



**SAIMAAN**

ammattikorkeakoulu

Saimaa University of Applied Sciences

Eija Mertanen - Pekka Saikko

**INFRAN TIETOMALLIEN JA KONEOHJAUKSEN  
AVULLA TEHOKKUUTTA JA LAATUA IMATRAN  
INFRAHANKKEISIIN**

**Saimaan ammattikorkeakoulun julkaisuja**  
**Saimaa University of Applied Sciences Publications**

Saimaan ammattikorkeakoulun julkaisuja  
Sarja A: Raportteja ja tutkimuksia 86  
ISBN 978-952-7055-55-7 (PDF)  
ISSN 1797-7266

## TIIVISTELMÄ

Saimaan ammattikorkeakoulu toteutti yhdessä Saimaan ammattiopisto Sampon kanssa ESR-hankkeen Digi-Infra, Digitaalisuutta infra-alalle Etelä-Karjalassa sekä EAKR-hankkeen Digi-Kone, Digitaalisuutta koneohjaukseen Etelä-Karjalassa. Hankkeet käynnistyivät keväällä 2016 ja päättyivät 2018. Digi-Infra keskittyi osaamisverkoston luomiseen sekä osaamisen ja koulutusyhteisön lisäämiseen Etelä-Karjalassa. Digi-Koneen puitteissa hankittiin koulutukseen tarvittavaa laitteistoa.

Lappeenrannan ja Imatran kaupungit osallistuivat hankkeeseen osallistumalla koulutuksiin sekä antamalla hankkeelle pilottikohteet, joiden avulla voitiin käytännössä harjoitella jo opittuja ja vielä opittavia menetelmiä. Tämä julkaisu esittelee Imatran kaupungin pilottikohteeseen liittyviä menetelmiä, kaupungin asettamia tavoitteita Digi-Infraan osallistumiselle sekä näiden tavoitteiden toteutumista.

## Sisällys

|   |    |
|---|----|
| 1 JOHDANTO .....  | 5  |
| 2 DIGI-INFRAHANKEKOULUTUKSET .....                                    | 5  |
| 3 IMATRAN KAUPUNGIN OSALLISTUMINEN DIGI-INFRA -HANKKEESEEN .          | 6  |
| 3.1 Infrahankkeisiin osallistuvien henkilöiden kouluttautuminen ..... | 7  |
| 3.2 Imatran pilottihanke.....   | 8  |
| 3.3 Urakoitsijan valinta pilottikohteelle .....                       | 10 |
| 4 PAIKANNUSTA PALVELEVAT TUKIASEMAT .....                             | 11 |
| 4.1 Tukiaseman toimintaperiaate.....                                  | 12 |
| 4.2 Korjaussignaalin käyttöönotto vastaanottimissa .....              | 13 |
| 4.3 Tukiaseman paikan valitseminen ja käyttöönotto.....               | 14 |
| 4.4 Tukiaseman paikan valitseminen ja käyttöönotto.....               | 15 |
| 5 INFRAKIT-PALVELU RAKENTAMISEN TUKENA.....                           | 16 |
| 6 3D-KONEOHJAUS .....   | 20 |
| 6.1 Koneohjauslaitteisto.....   | 21 |
| 6.2 RTK-tukiasema .....   | 22 |
| 6.3 Lähtötietomalli, koneohjausmalli ja toteumamalli .....            | 23 |
| 6.4 Mallien hyödyntäminen laadun valvonnassa.....                     | 25 |
| 7 IMATRAN PILOTISSA OPITTUA .....                                     | 25 |
| LÄHTEET .....   | 28 |

## 1 JOHDANTO

Saimaan ammattikorkeakoulu käynnisti 1.3.2016 yhdessä Saimaan ammat-  
tiopisto Sampon kanssa ESR-hankkeen Digi-Infra, Digitaalisuutta infra-alalle  
Etelä-Karjalassa. Tähän, infra-alan osaamisverkoston luomiseen ja osaamisen  
sekä koulutusyhteistyön lisäämiseen tähtäävään hankkeeseen liittyi toinen, laite-  
hankintoihin suuntautunut EAKR-hanke, Digi-Kone, Digitaalisuutta koneohjauk-  
seen Etelä-Karjalassa. Digi-Kone -hanke käynnistyi 2.5.2016.

Digi-Infran tavoitteina oli infra-alan alueellisen osaamisverkoston luominen, toi-  
mijoiden osaamisen lisääminen sekä koulutusyhteistyön tiivistäminen Etelä-Kar-  
jalassa. Tavoitteiden toteuttamiseksi perustettiin molempiin oppilaitoksiin omat  
projektiryhmänsä, sekä oppilaitosten yhteinen projektiryhmä suunnittelemaan  
koulutuksia ja tapahtumia verkostoitumisen tueksi. Hankkeille perustettiin myös  
omat kotisivut osoitteeseen <https://www.saimia.fi/digi-infra/>. Sivuilla pidettiin yllä  
koulutuskalenteria ja sinne kerättiin tapahtumiin liittyvää aineistoa sekä aiheisiin  
liittyviä linkkejä ja kuvamateriaalia. Lisäksi projektilla oli oma kurssialustansa Sai-  
maan ammattikorkeakoulun Moodle-portaalissa koulutusaineiston jakamiseksi  
osallistujille.

Osaamisverkostoa lähdettiin toteuttamaan kartoittamalla alueen infra-alan toimi-  
joita ja markkinoimaan näille hankkeisiin liittyvää koulutusta sekä hankkeen puit-  
teissa järjestettäviä tapahtumia. Markkinoinnissa käytettiin lehti- ja sähköposti-  
mainontaa sekä valtakunnallisesti infra-alan yhteistyöjärjestönä toimivan Infra  
ry:n apua.

## 2 DIGI-INFRAN HANKEKOULUTUKSET

Infran tietomallipohjaiseen rakennushankkeeseen liittyvä, tilaajille, suunnitteli-  
joille ja toteuttajille suunnattu koulutus aloitettiin perusteista syksyllä 2016. Pe-  
rusteet on koottu Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunnan buildingSMART  
Finland:in (bSF) julkaisemiin Yleisiin inframallivaatimuksiin (YIV). Inframallivaati-

mukset käsittelevät rakennushankkeen eriosien tietomalleja. Tietomallit ovat digitaalisessa muodossa olevia rakennusosien 3D-malleja, jotka sisältävät rakennusosien sijainti-, materiaali- ja mahdolliset muut tiedot. Malleihin voidaan liittää myös erilaisia dokumentteja. Tietomallien avulla pyritään parempaan hankkeen kokonaishallintaan ja tiedonkulkuun eri toimijoiden välillä. Sillä haetaan myös säästöjä tarkempien materiaalitietojen ja laadukkaamman suunnittelun kautta.

YIV:en osat 1-7 julkaistiin toukokuussa 2015 ja osat 8-12 helmikuussa 2016. YIV:en osissa 1 ja 2 kerrotaan tietomallipohjaisesta hankkeesta ja yleisistä mallinnusvaatimuksista. Osa 3 käsittelee lähtötietoja ja osassa 4 paneudutaan malliin eri suunnitteluvaiheiden näkökulmasta. Osat 5-7 käsittelevät eri rakennusosien mallintamista ja osa 8 laadunvarmistusta. Viimeiset kolme osaa käsittelevät inframallin hyödyntämistä (bSF). Inframallivaatimuksista edettiin kouluttautumaan eri koneohjausjärjestelmien ja suunnitteluohjelmistojen käyttöön.

Digi-Infra –hankkeen toisen tavoitteen toteuttamiseksi järjestettiin pilottikoulutusta infran tietomalleihin ja 3D-koneohjaukseen liittyen tilaajille, suunnittelijoille ja urakoitsijoille. Pilottikoulutukseen liittyivät pilottihankkeet, joiden avulla oli tarkoitus harjoitella ja hyödyntää projektin aikana opittuja digitaalisia taitoja sekä Digi-Kone –hankkeen avulla hankittuja työkaluja. Lappeenrannan sekä Imatran kaupungit toivat molemmat omat pilottikohteensa hankkeelle.

### **3 IMATRAN KAUPUNGIN OSALLISTUMINEN DIGI-INFRA - HANKKEESEEN**

Imatran kaupunki oli asettanut hankkeeseen osallistuessaan tavoitteiksi lisätä tilaajaosaamistaan infrahankkeiden tietomallipohjaisessa suunnitteluttamisessa ja toteuttamisessa. Toteutuessaan tavoitteet helpottaisivat määrä-, aikataulu- ja kustannustietojen käsittelyä, sekä parantaisivat niin suunnitelmien kuin rakentamisenkin laatua. Lisäksi tavoitteena oli Imatran Kiinteistöpalveluiden (KIPA) toiminnan helpottuminen ja urakoitsijoiden saaminen mukaan mallipohjaiseen toimintaan.

### 3.1 Infrahankeisiin osallistuvien henkilöiden kouluttautuminen

Imatra kaupunki oli asettanut tavoitteekseen hankkeen avulla lisätä tilaajaosaaamista lähitulevaisuudessa niin, että infrahankeet voidaan suunnitella ja toteuttaa mallipohjaisesti sekä helpottaa rakennuttajaorganisaation toimintaa ja saada urakoitsijat mukaan mallipohjaiseen toimintaan. Tietomallien ja 3D-koneohjauksen käytöllä tavoitellaan työn tehostamista ja kustannussäästöjä pitkällä aikavälillä. Rakennuttajaorganisaationa Imatralla toimi hankkeen alkuvaiheessa Imatran YH-rakennuttaja jonka nimi vaihtui hankkeen aikana MITRAksi.

Kaupungin asettamiin tavoitteisiin pyrittiin osallistumalla Digi-Infra –hankkeen koulutuksiin ja kannustamalla myös urakoitsijoita niihin. Koulutukset alkoivat perusteista eli yleisiin infran tietomallivaatimuksiin (YIV) perehtymisestä ja jatkuivat erilaisilla ohjelmisto- ja laitekoulutuksilla. Mittausosaston henkilöstö osallistui 3D-Win –ohjelmistokoulutuksiin ja Infrakit -pilvipalvelun käyttöön. 3D-Win ohjelmistolla voidaan muun muassa tuottaa koneohjausmalleja, jotka viedään työkoneille ja Infrakitiin. Työkoneen 3D-koneohjauslaitteistoon luetaan sisään suunnitelman 3D-malli, jossa kuvataan rakennettavan kohteen korot ja sijainti. 3D-koneohjauslaitteistoon kuuluvat satelliittipaikannukseen ja takymetripaikannukseen liittyvät vastaanottimet sekä työkoneen eri osien liikkeitä ja sijaintia mittaavat anturit, jotka auttavat koneen kuljettajaa havaitsemaan koneen liikkeitä suhteessa suunnitelmaan työkoneen tietokonenäytöltä. Kuljettaja voi kuvan perusteella ohjata koneen liikkeitä tarvittaviin suuntiin.

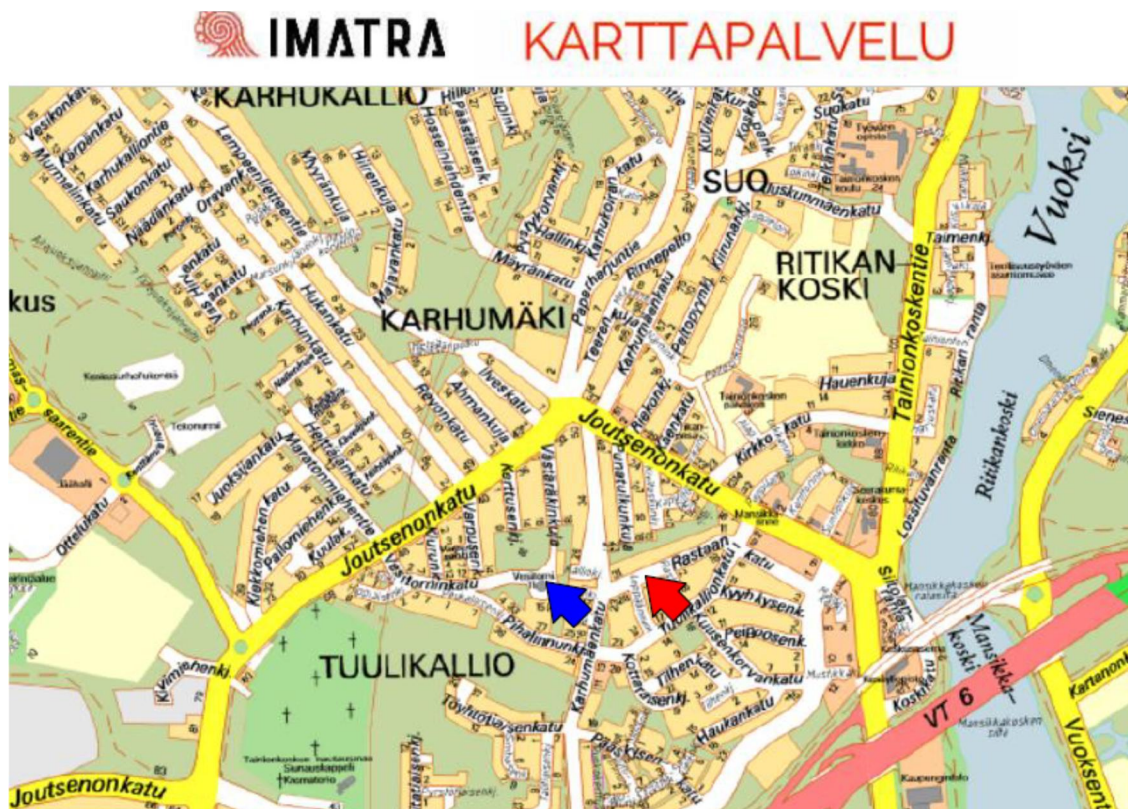
Rakennustyö voidaan toteuttaa mallin ja rakennuskohteen reaaliaikainen seuranta sekä hallinnointi tehdä Infrakitin avulla. Infrakit on apuväline rakennushankkeen eri osapuolien yhteistyöhön. Infrakit-järjestelmä käsittelee suunnitelmia ja toteumatietoja yhdistelmämallina avoimessa formaatissa ja sähköisessä muodossa. Näin mahdollistuu tiedon jakaminen hankkeen kaikille osapuolille reaaliajassa. Järjestelmän avulla voidaan myös varmistaa aineiston käytettävyys hankkeen seuraavissa vaiheissa.

Imatran kaupunki hankki 3D-Win ohjelmiston, jonka avulla koneohjausmalleja osataan nyt tehdä. Itse tuotetun mallin toimivuutta on testattu yhdessä pienem-

mässä kohteessa ja se on todettu toimivaksi. Infrakit-järjestelmää Imatran kaupunki oli testannut aiemmin pienessä hankkeessa, mutta hankki jatkuvan lisenssin laajemman toiminnan tueksi hankkeen aikana.

### 3.2 Imatran pilottihanke

Pilottihankkeeksi Imatralla valittiin Tuulikallion kaupunginosassa sijaitsevan Rastaankadun katu- ja kunnallistekniikan saneerauskohte. Pilotti koski Rastaankadulla vesi- ja viemäriverkoston uusimista sekä kadun rakennekerrosten ja kuivatuksen toteuttamista. Hanke käynnistyi kesällä 2017. Rastaankadun sijainti on osoitettu kuvassa 1 punaisella nuolella sekä Tuulikallion vesitorni sinisellä nuolella.



Kuva 1. Imatran pilottikohteen sekä Tuulikallion vesitornin sijainti (Imatran karttapalvelu)

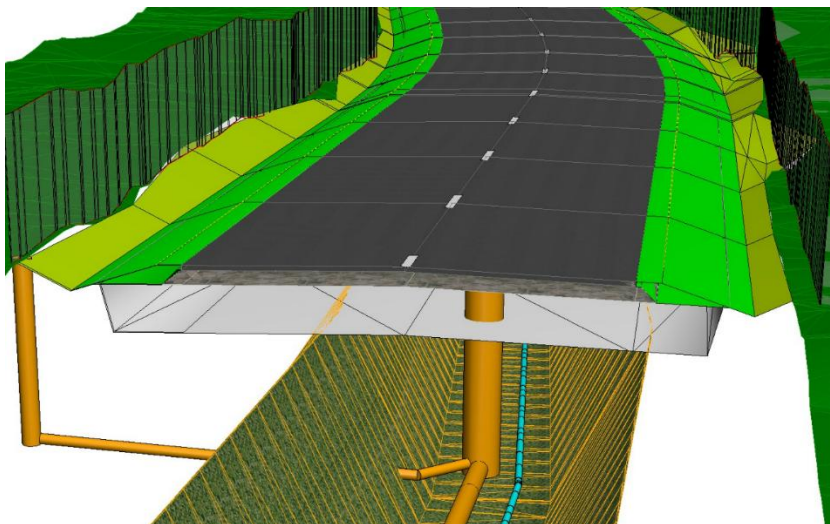
Imatran kaupunki teetti Rastaankadun saneerauksen suunnitelmat ja suunnitelmiin liittyvät tieto- ja 3D-koneohjausmallit ulkopuolisella konsultilla, koska kaupungin omalla henkilöstöllä ei ollut vielä riittäviä valmiuksia 3D-koneohjausmal-



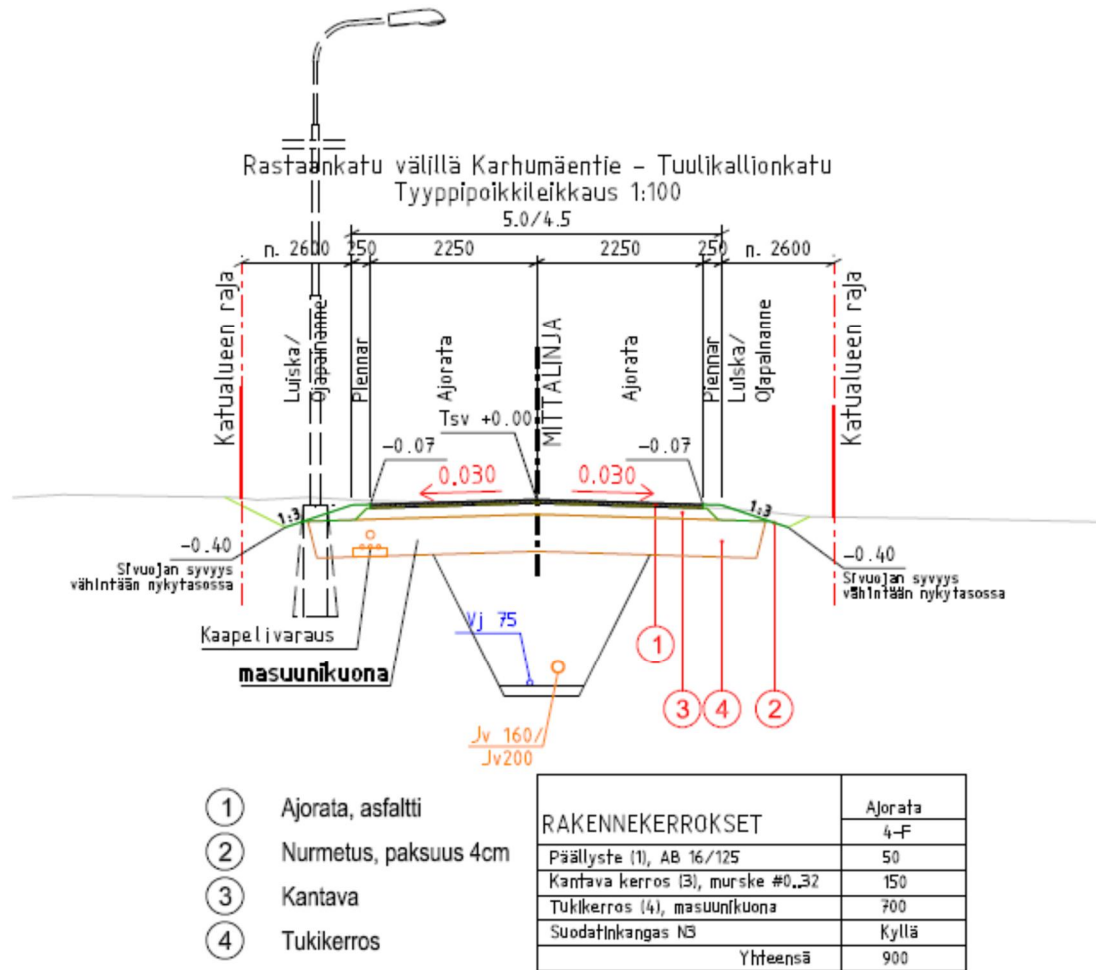
lien tuottamiseen. Rakennuttajaorganisaationa toiminut Mitra sai suunnittelukonsulttina toimineelta Esa Kontkaselta tietomallit ja 3D-koneohjausmallit, jotta hanke voitiin toteuttaa 3D-koneohjausta apuna käyttäen. Suunnittelija käytti mallintamiseen Bentleyyn PowerCivil for Finland V8i (SELECTseries 4) ja OpenRoads Designer CONNECT Edition –ohjelmia (uuden sukupolven ohjelma). Kyseiset ohjelmat eivät kuuluneet Digi-infra –hankkeen koulutuskalenteriin, eikä niitä tunneta tarkemmin. 3D-koneohjausmallissa on oltava yhtenäiset taiteviivat ja suunnittelija on joutunut muokkaamaan tekemiään tietomalleja kone-ohjauksen tarpeisiin.

Imatralla katujen ja kunnallistekniikan suunnittelua ohjaavat yleiset ohjeet, kuten InfraRYL. Laatuvaatimukset ja määrämittausohjeet tulevat myös InfraRYL:sta. Lisäksi Imatran Vedellä on omat vesihuollon suunnittelua ja rakentamista koskevat ohjeet.

Osa Kontkasen suunnittelemaa Rastaankadun tietomallia on esitetty kuvassa 2. Mallissa erottuvat kadun eri rakennekerrokset, putkikaivanto ja kaivantoon suunnitellut vesi- ja jätevesilinjat. Mallista voidaan lisäksi havaita osia kolmioverkosta. Kohteesta on myös perinteiset piirustukset, joista poikkileikkaus ja rakennekerrokset kuvassa 3.



Kuva 2. Osa Rastaankadun tietomallia (Esa Kontkanen)



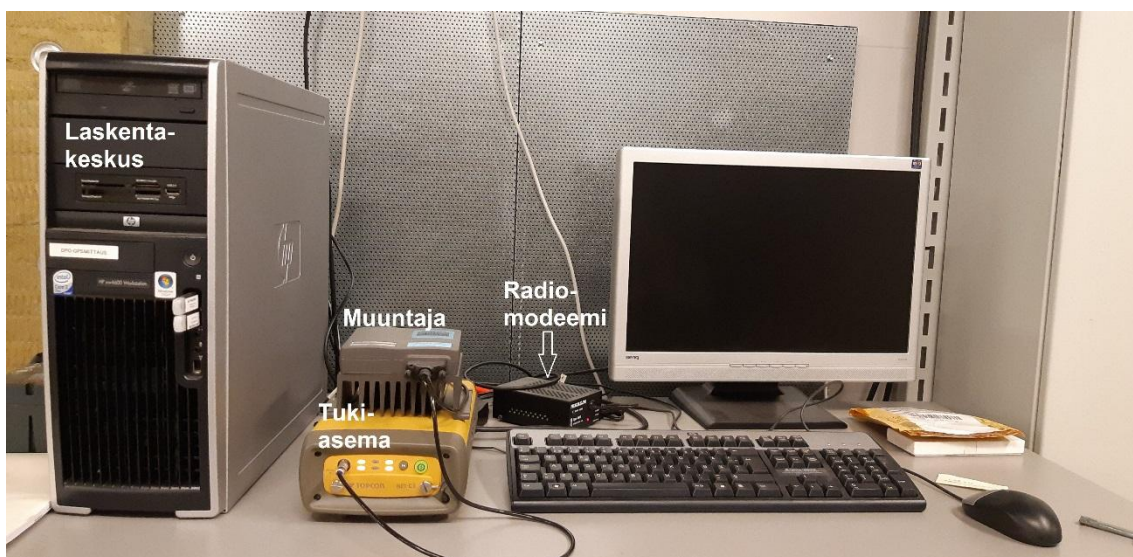
Kuva 3. Perinteinen tyyppipoikkileikkaus Rastaankadun suunnitelmasta (Esa Kontkanen)

### 3.3 Urakoitsijan valinta pilottikohteelle

Imatra houkutteli urakoitsijoita toteuttamaan urakkaa malliperusteisesti lupamalla kannustinrahan urakkahinnan päälle. Kuusi urakoitsijaa jätti tarjouksen, mutta näistä yksi jouduttiin hylkäämään riittävien pätevyyksien puutteessa. Tarjousten määrästä voidaan päätellä, että toimijoilla on jo kokemusta mallipohjaisesta rakentamisesta. Hankkeen toteuttajaksi valittiin Läänin kuljetus. Urakamuodoksi valittiin määriin sidottu kokonaishinta urakka. Imatra on käyttänyt sitä muutamissa hankkeissa aiemminkin ja urakamuoto on havaittu kaikille osapuolille sopivaksi ja toimivaksi.

## 4 PAIKANNUSTA PALVELEVAT TUKIASEMAT

Imatran pilotointikohteen toteuttamiseen liittyi siirrettävä Topcon'n tukiasema, joka asennettiin Imatralle Tuulikallion vesitornin katolle. Tukiasema on toinen ammattikorkeakoulun omistamista laitteista. Imatralle siirretyn tukiaseman toimintaan tarvitaan lisäksi laskentakeskus (kuva 4), joka sijaitsee toisen tukiaseman yhteydessä Skinnarilan kampuksella. Kuvassa 5 on Saimaan ammattikorkeakoulun katolla sijaitsevat, tukiasemaan liittyvät antennit.



Kuva 4. Tukiasemaan liittyvä laskentakeskus Skinnarilan kampuksen laitehuoneistossa (Eija Mertanen)



Kuva 5. Skinnarilan tukiaseman antennit koulun katolla (Eija Mertanen)

#### 4.1 Tukiaseman toimintaperiaate

Tukiasemat ovat yhteydessä toisiinsa internet-yhteyden välityksellä. Tukiaseman paikalleen mittaus tehtiin Topgeo Oy:n Markku Similän toimesta. Paikalleen mitattua tukiasemaa voidaan hyödyntää käyttämällä sen lähettämää korjaussignaalia RTK- ja DGPS –mittausmenetelmien kanssa. 3D-koneohjauksessa ja Infrakit-käytössä saadaan näin tarkempaa paikkatietoa. Tuulikallion vesitornin sisätiloissa sijaitsevat tukiasemaan liittyvä modeemi liitännälaitteineen kuvassa 6 ja katolla sijaitsevat antennit kuvassa 7. Tukiaseman sijoittamista varten tehtiin Imatran Veden kanssa sopimus, joka määrittelee sijaintiin ja ylläpitoon liittyvät ehdot.



Kuva 6. Tuulikallion vesitornin katolla sijaitsevaan tukiasemaan liittyvä modeemi laitteineen laitehuoneistossa (Eija Mertanen)



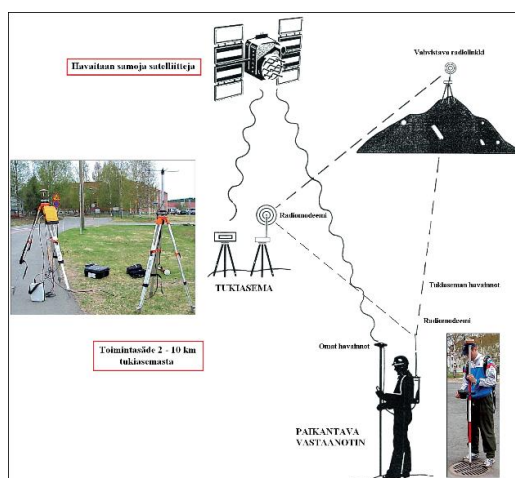
Kuva 7. Tuulikallion vesitornin katolla sijaitsevat tukiaseman ja radiomodeemin antennit (Eija Mertanen)

Laskentakeskuksesta voidaan ohjailta molempien tukiasemien toimintoja ja valita ne käyttäjät, jotka voivat vastaanottaa NTRIP- korjausta. Laskentakeskus lähettää NTRIP-korjausta Internetin välityksellä, jota liikkuvat vastaanottimet voivat vastaanottaa GPRS-yhteyden avulla. Molemmat tukiasemat lähettävät korjausta myös radiomodeemien välityksellä. Tukiasemat on yhdistetty kaapeleilla radiomodeemiin, joiden antennit sijaitsevat rakennusten katoilla tukiasemien antennien läheisyydessä.

Tukiasemat lähettävät korjaussignaaleja sekä RTCM SC-104 ja CMR+ formaateissa. RTCM SC-104 formaatista käytössä ovat versiot 2.3 ja 3.0, joista versiota 2.3 lähetetään sekä RTK- että DGPS- mittausmenetelmien käytettäväksi. Versio 3.0 on käytössä vain mitattaessa RTK-menetelmällä. Myös CMR+ formaatti on käytössä vain RTK-mittauksissa. Kuvassa viisi on Lappeenrannan tukiaseman laitteisto.

## 4.2 Korjaussignaalin käyttöönotto vastaanottimissa

Korjaussignaalia voidaan vastaanottaa GNSS-vastaanottimissa radiomodeemin tai GPRS-yhteyden avulla. Radiosignaalin vastaanottamiseen käyttäjän tarvitsee asettaa vastaanottimeen tukiaseman lähettämän radiosignaalin taajuus ja korjausdata-formaatti. Esimerkiksi Lappeenrannan ja Imatran tukiasemat lähettävät korjausta taajuudella 430,1500 MHz. Kuvassa 8 on havainnollistettu tukiaseman merkitystä ja toimintaa.



Kuva 8. Perinteisen yhteen tukiasemaan perustuvan reaaliaikaisen kinemaattisen mittauksen eli RTK-mittauksen periaatekuva (Laurila 2012)

Käytettäessä GPRS-yhteyden välityksellä saatavaa NTRIP korjausta käyttäjän pitää asettaa vastaanottimeen haluttu korjausdata-formaatti ja NTRIP-Casterin IP-osoite. Lisäksi tarvitaan käyttäjätunnus ja salasana. Liikkuvan vastaanottimen asetuksista täytyy myös kytkeä päälle NMEA-viestin lähettäminen. NMEA-viestillä lähetetään absoluuttisella mittauksella määritetyt koordinaatit laskentakeskukseen, jolloin laskentakeskus tietää lähimpänä käyttäjää olevan tukiaseman ja välittää sen korjausdataa vastaanottimeen.

### **4.3 Tukiaseman paikan valitseminen ja käyttöönotto**

Kun kiinteille tukiasemille valitaan sijoituspaikka, on hyvä ottaa huomioon tiettyjä seikkoja. Tukiasema tulee sijoittaa sellaisen paikan läheisyyteen, missä korjauspalvelua eniten tarvitaan, sillä etäisyys tukiasemaan vaikuttaa merkittävästi liikkuvan vastaanottimen paikannustarkkuuteen. Tukiaseman antennilla täytyy olla esteetön näkyvyys taivaalle, jotta yhteys satelliitteihin pysyy katkeamattomana. Lisäksi lähellä ei saisi olla heijastavia pintoja, jonka kautta satelliittien signaalit heijastuvat ja vaikeuttavat paikannusta (monitieheijastus). Tukiasemalle kannattaakin valita paikka, joka on mahdollisimman korkealla verrattuna ympäröivään maastoon. Etenkin silloin kun tukiasemalta lähetetään korjausta radiomodeemin välityksellä, tulisi radioantennin olla riittävän korkealla, jotta radiosignaalit kantaisivat mahdollisimman kauas.

Tukiasemat tarvitsevat jatkuvaa virtaa, joten paikka täytyy valita siten, ettei virtalähteiden saatavuus tuota ongelmia. Tukiaseman antennin ja tukiaseman väliset kaapelit ovat myös tärkeässä asemassa. Kaapelit olisi hyvä pitää niin lyhyinä kuin mahdollista, sillä pitkissä kaapeleissa signaali huononee matkalla. Jos kuitenkin joudutaan käyttämään pitkiä kaapeleita, niin on mahdollista käyttää erikoiskaapeleita tai signaalinvahvistinta, jolloin signaalihäviö saadaan mahdollisimman vähäiseksi. Lisäksi kaapeleiden suojaus tulisi suorittaa huolellisesti. Sijoituspaikassa tulisi myös olla Internet-yhteys, jonka avulla tukiasema on yhteydessä laskentakeskukseen. Tukiasemat kestävät melko hyvin vaihtuvia säätiloja, mutta suositeltavaa olisi kuitenkin pitää ne suojaisassa paikassa, tasaiselle alustalle asetettuna.



Kun tukiasemat sekä niiden antennit on saatu paikoilleen, tukiasemat yhdistetään laskentakeskukseen joko Internetin tai suoraan kaapelin välityksellä. Laskentakeskus-tietokoneelle asennetaan tarpeelliset ohjelmistot, joilla ylläpitäjä voi ohjailta tukiasemia haluamallaan tavalla. Laskentakeskukseen syötetään muun muassa tukiasemien antennien koordinaatit, jotka Lappeenrannassa ja Imatralla on määritetty VRS-palvelua käyttäen. Tukiasemille syötetyt koordinaatit vaikuttavat oleellisesti korjaussignaalien tarkkuuteen, joten ne on syytä määrittää huolellisesti. Käytettäessä VRS-palvelua olisi hyvä mitata pitkiä havaintojaksoja useilla eri alustuksilla, jotta mahdolliset virheelliset ratkaisut pystytään karsimaan.

#### **4.4 Tukiaseman paikan valitseminen ja käyttöönotto**

Kun kiinteille tukiasemille valitaan sijoituspaikka, on hyvä ottaa huomioon tiettyjä seikkoja. Tukiasema tulee sijoittaa sellaisen paikan läheisyyteen, missä korjauspalvelua eniten tarvitaan, sillä etäisyys tukiasemaan vaikuttaa merkittävästi liikuvan vastaanottimen paikannustarkkuuteen. Tukiaseman antennilla täytyy olla esteetön näkyvyys taivaalle, jotta yhteys satelliitteihin pysyy katkeamattomana. Lisäksi lähellä ei saisi olla heijastavia pintoja, jonka kautta satelliittien signaalit heijastuvat ja vaikeuttavat paikannusta (monitieheijastus). Tukiasemalle kannattaakin valita paikka, joka on mahdollisimman korkealla verrattuna ympäröivään maastoon. Etenkin silloin kun tukiasemalta lähetetään korjausta radiomodeemin välityksellä, tulisi radioantennin olla riittävän korkealla, jotta radiosignaalit kantaisivat mahdollisimman kauas.

Tukiasemat tarvitsevat jatkuvaa virtaa, joten paikka täytyy valita siten, ettei virtalähteiden saatavuus tuota ongelmia. Tukiaseman antennin ja tukiaseman väliset kaapelit ovat myös tärkeässä asemassa. Kaapelit olisi hyvä pitää niin lyhyinä kuin mahdollista, sillä pitkissä kaapeleissa signaali huononee matkalla. Jos kuitenkin joudutaan käyttämään pitkiä kaapeleita, niin on mahdollista käyttää erikoiskaapeleita tai signaalinvahvistinta, jolloin signaalihäviö saadaan mahdollisimman vähäiseksi. Lisäksi kaapeleiden suojaus tulisi suorittaa huolellisesti. Sijoituspaikassa tulisi myös olla Internet-yhteys, jonka avulla tukiasema on yhteydessä laskentakeskukseen. Tukiasemat kestävät melko hyvin vaihtuvia säätiloja, mutta

suositeltavaa olisi kuitenkin pitää ne suojaisassa paikassa, tasaiselle alustalle asetettuna.

Kun tukiasemat sekä niiden antennit on saatu paikoilleen, tukiasemat yhdistetään laskentakeskukseen joko Internetin tai suoraan kaapelin välityksellä. Laskentakeskus-tietokoneelle asennetaan tarpeelliset ohjelmistot, joilla ylläpitäjä voi ohjailta tukiasemia haluamallaan tavalla. Laskentakeskukseen syötetään muun muassa tukiasemien antennien koordinaatit, jotka Lappeenrannassa ja Imatralla on määritetty VRS-palvelua käyttäen. Tukiasemille syötetyt koordinaatit vaikuttavat oleellisesti korjaussignaalien tarkkuuteen, joten ne on syytä määrittää huolellisesti. Käytettäessä VRS-palvelua olisi hyvä mitata pitkiä havaintojaksoja useilla eri alustuksilla, jotta mahdolliset virheelliset ratkaisut pystytään karsimaan.

## **5 INFRAKIT-PALVELU RAKENTAMISEN TUKENA**

Teiden, katujen ja vesihuoltoverkkojen lisäksi talojen perustukset ja pohjarakenteet kuuluvat infratekniikkaan. Infrakit Oy on kehittänyt pilvipalvelupohjaisen työkalun, joka on hyvä apuväline infrarakennusprojektin eri osapuolille ja jonka avulla nämä voisivat tehdä tehokkaammin yhteistyötä. Koska Infrakit-järjestelmä käsittelee suunnitelmia ja toteumatietoja yhdistelmämallina avoimessa formaatissa ja sähköisessä muodossa, on tietojen ja suunnitelmien hallinta, näyttäminen ja jakaminen mahdollista reaaliajassa kaikille osapuolille.

Infrakit -järjestelmän avulla varmistetaan suunnitelmien ja lähtötietojen käyttökelpoisuus projektin seuraavaan vaiheeseen. Järjestelmän avulla pystytään tekemään myös työnjohdon toimesta työnaikaisia toteumamittauksia ja ne päivittyvät kartalle automaattisesti sekä vertautuvat suunnitelma-aineistoon. Lisäksi kaikki työkonet, joilla on koneohjaus, saavat siihen päivitetyn aineiston samoin kuin työnjohtaja saa päivitetyn suunnitelma-aineiston suoraan mobiililaitteeseensa. Infrakitistä saatavaa dokumentaatiota voidaan käyttää jossain määrin digitaalisena luovutusaineistonakin tilaajaan suuntaan.



Maastossa Infrakit-ohjelmaa voidaan käyttää tabletin avulla. Infrakit Android App eli mobiililaitteelle kehitetty erillinen android-sovellus käy mm. pinta-alojen laskentaan ja louhetäyttöjen koron määrittämiseen. Karttanäkymään saadaan yksityiskohtaista tietoa esimerkiksi projektin päämittalinjasta ja sen perusteella laskettavista paalu- ja sivumitoista. Työnjohto voi käyttää Infrakit Android-sovellusta GNSS-paikannussauvansa kanssa. Tällöin mittaustarkkuudessa päästään muutamaa senttimetriin tukiaseman tai tukiasemaverkon korjaussignaalin avulla. Kaikkien sellaisten GNSS-laitteiden yhdistäminen on mahdollista, jotka pystyvät muodostamaan Bluetooth-yhteyden Android-laitteen kanssa. Yhtenä ominaisuutena sovelluksessa on kuvanotto työmaalla, joka on tarpeen laadunvalvonnassa.

Infrakitin keskeisimmät käyttötarkoitukset maa- ja pohjarakentamisessa ovat käyttäjien mukaan tällä hetkellä työnaikainen suunnittelu, tarkkeiden otto, olemassa olevien rakenteiden kartoittaminen ja työn seuranta (kuvat 9-11). Tulevaisuudessa palvelua voidaan käyttää myös massan laskentaan ja työn kuittaamiseen tehdyksi.



Kuva 9. Rakenteiden kartoitus (Infrakit)



Kuva 10. Tarkkeiden mittaukseen sopiva, anroid-tabletilla varustettu GNSS-sauva (Eija Mertanen)

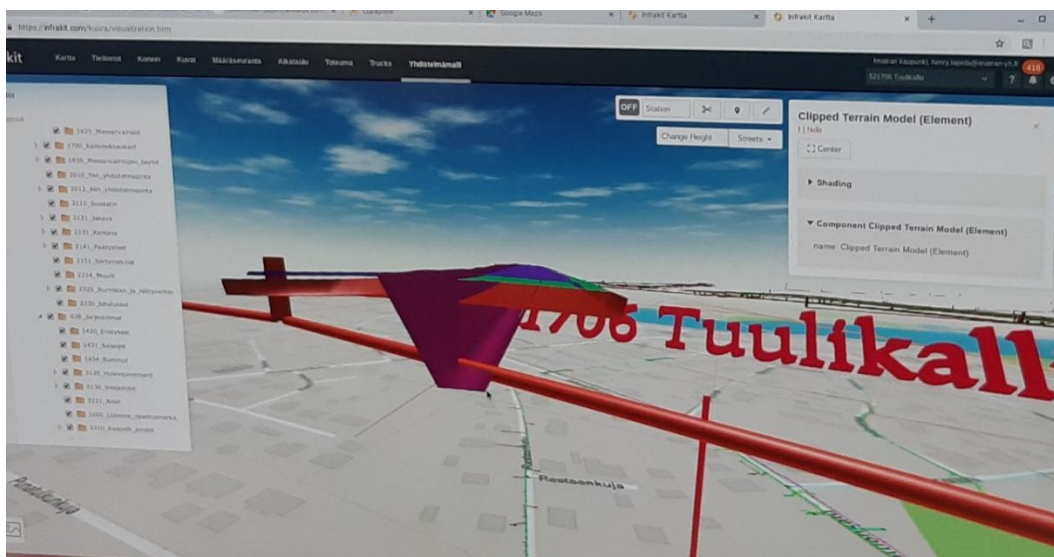


Kuva 11. Työn seurantaan tarkoitettu anroid-tabletti (Infrakit)

Rastaankadun hankkeella Infrakitiä käytettiin työmaalla ja toimistossa, jossa oli helppo seurata koneiden sijaintia, työn etenemistä ja rakentamisen sovittamista suunnitelmiin. Hankkeen aikana ei juurikaan ollut suunnitelmien päivitystarvetta,

koska urakoitsija voi tehdä pienet siirrot ilman suunnitelman päivitystä. Toteuma tarkemmitataan joka tapauksessa paikalleen, jolloin tieto oikeasta paikasta on olemassa. Infrakitin ominaisuutta kuvien tallennuksesta ei hyödynnetty maastossa, koska Imatran Vedellä on oma menetelmänsä tallentaa kuvadokumentit järjestelmiinsä. Ehkä tämän toiminnon hyödyntäminen odottaa vielä aikaansa. Imatran Vesi haluaa kuviin omia tietojaan, joten ne on helpompi siirtää muistitikulla Veden järjestelmiin. Tällöin he voivat lisätä sinne haluamiaan asioita.

Kuvassa 12 on näkymää toimistokoneen näytöltä Infrakit-järjestelmästä. Kuvaan on otettu näkyviin kaivannon pinnat, kadun rakennepinnat sekä vesihuollon putket ja kaivot.



Kuva 12. Näkymä Infrakit-järjestelmästä tietokoneruudulla (Eija Mertanen)

Imatralla Infrakit oli työmaajohdon tukena paitsi työ- ja materiaalmäärien seurannassa, myös laadunvalvonnassa. Työmaajohto sai reaaliaikaista tietoa kaivinkoneiden liikkeistä ja etenemisestä rakennuskohteessa. Kuvassa 13 on toinen Rastaankadun hankkeella toimineista kaivinkoneista viimeistelemässä sisäluiskia 3D-koneohjausta apuna käyttäen. Kuvassa 14 on näkymä työkoneen ruudulta kohdetta rakennettaessa.



Kuva 13. Infrakitiin liitetty 3D-koneohjausta käyttävä kaivinkone (Panu Mäkinen)

Yhteisen Infrakit- alustan toimivuutta on testattu ja se on havaittu toimivaksi. Infrakit on otettu eri osapuolien; suunnittelijan, urakoitsijan, tilaajan sekä oppilaitosten käyttöön yhteiseksi toiminta-alustaksi ja sen avulla voidaan seurata eri mallien toimivuutta.



Kuva 14. Näkymä Kaivinkoneessa olevalta tietokonenäytöltä (Panu Mäkinen)

## 6 3D-KONEOHJAUS

3D-koneohjausta käytettäessä rakennusprojekti muuttuu huomattavasti perinteisestä rakentamisesta. Esimerkiksi mittaustyö tapahtuu pitkälti työkoneiden toteammittauksina, jota valvotaan mittamiesten tarkemmittauksilla. Suunnittelijan

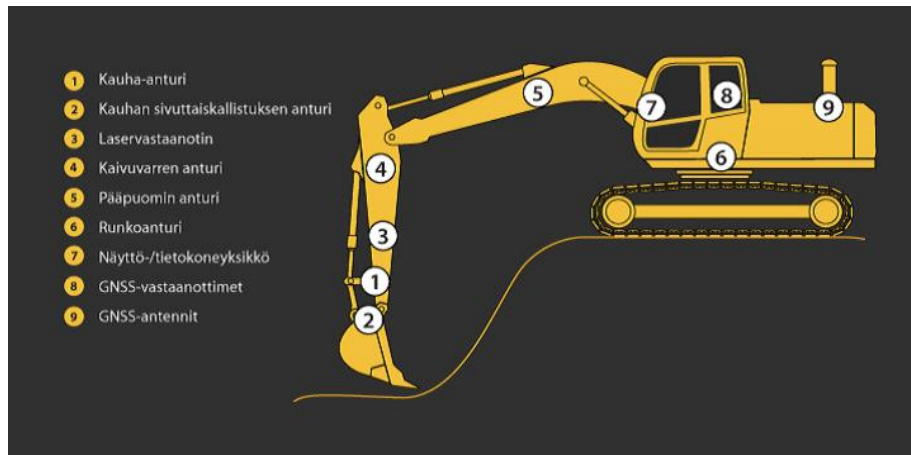
luoma tai piirustuksista tehty 3D-malli ladataan työkoneen tietokoneelle. Mallissa kuvataan rakennettavan kohteen korot ja linjat. Työkoneeseen asennetut anturit mahdollistavat koneen reaaliaikaisen liikkeen siirtämisen suunnittelijan luomaan malliin. Työkoneen kuljettaja näkee näytöltä koneen liikkeitä ja pystyy sen perusteella ohjaamaan koneen kauhan tai terän liikkeitä oikeaan korkoon ja linjaan. 3D-koneohjauksen avulla voidaan maastoon rakentaa helposti kuperia, koveria ja taitteiltaan monimuotoisia pintoja. Valmiin pinnan dokumentointi onnistuu myös 3D-koneohjauksella käyttämällä, kun tiedetään kauhan mittauspisteiden koordinaatit. Koneohjausjärjestelmää on kuitenkin kalibroitava säännöllisesti kauhan tai terän kulumisen ja teknisten vikojen vuoksi.

Satelliittimittalaitteiden kehittyttyä alettiin satelliittipaikannusta hyödyntää työkonemaatointin kehittämisessä. Liikkuvaa työkoneita varten kehitettiin RTK-GPS-paikannusjärjestelmä, joka pystyi riittävän tarkkoihin ja nopeisiin mittauksiin. Ympäri vuorokautinen paikannus rakennustyömaille varmistui, kun amerikkalaisen GPS:n rinnalle otettiin venäläinen Glonass-satelliittijärjestelmä. Nykyään satelliittijärjestelmiä on useita, muun muassa pisimpään käytetty yhdysvaltalainen GPS sekä venäläinen Glonass ja eurooppalainen Galileo. Näiden kaikkien satelliittijärjestelmien kokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi. GNSS tulee sanoista Global Navigation Satellite System.

## 6.1 Koneohjauslaitteisto

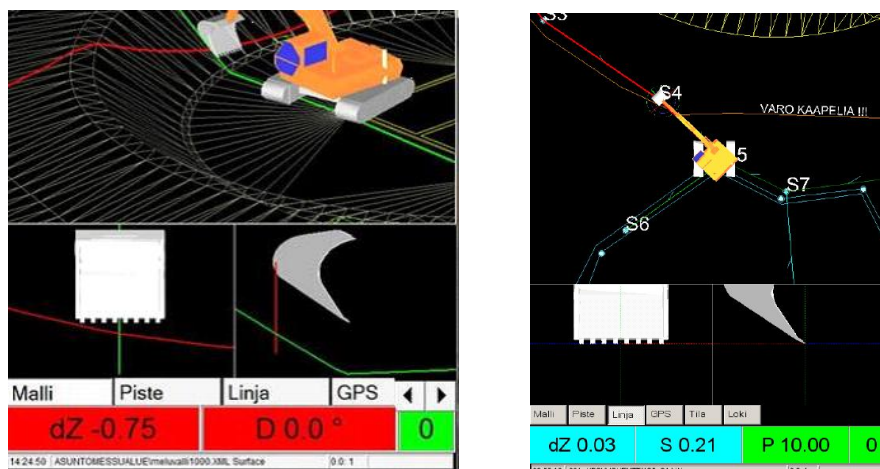
Varhaisin koneohjauksen vaihe oli tasolaser ja kaivinkoneen kauhaan kiinnitettävä vastaanotin. Tasolaser sijoitettiin tunnettuun korkoon ja vastaanotin kiinnitettiin kauhaan pinnan korkoon säädetyllä latalla. Koneen kuljettaja näki vastaanottimesta, milloin kauha oli halutussa tasossa. 3D-koneohjauslaitteistoon kuuluu satelliittipaikannukseen ja takymetripaikannukseen tarvittavat vastaanottimet sekä koneen ja kauhan liikkeitä mittaavat anturit (kuva 15).





Kuva 15. Koneohjauksella varustettu kaivinkone (Novatron)

3D-järjestelmässä suunnittelijan luoma koneohjausmalli ja koneen liikettä mittaavien antureiden ja satelliittivastaanottimien keräämä paikka-tieto yhdistetään. Tietokoneyksikkö käsittelee informaation ja piirtää koneen liikkeen reaaliajassa ohjaamossa olevalla näytöllä. Näytön kuvan perusteella koneen kuljettaja osaa liikutella kauhaa mallin vaatimusten mukaan (kuva 16).



Kuva 16. Näkymiä koneohjauksella varustetun kaivinkoneen näytöllä. Koneen kuljettaja voi seurata kauha liikkeitä suhteessa maaperään tai rakenteisiin (Nurminen 2012)

## 6.2 RTK-tukiasema

Satelliitit kulkevat n. 21000 kilometrin korkeudessa maata kiertävällä radalla. Pitkä etäisyys maahan altistaa signaaleja häiriöille ja vähentää mittalaitteiden tarkkuutta. Tukiaseman avulla virheen voi minimoida sijoittamalla tukiasema tunnetulle koordinaatille. Pisteeltä tukiasema voi mitata tunnettujen ja havaittujen

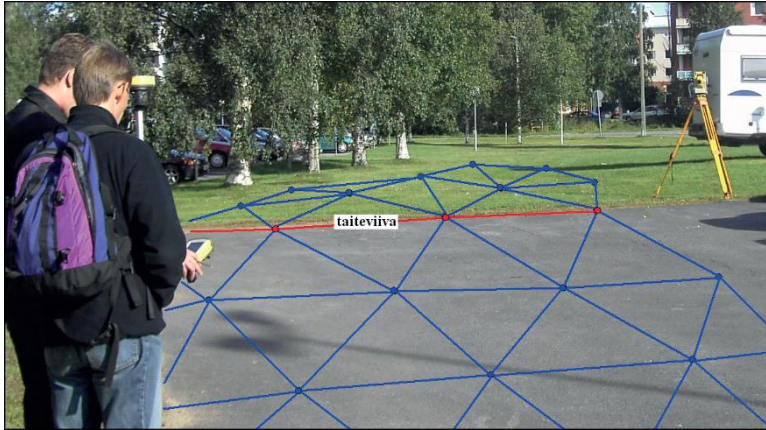
pisteiden välistä eroa ja korjata paikannusvirheen. Tukiasema lähettää työkooneen kartoitusyksikköön korjaussignaalin radio- tai dataverkon avulla. Tarkkaa satelliittimittausta kutsutaan RTK-mittaukseksi. Työmailla on usein käytössä tukiasemakontteja (kuva 17).



Kuva 17. Tukiasemakontti (Nurminen 2012)

### 6.3 Lähtötietomalli, koneohjausmalli ja toteumamalli

Koneohjausmallin luominen aloitetaan lähtötietojen keräämisellä ja luomalla niiden pohjalta kolmiulotteinen maastomalli. Lähtötiedot ovat samat ja kerätään samoin kuin perinteisessä rakennushankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa. Suunnittelu aloitetaan lataamalla alueen pohjakartta ja laserkeilattu maanpinta suunnitteluohjelman pohjaksi. Suunnitteluohjelmia ovat muun muassa Trimblen Tekla Civil sekä AutoCAD 3D:tä vielä osittain pohjana käyttävä Novapoint. Laserkeilauksen lopputuloksessa on maanpinnan muodot esitetty x-y-z-koordinaatistossa pistepilvenä. Pistepilvestä luodaan kolmioverkko, joka interpoloimalla muodostaa tunnettujen pisteiden välille maanpinnan muotoja kuvaavia viivoja. Viivoista muodostuu kolmiulotteinen kolmioista koostuva verkko, joka on kuvassa 18 tehty havainnollisesti valokuvaan maaston päälle. Kolmioverkkoa harvennetaan tai tihennetään rakennuskohteen vaatimusten mukaan.



Kuva 18. Maastomallin avulla kuvataan maanpinnan muotoja. Taiteviivat ovat tärkeitä mallinnuksen tarkkuuden näkökulmasta (Laurila 2012)

Olemassa olevan infran rakenteet ja objektit liitetään maastotietokantaan. Esimerkiksi alueen tie-, vesi-, viemäri- ja lämpöverkon sekä sähkö- ja telekaapeleiden sijainnit voidaan lisätä malliin suojaetäisyyksien määrittelyn helpottamiseksi. Olemassa oleva infra on syytä liittää malliin uuden ja vanhan infrarakenteen yhdistämiseksi. Kun malliin yhdistetään olemassa olevaa infraa, voidaan koneen kuljettajaa informoida esimerkiksi putkista tai kaapeleista.

Lähtötietomallin luomiseen tarvitaan myös pohjatutkimukset. Pohjatutkimuksia voidaan mallintaa kolmiulotteiseksi malliksi. Tarkan mallin saaminen maalajien kerrosrajoista on vaikeaa. Maatutkaluotauksesta kokenut tutkauskuvien tulkitsija voi arvioida kalliopinnan sijaintia.

Kolmiulotteisen mallin perusteella voidaan tulostaa kohteen leikkausmassat ja rakenteen kerroksiin tarvittava määräluettelo. Suunnitteluohjelma laskee määrät joista määritettyä rakennekerrosta varten.

Koneohjausmalli muodostetaan suunnittelumallista. Siihen sisältyy mallit rakennettavan väylän leikkauksista ja rakennekerroksista sekä erillinen malli varusteista, kuten putkista, kaivoista, venttiileistä ja kaapeleista. Mallit kannattaa luoda jokaista kerrosta ja laitetta varten erikseen, jotta tiedostosta ei tulisi liian raskas. Koneen kuljettaja voi valita tarvitsemansa mallin tarpeen mukaan. Tämä kevennä tiedostoja huomattavasti. Myös oleelliset tiedot olemassa olevasta infrasta on syytä liittää koneohjausmalliin.



Koneohjausmalli on niin sanottu rautalankamalli eli muodostuu rakenteen pintaa kuvaavasta kolmioverkosta. Kolmioverkko voi olla rakenteen suoraviivaisuudesta riippuen hyvinkin harva, mutta esimerkiksi liittymien ja kaarteiden kohdilla laskentatiheyttä kannattaa taajentaa. Turhan taajaa laskentaväliä on syytä välttää, sillä se lisää koneohjausmallin kokoa.

Suunnittelija toimittaa mallin työkoneen tietokoneelle koneohjauslaitteesta riippuvassa formaatissa. Nykyisin kuitenkin pyritään luomaan yhtenäinen formaatti, jota käytettäisiin suunnittelu-, mittaus-, koneohjaus- ja toteumamalleissa.

Toteumamallilla tarkoitetaan toteutetun rakenteen mallintamista 3D-muotoon. Mallissa esitetään esimerkiksi rakenteen pohjan ja kerrosten paksuudet ja kalusteiden sijainnit. Toteumamalli on erittäin tärkeässä roolissa rakennetta saneeratta tai kun rakenteen ympärille rakennetaan uutta infraa. Työkone toimii tarkkana toteumatiedon keräyslaitteena, kun se on varustettu 3D-mittausjärjestelmällä.

#### **6.4 Mallien hyödyntäminen laadun valvonnassa**

Koneohjausmallin käyttäminen on tehokasta laadunvalvonnassa ja dokumentoinnissa. Yleisten laatuvaatimusten vuoksi rakenteen mittausmäärät ja niiden dokumentointi, on työläs suorittaa mittausryhmän avulla. Työkoneen mittalaitteella voidaan suorittaa suurin osa mittauksista, kunhan varmistetaan mittalaitteen tarkkuus ja toimivuus säännöllisillä kokeilla ja kalibroinnilla. Tietojen reaaliaikainen mittautiedon tallennus ja lähettäminen eteenpäin käsiteltäväksi mahdollistaa nopean reagoinnin virhetilanteissa.

### **7 IMATRAN PILOTISSA OPITTUA**

Imatran hankkeissa on tällä hetkellä vaatimuksena, että mahdollisimman paljon suuremmista hankkeista toteutetaan mallipohjaisesti. Muutaman vuoden sisällä on tavoitteena toteuttaa hankkeista noin 70 % mallintamalla. Pienemmissä kohdeissa menettelytapaa ei nähdä vielä kustannustehokkaana. Tietomallipohjaisella toteutustavalla pyritään pääsemään eroon suunnitteluvirheistä. Malli helpottaa myös työsuunnittelua. Kun päästään tilanteeseen, jossa suunnittelija voi tarjota

niin valmiin mallin, ettei koneohjausmallia tarvitse enää muokata erikseen, saadaan lisää tehokkuutta toimintaan. Rakennusvaiheessa toteutuma nähdään suoraan, vältetään ylikuivulta sekä voidaan seurata työn etenemistä, aikataulua ja kustannuksia. Tuottavuuden on havaittu paranevan ja jatkossa tullaan opittuja käytäntöjä hyödyntämään.

Toteutusvaiheessa esimerkiksi leikkauskorot selviävät. Tavoitteena on, että toteutus- ja laatusuunnitelmat olisi esitetty myös työsuunnitelmassa. Esimerkiksi Imatran Vedellä on oma ohje, jossa on määritetty, mitä tuotteita vesi- ja viemäri-linjoilla saa käyttää. Määräluettelo tuotetaan urakoitsijalle tiedoksi. Sen tarkkuus on puutteellinen ja siksi pyritään mallipohjaiseen suunnitelmaan. Mallipohjaisen suunnitelman luotettavuus määrien suhteen on huomattavasti parempi. Hankkeissa ei käytetä ainakaan vielä pisteytystä. Työnjohdolle on asetettu vaatimuksena 5 vuoden työjohtokokemus ja vähintään rakennusmestarin tutkinto (RKM). Urakoitsijan kohdalla kokemus on määräävin tekijä. Urakoitsija voi olla riittävän kokenut ilman tutkintoa. MITRA tilaa pienempien saneeraus- ja rakennuskohteiden toteutusta kaupunkikonserniin kuuluvalta KIPA:lta, joten kaikkia hankkeita ei tarvitse kilpailuttaa.

Pilotissa saatujen kokemusten pohjalta Imatran kaupungilla oli tavoitteena laatia käyttöönsä koneohjauksen tilaajaohjeistus. Tämä ohjeistus on vielä suunnitteluasteella. Rakennuttaja odottaa, että pian saadaan valmiita, toteutettavia malleja, jotka voidaan viedä ilman korjauksia koneohjausjärjestelmää. Lisäksi toiveissa on, että pian tietomallit saadaan linkitettyä myös ylläpidon tarpeisiin. Imatran kaupunki kehittää edelleen hyväksi havaitsemiaan, tämän hankkeen yhteydessä käyttöön otettuja työkaluja ja toimintatapoja. Infrakit on tullut jäädäkseen.

Digi-Infra -hankkeen itsearviointin perusteella huomattiin, että koneohjauksen ja työmaatyöskentelyn tueksi tarvitaan maastotyökalu, joka sisältää Android-tabletin, sauvan ja GNNS-laitteen. Laitteistolla täydennettiin Infrakit-ohjelmiston ja alustan toimivuutta ja näkyvyyttä kaikille toimijoille. Maastotyökalu auttaa myös uusien toimintatapojen pilotointia yhteisellä innovaatioalustalla. Yhteisen alustan toimivuutta testattiin Imatran kaupungin pilotissa kevään 2018 aikana.

Pilotin aikana opittiin paljon ja into oppia lisää kasvoi kaikilla sektoreilla. Osaamisen verkostot kasvoivat, yhteistyö laajeni, ja osaaminen lisääntyi. Digi-Infra hankkeelle asetetut tavoitteet siis täyttyivät tämän pilotin osalta, vaikka toimijoiden kaikki omat tavoitteet eivät ihan vielä täyttyneetkään.

Projektin päättymisen jälkeen loppuvuodesta 2018 tulee vielä sopia käyttäjätunusten uudelleen nimeämisestä, radiotaajuuksien hakemisesta, ylläpitovastuista Saimaan ammattikorkeakoulun sekä Imatran kaupunki osalta ja nimetä vastuhenkilöt!

## LÄHTEET

buildingSMARTFinland, 2018. <https://buildingsmart.fi/infrabim/> Luettu 30.10.2018

Infrakit, 2018. <https://infrakit.com/fi/> Luettu 30.10.2018

Laurila, Pasi 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.

Liikennevirasto, 2018. <https://www.liikennevirasto.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli-#.W-KKJGdILVI>) Luettu 30.10.2018

NOVATRON 2018. <https://novatron.fi/> Luettu 30.10.2018

Nurminen, Pasi 2012. Työkoneautomaation ja mallintaminen osana infrarakentamista, Destia.