

**MALLIPOHJAINEN LAADUNVARMISTUS ALUEMAISEN
INFRARAKENTAMISEN PROJEKTISSA**

Jonne Ruopsa

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jonne Ruopsa	Vuosi	2018
Ohjaaja(t)	Pasi Laurila		
Toimeksiantaja	Destia Oy		
Työn nimi	Mallipohjainen laadunvarmistus aluemaisen infrarakentamisen projektissa		
Sivu- ja liitesivumäärä	32		

Opinnäytetyön tarkoituksena oli käydä läpi aluemaisen työmaan mallipohjaista laadunvalvontaa sekä miettiä, miten aluemaisen työmaan laadunvalvontaa ja työnseurantaa voitaisiin helpottaa. Digitalisaation ansioista infrarakentamisen on ollut mahdollista siirtyä dokumenttipohjaisesta tuotannosta mallipohjaiseen tuotantoon, joka on omalta osaltaan auttanut aluemaisessa laadunvalvonnassa sekä työnseurannassa. Aihe syntyi kesätöistä kaivoksilla ja aihe on mietitty yhdessä Destia Oy:n kanssa.

Opinnäytetyössä kävin yleisesti läpi, mitä tarkoitetaan aluemaisella työkohteella, mitä koneohjaus on ja mihin sen toiminta perustuu. Työssä perehdyttiin, mitä on mallipohjainen laadunvarmistus ja mitkä ovat sen edellytykset ja päävaiheet sekä miten ohjeistuksia on sovellettu aluemaiseen rakentamiseen. Opinnäytetyön yhtenä osana kävin läpi työmaan hallintaan ja laadunvalvontaan käytettävän Infrakitin ominaisuuksia sekä soveltuvuutta aluemaisen rakentamisen laadunvalvontaan.

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli myös miettiä parannusehdotuksia sekä työkaluja Infrakitiin helpottamaan aluemaisen työmaan laadunvalvontaa sekä työn- ja massojen seurantaa.

Aluemaisen työmaan, koneohjauksen ja mallipohjaisen tuotannon esittely pohjautuu kirjallisuustutkimukseen, jonka pääasiallisina lähteinä ovat olleet erilaiset opinnäytetyöt, koneohjauslaittevalmistajien oppaat sekä buildingSMART Finland -yhteistyöfoorumien Yleiset inframallivaatimukset 2015 -ohjeistuskokoelma. Mallipohjaista laadunvarmistusta aluemaisella työmaalla on pohdittu yhdessä asiantuntijoiden kanssa. Infrakitin esittely perustuu kesätöistä saatuihin kokemuksiin.

Avainsanat

Aluemainen, laadunvarmistus, työkoneautomaatio

Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Jonne Ruopsa	Year	2018
Supervisor	Pasi Laurila		
Commissioned by	Destia Oy		
Subject of thesis	Model-Based Quality Assurance of the Aerial Construction Site		
Number of pages	32		

The purpose of this thesis was to describe the quality assurance of the aerial construction site and to develop the quality assurance and the follow up systems of the site. The purpose of this thesis was also to develop improvements to make quality assurance easier and to develop new features for the Infrakit software.

The source material consisted of literature on the topic such as thesis, manuals and the Common InfraBIM Requirements 2015. The demonstration of the Infrakit software was based on the author's knowledge and experience.

The thesis gives an overall view on the model-based quality assurance of the aerial construction site, machine control systems and the basis of machine control. The thesis also clarified the features of the Infrakit software and its benefits for the quality assurance of the aerial construction site. Digitalization has also helped to coordinate the quality assurance and to follow up of the site activities. The improvement suggestions for the Infrakit software were discussed in the conclusion.

Key words

quality assurance, machine control, model-based

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	INFRARAKENTAMINEN.....	9
3	TYÖKONEAUTOMAATIO INFRARAKENTAMISESSA	10
3.1	Työkoneautomaatio yleisesti.....	10
3.2	Toimintaperiaate	10
3.2.1	Takymetripaikannus	11
3.2.2	Satelliittipaikannus.....	12
4	INFRAKIT	13
4.1	Mikä on Infrakit.....	13
4.2	Infrakitin ominaisuuksia.....	14
4.2.1	Tiedonsiirto työkoneen ja vastuuhenkilön välillä.....	14
4.2.2	Toteumapisteiden tarkastelu	15
4.2.3	Työkoneiden työn seuranta	16
4.2.4	Infrakitin ja mobiililaite	17
5	MALLIPOHJAINEN LAADUNVARMISTUS.....	20
5.1	Yleistä	20
5.2	Edellytykset.....	20
5.3	Päävaiheet ja vastuut.....	22
5.3.1	Toteutusmallin laatiminen, tarkastaminen ja dokumentointi	22
5.3.2	Työkoneautomaatiojärjestelmän ja tukiaseman tarkkuuden seuranta ja dokumentointi	23
5.3.3	Työkoneautomaatiojärjestelmällä tehtävä toteumamittaus ja muu työnaikainen laadunvalvonta	24
5.3.4	Tarkemittaus 200 m välein ja rakenteiden muutoskohdista.....	27
5.4	Laadunvalvonnan dokumentointi	28
6	JOTOPÄÄTÖKSET.....	29
6.1	Infrakit laadunvarmistus- ja työnseurannan työkaluna	29
6.2	Kokemuksia työkoneautomaatiosta ja aluemaisen työmaan laadunvalvonnasta	30
	LÄHTEET	31

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Bentoniittimatto	Geokomposiitti, joka muodostuu geotekstiileistä ja bentoniittisavesta (Viacon 2017).
GNSS	Lyhenne sanoista: Global Navigate Satellite System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka koostuu mm. GPS-, Glonass- ja Galileo satelliiteista (Laurila 2012).
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset
Infrakit	Tietomallipohjaisen työmaanhallintajärjestelmä
Mallipohjainen	”Tiedon käsittelyn soveltamistapa. Esimerkiksi kun tuotetta kuvataan tietokonesovelluksilla mallina ja sen muodostavina osina, sovellukset pystyvät automaattisesti tulkitsemaan mallin sisältämiä tuotetietoja” (buildingSMART Finland 2017f).
Novatron	Suomalainen koneohjausjärjestelmävalmistaja
Paaluluku	Matka metreinä mittalinjan alkupisteeseen
RTK	Real Time Kinematic. Satelliittimittausmetodi, jolla saavutetaan lähes reaaliaikaisesti senttimetriluokan mitaustarkkuus. (Laurila 2012.)
Takymetri	Elektroninen mittalaite
Toteumapiste	3D-koneohjatulla työkoneella kuljettajan ottama XYZ-koordinaatit omaava tietue (buildingSMART Finland 2017d).

Toteutusmalli	"Infrarakenteen tai -järjestelmän tuotemallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa toteutuksen näkökulman, eli rakentamisen tehtävät, resurssit, ajoituksen, jne. Voi tarkoittaa myös suunnitelmamallista jalostettuja työkoneiden koneohjausmalleja tai mittauksia varten laadittuja paikalleenmittausmalleja" (buildingSMART Finland 2017f).
YIV2015	Yleiset inframallivaatimukset 2015. Ohjekokonaisuus, joka on luotu ohjaamaan tietomallintamista Infra-alalla. (buildingSMART Finland 2017a.)

1 JOHDANTO

Nykypäivänä kun puhutaan maarakentamisesta tai alkavasta infrarakentamisen työmaasta, liittyy puheisiin yhä useammin sana työkoneautomaatio. Työkoneautomaatio eli tutummin koneohjaus on hakenut paikkaansa infrarakentamisessa jo usean vuosikymmenen ajan, ja tällä hetkellä se karsii jo urakoiden tarjousvaiheessa urakoitsijoita pois. Suurimmat infratilaajat sekä yhä useammat kunnat ja muut tahot vaativat maarakennusurakoitsijoilta, että urakat suoritetaan työkoneautomaatiota hyödyntäen.

Jotta työkoneautomaation kaikki hyöty saadaan urakassa irti, tulee automaatiolla työstettävä urakka suorittaa tietomallipohjaisesti. Työkoneautomaatio tuo tällöin mukanaan erilaisia ohjeita ja vaatimuksia. Tietomallipohjaisen hankkeen vetämiseen on saatavilla kattava ohjeistus, jota päivitetään tälläkin hetkellä helpottamaan urakan erivaiheissa mukana olevien toimijoiden yhteistyötä ja yhtenäisyyttä urakan alusta loppuun.

Aihe opinnäytetyöhön syntyi kesätöistä saadun kokemuksen pohjalta työkoneautomaation ja tietomallinnuksen soveltuvuudesta aluemaisiin työmaihin. Yleensä kun puhutaan infrarakentamisesta, ymmärretään se väylä- tai ratarakentamisena, joten halu tuoda aluemaista rakentamista ja sen haasteita antoi lisäpotkua aiheelle. Työkoneautomaatiolla suoritettavaan aluemaiseen työmaan ei ole vielä saatavilla yhtä kattavia ja tarkkoja ohjeistuksia ja vaatimuksia kuin väylä- ja ratarakentamiseen, joka toi myös omia haasteita, joita opinnäytetyössä tuodaan esiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on antaa lukijalle tietoa työkoneautomaatiosta sekä siihen liittyvästä mallipohjaisesta laadunvarmistuksesta. Tarkoituksena on myös havainnollistaa tietomallipohjaisen laadunvarmistustyökalu Infrakitin käyttömahdollisuuksia sekä pohtia mahdollisia parannusehdotuksia työkalulle. Opinnäytetyön ajatuksena on myös antaa ideoita kollegoille, miten aluemaisen työmaan laadunvalvontaa voi helpottaa, mikäli tällainen tulee vastaan.

Opinnäytetyön tarkoituksena ei ole tehdä lukijasta tietomalliasiantuntijaa, joten opinnäytetyössä on pyritty käymään läpi vain kaikki olennainen asia aluemaisen työmaan mallipohjaisen laadunvalvontaprosessin hahmottamiseksi. Tämän avulla on pyritty siihen, että lukijalla pysyy mielenkiinto loppuun asti ja näin ollen sisäistää lukemansa.

2 INFRARAKENTAMINEN

Käsite infrarakentaminen käsittää paljon laajemman kokonaisuuden kuin varsinaisten maa- ja vesirakenteiden rakentamisen. Yleisimmin infrarakentamisella tarkoitetaan väylä- ja ratarakentamista. Infrarakentamiseen kuuluvat näiden lisäksi tekniset verkostot, teollisuuden toimialan kaivosten avaukset ja sulkemiset, talonrakennusten perustus-, pohjarakennus- ja pihatyöt, maanalaiset rakenteet, kuten pysäköintihallit sekä erikoisalojen toimialalta infrarakentamiseen kuuluvat työt. (Rakennusteollisuus 2017.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kaivoksen sulkemiseen liittyvää aluemaista infrarakennustyömaata.

Aluemaisella työmaakäsitteellä voidaan tarkoittaa esimerkiksi parkkipaikkaa, urheilukenttää, hulevesiallasta, kiertoliittymää, kaatopaikkaa tai kaivosaluetta (buildingSMART Finland 2017c). Tässä opinnäytetyössä aluemaisella työmaalla tarkoitetaan vanhan kaivoksen rikastushiekka- (n. 80 ha) ja sivukivialuetta (n. 12 ha).

Tietomallipohjaisen rakentamisen ja mallintamisen näkökulmasta katsottuna aluemaisissa kohteissa ei rakenteita pystytä sitomaan yhteen linjaan. Lähtökohteisesti aluemaisissa kohteissa mallinnetaan vain ne taiteviivat, jotka vaikuttavat pinnan kaltevuuteen. (buildingSMART Finland 2017c.)

3 TYÖKONEAUTOMAATIO INFRARAKENTAMISESSA

3.1 Työkoneautomaatio yleisesti

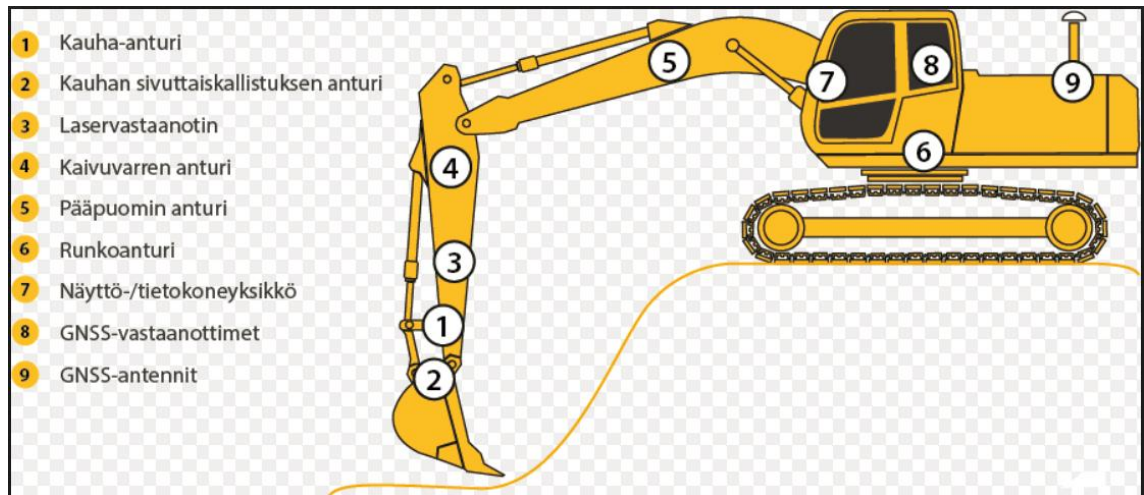
Työkoneautomaatio eli koneohjaus infrarakentamisessa muodostuu digitaalisten kolmiulotteisten toteutusmallien ja reaaliaikaisen paikannuksen yhteistuloksena työkoneessa. Koneohjausta voidaan käyttää kaivinkoneissa, pyöräkoneissa, puskutraktoreissa, tiehöylissä, ruoppauskoneissa, poraus- ja paalutuskooneissa.

Koneohjauksen yksi suurimpia hyötyjä on materiaalihukan pieneneminen sekä työtehon kasvu, jotka nopeuttavat urakan valmistumista. Kun koneohjausmallit on laadittu tarkasti suunnitelmien mukaan edellyttäen, että suunnitelmat ovat virheettömiä, saadaan työstettävä kohde heti oikeaan paikkaan ja korkeuteen, jolloin voidaan välttyä esimerkiksi ylimääräiseltä kaivuulta.

Koneohjaus helpottaa myös mittaaajien sekä työnjohdon tehtäviä. Lisäksi se pienentää henkilöstön tarvetta, parantaa työturvallisuutta ja näiden ansiosta vähentää projektin kustannuksia. Koneohjaus helpottaa myös pimeällä, sateella ja lumella työskentelyä, koska maastoon ei tarvitse tehdä merkintöjä, jotka voivat kadota johtuen sääolosuhteista.

3.2 Toimintaperiaate

Koneohjaus on sitä, kun esimerkiksi kaivinkoneen kuljettaja kykenee kaivamaan kaivantoa oikeaan paikkaan ja syvyyteen käyttäen apuna koneohjausjärjestelmää. 3D-koneohjaus perustuu GNSS- tai takymetripaikannukseen. Yhdessä antureiden kanssa koneohjatun työkoneen kuljettaja näkee koneohjausjärjestelmän näytöltä reaaliaikaisesti työkoneensa työtätekevän osan (kauhan, levyn, poran) liikkeet ja erot verrattuun pintaan, linjaan tai pisteeseen. (Pelimanni 2014, 12–13.) Kuviossa 1 on esitetty 3D-koneohjausjärjestelmän eri komponentit.



Kuvio 1. Havainnekuva koneohjatun kaivinkoneen komponenttien sijoittelusta työkoneeseen (Novatron 2016)

3.2.1 Takymetripaikannus

Takymetripaikannusta käyttävän työkonen paikannus perustuu mitattuun vaakasuuntaan, korkeuskulmaan ja vinoetäisyyteen tunnetulta asemapisteltä työkoneeseen asennettuun prismaan. Takymetri toimii asemapisteen ja prisman välissä ns. "laskukoneena". Takymetri on orientoitu asemapisteen avulla, jonka jälkeen se laskee työkoneessa olevan prisman avulla työkonen ja asemapisteen väliset koordinaattierot työkonen paikallistamiseksi. (Ahonen 2015, 5.)

Takymetripaikannus vaatii jatkuvan näköyhteyden työkonen ja takymetrin välillä, joka asettaa rajoituksia työkonen työympäristöön. Takymetriohtatun työkonen työ keskeytyy aina, kun jokin este tulee takymetrin ja työkonen väliin. Syvien ja kapeiden kaivantojen kaivaminen on lähes mahdotonta takymetriohtauksella johtuen välttämättömästä näköyhteydestä. (Heikkinen 2016, 4.)

Takymetriohtatut työkonet on melko harvinaisia tänä päivänä johtuen sen epäkäytännöllisyydestä sekä siitä, että takymetrin pystyttäminen vaatii mittaustekniikan tuntemista, jota työkonen kuljettajalla ei välttämättä ole. Koska GNSS-paikannuksella päästään lähes yhtä tarkkoihin tuloksiin alkaa se olla yleisempi vaihtoehto paikannukseen. Takymetriohtauksia käytetään kuitenkin edelleen esimerkiksi tiehöylissä ja tarkkuutta vaativissa työkohteissa. Takymetriohtatulla

työkoneella päästään hieman parempiin tarkkuuksiin verrattuna GNSS-paikannuksella toimivaan työkoneeseen. (Heikkinen 2016, 4.)

3.2.2 Satelliittipaikannus

Nykypäivänä yleisimmin käytössä oleva koneohjauksen mittaustapa perustuu GNSS-RTK-mittaukseen. RTK-mittauksen periaatteena on paikanmääritys kiinteän ja liikkuvan satelliittivastaanottimen välillä, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Kiinteää satelliittivastaanotinta kutsutaan tukiasemaksi, joka on yleensä sijoitettu konttiin, jolloin sitä on tarvittaessa helppo siirrellä. (Kanniainen 2017,19.)

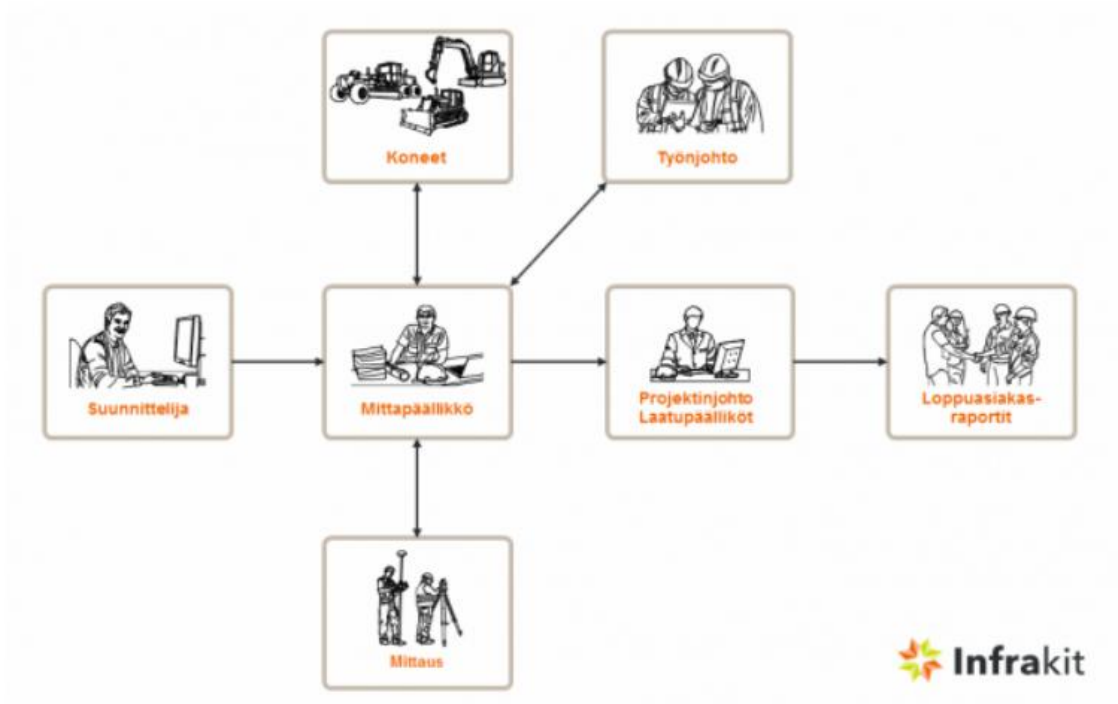
Yksi tukiasema voi tarjota korjausta usealle eri työkoneelle ja sen kantama vaihtelee yhdestä kilometristä kymmeneen kilometriin riippuen maastonmuodoista ja muista mahdollisista esteistä. RTK-menetelmää käyttäen koneohjausjärjestelmällä päästään paikannuksessa senttimetrin tarkkuuteen. (Kanniainen 2017,19.)

Nykyisin on alettu käyttämään paljon myös verkko-RTK-paikannusta. Verkko-RTK-menetelmässä tukiasemakorjaus saadaan kaupalliselta palveluntarjoajalta. Palveluntarjoajia ovat mm. Geotrim ja Leica, joilla on oma kiinteä tukiasemaverkko, josta lähetetään korjausdataa mobiiliverkon välityksellä mittalaitteeseen. Paikannustarkkuus korkeuden osalta on noin 4–5senttimetriä eli verkko-RTK-menetelmällä ei päästä yhtä hyvään tarkkuuteen kuin RTK-menetelmällä. (Heikkinen 2016, 5-6.)

4 INFRAKIT

4.1 Mikä on Infrakit

Infrakit on suomalainen tietomallipohjainen työmaanhallintajärjestelmä, jonka avulla infrarakennusprojektin eri osapuolet (tilaaja, urakoitsija, valvojat, suunnittelijat) voivat toimia tehokkaasti yhteistyössä. Infrakit-pilvipalvelu käsittelee sähköisessä muodossa olevia suunnitelma- ja toteumatietoja yhdistelmämallina avoimissa formaateissa ja tekee tietojen hallinnasta, näyttämisestä ja jakamisesta sekä helppoa että tehokasta. Kaikilla hankkeessa mukana olevilla on aina käytössään sama ajantasainen tieto (Kuvio 2). (Infrakit 2017a.)



Kuvio 2. Havainnekuva tiedon jakautumisesta projektin eri jäsenille Infrakitissa (Infrakit 2017a)

4.2 Infrakitin ominaisuuksia

Infrakitia voi käyttää tietokoneella, puhelimella tai tabletilla. Infrakitin avulla voi työmaan tilannetta ja etenemistä seurata ilman fyysistä käyntiä työmaalla, sillä infrakit toimii reaaliajassa ja infrakitistä löytyy kaikki tarvittava tieto työmaan etenemisestä (Infrakit 2017a). Sovelluksessa on mahdollista tarkastella työmaata kartta- tai ortokuvapohjalla työmaakoordinaatistossa. Sovelluksen päänäky-
mässä näkyy valittuna oleva projekti kartta- tai ortokuvapohjalla, valitut mallit ja taustakartat, koneet, toteumatiedot, paikkatiedolliset valokuvat sekä yläpalkissa eri toimintovälilehdet (kuvio 3).



Kuvio 3. Kuvankaappaus infrakit-sovelluksen pääikkunasta. Päänäkymässä taustakartta, aktiivinen malli, koneet sekä valokuvat esitettynä ortokuvapohjalla

Seuraavaksi opinnäytetyössä käsitellään Infrakitin eri toimintoja. Toiminnoista läpi käydään sellaisia toimintoja jotka ovat olleet eritoten hyödyllisiä aluemaisen työmaan laadunvalvonnassa ja työn seurannassa. Luvussa 6 Johtopäätökset on pohdittu mahdollisia parannusideoita Infrakitiin.

4.2.1 Tiedonsiirto työkoneen ja vastuuhenkilön välillä

Työmaalla olevien työkoneiden koneohjausjärjestelmät liitetään Infrakitiin, joka mahdollistaa toteutusmallien siirron koneohjausjärjestelmiin ja toteumatietojen siirron koneohjausjärjestelmistä langattomasti mobiiliverkon välityksellä. Työko-

neeseen haluttava tiedosto ladataan Infrakitiin, jonka jälkeen Infrakit synkronoi aineistot projektilla oleviin työkoneisiin, joille on annettu oikeudet kyseiseen tiedostoon. Kun taas automaatiolla varustettu työkone ottaa toteumapisteitä, latautuvat ne automaattisesti Infrakitiin, josta ne ovat helposti ladattavissa ja tarkasteltavissa. (Infrakit 2017b.)

Infrakitin mahdollistama tiedonsiirto vähentää tiedon jakeluun kuluvaan aikaan huomasti. Jos jokainen tiedosto vietäisiin jokaiseen työkoneeseen ja toteumat haettaisiin jokaisesta työkoneesta erikseen USB-tikulla, kuluu tähän isolla työmaalla huomattavan paljon enemmän aikaa verrattuna siihen, että kyseiset työt tehdään Infrakitin kautta. (Heikkinen 2016.)

4.2.2 Toteumapisteiden tarkastelu

Kun automaatiolla varustettu työkone ottaa tekemästään pinnasta toteumamittauksia, päivittyvät toteumat automaattisesti Infrakitiin. Toteumapisteitä voi tarkastella karttapohjalla, luettelona, poikkileikkausikkunassa tai konekohtaisesti. Kuviossa 4. toteumapisteet on esitetty karttapohjalla.



Kuvio 4. Kuvankaappaus Infrakitista, jossa toteumapisteet esitetty ortokuvapohjalla.

Kuviossa 4. toteumapisteiden symboli kertoo, että toteumapiste on otettu GNSS-koneohjausjärjestelmällä ja symbolin alapuolella oleva luku esimerkiksi (0.007)

kertoo toteumapisteen eron suunniteltuun pintaan milleinä. Mustat pisteet tarkoittavat, että piste on toleranssien sisällä ja punainen ja sininen, että toteumapisteen kohdalla rakenne on joko kova tai vajaa. Näin olleen työnjohto, tilaaja ja valvoja näkevät heti yhdellä silmäyksellä, mikä on työkohteen tilanne.

Kun toteumapistettä klikkaa kartalla avautuu ikkuna, josta selviää pisteen numero, koodi, mahdollinen nimi. Lisäksi ikkunassa on pisteen koordinaatit ja korkeus, pisteen mittaushetkellä aktiivisena oleva malli, aika sekä työkone, jolla piste on otettu.

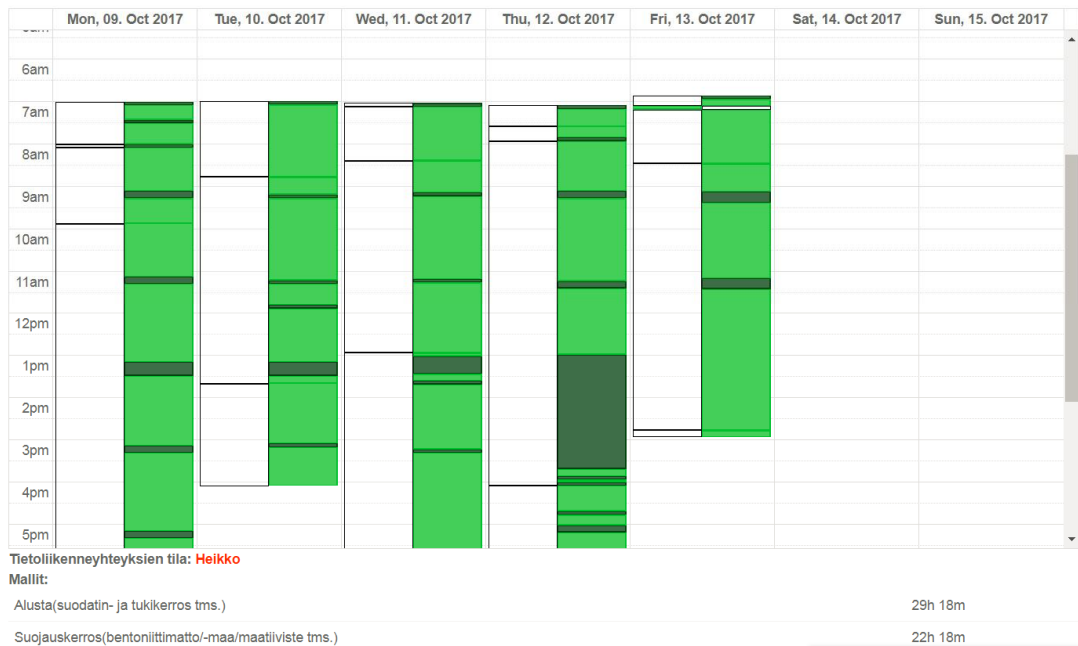
Infrakitissä on myös ominaisuus, jolla eri työkoneiden toteumapisteen saadaan jaettua projektin jokaiselle työkoneelle. Tämän ominaisuuden ansiosta työkoneiden kuljettajat näkevät heti koneohjausjärjestelmän näytöltä, että kyseinen alue on tehty ja mitattu.

4.2.3 Työkoneiden työn seuranta

Infrakitin karttanäkymässä näkyvät kaikki työmaalle liitetyt koneet. Infrakitin kautta voi nähdä työkoneiden liikkeitä, aktiivisuustiedot, työkoneen mitaamat toteumatiedot, aktiivisena olevan toteutusmallin ja kuljettajan puhelinnumeron sekä nimen. Infrakitin avulla voidaan seurata työkoneiden työn etenemistä ja laatua kuljettajien tekemien toteumamittausten perusteella. Tämän avulla voidaan esimerkiksi miettiä ja suunnitella työmaan seuraavia työvaiheita ilman fyysisiä käyntiä työmaalla.

Infrakitissa on mahdollista tarkastella myös takautuvasti työkoneiden työskentelyaikoja sekä koneen työskentelyaikana aktiivisena olleita toteutusmalleja (Kuvio 5).

Oct 9 – 15, 2017

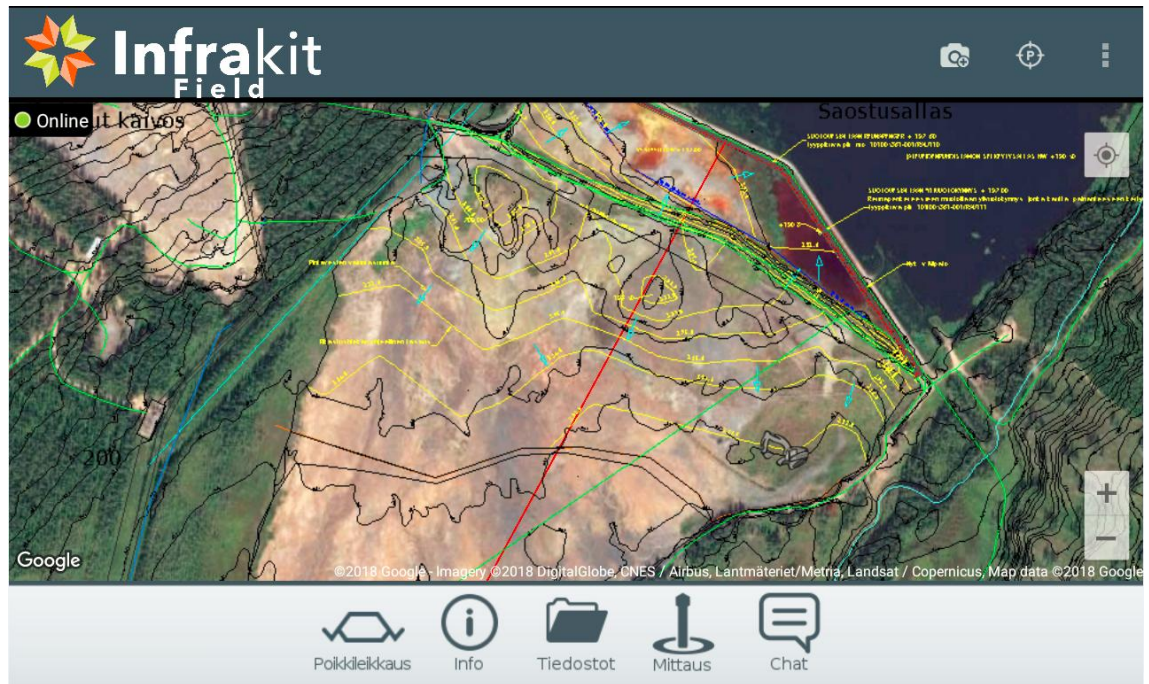


Kuvio 5. Kuvankaappaus Infrakitista, jossa esitetynä työkoneen työskentelyaikoja

Kuviossa 5. on esitetty työkoneen työskentelyaikoja takautuvasti. Vaaleanvihreä kertoo työkoneen työskentelyajan ja aktiivisena olleen mallin, kun taas tummanvihreä kuvastaa aikaa, jolloin kone on ollut paikallaan. Taulukon alareunassa on koottu yhteen mallit ja kuinka kauan mallia on työkone käyttänyt viikon aikana. Tämän avulla voidaan seurata esimerkiksi tiettyyn työvaiheeseen kulunutta aikaa, jonka avulla voidaan jatkossa suunnitella aikataulua helpommin ja tarkemmin.

4.2.4 Infrakitin ja mobiililaitte

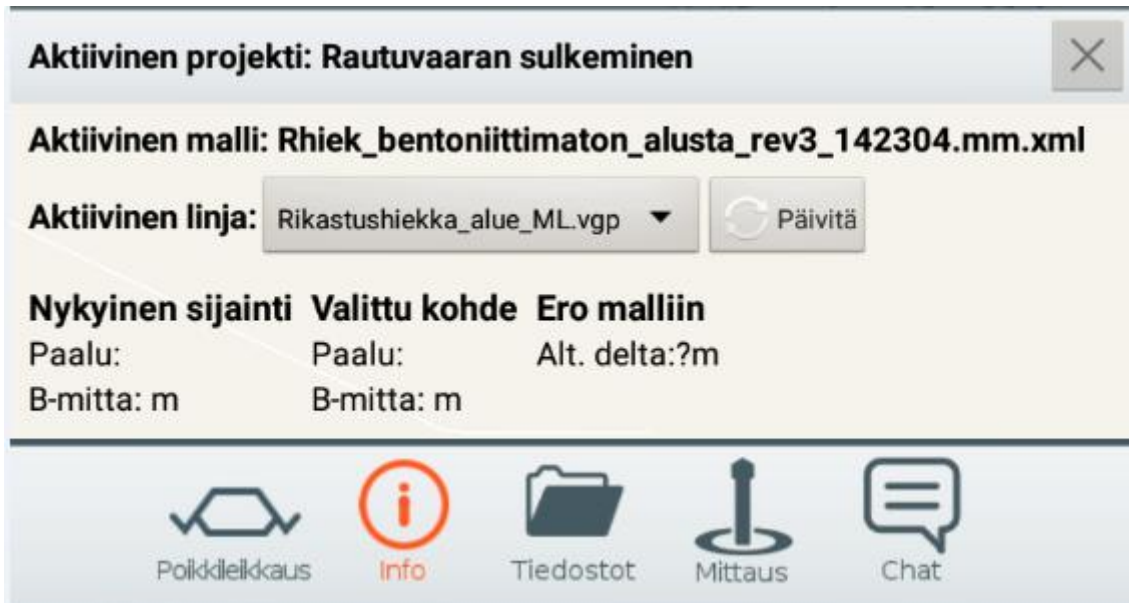
Infrakit toimii myös mobiililaitteella. Sovelluksen lataamalla voi työmaata seurata esimerkiksi puhelimen avulla. Lähes jokaisessa mobiililaitteessa on sisäänrakennettu GPS/GNSS -satelliittipaikannus, joten sovelluksen avulla voi esimerkiksi navigoida työmaalla tai ottaa paikkatiedollisia kuvia. (Infrakit 2017d) Ulkoasultaan ja työkaluiltaan sovellus on hieman pelkistetympi kuin tietokoneen selaimella käytettävä (Kuvio 6).



Kuvio 6. Kuvankaappaus Infrakit-mobiilisovelluksen aloitusnäytöstä

Mobiilisovelluksessa on mahdollista tarkastella mm. malleja tasokuvana tai poikkileikkauksina, työkoneiden liikkeitä tai työkoneiden ottamia toteumapisteitä. Sovellukseen on mahdollista liittää ulkoinen GNSS-vastaanotin, jolloin päästään parempaan mittatarkkuuteen verrattuna mobiililaitteen omaan paikannukseen. Tämän avulla on mahdollista tehdä vaikkapa yksinkertaisia kartoituksia mittausvälilehden kautta. (Jaakkola 2017.)

Info välilehden ja ulkoisen GNSS-vastaanottimen avulla on mahdollista tarkastella esimerkiksi, kuinka paljon tietystä kohdassa on leikkausta verrattuna malliin. Ulkoisen GNSS-vastaanottimen voi sijoittaa, vaikka auton katolle, jolloin antennikorkeuden syötettyä sovellukseen voi esimerkiksi työnjohto ajaessaan työmaakierrosta nähdä samanaikaisesti senhetkisen maanpinnan eron haluttuun malliin. Info-välilehdessä voidaan valita haluttu malli ja linja, jonka jälkeen nähdään paaluluku missä ollaan sekä sivumittaero (kuvio7). Kartasta voidaan valita myös haluttu kohde näpäyttämällä, jolloin info-välilehdessä nähdään valitun kohteen paaluluku sekä ero valittuun linjaan.



Kuvio 7. Kuvankaappaus Infrakit-mobiilisovelluksen Info-välilehdestä

Yksi laadunvalvonnan kannalta hyödyllinen toiminto mobiilisovelluksessa on mahdollisuus paikkatiedollisten valokuvien ottoon. Sovelluksella otetut kuvat päivittyvät automaattisesti Infrakitiin ja tulevat näkyviin päänäkymässä olevalle kartalle siihen paikkaan mistä kuva on otettu. Tämän avulla esimerkiksi valvoja havainnollistaa heti mistä kohdin kuva on otettu ja kaikki valokuvat löytyvät samasta paikasta.

5 MALLIPOHJAINEN LAADUNVARMISTUS

5.1 Yleistä

Osana YIV2015 ohjeistusta on laadittu ohje 12.1 Maarakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä. Mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä on inframallinnusta ja työkoneautomaatiota hyödyntävä maarakentamisen työn aikaisen laadunvarmistuksen menetelmä, jolla tuotetaan laatu- ja toteumatietoa urakoitsijan ja tilaajan tarpeisiin.

Työmaalla, jota käytän esimerkkinä tässä työssä, on sovellettu YIV2015 osaa 12.1 aluemaiseen työmaahan sopivaksi, koska ohjeessa ei käsitellä aluemaista työmaata. YIV2015 ohjeistuksesta on tulossa uusi versio mahdollisesti vuonna 2018, jossa myös aluerakentamisen erityispiirteitä on käsitelty (Suntio 2017).

5.2 Edellytykset

Mallipohjaisen laadunvarmistuksen käyttöönoton edellytyksenä on, että työmaan mittauksista vastaavalla tai työkoneautomaation tukihenkilöllä on vähintään maanmittausalan ammatillinen koulutus ja kahden vuoden kokemus satelliitti- ja takymetripaikannuksesta, työkoneiden 3D-ohjausjärjestelmistä sekä toteutusmallien tarkastamisesta ja mallintamisesta. (buildingSMART Finland 2017e.)

Lisäksi mallipohjaisen laadunvarmistuksen käyttö maarakentamisessa edellyttää seuraavaa:

- Toteutusmalli on laadittu YIV2015:n osan 5.2 mukaan.
- Rakennuskohteen rakenneosien geometriaa toteuttavissa työkoneissa käytetään työkoneautomaatiota.
- Työkoneautomaation paikannusjärjestelmä täyttää taulukossa 1 esitetyt tarkkuusvaatimukset.
- Työkoneautomaatiolla toteutettu työ täyttää taulukossa 1 esitetyt maarakenteiden mittavaatimukset.

- Lopputuote täyttää infraRYL-vaatimukset.

Taulukko1. Maarakenteiden mittavaatimukset ja työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava tarkkuus Rautuvaaran työmaalla

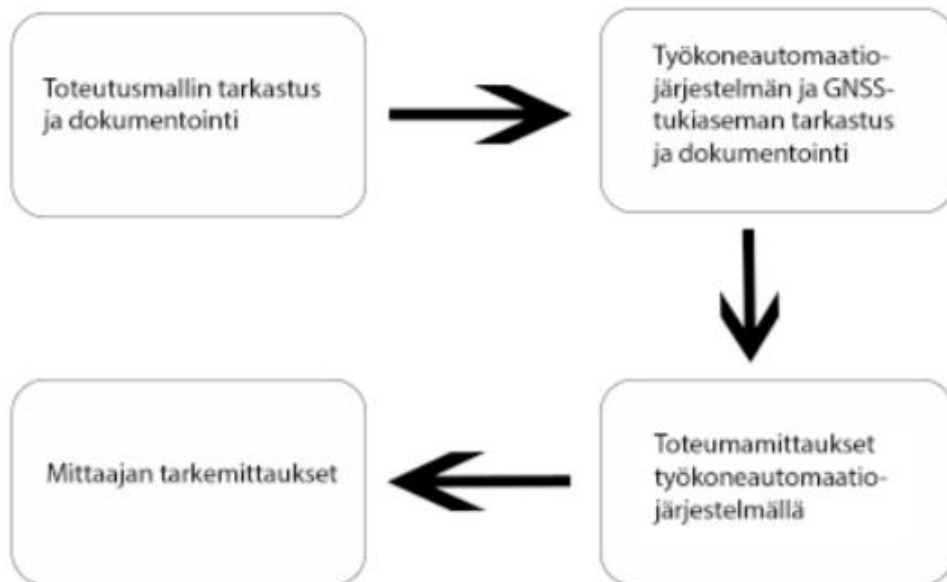
Rakenneosä	Suurin sallittu yksittäinen tasosijainnin poikkeama [mm]	Suurin sallittu yksittäinen korkeuden poikkeama [mm]	Työkoneautomaatio järjestelmältä vaadittava tarkkuus XY;Z [mm]
Muotoilupinta	-	+50	+100 ; +30
Tasauskerros	-	+50	+100 ; +30
Peittokerroksen alaosa (suojakerros)	-	+50/-0	+100 ; +30
Peittokerroksen yläosa	-	+50/-0	+100 ; +30
Kasvukerros	-	+50/-0	+100 ; +30

Taulukossa 1 on esitetty jokaiselle rakenneosalle määritetyt omat tarkkuusvaatimukset lopputuotteen sekä työkoneautomaation tarkkuuden suhteen. Vaikka työkoneautomaatio täyttää sille asetetun työaikaisen tarkkuusvaatimuksen, ei se vielä riitä, vaan lopputuotteen on täytettävä myös InfraRYL:n laatuvaatimukset.

5.3 Päävaiheet ja vastuut

Mallipohjaisen laadunvarmistusprosessin päävaiheet on esitetty kuviossa 8.

Mallipohjainen laadunvarmistus -prosessi



Kuvio 8. Mallipohjaisen laadunvarmistuksen päävaiheet. (Heikkinen 2016, 16.)

5.3.1 Toteutusmallin laatiminen, tarkastaminen ja dokumentointi

Urakoitsijan mittausvastaava laatii suunnitelmista tarvittavat toteutusmallit, jotka esitellään sekä tilaajalle että urakoitsijan projektinjohdolle. Lähtöaineistosta muodostettu toteutusmalli tarkastetaan ennen käyttöönottoa työkoneautomaatiojärjestelmissä. Tarvittaessa projektinjohto sekä valvojat pääsevät tarkkailemaan malleja Infrakitin kautta.

Toteutusmallin laatimis- ja tarkastusprosessi:

- Tutustutaan suunnitelmiin.
- Tarvittaessa tehdään suunnittelijalle täydennyspyyntö.
- Laaditaan toteutusmallit.
- Tarkastetaan toteutusmallien ja työmaalla käytettävän koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien yhteneväisyys.

- Tarkastetaan, että kaikki tarvittavat rakenneosat on mallinnettu aukottomasti.
- Tarkastetaan mallin taiteviivojen jatkuvuus.
- Tarkastetaan kuivatuksen toimivuus.
- Tarkastetaan että toteutusmallin mukaan rakentaminen ei vaaranna työturvallisuutta.
- Poistetaan ylimääräiset linjat, pisteet ja malliosat.
- Täydennetään lähtöaineiston pienehköt aukot, joissa ei tarvita uutta lähtötietoa suunnittelijalta.
- Muunnetaan toteutusmalli työkoneautomaatiojärjestelmään soveltuvaan formaattiin.

Toteutusmallin tarkastus dokumentoidaan kirjaamalla vain havaitut suunnitel-
mavirheet sekä toteutusmalliin tehdyt oleelliset muutokset tarkastusraporttiin.
Tarkastuksen jälkeen toteutusmalli on valmis siirrettäväksi työkoneeseen. (buildingSMART Finland 2017e.)

5.3.2 Työkoneautomaatiojärjestelmän ja tukiaseman tarkkuuden seuranta ja dokumentointi

Kun työkoneautomaatiolla varustettu työkone tulee työmaalle, täytyy sen toimivuus ja tarkkuus tarkistaa aina ennen kuin se otetaan käyttöön. Kun työkone on otettu käyttöön, jatketaan sen paikannusjärjestelmän toimivuuden sekä tarkkuuden seurantaan työmaalla joka viikkoisilla tarkastuksilla.

Työkoneen tarkastus tehdään aina kyseisen työmaan koordinaatistossa mit-
taamalla työkoneen terän mittapisteen sijainti takymetrillä, GNSS -mittalaitteella
tai asettamalla työkoneen terä tunnetulle mittapisteelle. Tarkastuksen tulos
saadaan vertaamalla työkoneen paikannusjärjestelmän tulosta mittalaitteen tai
mittapisteen koordinaatteihin. Mikäli koordinaateissa havaitaan taulukossa 1
esitettyjen tarkkuusvaatimuksien ylittävä poikkeama, täytyy työkone kalibroida
välittömästi. Tarkastus tehdään työkoneen kuljettajan kanssa yhteistyössä ja
tarkastuksesta dokumentoidaan työkone, ajankohta, koordinaattien x-, y-, ja z-

poikkeamat sekä tarkastusmittausmenetelmä ja tarkkuustiedot. (buildingSMART Finland 2017e.)

Myös paikallisen GNSS-tukiaseman sijaintia seurataan. Tarkastuksilla varmistetaan, että tukiasema ei ole siirtynyt alustuksen jälkeen ja mittalaite toimii normaalisti. Tarkastus suoritetaan vähintään kerran kuukaudessa tai jos on syytä epäillä, että tuki asema on liikahtanut. Lisäksi tukiasemaa seurataan viikoittain käymällä tunnetulla pisteellä tukiasemassa kiinni olevalla GNSS-mittalaitteella.

Työkoneiden ja tukiasemien tarkastustulokset dokumentoidaan työnjohdon ja tilaajan edustajan tarkasteltavaksi. Näistä toimenpiteistä vastaa työmaan mitauspäällikkö tai työkoneautomaation vastuuhenkilö. Työnjohdon tulee olla tietoinen tarkastusten tuloksista. (buildingSMART Finland 2017e.)

5.3.3 Työkoneautomaatiojärjestelmällä tehtävä toteumamittaus ja muu työnaikainen laadunvalvonta

Työkoneautomaatiolla toteutetuista rakenteista otetaan työn aikana toteumapistettä, joita käytetään työnaikaiseen rakenteiden mittatarkkuuden laadunvalvontaan ja työn etenemisen seurantaan. Työnjohto ja valvojat pääsevät tarkastelemaan toteumamittausten tuloksia Infrakitistä reaaliaikaisesti. (Kuusela 2017.)

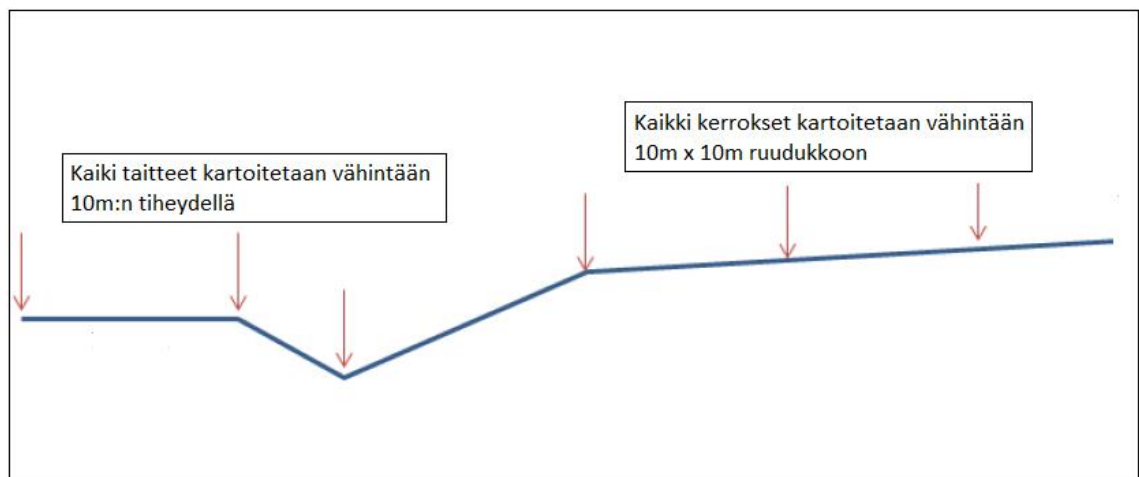
Työkoneella tehtävää toteumamittausta voidaan käyttää, kun järjestelmän paikannustarkkuus on tarkastuksessa todettu riittäväksi verrattuna taulukossa 1 esitettyihin rakenneosakohtaisiin tarkkuusvaatimuksiin. Lisäksi toteumamittauksia tekevän työkoneen kuljettaja perehdytetään toteumamittauksen tekemiseen ohjeistamalla ja neuvomalla työ aikana. Kuljettajalle tehdään myös kirjallinen ohje, josta selviää, miten ja mistä kohdin rakennetta toteumapiste otetaan. (buildingSMART Finland 2017e.)

Työkoneautomaatiolla tehdään toteumamittauksia taulukossa 1 olevista rakenerroksista. Väylärakentamisessa toteumapisteitä otetaan vähintään 20 metrin välein väylärakenteen poikkileikkauksen merkittävistä taitekohdista eli kohdista, joissa pinnan kaltevuus muuttuu, sekä keskilinjalta. Aluemaiselle työmaal-

le ei ole esitetty erikseen vaatimuksia toteumapiste tiheydelle, joten esimerkki työmaalla ohjetta on sovellettu työmaan laatuvaatimusten mukaan.

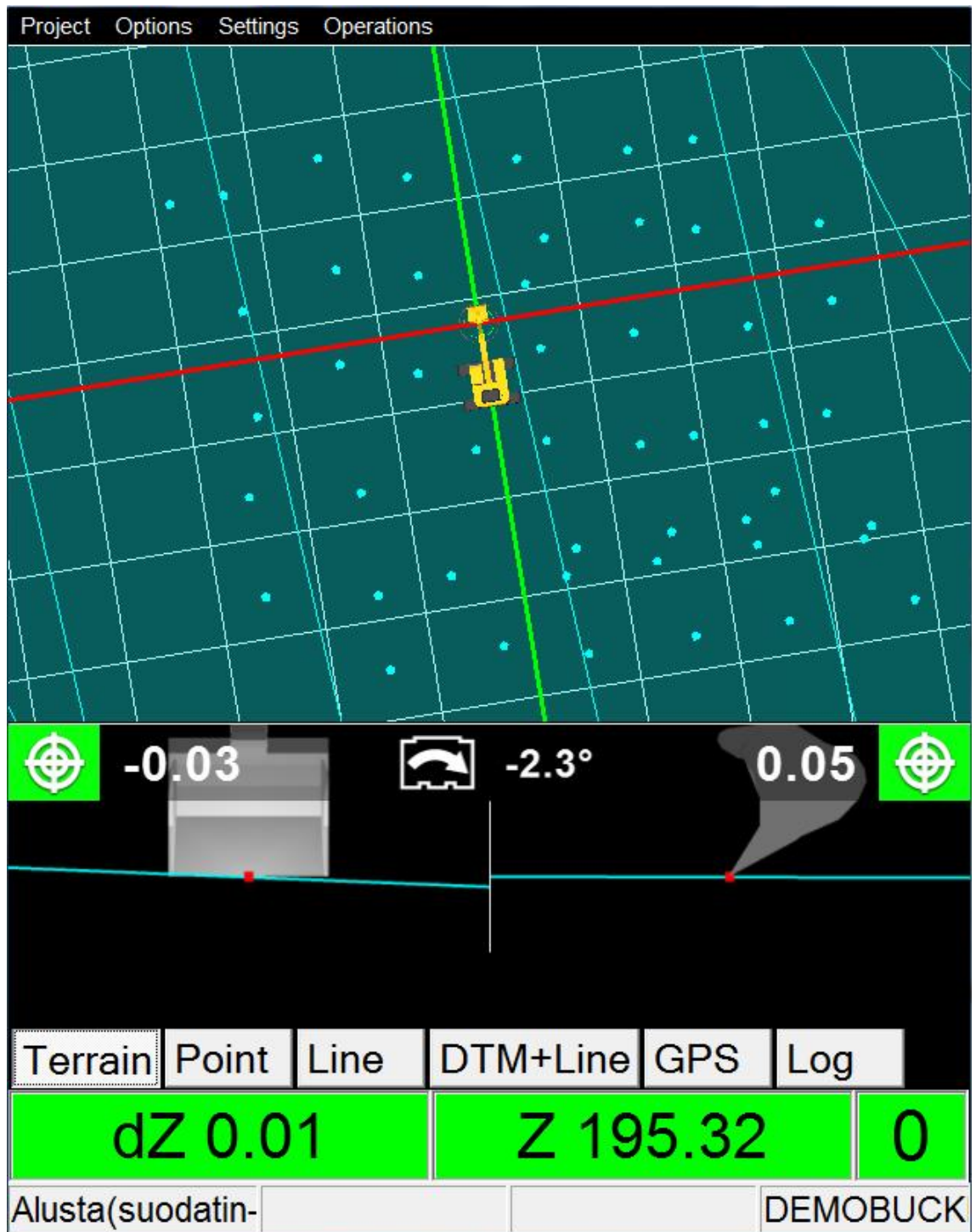
Toteumamittauksen kohteita esimerkkityömaalla ovat taulukossa 1 esitetyt rakennekerrokset. Toteumapisteitä otetaan laadunvalvontaohjeen mukaisesti vähintään 10 m x 10 m tiheydellä. Mittauksia tihennetään tarvittaessa, esimerkiksi kohdissa, joissa pinnassa on taite tai jokin muu maastonmuoto, joka vaikuttaa olennaisesti pinnan kuvautumiseen oikein ja jolla mahdollisesti olisi vaikutusta mm. massa määriin ja kerrospaksuuksien toteamiseen. (Lassila, Mustonen & Tuikka 2017)

Esimerkkityömaalla työkonekuskeja on ohjeistettu ottamaan toteumapisteitä Kuvion 9. mukaisesti



Kuvio 9. Toteumamittaus kohdat ja vaadittu pistetiheys Rautuvaaran työmaalla

Esimerkkityömaalla kyseessä on yhteispinta-alaltaan noin 100 ha kokoinen alue, joten työkonkuljettajien on hankala hahmottaa 10 m x 10 m:n ruudukkoa, joten on koneohjausjärjestelmään kuljettajan avuksi luotu taustakarttaruudukko helpottamaan hahmottamista (Kuvio 10). (Jaakkola 2017.)



Kuvio 10. 5 m x 5 m taustakarttaruudukko sekä toteumapisteitä. Kuva Novatronin LandNova-ohjelmistosta

Kuviossa 10. on näkymä Novatron-koneohjausjärjestelmän käyttöliittymästä. Taustalla näkyy 5 m x 5 m ruudukko sekä koneen ottamia toteumapisteitä ruuduista. Työkonekuskeja on ohjeistettu ottamaan vähintään yksi piste joka ruu-

dusta, jolloin laadunvalvontaohjeen vaatimus 10 m x 10 m pistetiheydestä täyttyy.

Rakenteista otetaan päivittäin myös GNSS-mittalaitteella tai takymetrillä tarkastusmittauksia. Tarkastusmittausten tarkoitus on, että mahdolliset laatupoikkeamat tai järjestelmäviat tulisivat mahdollisimman nopeasti esiin ja niihin pysyttäisiin reagoimaan heti. Tarkastusmittauksista ja automaatiolla toimivien työkonoiden kuljettajien perehdytyksestä toteumamittaukseen vastaa mittauspäällikkö tai työkoneautomaation vastuhenkilö. (buildingSMART Finland 2017e.)

Lisäksi työn aikana peittyvistä rakenteista kuten putkikaivannoista, kaivojen asennuksesta, siirtymäkiiloista tai pienistä massanvaihtokaivannoista otetaan valokuvat. Valokuvauksesta vastaa työnjohto (Kuusela 2017).

5.3.4 Tarkemittaus 200 m välein ja rakenteiden muutoskohdista

Tarkemittauksella tarkoitetaan GNSS -mittalaitteella tai takymetrillä työmaan mittausvastaavan tai hänen valtuuttamanaan olevan henkilön toimesta tehtävää rakenteen mittatarkkuuden todentavaa mittauksia. Mallipohjaisessa laadunvarmistusmenettelyssä laadunvarmistus painottuu enemmän työkonoiden tekemien toteumamittausiin perinteisistä mittajien suorittamista tarkemittauksista. (Heikkinen 2016.)

Työkoneautomaatiolla tuotetuista rakenteista tehdään 1-3 tarkastuspoikkileikkausta ja tarkemittaukset tehdään poikkileikkausten taitepisteistä sekä alusrakenteen rakennetyypin tai kerrospaksuuden muutoskohdista. Rakenteiden toteuman vaatimustenmukaisuutta seurataan vertaamalla mittauksien tuloksia urakan laadunvalvontaohjeen raja-arvoihin. Mikäli tarkemittauksen tulokset eivät täytä ohjeen vaatimuksia, suoritetaan lisämittauksia, joilla selvitetään poikkeamien sijainti, jonka jälkeen tehdään korjaustoimenpiteet. (Kuusela 2017.)

5.4 Laadunvalvonnan dokumentointi

Mallipohjaisessa tuotannossa syntyy suuri määrä laaduntarkkailuun hyödynnettävää tietoa esimerkiksi koneiden toteumatietoa. Ja esimerkiksi toteumatieto jaetaan tilaajan seurattavaksi Infrakitin kautta reaaliaikaisesti.

Urakoitsija dokumentoi ja säilyttää seuraavat mallipohjaisen laadunvalvonnan raportit ja aineistot:

- Toteutusmallien tarkastusraportit, joka sisältää dokumentoidut tiedot toteutusmallin tutustumisesta ja tarkastuksesta sekä muuntamisesta työkoneautomaation edellyttämään formaattiin. Tarkastus tehdään kaikille toteutusmalleille, jotka siirretään työkoneisiin.
- Työkoneautomaatiojärjestelmien ja tukiasemien tarkastusraportit, jotka sisältävät mittausten poikkeaminen tulokset ja joita voidaan verrata taulukossa 1 esitettyihin tarkkuusvaatimuksiin.
- Työkoneautomaatiojärjestelmillä tehdyt toteumamittaukset eri rakenteista tallennetaan sellaisenaan. Sama mittausaineisto on tarkasteltavissa Infrakitissä karttaesityksenä sekä tarvittaessa poikkileikkausesityksenä.
- Mittaajan suorittamat tarkemittauksen tulokset tasokuvana, jossa näkyy poikkeamat verrattuna teoreettiseen pintaan tai rakenteeseen
- Valokuvat peitettävistä rakenteista. Valokuvia otetaan tarvittavista rakenneosista kuten esimerkiksi putkikaivannoista ja muista rakenteista projektikohtaisesti sovitulla laajuudella. Valokuvat sisältävät paikkatiedon, ajankohdan sekä rakenneosan tiedot ja ovat tarkasteltavissa Infrakitissä. (Kuusela 2017.)

6 JOTOPÄÄTÖKSET

6.1 Infrakit laadunvarmistus- ja työnseurannan työkaluna

Infrakitin kehittymistä työkoneautomaation mukana on ollut ilo seurata työn ohessa. Kahden vuoden aika Infrakitiin on tullut paljon uusia ominaisuuksia ja myös Infrakitin ulkoasua on pyritty muokkaamaan käyttäjäystävällisemmäksi. Infrakitin henkilökunta toimii yhteistyössä Infrakitin käyttäjien kanssa jatkuvasti saadakseen tietoa mitä ominaisuuksia ja parannuksia Infrakitiin täytyy tehdä. Tämä kertoo sovelluksen halusta olla markkinoiden paras sekä antaa hyvän kuvan sovelluksen tulevaisuudesta.

Kokemukset työmaan laadunvarmistuksessa Infrakitillä ovat todella positiivisia. Infrakitin avulla pystytään automaattisesti raportoimaan valvojalle työmaan tilannetta sekä laatua, minkä ansiosta joka kuukausi ei tarvitse piirtää erikseen toteumakuvia valvojalle. Myös valvojan puolelta on tullut positiivista palautetta, koska kaikki tarvittava tieto työmaan laadunvalvontaan löytyy Infrakitistä, välttään tällöin suurimäärä sähköpostin kautta tulevia piirustuksia ja niiden mahdollista häviämistä. Infrakitissa tiedot säilyvät projektin alusta loppuun ja vielä sen jälkeen.

Massat ja aikataulutoiminnot eivät sovellu aluemaiseen työmaahan tällä hetkellä kovin hyvin, johtuen siitä, että ohjelma laskee massat paaluväleittäin. Koska 100 hehtaarin kokoiselle työmaalle on vaikea luoda mittalinjoja järkevästi ei tämä periaate ole kovin käytännöllinen.

Mikäli laskenta suoritettaisiin pintoja vertaamalla ja avuksi voisi luoda, vaikka haluamansa kokoisen ruudukon voisi massalaskenta ja -seuranta onnistua. Jokaiselle ruudulle laskettaisiin teoreettiset massat ja toteumamittausten perusteella ohjelma kuittaisi ruudun tehdyksi ja se päivittyisi edelleen aikatauluun.

Mikäli työmaalla ei seurata massoja vaan halutaan seurata pelkkää aikataulua voisi aikataulutyökaluun luoda samalla ruudukkoperiaatteella työmaalla seurata-

tavan asianmukainen ruudukko. Kun yhdelle ruudulle tulee ennalta määrätty määrä toteumia, kuittautuisi ruudukko tehdyksi ja aikataulun valmiusaste päivittyisi. Esimerkkityömaalla ruudukko olisi voitu luoda esimerkiksi bentoniittimaton päivälevitystavoitteen mukaan, jolloin perinteisestä excel-pohjaisesta aikataulu-seurannasta olisi voitu luopua ja bentoniittimattojen levitysaikataulu olisi ollut myös tarkasteltavissa Infrakitissa.

6.2 Kokemuksia työkoneautomaatiosta ja aluemaisen työmaan laadunvalvonnasta

Työkoneautomaation tulo aluemaiselle työmaalle toi mukanaan paljon erilaisia haasteita. Destia Oy:n kattavan tukiverkoston, alan ammattilaisten sekä yhdessä työkonekuskien kanssa muokkautui aluemaisen työmaan mittauksiin sekä laadunvalvontaan toimivia toimintatapoja ja työkaluja. Opinnäytetyötä tehdessä nousi paljon uusia asioita sekä ideoita, miten jatkossa aluemaisen työmaan laadunvalvontaa sekä työnseurantaa voisi helpottaa.

Esimerkiksi Infrakitin Truck -toiminto kuormien seurantaan sekä UAV-kartoitukset/ ilmakuvat urakan alussa ja lopussa. Työnjohdolle tarkoitettujen yksinkertaisten mittalaitteiden yleistyminen olisi toivottavaa. Esimerkiksi ulkoisen GNSS-vastaanottimen ja Infrakit-mobiilisovelluksen sisältämä tabletti työnjohdon autoon, helpottaisi työnjohdon havainnollistamista ”tikuttomalla työmaalla”, eikä mittamiehen tarvitsisi välttämättä olla mukana kertomassa mittoihin liittyviä asioita.

Kuten jo johdannossa todettiin, on koneohjaus vakiinnuttanut paikkansa infrarakentamisessa. Eritoten osa ns. ”vanhankansan” työkonekuljettajista ei ole ottanut koneohjausta ilolla vastaan, mutta heidänkin kanssa on löydetty yhteinen sävel ja urakan lopussa heidänkin mielipiteet ovat muuttuneet positiivisiksi koneohjauksen suhteen. Myös toteumapisteiden ottamisesta on käyty usealla työmaalla työkonekuskien ja mittamiehen välillä kiivaita keskusteluja, mutta loppujen lopuksi koneenkuljettajat ovat jopa tunteneet ylpeyttä saadessaan toteuttaa niinkin vastuullisen toimenpiteen työmaan laadunvarmistuksen kannalta.

LÄHTEET

Ahonen, T. 2015. Tietomallipohjainen koneohjaus infratyömaalla. Metropolia ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan opinnäytetyö.

buildingSMART Finland 2017a. Yleiset inframallivaatimukset. Viitattu 18.11.2017 <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.

– 2017b. Osa 1 Tietomallipohjainen hanke. Viitattu 18.11.2017 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf.

– 2017c. Osa 5.2 Maarakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmallin) laadintaohje. Viitattu 19.11.2017 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laadintaohje_V_1_0.pdf.

– 2017d. Osa 5.3 Maarakennustöiden toteutusmallin laadintaohje. Viitattu 19.11.2017 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_3_Maarakennustöiden_toteutusmallin_laadintaohje_V_0_9.pdf.

– 2017e. Osa 12.1 Maanrakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä. Viitattu 29.12.2017 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmenetelmä_C3%A4.pdf.

– 2017f. InfraBIM-sanasto v0.7. Viitattu 3.1.2018 https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2013/10/InfraBIM_Sanasto_0-7.pdf.

Heikkinen, J. 2016. Koneohjatun kaivinkoneen toteutusmallien käyttö infrarakennustyömaan määräseurannassa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan opinnäytetyö.

Infrakit 2017a. Lue lisää. Viitattu 2.1.2018 <https://infrakit.com/fi/lue-lisaa/>.

– 2017b. Koneohjausjärjestelmät. Viitattu 2.1.2018 <https://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:mcs>.

– 2017c. Yleiskatsaus. Viitattu 28.12.2017 <https://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:yleiskatsaus>.

– 2017d. Infrakitin käyttö mobiililaitteella ja tabletilla. Viitattu 3.1.2018 <https://wiki.infrakit.com/doku.php?id=fi:mobile>.

Jaakkola, M. 2017. Destia Oy, Kehittämispäällikkö. Suullinen tiedonanto.

Kanniainen, J. 2017. Tietomallipohjainen projektihallinta infrakit-järjestelmällä. Lapin ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan opinnäytetyö.

Kuusela, P. 2017. Novatron Oy, Tietomalliasiantuntija. Suullinen tiedonanto.

Lassila, J., Mustonen, M. & Tuikka, J. 2017. Rakentamistyöselostus Rev A.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen AMK julkaisusarja D nro 3.

Novatron 2017. Mitä koneohjaus on. Viitattu 11.11.2017 <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>.

Pelimanni, J. 2014. 3D-Koneohjaus apuvälineenä infrahankkeessa. Oulun ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan opinnäytetyö.

Rakennusteollisuus 2017. Infrarakentaminen. Viitattu 25.11.2017 <http://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Infrarakentaminen/>.

Suntio, V. 2017. Destia Oy, konsultti. YIV -ohjeiden päivitys ja alan kehitys luento 23.11.2017.

Viacon 2017. Bentoniittimatto. Viitattu 3.1.2018 <https://www.viacon.fi/tuote/bentoniittimatto/>.