoja tai toimeettomia hetkiä, olisi hyvä jos hekin suorittaisivat siinä tilanteessa muita rakentamisen työtehtäviä.

Työmaapäälliköiden mielipiteet tietomallintamisen laajentamiseen mahdollisesti ulkopuolelle oli monen kirjavaa. Vastauksien perusteella koen asian olevan vielä hyvin alkutekijöissä ja tekemäni kysely voi toimia alkusysäyksenä siihen, että asiaa on vain vähän herätelty ajatuksiin. Tietomallintamiseen liittyvää palveluntarjoamista kannattaa harkita tarkkaan ja miettiä kannattaisiko vaihtoehtoisesti käyttääkin aikaa nykyisten reusrssien päivittämiseen tai lisäämiseen esimerkiksi koulutuspäivän tai muun vastaavan muodossa. Onko nykyisillä mittamiehillä jokin asia tietomallintamiseen tai sen

osaamiseen liittyen, mitä haluaisivat kehittää. Palveluiden tarjoaminen ulkopuolelle vaatii selvästi lisäresursseja, joten kustannukset kasvaisivat sillä saralla.

Mittaus- ja tutkimustyöryhmän tilannekatsaukseen liittyneet johtopäätökset on käyty läpi Mestarilla siitä lisää tietoa tarvitsevien henkilöiden kanssa.

LÄHTEET

3d.koppi.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-29]

Saatavissa: <http://www.3dkoppi.fi/koneohjausmalli/>

Ahlsell.fi, 2018-01-23. Mittanauha, mittakela ja mittapyörä [kuva].

AUMALA, Olli. 2006. Mittaustekniikan perusteet. 13. muuttumaton painos. Helsinki: Hakapaino Oy

Buildingsmart.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-24]

Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>

ESKOLA, Reijo ja PELTONIEMI, Heikki. 2011. Viherympäristön mittaustekniikka ja paikkatieto. Helsinki: Tammerprint Oy

ESKOLA, Reijo ja PELTONIEMI, Heikki, 2018-01-23. Absoluuttisessa mittauksessa satelliitin ja vastaanottimen C/A-koodihavainnot [kuva]. Sijainti: Viherympäristön mittaustekniikka ja paikkatieto.

Geotrim.fi, 2018-01-23. Laserjalusta, tasolaser ja vastaanotin [kuva], Putkilaser [kuva], Vastaanotin ja maastotietokone [kuva].

HANNUKSELA, Matti 2017. 3D-koneohjauksen käyttöönotto Jyväskylän kaupungilla. Savonia-ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Opinnäytetyö. [Viitattu 2018-02-08].

Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/125598>

InfraBim-nimikkeistö, versio 1.6. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-29]

Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/InfraBIM_nimikkeisto_v1_6.pdf

InfraBim-nimikkeistö, versio 1.6, 2018-01-29. Yksiajorataisen tien rakennepinnat 3D [kuva].

InfraBim-sanasto, versio_0.7. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-29]

Saatavissa: https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM_Sanasto_0-7.pdf

KIVINEN, Tommi 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Diplomityö. [Viitattu 2018-01-31].

Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/20529>

KLEEMOLA Hanna-Riikka, 2018-02-06. Kyselyyn vastanneiden työryhmien jakautuminen [kuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset tiedostot.

KLEEMOLA Hanna-Riikka, 2018-02-06. Mittamies tilanne työryhmissä [kuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset tiedostot.

KLEEMOLA Hanna-Riikka, 2018-02-14. Tämän hetkinen mittamies järjestely [kuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset tiedostot.

KLEEMOLA Hanna-Riikka, 2018-02-14. Yhtenäinen vastaus [kuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset tiedostot.

LAURILA, Pasi. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Tornion kirjapaino

LAURILA Pasi, 2012. Suhteellisen mittauksen toimintaperiaate [kuva]. Sijainti: Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.

LIIKENNEVIRASTO. Infra-alan tietomallien laatutavoitteet ja hyväksymiskriteerit. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-24]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2015-57_infra-alan_tietomallien_web.pdf

LIIKENNEVIRASTO. Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-25]. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf

JUNNONEN, Juha-Matti. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. LIUKAS, Juha. 2009. Pääotsikko 5. Tiedonsiirto. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy

Mestar.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-11]

Saatavissa: <http://www.mestar.fi/yritys>

NIEMINEN, Juha-Matti 2011. Koneohjaus maanrakennustyössä. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Opinnäytetyö. [Viitattu 2018-01-30].

Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/1572/browse?value=Nieminen%2C+Juha-Matti&type=author>

NIEMINEN, Juha-Matti 2011. Takymetrin toimintaperiaate [kuva]. Sijainti: Opinnäytetyö

Novatron.fi, 2018-01-31. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmästä näyttökuva [kuva].

Novatron.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-10]

Saatavissa: <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>

RANTANEN, Pasi. 2001. Maastomittauksen perusteet. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy

Rts.fi. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-25]

Saatavissa: http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/Inframodel3-kayttoohje.pdf

SAARNIKKO, Josefiina 2016. Infraomaisuuden hallinnan nimikkeistö. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Diplomityö. [Viitattu 2018-01-25].

Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/22164>

SOINI, Timo. 2009. Viherrakentajan käsikirja. Tampere: Esa Print Oy

Topgeo.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-16]

Saatavissa: <http://www.topgeo.fi/tuotteet/koneohjausjarjestelmat-ja-konevastaanottimet/mita-koneohjaus-on>

Yleiset inframallivaatimukset 2015, 2018-01-24. Inframallien yhtenäistämistä helpottavia julkaisuja ja työkaluja [kuva].

Yleiset inframallivaatimukset 2015, 2018-02-08. Toteutusmallin ylimmän yhdistelmäpinnan taiteviivojen nimet ja koodit InfraBim-nimikkeistön ohjeiden mukaisesti [kuva]. Sijainti: Yleiset inframallivaatimukset 2015 Mallinnusohjeet osa 5.2

Yleiset inframallivaatimukset 2015. [verkkoaineisto]. [Viitattu 2018-01-24]

Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>