

TOTEUTUSMALLIN TUOTTAMINEN JA SIIRTÄMINEN  
KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄÄN

Kelahaara Jokke

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Jokke Kelahaara	Vuosi	2018
<b>Ohjaaja</b>	Timo Karppinen		
<b>Työn nimi</b>	Toteutusmallin tuottaminen ja siirtäminen koneohjausjärjestelmään		
<b>Sivumäärä</b>	52		

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli antaa esimerkki kadun toteutusmallin eli koneohjausmallin tuottamisesta ja siirtämisestä koneohjausjärjestelmään. Tavoitteena oli, että opinnäytetyötä voidaan käyttää ohjeistuksena malleja laatiessa. Koneohjausjärjestelmien käyttö infrarakentamisessa on yleistä, joten osaavia toteutusmallien tekijöitä, jotka osaavat laatia mallit ja siirtää ne kaivinkoneisiin, tarvitaan entistä enemmän. Yhtä oikeaa tapaa tuottaa toteutusmalli ei ole, joten opinnäytetyössä esitettiin havainnekuvien avulla tapa, joka työharjoittelussa on opittu.

Opinnäytetyön pääosiossa eli mallinnuksessa käytiin läpi tietomallinnuksen perusteita ja esitettiin havainnekuvien avulla esimerkki kadun ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmallin tuottamisesta 3D-Win-ohjelmistolla. Lähtökohtana oli kadun keskilinjan taiteviiva ja lopputuloksena saatiin Inframodel-tiedonsiirtoformaattiin kirjoitettu pintamalli. Työn lopuksi näytettiin vielä, kuinka Novatronin koneohjausjärjestelmä liitetään Infrakit-pilvipalveluun ja tuotettu toteutusmalli siirretään kuljettajan käyttöön. Mallintamisen eri vaiheiden ohjeistuksia löytyy verkosta, mutta tässä työssä niistä on koottu yhtenäinen paketti.

Tutkimusaineistona työssä käytettiin Pasi Laurilan Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet -kirjaa, verkkolähteitä ja opinnäyte-/diplomitöitä. Työn tuloksena saatiin aikaan helposti ymmärrettävässä muodossa oleva ohjeistus mallinnuksen eri vaiheista ja tietopaketti koneohjauksen perusteista sekä tietomallinnuksesta.

Avainsanat

mallinnus, toteutusmalli, inframodel

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

---

<b>Author</b>	Jokke Kelahaara	Year	2018
<b>Supervisor</b>	Timo Karppinen		
<b>Subject of thesis</b>	Producing and Transferring a Model to the Machine Control System		
<b>Number of pages</b>	52		

---

The purpose of this thesis was to give an example of producing a machine control model and how to transfer it to a machine control system by using the Infrakit software. The thesis can be used as a guide for the producers of models. Because the usage of a machine control system is common nowadays, the need for producers who can produce and transfer models to a machine control system has increased.

The main part of the thesis includes basic information about the building information modelling and the creation of a machine control model by using the 3D-Win software. The production was reviewed step by step with example images. The initial data material was the centre line of the street and the final product was a completed model of the top bearing course. In the final part of the thesis, the produced model was transferred to an excavator's machine control system.

Land surveying literature, online resources and another thesis were used as the source material. As a result, a comprehensible manual about producing models and information package of basics about the machine control and building information modelling were created.

Key words

modelling, machine control model, inframodel

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	SATELLIITTIPAIKANNUS .....	8
2.1	Satelliittipaikannuksen periaate .....	8
2.2	GNSS-järjestelmät .....	9
2.3	Perusmittaustavat .....	11
2.4	RTK- ja verkko-RTK-mittaus .....	12
3	TYÖKONEAUTOMAATIO .....	13
3.1	Koneohjaus infrarakentamisessa .....	13
3.2	3D-koneohjausjärjestelmä .....	13
3.3	Koneohjauksen hyödyt.....	15
4	MALLINNUS .....	16
4.1	Tietomallinnus infrarakentamisessa.....	16
4.2	Inframalli .....	16
4.2.1	Lähtötietomalli .....	17
4.2.2	Suunnitelmamalli .....	17
4.2.3	Toteutusmalli .....	18
4.2.4	Toteumamalli.....	19
4.3	Yleiset inframallivaatimukset 2015.....	19
4.4	InfraBIM-nimikkeistö .....	20
4.5	Inframodel-tiedonsiirtoformaatti .....	21
5	TOTEUTUSMALLIN TUOTTAMINEN.....	23
5.1	Yleistä .....	23
5.2	Mallinnettavat osat.....	24
5.3	Taiteviivat.....	25
5.4	Tarkkuusvaatimukset.....	25
5.5	Aineiston luovutus.....	27
5.6	Toteutusmallin tuottaminen 3D-Win-ohjelmistolla .....	28
5.6.1	Esimerkkikatu .....	29
5.6.2	Inframodel-formaatin teko 3D-Win-ohjelmistoon .....	40
6	INFRAKIT .....	43
6.1	Yleistä .....	43

6.2	Novatron-koneohjausjärjestelmän liittäminen Infrakitiin .....	43
6.3	Toteutusmallin siirto koneohjausjärjestelmään Infrakitin avulla.....	46
7	POHDINTA .....	50
	LÄHTEET .....	51

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

->	Siirtyminen valikossa seuraavaan vaiheeseen
3D-Win	Mittausdatan käsittelyyn tarkoitettu Windows-ohjelmisto
BIM	Building Information Model eli tietomalli
Compass	Kiinan paikannussatelliittijärjestelmä
Galileo	Eurooppalainen paikannussatelliittijärjestelmä
Glonass	Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema. Venäläinen paikannussatelliittijärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Paikannussatelliittijärjestelmä, joka koostuu monista järjestelmistä, kuten GPS:stä ja Glonass:sta.
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltojen paikannussatelliittijärjestelmä.
Infra	Infra eli infrastruktuuri tarkoittaa yhteiskunnan perusrakenteita, kuten tieverkostoa tai vesihuoltoa
Inframodel	Infra-alalla käytössä oleva, suomalaisten kehittämä tiedonsiirtoformaatti
LandXML	Infra-alalle suunnattu tiedonsiirtoformaatti
RTK	Real Time Kinematic. Reaaliaikainen kinemaattinen mitaus.
YIV2015	Yleiset inframallivaatimukset 2015

## 1 JOHDANTO

Tänä päivänä sanat koneohjaus ja mallinnus tulee vastaan useasti puhuttaessa maanrakennuksesta. Koneohjausjärjestelmillä varustettuja kaivinkoneita käytetään lähes kaikilla suuremmilla hankkeilla, sillä sen on huomattu tehostavan työtä, parantavan työnlaatua ja vähentävän kustannuksia. Koneohjauksen lisääntynyt käyttö vaatii näin ollen myös enemmän osaavia koneohjausmallien eli toteutusmallien tekijöitä, sillä suunnittelijoiden tuottamat mallit täytyy muokata koneohjausjärjestelmiin sopiviksi.

Aiheen valinta perustuu omasta kiinnostuksesta ja työharjoittelussa saadusta kokemuksesta koneohjausta ja erityisesti mallinnusta kohtaan. Aiheessa päästään paneutumaan lisää tietomallinnukseen ja sitä kautta toteutusmallin laatimiseen. Infran mallinnukseen on olemassa suomalaisten tuottamia ohjeistuksia, joista käy ilmi muun muassa toteutusmallin sisällön laatuvaatimukset ja vaaditut tiedonsiirtoformaattit.

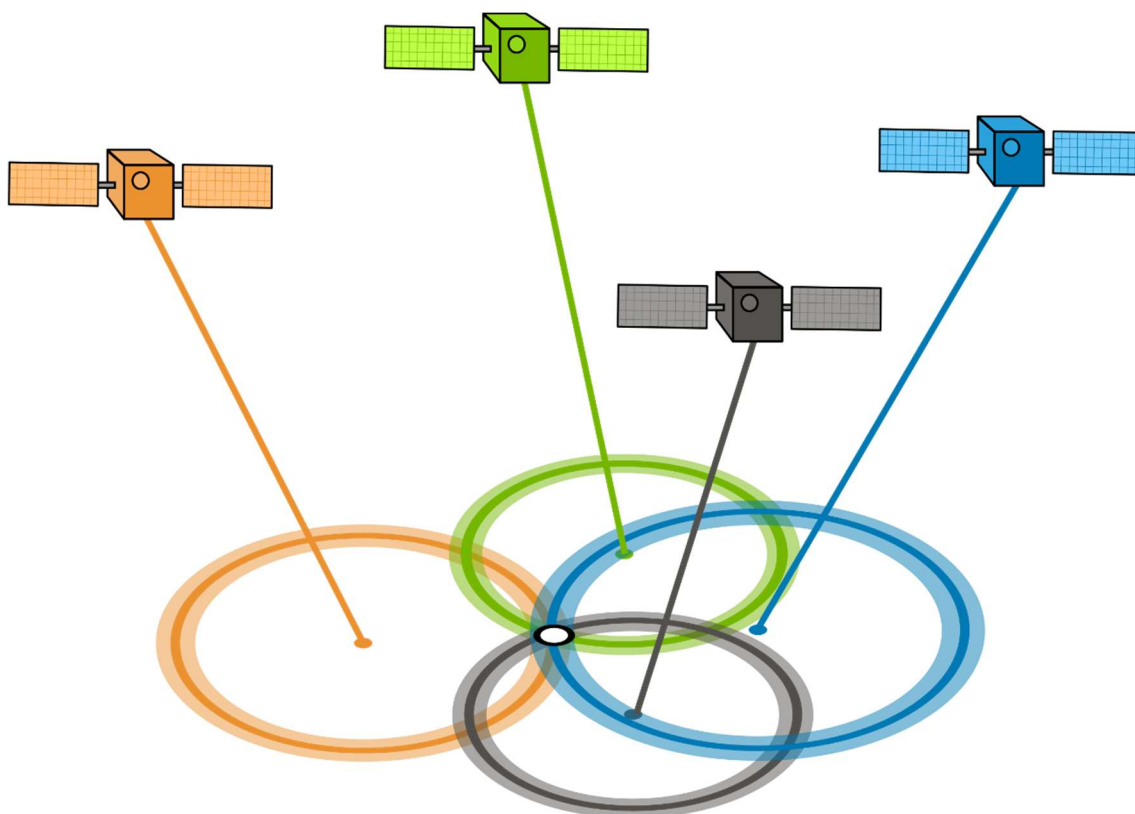
Opinnäytetyön tarkoituksena on antaa lukijalle selkeä esimerkki toteutusmallin tuottamisesta ensimmäisistä taiteviivoista lähtien, aina valmiin pintamallin siirtämiseen koneohjausjärjestelmään vaatimusten mukaisessa Inframodel-tiedonsiirtoformaattissa. Tavoitteena on, että lukija pääsee sisälle koneohjauksen ja inframallintamisen maailmaan sekä voi käyttää opinnäytetyötä ohjeistuksena toteutusmalleja laatiessa.

Opinnäytetyössä käydään aluksi läpi satelliittipaikannuksen ja koneohjauksen periaatteita, jonka jälkeen siirrytään pääaiheeseen eli mallinnukseen. Mallinnusosio kattaa tieto- ja inframallintamisen perusteita ja sisältöä, sekä siinä perehdytään toteutusmallin tuottamisen vaatimuksiin YIV2015:n osalta. Tämän jälkeen näytetään havainnekuvien avulla esimerkki kadun toteutusmallin tuottamisesta ja Inframodel-formaatin tekemisestä 3D-Win-ohjelmistolla. Opinnäytetyön lopuksi esitetään vielä, kuinka toteutusmalli siirretään laajasti käytössä olevan Infrakit-pilvipalvelun kautta koneohjausjärjestelmään kuljettajan näyttöpäätteelle.

## 2 SATELLIITTIPAIKANNUS

### 2.1 Satelliittipaikannuksen periaate

Satelliittipaikannuksessa havaitaan satelliittien lähettämiä signaaleja, joiden perusteella etäisyys mitataan vähintään neljään satelliittiin (Kuvio 1). Havaintajan paikka voidaan laskea, kun tunnetaan satelliittien sijainti havaintohetkellä. Sijainti lasketaan navigointiviestin tietojen perusteella, joten satelliittipaikannus perustuu etäisyyksien ja etäisyyserojen mittaukseen. (Laurila 2012, 291.) Satelliitin ja vastaanottimen etäisyys saadaan laskettua radiosignaalin lähetysajankohdan ja vastaanottoajankohdan erotuksella, josta selviää signaalin kulku-aika (Kuusniemi 2018).



Kuvio 1. Neljän satelliitin avulla laskettu sijainti (GISGeography 2017)

Satelliittipaikannuksen etäisyyksien mittauksessa voidaan käyttää joko satelliitin lähettämän signaalin paikannuskoodia tai kantoaaltoja. Paikannuskoodia tai siitä johdettua suuretta kutsutaan havaintosuureksi. Havaintosuure on tärkeä



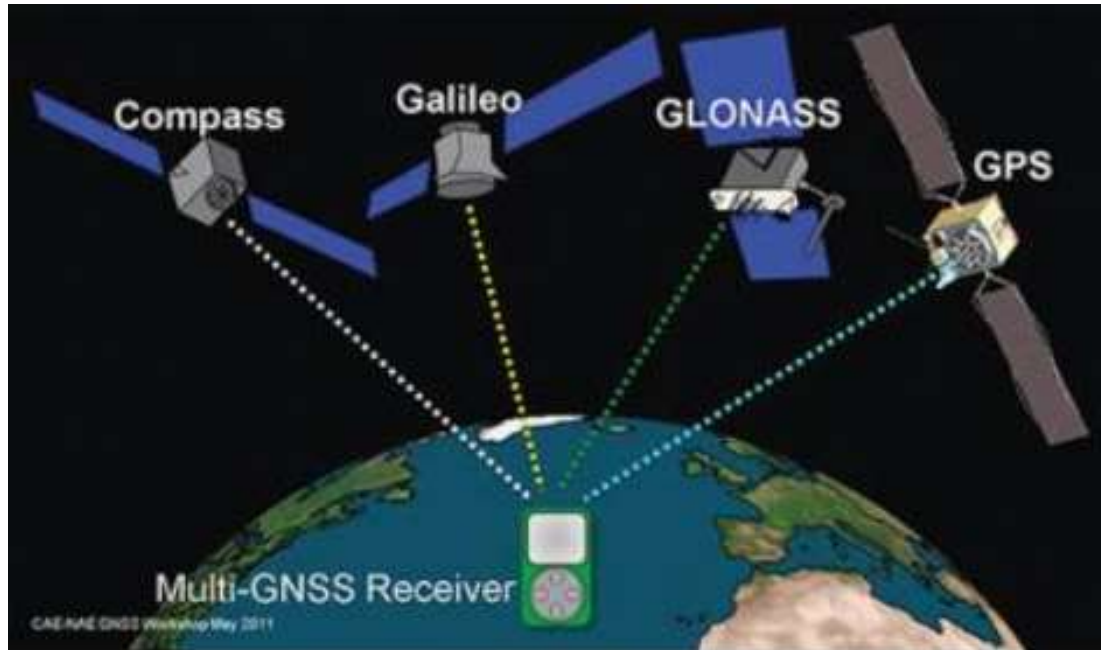
paikannuksen tarkkuuden osalta, koska etäisyys satelliitin tai vastaanottimen välillä saadaan laskettua paremmin kuin 1 %:n tarkkuudella koodijakson tai kantoaallon pituudesta, joiden pituudet ovat:

- P-koodijakso 29,3 m
- C/A koodijakso 293 m
- L1-kantoaalto 0,19 m
- L2-kantoaalto 0,24 m. (Laurila 2012, 292.)

GNSS-paikannuksen havaintosuureet ovat koodihavainnot tai vaihehavainnot. Koodihavainnossa etäisyys satelliittiin mitataan paikannuskoodin avulla. Vaihehavainnot tarkoittavat mittaus- ja kartoitustekniikassa, sillä vaihehavaintojen avulla saadaan riittävän hyvä mittaustarkkuus. (Laurila 2012, 292.)

## 2.2 GNSS-järjestelmät

Radiosignaalit lähetetään paikannussatelliitti- eli GNSS-järjestelmistä (Global Navigation Satellite System), johon kuuluvat muun muassa Yhdysvaltojen GPS (Global Positioning System) ja Venäjän ylläpitämä Glonass (Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema). Eurooppa ja Kiina ovat liittymässä mukaan omilla Galileo- ja Compass-järjestelmillään. (Maanmittauslaitos 2018.) Monesti puhutaan virheellisesti GPS-paikannuksesta, vaikka tarkoitetaan GNSS-paikannusta, jossa hyödynnetään samanaikaisesti useampien paikannusjärjestelmien satelliitteja (Kuvio 2).



Kuvio 2. GNSS-mittauksessa käytetään useiden järjestelmien satelliitteja samanaikaisesti (Inside GNSS 2016)

Paikannusjärjestelmistä hallitsevin on GPS, jonka kehitys aloitettiin Yhdysvalloissa 1970-luvulla, ja nykyisessä muodossaan se oli valmis vuonna 1994. Alun perin järjestelmä kehitettiin sotilaskäyttöön, mutta siviilikäyttö on alusta asti huomioitu kehitystyössä. GPS-järjestelmän kehityksen tavoitteena oli muutaman metrin paikannustarkkuus ja häiriöiden hyvä sietokyky. Järjestelmän käyttäjät voivat määrittää sijaintinsa ja nopeutensa kaikkialla maapallolla sääolosuhteista riippumatta ympäri vuorokauden. Paikannuksen ohessa GPS-järjestelmää käytetään ajanmääritykseen. Sen avulla tehdään esimerkiksi maailmanlaajuinen tietoverkkojen ajastus eli synkronointi. (Laurila 2012, 282.)

Venäläinen paikannusjärjestelmä Glonass otettiin käyttöön hieman GPS:n jälkeen 1990-luvulla. GPS-järjestelmän tavoin sitä on mahdollista käyttää maailmanlaajuisesti, mutta se ei ole aivan yhtä kattava. Glonass-järjestelmässä on ollut taloudellisia ja teknisiä ongelmia, jotka osaksi johtuvat niiden lyhyestä käyttöiästään. Glonass-satelliittien keskimääräinen käyttöaika on kolme vuotta, kun GPS-satelliitteja käytetään noin 10 vuotta. Glonass-järjestelmä täydentää kuitenkin hyvin GPS-järjestelmää, kun satelliittien näkyvyydessä on ongelmia. (Laurila 2012, 290.)

Euroopan oma Galileo-järjestelmä on ollut kehitteillä ja kohta vuosikymmenen. Ongelmia on ollut rahoituksessa, kehityksessä ja yhteensopivuudessa GPS-järjestelmän kanssa. Yksi tärkein syy Galileo-järjestelmän syntyyn ja kehittämiseen on ollut riippumattomuus muista järjestelmistä, jonka ajatellaan tuovan varmuutta paikannussovelluksiin ja vaikuttavan Euroopan turvallisuuteen. Kaksi testisatelliittia ja kaksi varsinaista Galileo-satelliittia ovat jo radoillaan, mutta järjestelmään on tulossa yhteensä 30 satelliittia. Järjestelmän arvioidaan tulevan toimintaan vuosien 2018-2020 aikana. (Maanmittauslaitos 2018.)

Compass-järjestelmä on kehitteillä oleva kiinalainen järjestelmä, joka tulee olemaan hyvin samanlainen kuin Yhdysvaltojen GPS-järjestelmä. Se tulee sisältämään 35 satelliittia, joista viisi lähettää globaalien paikannussatelliittijärjestelmien virhekorjausinformaatiota. Järjestelmän arvioidaan olevan toiminnassa vuonna 2020. (Maanmittauslaitos 2018.)

### 2.3 Perusmittaustavat

Satelliittipaikannuksessa käytetään useita mittaustapoja. Niiden jaottelu perustuu muun muassa mittauksissa käytettäviin havaintosuureisiin, virheiden korjaustekniikoihin ja havaintolaitteiden lukumäärään. Kolme perusmittaustapaa ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus sekä vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. (Laurila 2012, 293.)

Absoluuttinen paikannus on yleisin satelliittipaikannuksen mittaustapa, jota tavallinen kuluttaja käyttää esimerkiksi auton navigaattorilla suunnistaessa. Mittaustapa on yksinkertainen ja paikannustarkkuus on 10 metrin sisällä, joten se soveltuu harrastekäyttöön ja yleiseen navigointiin. Differentiaalisessa paikannuksessa etäisyyksien mittaus tapahtuu C/A-koodin avulla absoluuttisen paikannuksen tavoin, jonka lisäksi mittauksessa käytetään tunnetulla pisteellä sijaitsevaa tukiasemaa. Tukiaseman avulla voidaan korjata mittauksen systemaattisia virheitä, jolloin paikannuksen tarkkuus on  $< 0.5\text{--}5$  m. Differentiaalista paikannusta käytetään muun muassa paikkatietojen keräämiseen sekä ammattimaiseen auto- ja laivaliikenteeseen. (Laurila 2012, 293–299.)

Kolmas perusmittaustapa on vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus, joka eroaa kahdella tapaa aikaisemmin esitetyistä mittaustavoista. Etäisyydenmittauksen havaintosuureena on kantoaalto C/A-koodin sijaan. Tämän lisäksi paikantavan vastaanottimen sijainti mitataan vertailuvastaanottimen suhteen. Tällä mittaustavalla saavutetaan paras mahdollinen paikannustarkkuus, virheiden ollessa parhaimmillaan muutamia millimetrejä. Vaihehavaintoihin perustuvaa suhteellista mittausta käytetään esimerkiksi koneohjauksessa ja muissa mittaus- ja kartoitustekniikan tehtävissä. (Laurila 2012, 301–302.)

## 2.4 RTK- ja verkko-RTK-mittaus

RTK-mittaus (Real Time Kinematic) eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus on satelliittipaikannuksessa käytettävä menetelmä, jota käytetään muun muassa koneohjauksessa kaivinkoneen kauhan sijainnin määrittämiseen. RTK-mittaukseen tarvitaan tunnetulla pisteellä oleva vertailuvastaanotin eli tukiasema, joka lähettää korjausdataa kaivinkoneen paikantavalle vastaanottimelle. Tällä mittaustavalla päästään senttimetriluokan tarkkuuteen. (Laurila 2012, 319.)

Tukiaseman ja kaivinkoneessa sijaitsevan vastaanottimen välillä tulee olla tiedonsiirtoyhteys, joka toteutetaan radiomodeemin, internetin tai matkapuhelinverkon avulla. Mittauksen suorittamiseen tarvitaan vähintään viisi yhteistä satelliittia, mutta luotettava tulos saadaan 6-7 yhteisellä satelliitilla. Toimintasäde RTK-mittauksessa on maastosta riippuen maksimissaan kymmenen kilometriä johtuen ionosfäärin häiriöstä. Tämän lisäksi esimerkiksi kaupunkialueilla mittausta voivat haitata erilaiset näkemäesteet, kuten korkeat rakennukset tai sillat, jolloin yhteyttä tarpeeksi moneen satelliittiin ei saada ja mittausta ei voida suorittaa. (Laurila 2012, 319.)

Verkko-RTK-mittauksessa korjausdata saadaan kaupalliselta palveluntarjoajalta, joita ovat esimerkiksi Geotrim ja Leica. Palveluntarjoajilla on kiinteä tukiasemaverkko, joista korjausdata saadaan paikantavalle vastaanottimelle mobiiliverkon välityksellä. Verkko-RTK-menetelmä ei ole ihan yhtä tarkka, kuin RTK-menetelmä, sillä korkeustarkkuus siinä on noin 4-5 senttimetriä. (Heikkinen 2016, 6.)

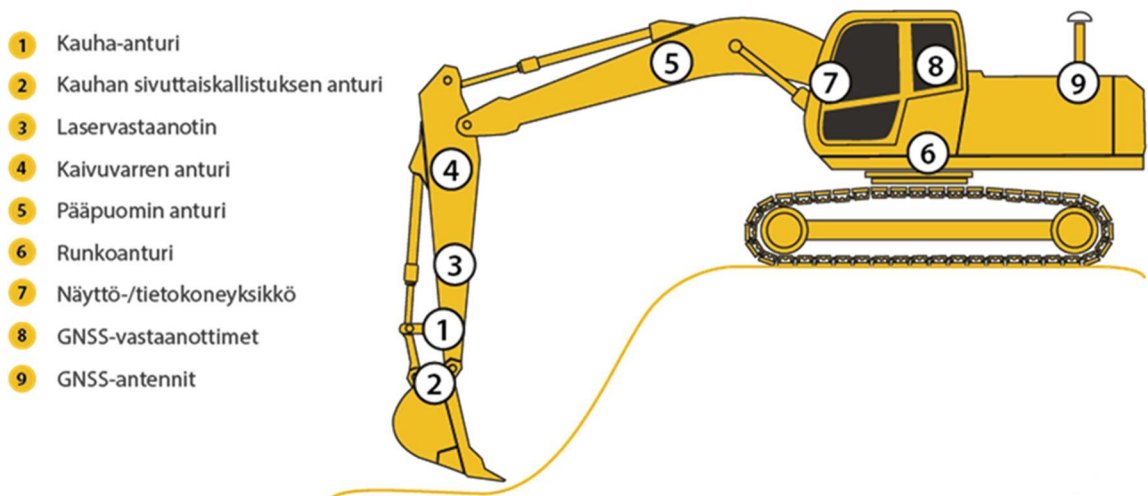
### 3 TYÖKONEAUTOMAATIO

#### 3.1 Koneohjaus infrarakentamisessa

Työkoneautomaatio eli koneohjaus tarkoittaa infrarakentamisessa 3D-koneohjausjärjestelmien käyttöä työkoneissa. Työkoneet on varustettu anturijärjestelmillä, paikannuslaitteilla sekä tietokoneilla, johon suunnitelma-aineistot tuodaan koneisiin digitaalisessa muodossa. (buildingSMART Finland 2018a.) Sähköiset aineistot saadaan koneisiin langattomasti esimerkiksi Infrakitin pilvipalvelun avulla tai siirtämällä ne muistitikulla erikseen jokaiseen työkoneeseen. Opinnäytetyössä keskitytään kaivinkoneissa käytettävään koneohjaukseen.

#### 3.2 3D-koneohjausjärjestelmä

3D-koneohjausjärjestelmän toimintaperiaatteena on työkoneen ohjaamoon sijoitetulle näytölle ladattava kolmiulotteinen koneohjausmalli eli toteutusmalli, jonka avulla kuljettaja kaivaa suunnitellut rakennekerrokset. Koneeseen sijoitetut anturit välittävät tietoa kuljettajalle kauhan asennosta ja sijainnista. (Ahonen 2015, 3.) Koneohjausjärjestelmää käyttämällä työmailla voidaan siis työskennellä ilman perinteistä maastoon merkintää, sillä tarvittava korko ja sijainti ovat tiedossa työkoneen kauhan huulilevyssä (Novatron 2018). Kuviossa 3 esitetään Novatronin 3D-koneohjausjärjestelmään kuuluvia osia.



Kuvio 3. Kaivinkoneisiin asennettavia koneohjausjärjestelmän osia (Novatron 2018a)

Työkoneen paikannus voidaan suorittaa joko takymetrillä tai satelliittipaikannuksen avulla. Takymetrin avulla päästään hieman parempaan korkeustarkkuuteen verrattuna satelliittipaikannukseen, mutta se ei ole yhtä käytännöllinen. Takymetri tarvitsee jatkuvan näköyhteyden kaivinkoneeseen, joten esimerkiksi toisen työkoneen tullessa väliin työ keskeytyy. Tämän lisäksi takymetrin käyttöön tarvitaan mittaustekniikan tuntemista, joten se sitoisi mittaajia kaivinkoneiden avuksi. (Heikkinen 2016, 4.) Kauhan sijainnin reaaliaikainen paikannus perustuu RTK-mittaukseen, jolloin tukiaseman lähettämän korjaussignaalin avulla päästään senttimetrin tarkkuuteen (Novatron 2018a).

Kuvio 4 on esimerkki Novatronin koneohjausjärjestelmän näytöstä ja käyttöliittymästä, jonka ylemmässä kuvassa näkyy kaivinkoneen sijainti suunnitelma-aineistossa. Järjestelmässä voidaan jakaa kaivuunäkymät useaan erilaiseen näkymään, kuten esimerkkikuvassa pienet näkymät on jaettu poikkileikkauksiin kohtisuoraan kauhaan nähden sekä kauhan suuntaisesti. Näytön alareunassa näkyvä dZ kertoo korkoeron kauhan huulilevyn keskikohdan ja aktiiviseen mallin välillä, eli valittu pinta on 0.36 m alempana. Z näyttää todellisen koron merenpinnasta ja oikeassa alareunassa oleva luku 14 kertoo paikannuksessa käytettävien satelliittien määrän.



Kuvio 4. Työkoneen kuljettaja näkee kolmiulotteiset toteutusmallit ja kauhan sijainnin koneohjausjärjestelmän näytöltä. Kuva Novatronin Xsite Pro 3D-näyttöpäätteestä (Novatron 2018b)

### 3.3 Koneohjauksen hyödyt

Koneohjauksesta on hyötyä monille hankkeen osapuolille kaivinkoneen kuljettajasta työnjohtoon. Sen avulla työ on tehokkaampaa ja nopeampaa, koska kuljettajan ei tarvitse esimerkiksi odottaa mittaajaa merkitsemään korkoja vaan hän voi koko ajan keskittyä työn tekemiseen. Koneohjausjärjestelmä toimii kellon ympäri kaikenlaisissa sääolosuhteissa, joten työtä voidaan tehdä samalla tavalla niin pimeällä kuin sateessakin. Tämän lisäksi kuljettaja näkee suoraan, kuinka paljon maata poistetaan tai täytetään, jolloin ei tule ylimääräisiä materiaali- ja kuljetuskustannuksia. Mitä nopeammin urakat saadaan valmiiksi, sitä enemmän saadaan säästettyä esimerkiksi polttoainekustannuksissa. (Novatron 2018a.)

Koneohjauksen avulla kaivinkoneesta tulee tarkka mittalaite, joten sillä voidaan tehdä tarkemittauksia, joita työnjohto käyttää laadunvarmistukseen. Työturvallisuus paranee myös huomattavasti, kun mittaajien ei tarvitse liikkua työkoneen läheisyydessä tai syvissä kaivannoissa. (Novatron 2018a.)

## 4 MALLINNUS

### 4.1 Tietomallinnus infrarakentamisessa

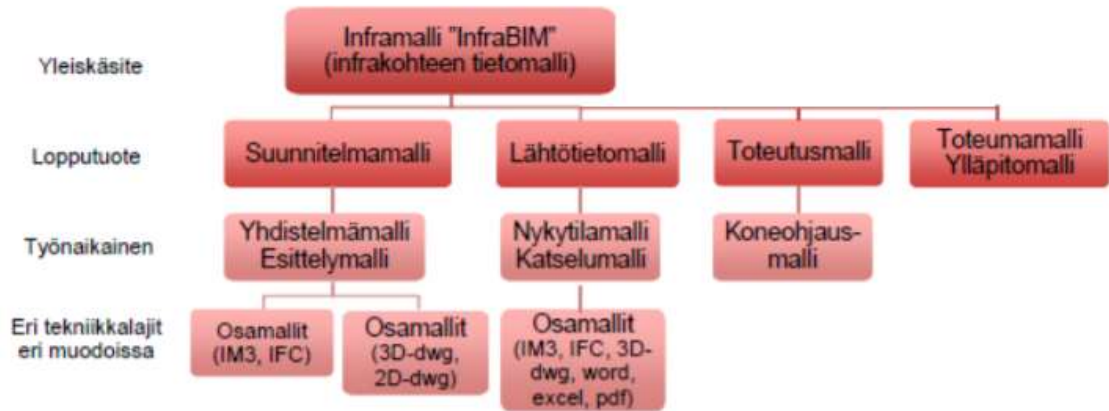
Infra eli infrastruktuuri sisältää yhteiskunnan toiminnan kannalta keskeisiä kokonaisuuksia, kuten tie- ja rataverkostot, vesihuollon, energia-alan sekä lentoasemat. Tietomallinnuksella tarkoitetaan kokonaisvaltaista prosessia, jossa kaikki hankkeen elinkaaren aikana kertynyt tieto on tallennettu digitaaliseen muotoon. Tämä tieto on käytettävissä hankkeen jokaisessa vaiheessa suunnittelusta rakentamiseen ja ylläpitoon sekä lopulta kohteen poistoon. (Kanniainen 2017, 12–13.)

Tietomallien käyttö mahdollistaa erilaisten analyysien ja rakenteiden tarkistamisen jo projektin alkuvaiheessa, jolloin suunnitteluvirheiden ja ongelmien korjaaminen on huomattavasti helpompaa kuin perinteisessä dokumenttipohjaisessa rakentamisessa. Hankkeissa, joissa käytetään tietomalleja, kaikki tiedot ovat sähköisenä mallissa eikä hajallaan erilaisissa piirustuksissa ja dokumenteissa. Tietomallien käytöllä voidaan myös parantaa tiedon siirtoa hankkeen sisällä ja pienentämään materiaalimenekkiä. Tämä on tärkeää, sillä puutteellisen tiedon siirron todetaan olevan suurin syy hukkan syntymiseen rakennushankkeissa. (Kivinen 2016, 11–12.)

### 4.2 Inframalli

Infrassa käytettävää tietomallia kutsutaan inframalliksi, joka sisältää infran rakenteiden ominaisuustiedot 3D-muodossa. Tämä kokonaisuus pitää sisällään hankkeen teknisen suunnitelman yhteisiä vaatimuksia ja käytäntöjä noudattaen. Inframalli on hankkeen tietopankki, josta löytyy hankkeeseen liittyvät tiedot ajantasaisina kaikkien käytettävissä. (Äikäs 2016, 6.) Kuviossa 5 on esitetty inframalliin sisältyviä osia, joita voivat olla esimerkiksi lähtötieto-, suunnitelma-, toteutus- sekä toteuma- ja ylläpitomalli (Kivinen 2016, 12).





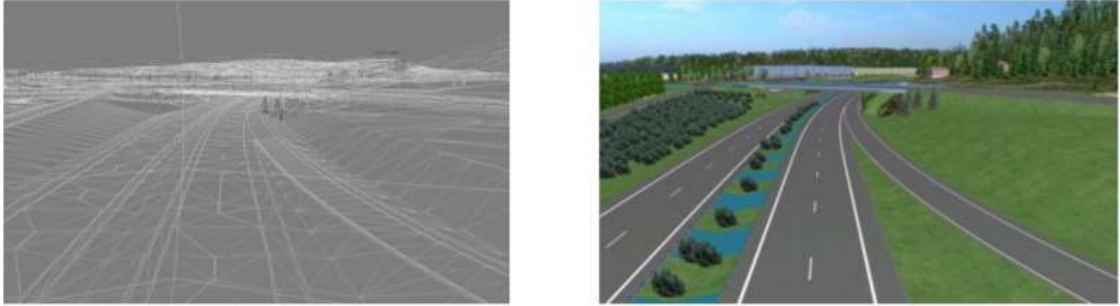
Kuvio 5. Inframallin osat (Kivinen 2016, 12)

#### 4.2.1 Lähtötietomalli

Lähtötietomalli kuvaa kohteen nykytilaa ja toimii suunnittelun pohjana (buildingSMART Finland 2018b, 11). Siihen pyritään kokoamaan kattavat lähtötiedot digitaalisessa muodossa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ennen suunnitteluprosessia, jotta suunnittelijalla on käytössään alusta asti kattavat tiedot suunnittelua varten. Lähtötietoja ovat esimerkiksi maastomalli, maaperämalli, sekä viiranomaisluvut ja päätökset. Lähtötietomallia päivitetään sen mukaan, kun uusia lähtötietoja tulee tai vanhoja muutetaan, sillä sitä on tarkoitus käyttää koko projektin elinkaaren ajan. Päivitykset voivat olla esimerkiksi uusia maastomittauksia tai pohjatutkimuksia. (buildingSMART Finland 2018c, 4.)

#### 4.2.2 Suunnitelmamalli

Suunnitelmamalli sisältää suunnittelijoiden tekemät suunnitteluratkaisut. Suunnitelmamalli voidaan vaiheistaa esimerkiksi esi-, yleis-, väylä- ja rakennussuunnittelumalleihin. Suunnittelumallin työnaikaiset mallit ovat yhdistelmämalli ja siitä tuotettu esittelymalli (kuvio 6). Yhdistelmämalli koostuu osamalleista, joita ovat esimerkiksi väylämalli, valaistus ja vesien hallinta. Näitä osamalleja voidaan vertailla yhdistelmämallissa ja suorittaa esimerkiksi törmäystarkastelua, ettei mitkään putkilinjat mene päällekkäin. Esittelymalli tuotetaan suunnitelmamallista ja sitä käytetään havainnollistamaan suunnitelmaratkaisuja esimerkiksi alueen asukkaille. Esittelymallissa pyritään kuvaamaan kohde visuaalisesti mahdollisimman todenmukaisena. (Kivinen 2016, 13.)



Kuvio 6. Yhdistelmämalli ja siitä tuotettu esittelymalli (buildingSMART Finland 2018b)

#### 4.2.3 Toteutusmalli

Toteutusmalli eli koneohjausmalli on tämän opinnäytetyön kannalta tärkein inframalliin kuuluva osa. Toteutusmalli on rakennettavan kohteen kolmiulotteinen malli, joka tehdään aikaisemmin esitellystä suunnitelmamallista. Rakennepintojen toteutusmallit muodostuvat 3D-taiteviivoista ja niistä tuotetuista kolmioverkkoille. Työmaalla voidaan käyttää pelkästään taiteviiva-aineistoa, kolmioverkkojamalleja tai molempia yhdessä. (buildingSMART Finland 2018a.)

Taiteviiva-aineistot, joita koneohjauksessa käytetään yksinään ilman kolmioverkkomallia voivat olla esimerkiksi putki- tai kaapelilinjoja. Kolmioverkkomallit ovat puolestaan rakenteiden pintoja ja yhdessä niitä voidaan käyttää esimerkiksi tilanteissa, jossa halutaan nähdä samanaikaisesti putkikaivannon rakennepinnat kolmioverkkona ja sinne tulevat putkilinjat taiteviivoina.

Mikään suunnitteluohjelmisto ei tällä hetkellä tuota suoraan vaatimusten mukaisia toteutusmalleja, joten niihin vaaditaan muokkauksen tekemistä vaatimusten täyttämiseksi. Muokkaus voi olla esimerkiksi taiteviivojen lisäämistä, ylimääräisten taiteviivojen poistamista tai aineistojen nimeämistä InfraBIM-nimikkeistön mukaiseksi. (buildingSMART Finland 2018a.)

#### 4.2.4 Toteumamalli

Toteumamalli kattaa suunnitelman ja toteutuksen lopullisen toteuman, johon kootaan hankkeen mittaamisessa ja koneohjauksessa käytetty tietosisältö. Se sisältää lopullisen toteutuksen mukaiset tarkemittaukset, toteumamittaukset, toteumamallit sekä erityiset kartoitustiedot. (buildingSMART Finland 2018e.) Toteumamallista nähdään siis esimerkiksi valmiin asfalttipinnan korkoero suhteessa suunniteltuun korkoon.

Toteumamallia käytetään rakenteen geometrisen laadun ja vaatimusten mukaisen toteutuksen todentamiseen tilaajalle ja se toimii lähtötietona ylläpitoprosessissa. Toteumamallin tavoitteena on vähentää laadunvarmistuksen paperidokumentaatioon käytettävää työmäärää mittaustiedon osalta. (buildingSMART Finland 2018e.)

#### 4.3 Yleiset inframallivaatimukset 2015

Yleiset inframallivaatimukset (uusin versio YIV2015, Kuvio 7) on keskeinen lähde tässä opinnäytetyössä. Yleisten inframallivaatimusten julkaisemista vastaa Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta buildingSMART Finland ja sen infratoimiala ryhmä. Tietomallintamisen käyttöönotto infrahankkeilla on tuonut tarpeen luoda vaatimukset, jotta tilaajilla ja palvelun tarjoajilla on yhteinen näkemyksen siitä, mitä ja miten hankkeiden eri vaiheissa mallinnetaan. Inframallivaatimukset on tarkoitettu käytettäväksi yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina ja mallintamisen ohjeina. (buildingSMART Finland 2018b.)

Varsinkin suurilla hankkeilla tiedon määrä on valtava, jonka käsittelyä YIV2015 on helpottanut. Esimerkiksi vaatimukset kansiorakenteisiin ja tiedostojen nimeämiseen selkeyttävät huomattavasti hankkeeseen liittyvien materiaalien säilyttämistä ja hallinnointia. (Brax & Karjalainen 2016, 39.)

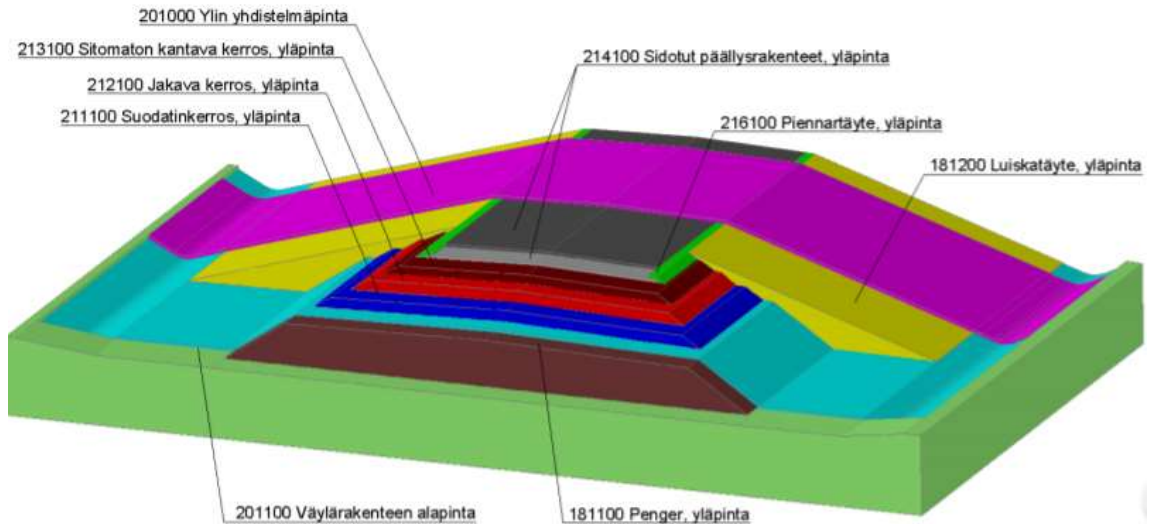
Ohjeiden valmistelutyöhön ovat osallistuneet lukuisat suuret infra-alan yritykset ja toimijat sekä monet kaupungit. Vuoden 2014 kesän jälkeen ohjeiden ylläpidosta ja kehityksestä on vastannut buildingSMART Finland Infra-toimialaryhmä. (buildingSMART Finland 2018b.)

1. Tietomallipohjainen hanke
2. Yleiset mallinnusvaatimukset
3. Lähtötiedot, Liite1, Liite 2
4. Inframalli ja mallinnus hankkeen eri suunnitteluvaiheissa
5. Rakennemallit; 5.1 Maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällyys- ja pintarakenteet, 5.2 Maarakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohje, 5.3 Maarakennustöiden toteutumamallin laadintaohje, 5.3 Liite 1
6. Rakennemallit; 6.1 Järjestelmät
7. Rakennemallit; 7.1 Rakennustekniset rakennusosat
8. Inframallin laadunvarmistus
9. Määrälaskenta, kustannusarviot
10. Havainnollistaminen
11. Infran hallinta; 11.1 Inframallinnus päällysteiden korjaamisessa
12. Inframallin hyödyntäminen suunnittelun eri vaiheissa ja rakentamisessa; 12.1 Maarakentamisen mallipohjainen laadunvarmistusmenetelmä

Kuvio 7. Yleisiin inframallinnusvaatimukseen 2015 kuuluvat osat (buildingSMART Finland 2018f)

#### 4.4 InfraBIM-nimikkeistö

InfraBIM-nimikkeistö (BIM = Building Information Model) on julkaisu, jossa esitetään väylärakenteiden ja mallien numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Nimikkeistön tavoitteena on yhtenäinen numerointi- ja nimeämiskäytäntö, joka palvelee mallien käyttöä jokaisessa hankkeen vaiheessa. Esimerkiksi koneohjauksen toiminta vaatii toteutusmallien oikein nimeämisen. Kuvio 8 nähdään esimerkkejä pinta-annuksista, joita tulee käyttää mallien rakennepintoja laatiessa. InfraBIM-nimikkeistön on laatinut Yleisten inframallivaatimuksien tavoin buildingSMART Finlandin Infra-toimialaryhmä. (buildingSMART Finland 2018d.)



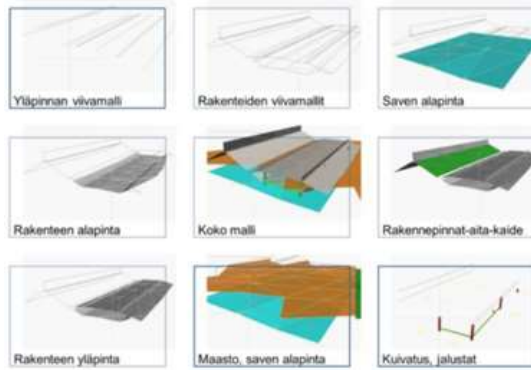
Kuvio 8. Esimerkki rakennepintojen nimeämisestä InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti (buildingSMART Finland 2018d)

#### 4.5 Inframodel-tiedonsiirtoformaatti

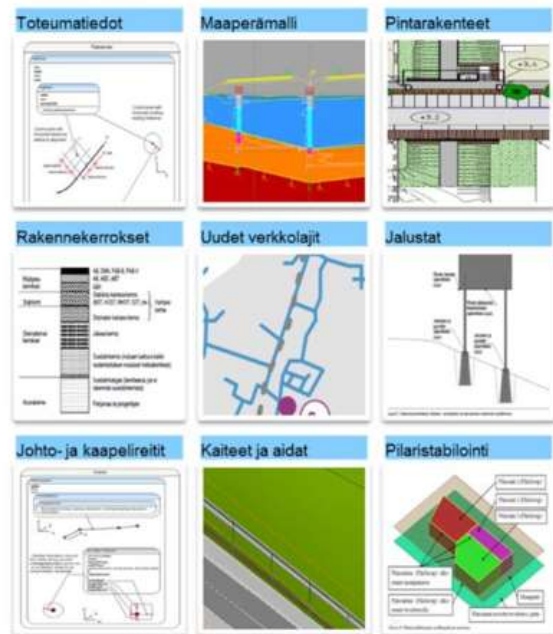
Toteutusmallin tiedonsiirrossa käytetään suomalaisten kehittämää Inframodel-tiedonsiirtoformaattia, joka perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. Inframodel3-versio oli käytössä vaatimuksena vuodesta 2014 lähtien, jonka seuraava versio Inframodel4 otettiin käyttöön 1.2.2018. Liikennevirasto ja suuret kaupungit edellyttävät tästä eteenpäin Inframodel4-formaatin käyttöä kaikissa uusissa suunnittelu- ja toteutushankkeissa. (buildingSMART Finland 2018g.)

Inframodel-formaatilla pyritään luomaan yhtenäinen sisältö suunnitteluohjelmien ja koneohjaussovelluksien tarpeisiin. Formaatin käytön tavoitteina ovat muun muassa sisältövirheiden välttäminen, tiedon säilyminen, tiedonhaun helpottaminen sekä käsittelyvaiheiden automatisoiminen. Inframodel-tiedosto on tekstimuotoinen, joten sen sisältöä voidaan tarkastella selaimella tai tekstieditorilla. Sisältöä pystyy näin ollen vaikka muokata tekstieditorilla, mutta sitä ei suositella. (Vähätiitto 2018.) Kuvioista 13 nähdään, mitä asioita Inframodel3-formaatti on pitänyt sisällään ja mitä uutena käyttöön otettu Inframodel4 on tuonut siihen lisää. (buildingSMART Finland 2018g.)

## Inframodel 3



## Inframodel 4



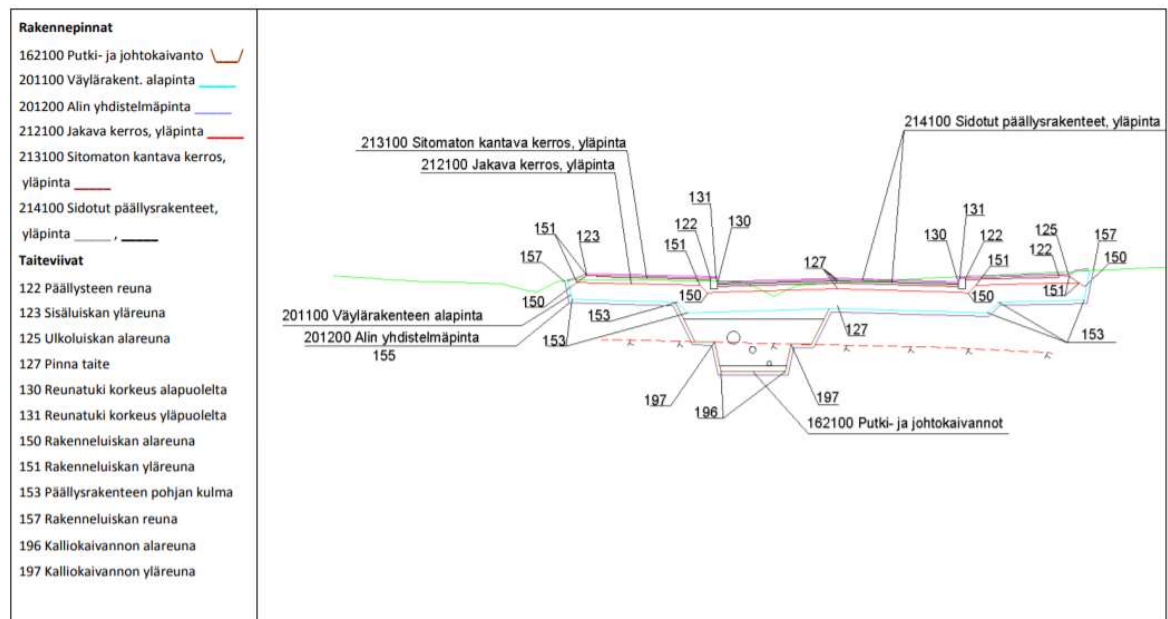
Kuvio 13. Inframodel-formaattiin sisältyvät asiat ja kohteet (buildingSMART Finland 2018g)

## 5 TOTEUTUSMALLIN TUOTTAMINEN

### 5.1 Yleistä

Osiossa käydään läpi toteutusmallin tuottamisen vaatimuksia, jotka löytyvät YIV2015 osasta 5.2: Maanrakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohjeesta, jonka on tehnyt Sami Snellman ja Ville Suntio Destia Oy:stä.

Tie-, katu-, ja rataväylien väylärakenteiden toteutusmalli koostuu useiden rakennepintojen kokonaisuudesta. Jokainen yksittäinen rakennepinta esimerkiksi kantavan kerroksen yläpinta on oma erillinen toteutusmalli ja kaikki rakennepinnat yhdessä muodostavat rakennettavan kohteen toteutusmallin. (buildingSMART Finland 2018a.) Kuviossa 9 nähdään poikkileikkaus kadun toteutusmalliin kuuluvista rakennepinnoista ja taiteviivoista, jotka on nimetty InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti.



Kuvio 9. Kadun rakennepinnat ja taiteviivat (buildingSMART Finland 2018d)

## 5.2 Mallinnettavat osat

Lähtökohtaisesti kaikki rakentamiseen vaadittavat pinnat mallinnetaan, mikäli esimerkiksi tarjouspyynnössä ei ole toisin sovittu. Rakennekerroksista ja pengerrakenteista mallinnetaan kerroksen yläpinnat (esim. kantavan kerroksen yläpinta) rakenneosista, jotka ovat leikkaustyyppisiä, mallinnetaan alapinta (esim. väylärakenteen alapinta). Rakennepinnat nimetään InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti, esimerkiksi ylimmän yhdistelmäpinnan (Yyp) pintakoodiksi laitetaan 201000. (buildingSMART Finland 2018a.)

Toteutusmalli koostuu pääsääntöisesti seuraavista rakennusosista:

- pohjarakenteet
- maaleikkaus- ja kaivannot
- penkereet, maapadot ja täytöt
- päällysrakenteen osat
- ratojen päällysrakenteet (buildingSMART Finland 2018a).

Näistä rakennusosista mallinnettavia pintoja ovat esimerkiksi:

- ylin yhdistelmäpinta
- kantava kerros, yläpinta
- jakava kerros, yläpinta
- väylärakenteen alapinta
- putki- ja johtokaivanto
- maapenger, yläpinta
- tukikerros, yläpinta (buildingSMART Finland 2018a).

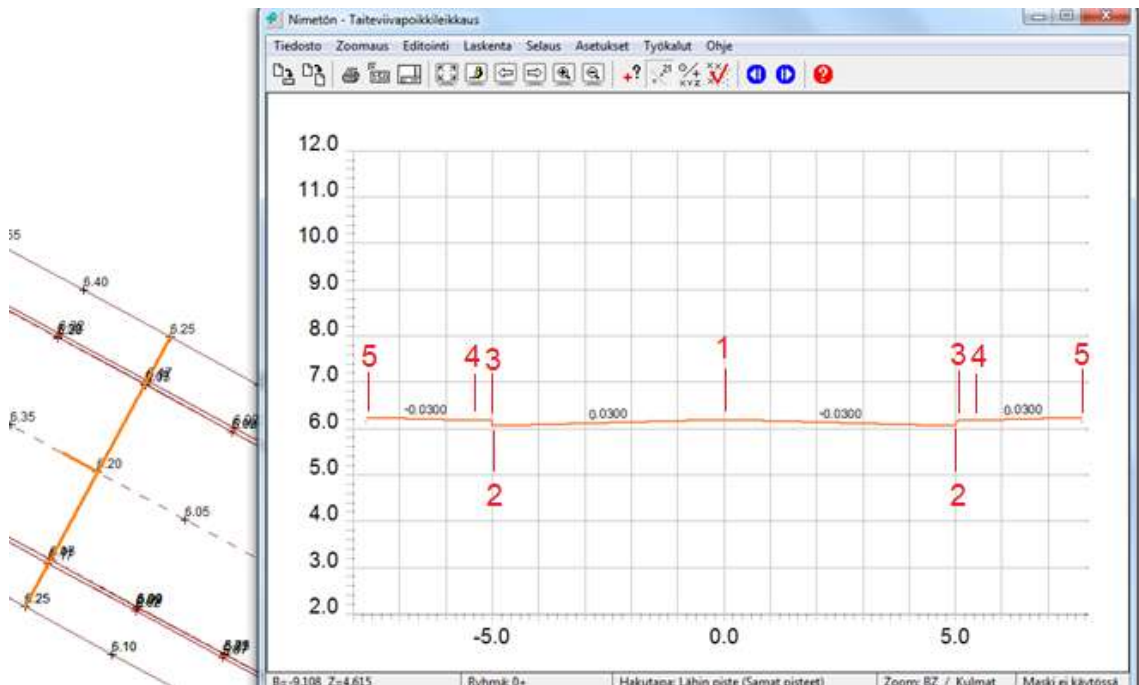
Rakennekerroksissa tapahtuvat kerrospaksuuksien muutokset sisällytetään toteutusmalliin. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi päätien ja sivutien liitoskohdat, joissa päätien rakenteet voivat olla paksumpia kuin sivutien. Rakennekerrosten



paksuusmuutokset suunnitellaan voimassa olevien ohjeiden mukaisesti. Muutokohdassa, johon ei rakenneta siirtymäkiilaa, muutos tehdään 5 metrin matkalla kantavamman rakenteen puolella. (buildingSMART Finland 2018a.)

### 5.3 Taiteviivat

Pinnoista mallinnetaan lähtökohtaisesti vain ne viivat, joiden kohdalla pinnassa on taite, eli kaltevuus pinnalla muuttuu tai viiva on muulla tavalla merkityksellinen (Kuvio 10). Ajouradan mittalinjan tai raiteen keskilinjan taiteviiva mallinnetaan aina, vaikka siinä ei olisikaan taitetta. Näiden lisäksi on tärkeää muistaa, että samalla pinnalla ei saa olla päällekkäisiä viivoja. (buildingSMART Finland 2018a.)



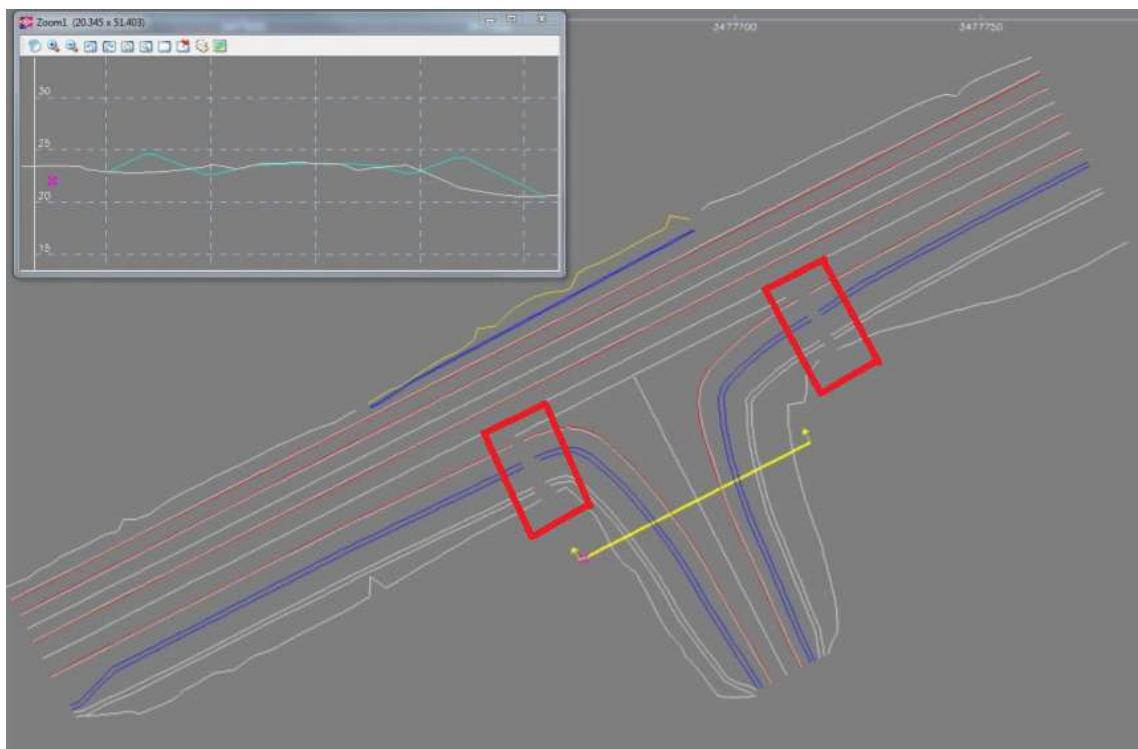
Kuvio 10. Rakennepinnoista mallinnetaan ne viivat, joissa on taite. 1. Keskilinja, 2. Reunakiven alareuna, 3. Reunakiven yläreuna (etureuna), 4. Reunakiven yläreuna (takareuna), 5. Päällysteen reuna.

### 5.4 Tarkkuusvaatimukset

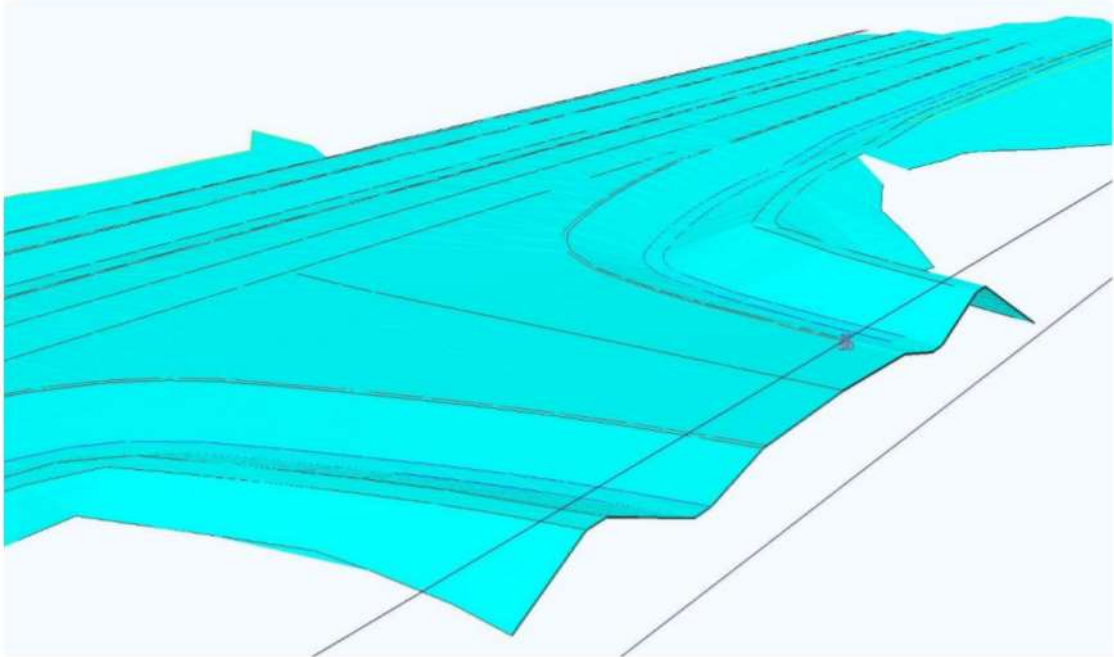
Toteutusmallin tarkkuusvaatimukset voidaan jakaa pintojen ja taiteviivojen jatkuvuusvaatimukseen sekä pintojen ja taiteviivojen geometrisiin vaatimuksiin. Rakennettävien kohteiden lopulliset tarkkuusvaatimukset määräytyvät InfraRYL – Infra-rakentamisen yleiset laatuvaatimukset -julkaisun mukaisesti, jossa on määritelty

sallitut poikkeamat valmiissa rakenteessa. (buildingSMART Finland 2018a.) Seuraavaksi työssä esitellään toteutusmalliin liittyvät tarkkuusvaatimukset YIV 2015 osalta.

Pintoihin ja taiteviivoihin ei saa muodostua epäjatkuvuuskohtia. Kolmioverkon tulee olla mahdollisimman säännönmukainen, jolloin rakennepinnan pystyy hahmottamaan hyvin. Säännönmukainen kolmioverkko saadaan, kun taiteviivojen pituussuuntaiset taitteet on määritelty tasapaaluille, esimerkiksi viiden metrin välein ja aineistossa ei ole ylimääräisiä taitepisteitä. Taiteviivatkin tulee olla mahdollisimman jatkuvia, mutta väylien liittymiskohdissa sallitaan korkeintaan yhden metrin rako taiteviivojen välillä (Kuvio 11). Tästä huolimatta taiteviiva-aineistojen tulee kolmioitaessa muodostaa yhtenäinen pinta (Kuvio 12). Eli vaikka taiteviivojen välissä on rako, pintaan ei saa muodostua pykälää. (buildingSMART Finland 2018a.)



Kuvio 11. Taiteviivoissa sallittu rako liittymäalueella (buildingSMART Finland 2018a)



Kuvio 12. Raoista huolimatta pintojen tulee kolmioitua yhtenäiseksi (buildingSMART Finland 2018a)

Toteutusmallin taiteviivan sijainti ei saa poiketa laskennallisesta geometrialinjasta yli kolmea millimetriä. Tällaiset poikkeamat syntyvät kaarteissa, koska geometrialinjoissa on säteet, kun taas taiteviivat ovat suoria, jolloin syntyy väkisinkin eroa. Eron saisi pienemmäksi lyhentämällä taiteviivojen pituutta, mutta sopivaksi tarkkuustasoksi on muodostunut kolme millimetriä, jolloin toteutusmalli on riittävän tarkka suhteessa suunnitelmamalliin, mutta se ei ole liian raskas tiedosto koneohjausjärjestelmään. Taiteviivojen sallitut pituuden ovat välillä 0,5 metriä – 10 metriä. (buildingSMART Finland 2018a.)

### 5.5 Aineiston luovutus

Tuotettu aineisto tulee tarkistaa ja mahdolliset poikkeamat korjata. Jos toteutusmalliin jää vielä tämän jälkeen poikkeamia, ne täytyy kirjata toteutusmalliselostukseen. Seuraavassa listassa on esitetty asioita, jotka ovat tärkeä tarkastaa ennen aineiston luovuttamista:

- Vaaditut osat on mallinnettu.
- Taiteviivat ovat jatkuvia ja yhtenäisiä.
- Samalla rakennepinnalla ei ole päällekkäisiä taiteviivoja.

- Ylimääräisiä viivoja tai pisteitä ei ole.
- Rakennepinnoissa ei ole epäjatkuvuuskohtia.
- Pintojen kaltevuudet vastaavat suunniteltuja.
- Aineistossa on oikeat koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät.
- Aineisto on oikeassa formaatissa. (buildingSMART Finland 2018a.)

Toteutusmallitiedostot nimetään niin, että tiedostoista nähdään selvästi, mistä aineistosta on kyse. Nimeämisessä ei saa käyttää ääkkösiä, välilyöntiä tai erikoismerkkejä. Esimerkiksi Jokiväylälle tuotettu ylimmän yhdistelmäpinnan malli voitaisiin nimetä seuraavasti: Jokivayla\_Yyp\_0-500, eli ensimmäiseksi tien nimi, sitten rakennepinnan lyhenne ja viimeiseksi paaluväli, johon malli sijoittuu. Tiedostot kootaan tilaajalle luovutusta varten kansioihin rakennepinnoittain tai väylittäin. Rakennepinnoittain kansiot nimetään esimerkiksi seuraavasti: Ylin yhdistelmäpinta 201000; Sitomaton kantava kerros, yläpinta 213100; Jakava kerros, yläpinta 212100 jne. (buildingSMART Finland 2018a.)

## 5.6 Toteutusmallin tuottaminen 3D-Win-ohjelmistolla

Toteutusmallin tekemiseen ei ole yhtä ja oikeaa tapaa sekä suunnittelijoilta tuleva aineisto, joka muokataan koneohjausjärjestelmiin sopivaksi voi olla hyvin erilaista. Aineisto voi olla valmis taiteviiva-aineisto tai vain tien poikkileikkauskuvia, joka täytyy tehdä kokonaan itse lähtien tien pysty- ja vaakageometrioiden laattimisesta.

Opinnäytetyössä tuotetaan yksinkertainen toteutusmalli 3D-Win-ohjelmistolla, jonka ideana on esittää, kuinka kadun keskilinjan taiteviivaa kopioimalla saadaan aikaan ylimmän yhdistelmäpinnan (Yyp) toteutusmalli, joka voidaan siirtää kaivinkoneen koneohjausjärjestelmään. Esimerkin esittäminen tapahtuu kuvioiden avulla, jotta lukijalla on helpompaa ymmärtää vaiheet.

Esimerkissä käytetty tapa tuottaa taiteviiva-aineistoa kopioimalla viivoja, on opittu edellisen kesän työharjoittelun aikana.

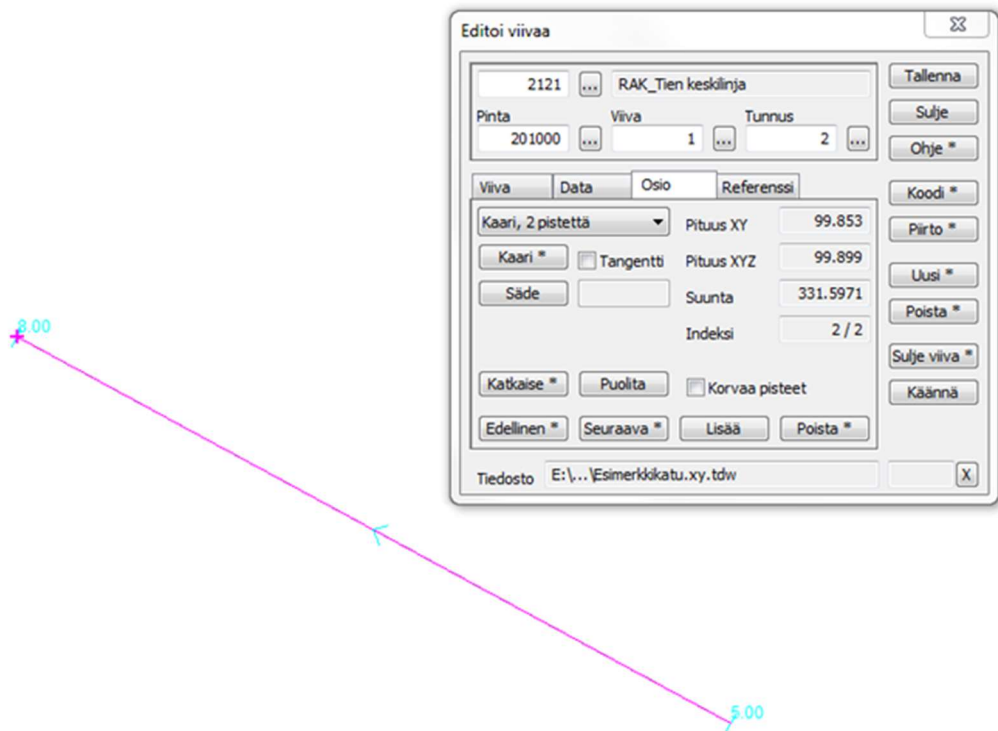
3D-Win on suomalaisen 3D-system Oy:n mittausdatan tuottamiseen ja käsitteilyyn tarkoitettu Windows-ohjelmisto (3D-system 2018). Esimerkissä käytetään 3D-Winiä, koska se on laajasti käytössä oleva ohjelmisto maanmittausalalla ja sitä olen tottunut käyttämään niin koulussa kuin työelämässä.

#### 5.6.1 Esimerkkikatu

Opinnäytetyössä tuotetaan ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmalli kuvitteellisesta kadusta, jonka nimeksi annetaan Esimerkkikatu. Katu on noin 100 metriä pitkä ja lähtökohtana siitä tiedetään keskilinjän alku- ja loppupiste (Kuvio 14). Kadusta tehdään ajoradan osalta 10 metriä leveä, jonka reunoilla on 12 senttimetrin näkyvässä oleva reunakivi sekä 2,5 metriä leveät kevyenliikenteen väylät molemmien puolin ajorataa.

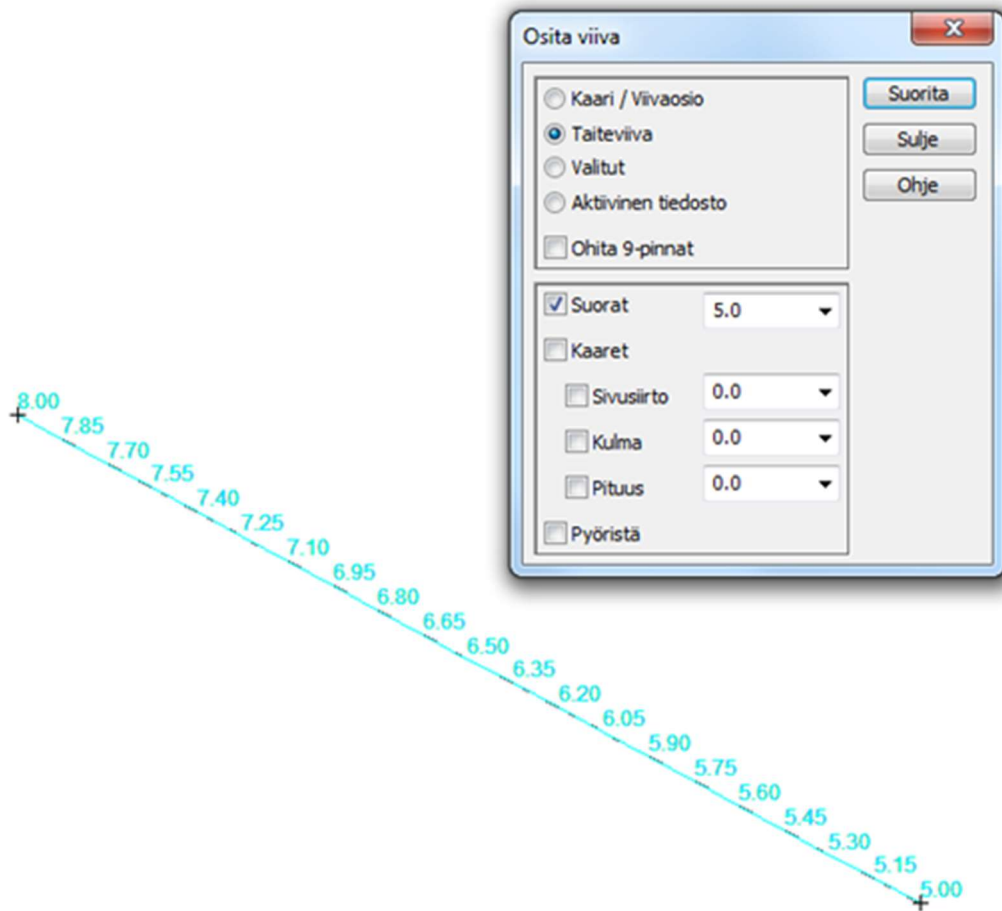
Valmis kolmioverkkoaineisto kirjoitetaan Inframodel-formaatissa, joka voidaan siirtää kaivinkoneen koneohjausjärjestelmään. Opinnäytetyössä näytetään myös, miten Inframodel-formaatti tehdään 3D-Win-ohjelmistoon.

Taiteviivojen nimeämisessä käytetään RAK\_v.2.1-koodilistaa. Taiteviivojen koodissa käytetään RAK-koodeja, kun toteutusmalli viedään koneohjausjärjestelmään. Keskilinjän koodi on 2121 eli RAK\_Tien keskilinja ja pintatunnus ylimmän yhdistelmäpinnan mukaan 201000 (Kuvio 14). Viivan editointi löytyy valikosta "Editointi->Viivat->Editoi" ja taiteviivan tietoja voidaan editoida napauttamalla kyseistä taiteviivaa.



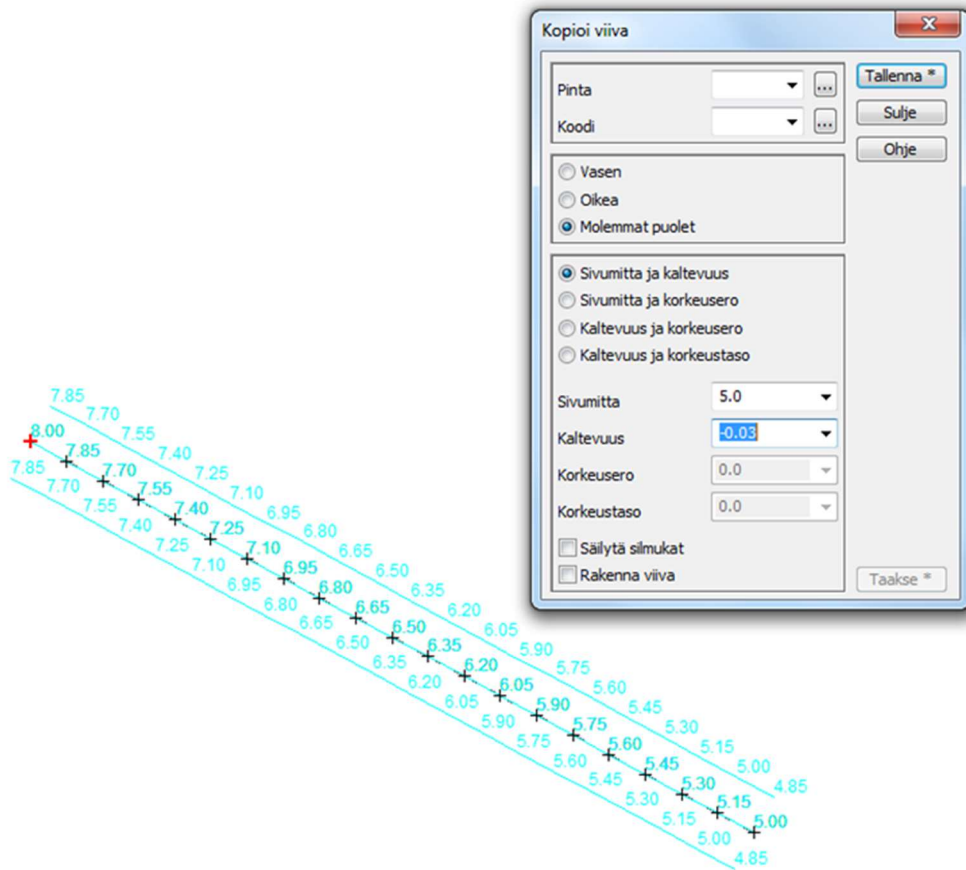
Kuvio 14. Lähtökohtana toteutusmallin ylimmästä yhdistelmäpinnasta tiedetään keskilinjän alku- ja loppupiste. Keskilinja nimetään koodin ja pintatunnuksen osalta oikein.

Taiteviivojen pituudet tulee olla välillä 0,5-10 metriä, joten 100 metriä pitkä keskilinja ositetaan esimerkiksi viiden metrin pituisiksi taiteviivoiksi. Osita -toiminto löytyy valikon kohdasta "Editointi->Viivat->Osita", johon Kuvion 15 mukaisesti valitaan "Taiteviiva" ja "Suorat" ja tähän lisätään haluttu pituus eli 5,0. Tämän jälkeen valitaan hiirellä haluttu taiteviiva ja "Suorita" nappia painamalla viiva saadaan ositettua halutulla tavalla.

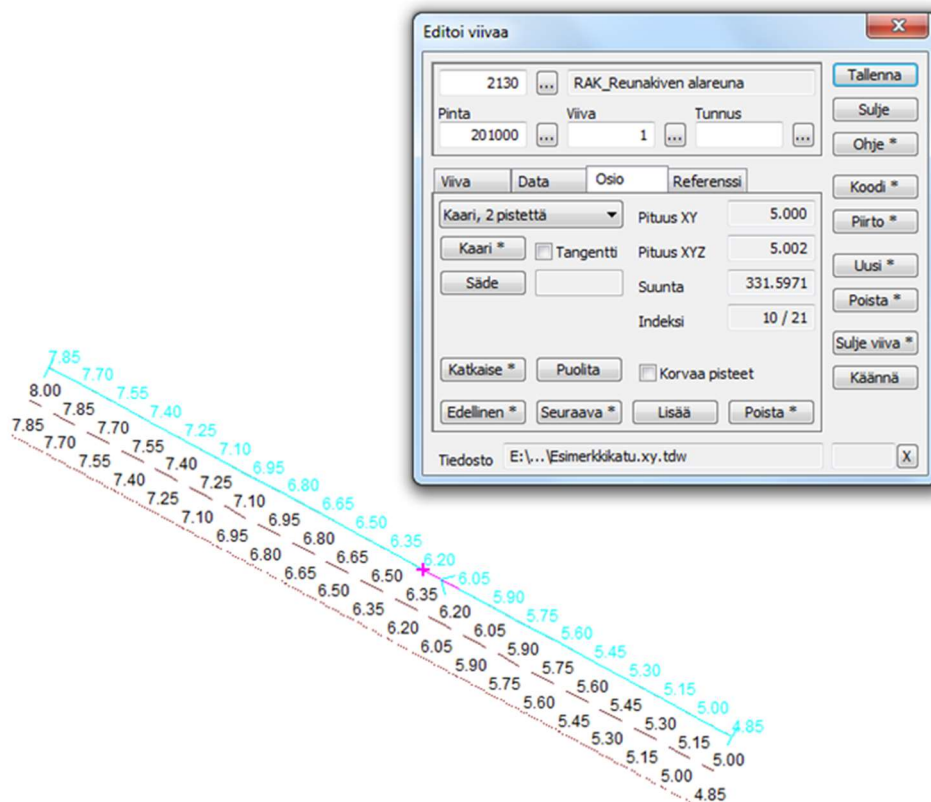


Kuvio 15. Taiteviivan ositus.

Seuraavaksi aloitetaan keskilinjän kopioiminen (Kuvio 16), jonka tuloksena saadaan aikaan ajoradan reunat, jotka ovat samalla reunakiven alareunoja. Esimerkikadussa keskilinja on harja, ja ajoradan kaltevuus harjan molemmin puolin on 3 %. Viivaa kopioidaan valikosta "Editointi->Viivat->Kopioi". Kopioitavan viivan valinnan jälkeen valitaan "Molemmat puolet", koska samanaikaisesti halutaan tehdä harjan molemmin puolin ajoradat. Seuraavaksi valitaan, miten viivaa halutaan kopioida: Tässä tapauksessa "Sivumitta ja kaltevuus", koska viiva halutaan kopioida viiden metrin päähän kolmen prosentin kaltevuudella. Sivumitaksi laiteaan siis 5.0 ja kaltevuudeksi -0.03, jolloin kaltevuus tulee oikein harjasta alaspäin. Kopioinnin jälkeen taiteviivat nimetään oikein (Kuvio 17).



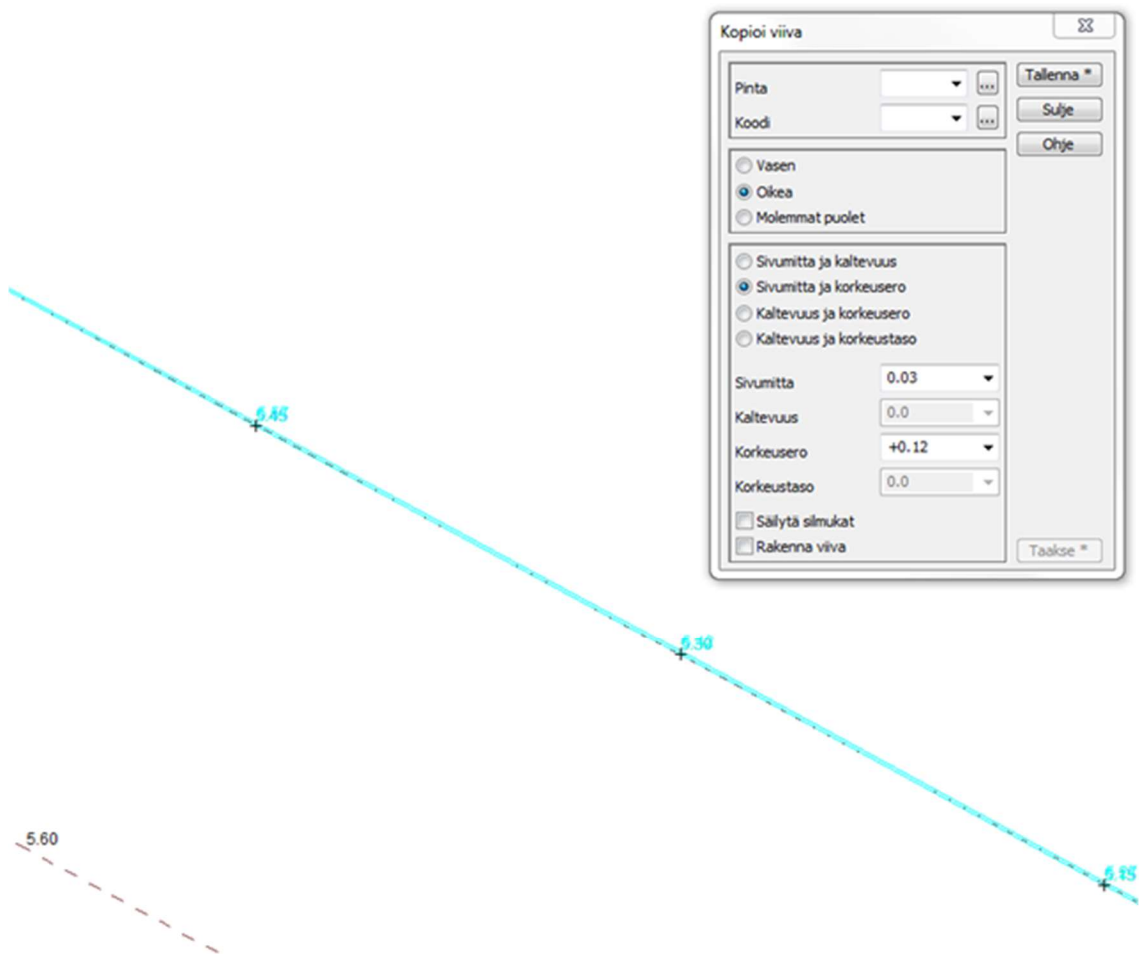
Kuvio 16. Taiteviivan kopioiminen molemmin puolin



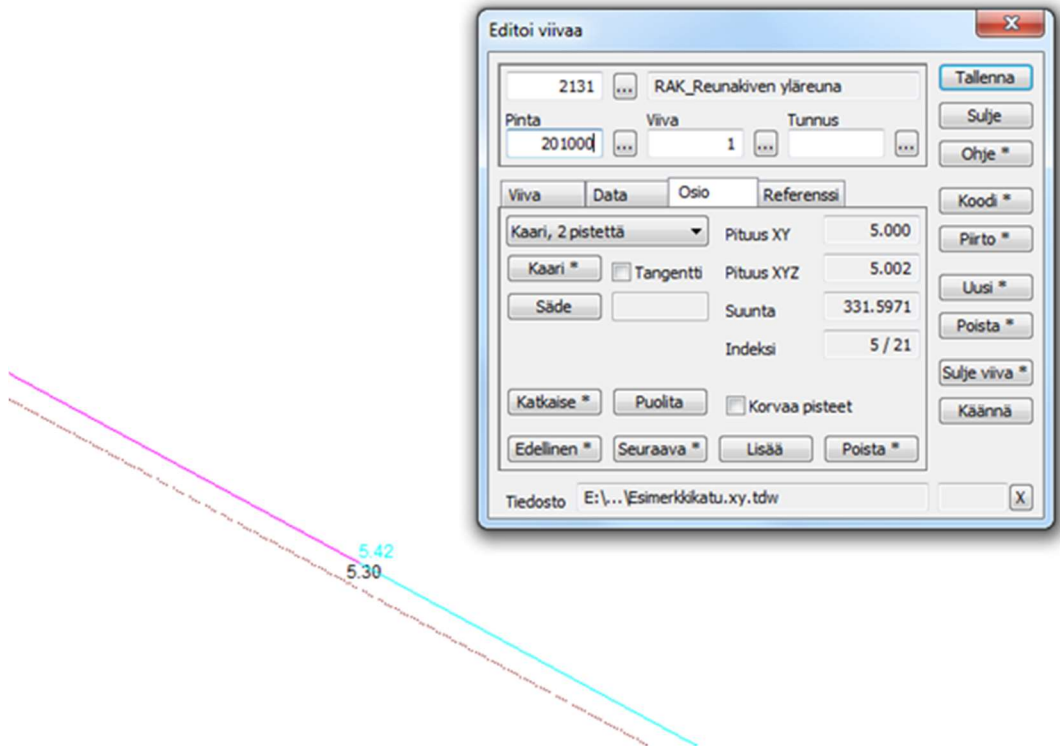
Kuvio 17. Taiteviivojen nimeäminen reunakiven alareunoiksi koodilla 2130



Seuraavaksi työstetään kadun pohjoista puolta ja kopioidaan reunakiven alareunaa kolme senttimetriä ulospäin ja 12 senttimetriä ylöspäin (reunakiven näkymä 12cm), koska halutaan saada reunakiven yläreuna. Käytetään jälleen työkalua ”Kopioi viiva” ja nyt valitaan puoleksi ”Oikea” sekä ”Sivumitta ja korkeusero”. Sivumitaksi syötetään 0.03 ja korkeuseroksi +0.12 (Kuvio 18). Tämän jälkeen tai-teviiva nimetään koodilla 2131, joka on reunakiven yläreuna (Kuvio 19).

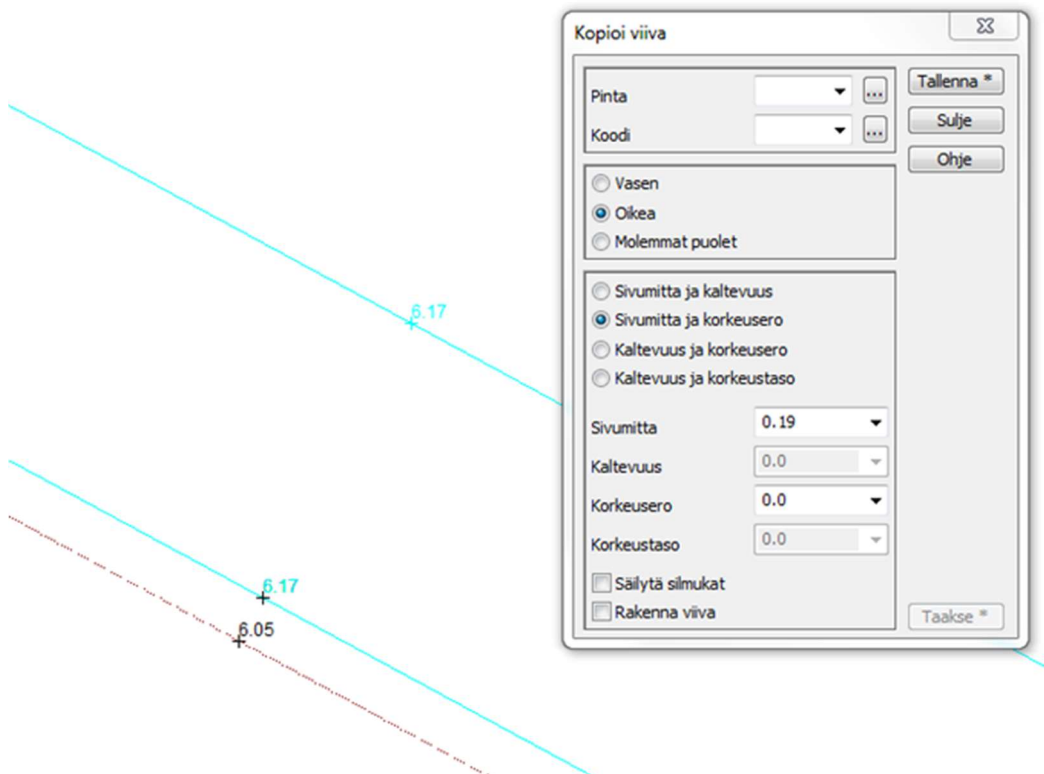


Kuvio 18. Reunakiven yläreuna saadaan kopioimalla alareunaa



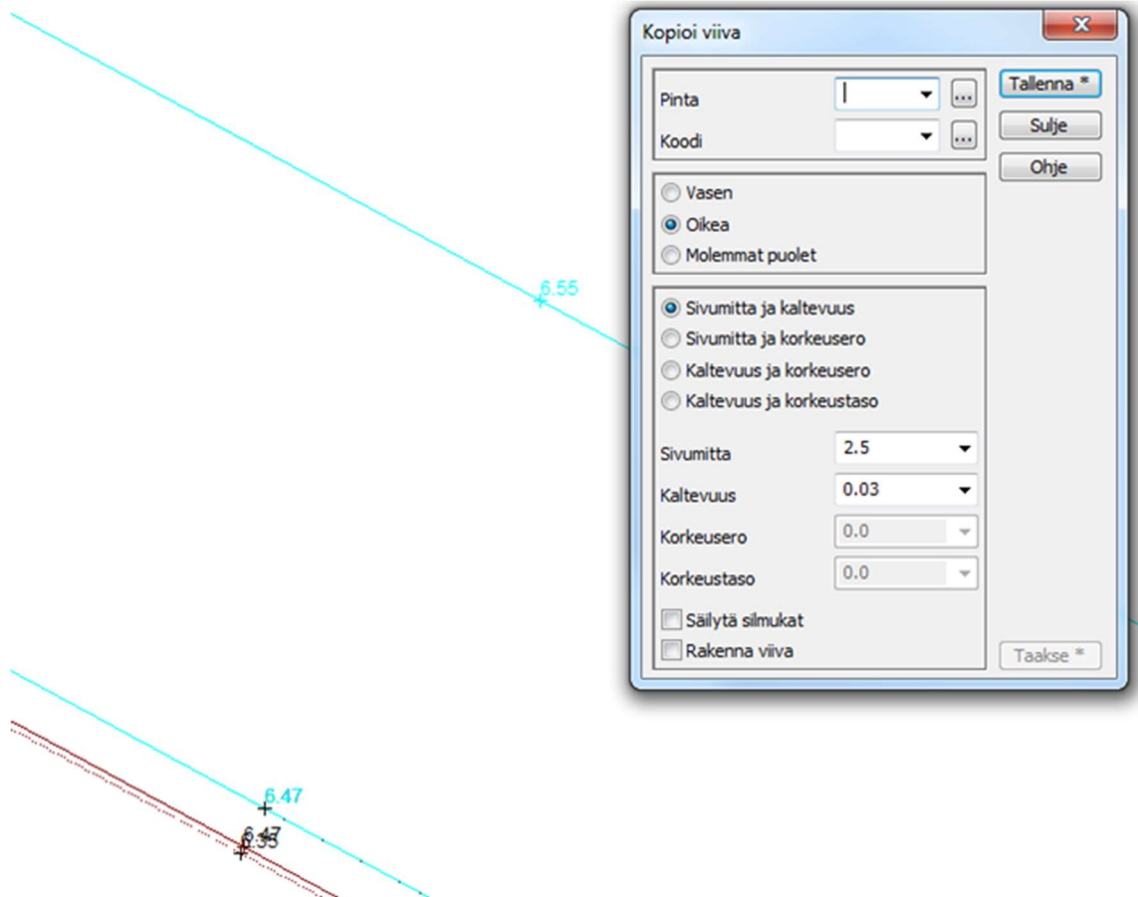
Kuvio 19. Reunakiven yläreuna nimetään koodilla 2131

Seuraavaksi halutaan tehdä reunakiven takareuna, joka saadaan kopioimalla aikaisemmin tehtyä yläreunaa 19cm. Takareuna tehdään samalle korkeudelle etureunan kanssa, joten korkeuseroksi laitetaan 0.0. (Kuvio 20).

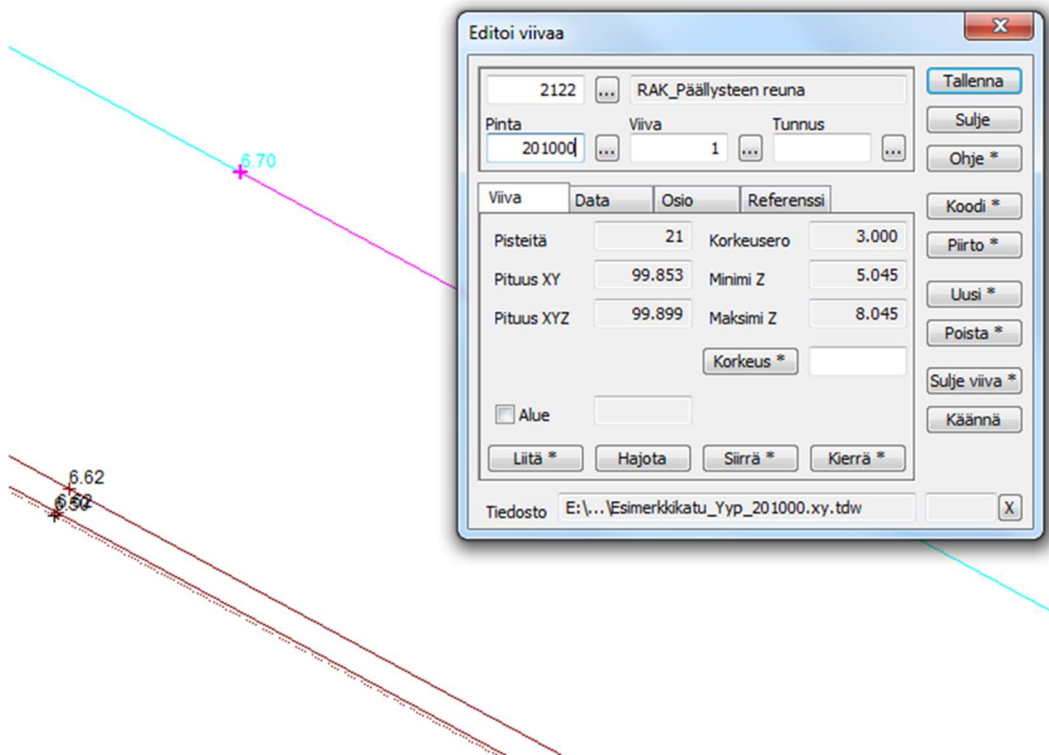


Kuvio 20. Reunakiven takareuna saadaan kopioimalla etureunan taiteviivaa

Viimeisenä vaiheena kadun pohjoiselle puolelle tehdään kevyenliikenteen väylä kopioimalla reunakiven takareunaa (Kuvio 21). Väylästä tehdään 2.5 metriä leveä, 3%:n kaltevuudella. Kopioitu viiva nimetään koodilla 2122, joka on päällysteen reuna (Kuvio 22).



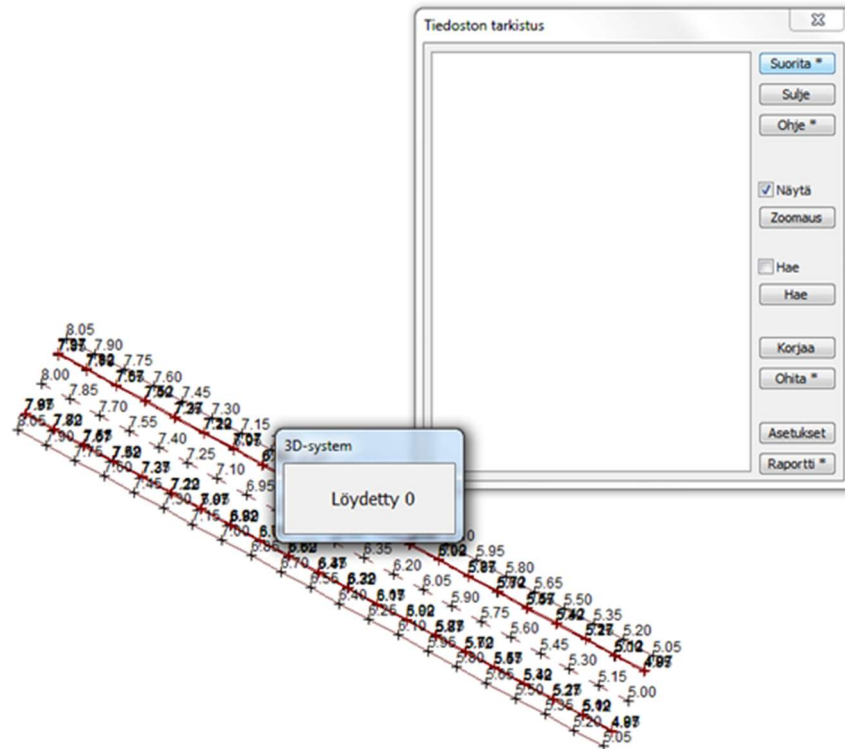
Kuvio 21. Päällysteen reunan kopiointi reunakiven takareunasta



Kuvio 22. Kevyenliikenteen väylän reuna nimetään päällysteen reunaksi koodilla 2122

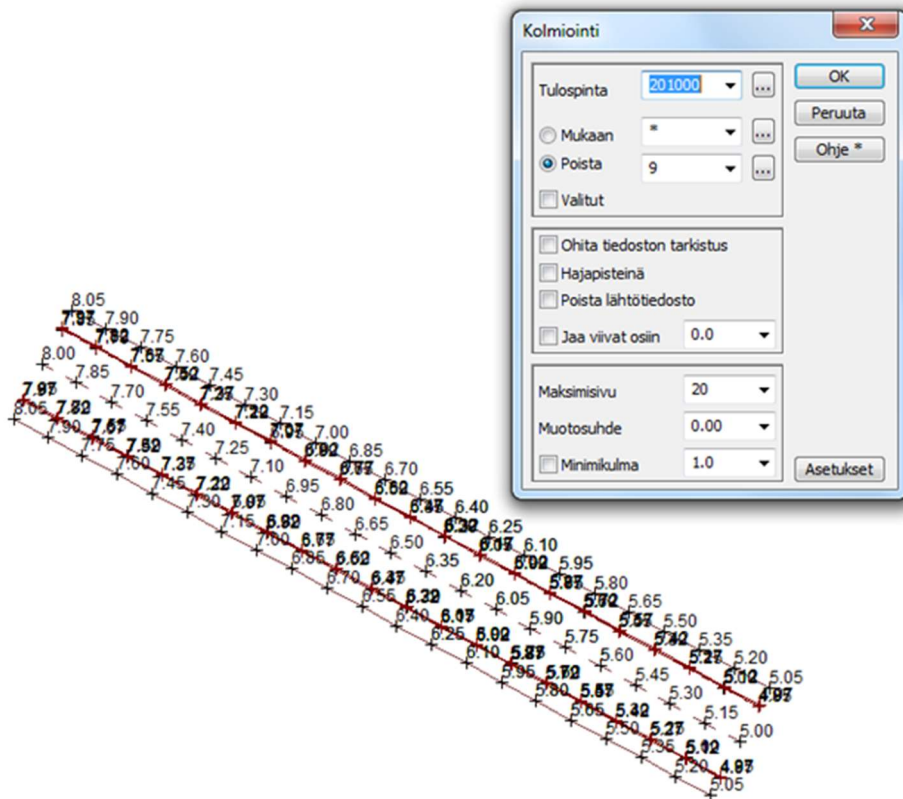
Samat toiminnot tehdään kadun eteläiselle puolelle, ainoana erona viivoja kopioidessa valitaan puoleksi "Vasen". Viivojen kopioinnin jälkeen on tärkeä tarkastaa, että kaltevuudet ovat tulleet suunnitellulla tavalla. Tätä voidaan tarkastella esimerkiksi taiteviivapoikkileikkauksen avulla, joka löytyy valikosta "Ikkuna->Taiteviivapoikkileikkaus" Poikkileikkaus saadaan näkyviin painamalla hiirellä toiselta puolelta taiteviiva-aineistoa ja sen jälkeen uudestaan vastakkaiselta puolelta (Kuvio 23). Kun poikkileikkauslinja on täysin kohtisuorassa taiteviiva-aineistoa vasten, taiteviivapoikkileikkaus-ikkunasta nähdään todelliset kaltevuudet. Kuvioista 24 nähdään valmis taiteviiva-aineisto.





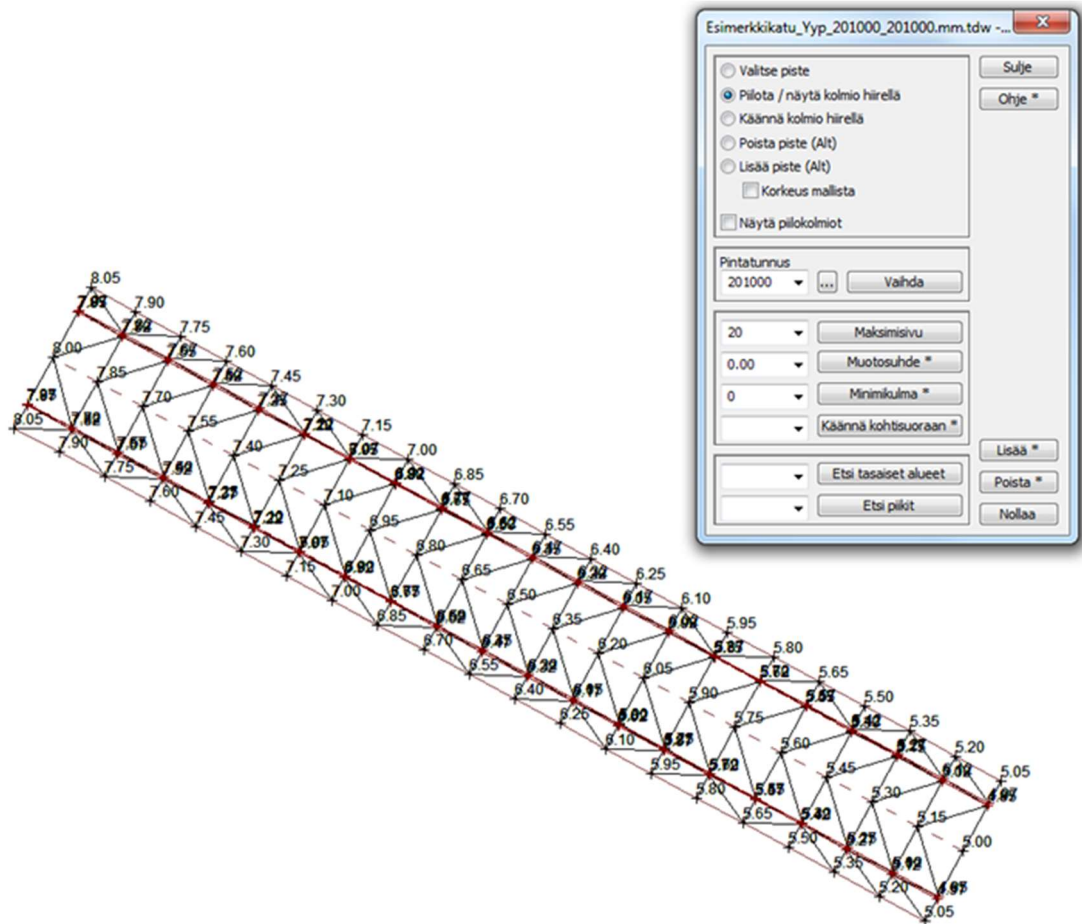
Kuvio 25. Taiteviiva-aineiston tarkistus kolmiointia varten

Kolmiointi suoritetaan kohdasta "Maastomalli->Kolmiointi" ja tarkistetaan, että tulospintana on 201000, joka on ylin yhdistelmäpinta (Kuvio 26).



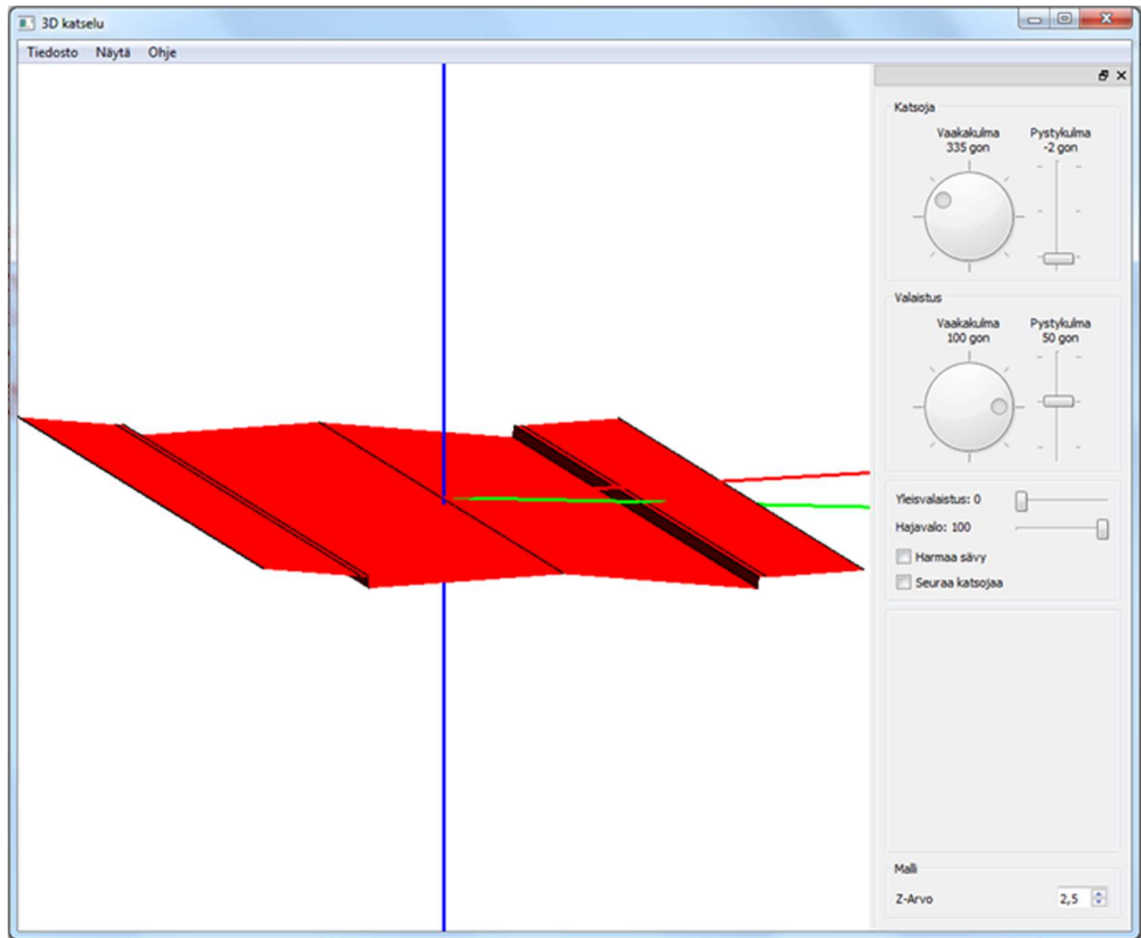
Kuvio 26. Taiteviiva-aineiston kolmiointi

Kuviossa 27 on kolmioitu aineisto ja kolmiointia voidaan tarpeen vaatiessa editoida ”Maastomalli->Editointi”. Editointia tarvitaan esimerkiksi, kun kolmioita muodostuu mallinnettavan alueen ulkopuolelle tai kolmioita halutaan kääntää. Kolmioita voidaan piilottaa valitsemalla ”Piilota/näytä kolmio hiirellä” ja klikkaamalla piilotettavaa kolmiota. Kolmioita käännetään kulkemaan eri pisteiden kautta toiminnolla ”Käännä kolmio hiirellä” ja painamalla halutun kolmion sivua.



Kuvio 27. Kolmioverkon editointi

Tuotettua toteutusmallia voidaan tarkastella 3D-näkymässä, joka löytyy valikosta ”Ikkuna->3D malli” (Kuvio 28). Oikeassa alakulmassa näkyvää Z-arvoa kasvattamalla pinnalla olevat taitteet ja kaltevuudet nähdään selvemmin.



Kuvio 28. Toteutusmallin tarkastelu 3D-näkymässä

Alempien rakennekerrosten toteutusmallit saataisiin tehtyä laskemalla ylimmän yhdistelmäpinnan taiteviiva-aineiston korkoja. Mikäli esimerkiksi kevyenliikenteen väylälle tulevan asfaltin paksuus olisi 4 senttimetriä, vähennetään kevyenliikenteen väylän taiteviivojen korkoja 0,04m ja niin edelleen.

#### 5.6.2 Inframodel-formaatin teko 3D-Win-ohjelmistoon

Seuraavaksi opinnäytetyössä esitetään, kuinka Inframodel-formaatti tehdään 3D-Win -ohjelmistoon. Ohjeessa käytetään lähteenä laitevalmistaja Novatronin tuottamaa mallinnusohjetta.

Ensimmäisessä vaiheessa määritetään LandXML-muotoisen aineiston otsikkotiedot Inframodel:n mukaiseksi lisäämällä omat yhteystiedot (Kuvio 29). Tämä löytyy valikosta "Hakemisto->Projekti tiedot". (Novatron 2018c.)



The screenshot shows the 'Projektiasetukset' dialog box with the following fields and values:

Organisaatio	Lapin AMK	...
Kotisivu	www.lapinamk.fi	...
Logo		...
Tekijä	Jokke Kelahaara	...
Sähköposti	jokke.kelahaara@esimerkki	...
Puhelinnumero	+358400123456	...
EPSG koodi		...
Koordinaatisto		...
Korkeusjärjestelmä		...
Lajikoodaus		...
Pintakoodaus		...

Buttons: OK, Peruuta, Ohje \*

Kuvio 29. Omat yhteystiedot

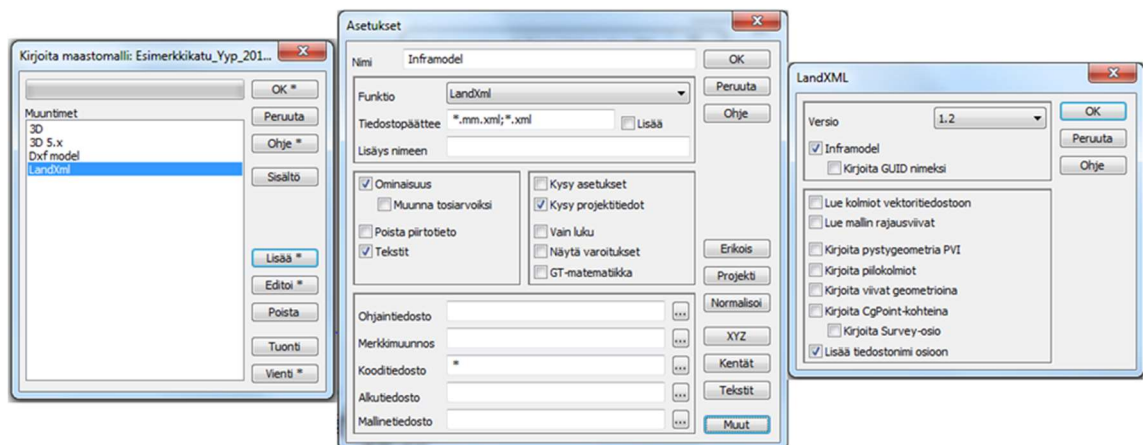
Toisessa vaiheessa (Kuvio 30) kirjataan projektin tiedot "Hakemisto->Projekti->Lisää", mutta keskimmäinen osio (yhteystiedot) jätetään tyhjäksi. EPSG koodiin ja koordinaatistoon voidaan laittaa "\*", jolloin 3D-Win tunnistaa käytetyn koordinaatiston. (Novatron 2018c.)

The screenshot shows the 'Projektiasetukset' dialog box with the following fields and values:

Projekti	Esimerkkiprojekti	OK
Työ		Peruuta
Kuvaus		Ohje *
Mittalaite		...
Tilaaaja		...
Tila		...
Hakemisto	E:\Opinnäytetyö\	->
Organisaatio		...
Kotisivu		...
Logo		...
Tekijä		...
Sähköposti		...
Puhelinnumero		...
EPSG koodi	*	...
Koordinaatisto	*	...
Korkeusjärjestelmä	N2000	...
Lajikoodaus	InfraBIM	...
Pintakoodaus	InfraBIM	Oletus


Kuvio 30. Projektin tietojen lisääminen

Kuviossa 31 on pintamallin kirjoitukseen tarvittavan Inframodel-formaatin teko-ohje. Ensin 3D-Winin näytölle luetaan Esimerkkikadun kolmioverkko, joka on .mm.tdw-muodossa. Tämän jälkeen navigoidaan valikossa ”Tiedosto->Formaattit->Kirjoita” ja valitaan kuvion mukaisesti LandXML. Painetaan ”Shift”-näppäin pohjassa ”Lisää”, jolloin LandXML-formaatista tehdään kopio. ”Asetukset” ja ”Muut” välilehdessä tehdään kuvion mukaiset muutokset, jonka jälkeen painetaan ”OK”. (Novatron 2018c.)



Kuvio 31. Pintamallin Inframodel-formaatin teko

Tämän jälkeen toteutusmalli on kirjoitettu Inframodel-formaattiin ja valmis siirrettäväksi kaivinkoneeseen. Vielä ennen siirtoa varmistetaan, että tiedoston nimi on InfraBIM-nimikkeistön mukainen: Esimerkkikatu\_Yyp\_201000 (Kuvio 32).

Name	Date modified	Type	Size
 Esimerkkikatu_Yyp_201000.mm	13.2.2018 13:30	XML Document	29 KB

Kuvio 32. Tiedosto nimettynä InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti

## 6 INFRAKIT

### 6.1 Yleistä

Infrakit on pilvipalvelu, jonka avulla rakennusprojektiin osallistuvat osapuolet voivat jakaa tietoa keskenään. Infrakit käsittelee sähköisiä suunnitelma- ja toteumatietoja avoimissa formaateissa, joten tietojen hallinta, näyttäminen ja jakaminen ovat helppoa. Hankkeeseen osallistuvat toimijat näkevät hankkeen etenemisen sekä suunnittelun, että rakentamisen aikana reaaliajassa sekä voivat liittää omia tietojaan yhteiseen malliin ja lukea tarvitsemansa aineistot omalle tietokoneelle. (Infrakit 2018a.)

Koneohjausjärjestelmillä varustetut kaivinkoneet voidaan liittää Infrakitiin ja tätä kautta siirtää toteutusmallit verkon välityksellä koneohjausjärjestelmiin. Kaivinkoneilla mitatut toteumapisteet saadaan Infrakitistä laadunvarmistukseen työmaan mittaushenkilöstön käytettäväksi. (Heikkinen 2016, 26.) Infrakitiin voidaan liittää monien laitevalmistajien, kuten Novatronin ja Leican koneohjausjärjestelmiä (Infrakit 2018b).

Opinnäytetyössä näytetään seuraavaksi, kuinka esimerkiksi Novatronin koneohjausjärjestelmä liitetään Infrakitiin ja tätä kautta aikaisemmin tuotettu Esimerkkikadun ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmalli siirretään koneohjausjärjestelmään. Koneohjausjärjestelmänä opinnäytetyössä käytetään Novatronin Landnova-simulaattoria.

### 6.2 Novatron-koneohjausjärjestelmän liittäminen Infrakitiin

Koneohjausjärjestelmän liittäminen Infrakitiin aloitetaan luomalla hanke, johon työkonetta myöhemmin kytketään. Hankkeen luominen tapahtuu Pääkäyttäjäsivulla kohdasta "Hankkeet->Luo uusi hanke" ja syöttämällä hankkeen tiedot avautuvalle sivulle (Kuvio 33). (Infrakit 2018c.)

**Muokkaa hanketta**

Hankkeen nimi

Koordinaatisto  tai EPSG koodi EPSG:

Korkeusjärjestelmä (Geoidi)

Organisaatio

**Projektin käyttäjät**

▼ Käyttäjänimi

**Projektin koneet**

Koneen nimi

Kuvio 33. Hankkeen luominen Infrakitiin

Pääkäyttäjä voi luoda uuden työkoneen ja liittää sen hankkeeseen Infrakitin hankkeen asetuksista kohdasta "Koneet->Luo uusi kone". Koneen tiedot syötetään Kuvion 34 mukaisesti. MachineID:llä koneohjausjärjestelmä yksilöidään Infrakit-järjestelmään ja kyseinen koodi löytyy koneohjausjärjestelmän asetuksista (Kuvio 35). Koneeksi valitaan kaivinkone ja tässä tapauksessa koneohjaukseksi Novatron. Seuraavaksi työkone kytketään aikaisemmin luodulle hankkeelle Esimerkkikatuhanke ja painetaan "Tallenna". Tämän jälkeen muokataan vielä uudestaan Esimerkkityökoneen konetietoja, jolloin "Aktiiviseksi projektiksi" valitaan Esimerkkikatuhanke. (Infrakit 2018d.)

Näiden vaiheiden jälkeen Esimerkkityökone on liitetty Infrakitiin hankkeelle Esimerkkikatuhanke.

**Muokkaa konetta:**

Viimeisin yhteys

Koneen nimi

Kuljettajan nimi

Kuljettajan puhelinnumero

Lisätiedot

MachineID

Kone

Koneohjaus

Tauolla

---

**Projektit**

Aktiivinen projekti

Lapin AMK

Esimerkkikatuhanke

Kuvio 34. Työkoneen luominen Infrakitiin

Paikannus	Koneohjaus	Mitat	Tiedoston tuonti	Tiedon loggaus
Kieli	Koodilista	Käyttöliittymä	LibConverter asetukset	SULJE

**Automaattinen vienti**

Vie järjestelmän levyille  Vie FTP-palvelimelle

Palvelimen osoite:

Käyttäjänimi:

Salasana:

Koneen tunniste:

**Aikaväli**

tunti

päivä

viikko

kuukausi

**Pistemäärä**

10

50

100

500

**Tiedostomuoto**

DXF

KOF

CSV

XML

GT (kaikki samassa)

PXY

IM3

GT

Kumulatiivinen vienti

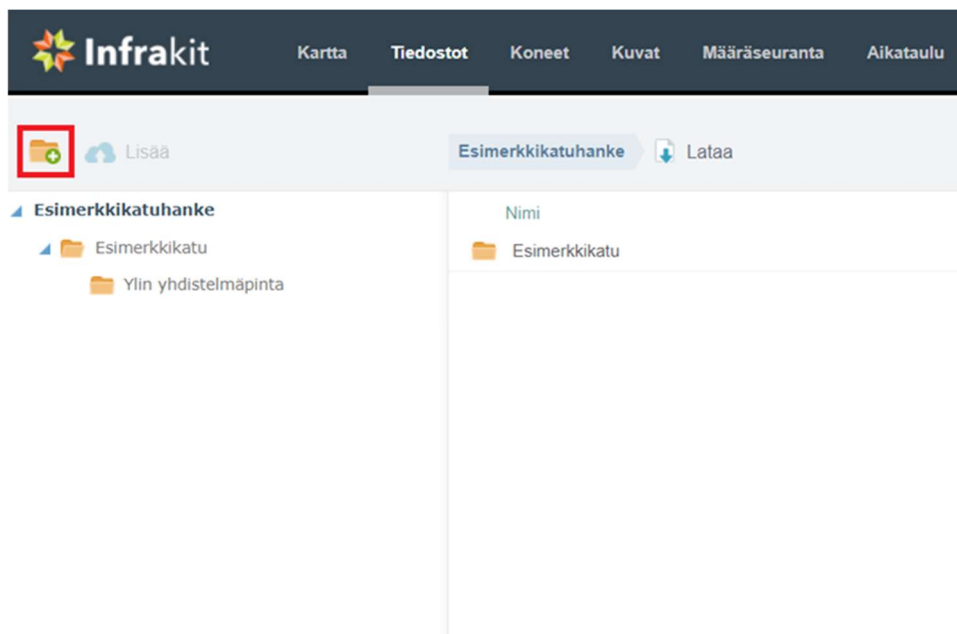
Tallenna aktiivisen pisteen referenssi lokipisteisiin (stabilointi/poraus)

Salli käyttäjän syöttämien/muokkaamien lokipisteiden vienti

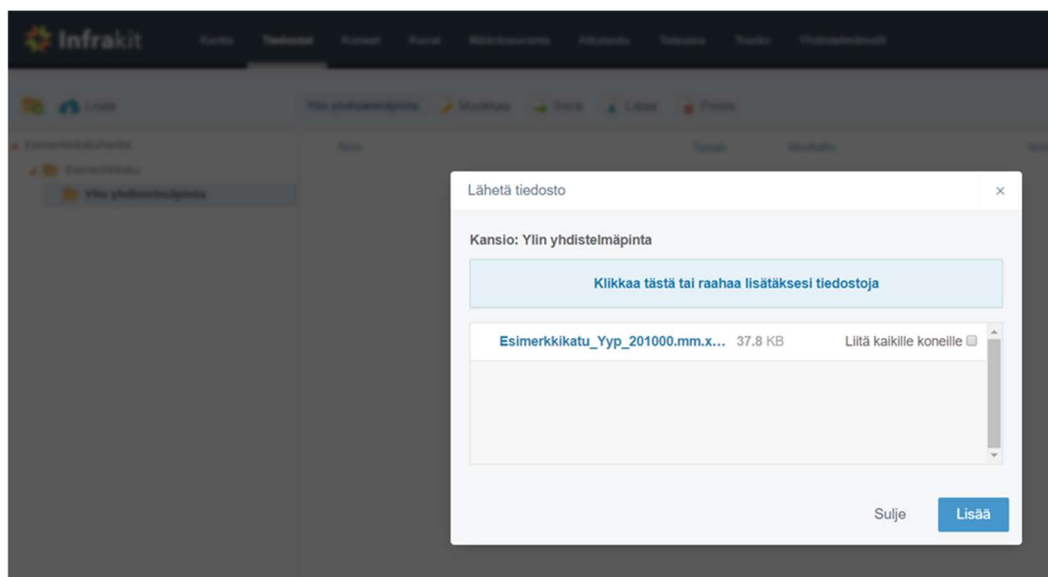
Kuvio 35. MachineID eli koneen tunniste löytyy koneohjausjärjestelmän asetuksista. Kuva Landnova-simulaattorista.

### 6.3 Toteutusmallin siirto koneohjausjärjestelmään Infrakitin avulla

Opinnäytetyössä aikaisemmin tuotettu Esimerkkikadun ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmalli siirretään koneohjausjärjestelmään Infrakitin avulla. Siirto suoritetaan Infrakitin Tiedostot-sivulta, jonne luodaan esimerkiksi Kuvion 36 mukainen kansiorakenne. Kansiot tehdään vasemmassa yläkulmassa näkyvän ”luo tiedosto”-painikkeen avulla. Tämän jälkeen Ylin yhdistelmäpinta -kansio valitaan aktiiviseksi ja toteutusmalli voidaan raahata kansioon. Tiedoston raahaamisen jälkeen avautuu Lähetä tiedosto -ikkuna, josta painetaan ”Lisää” (Kuvio 37). (Infrakit 2018e.)

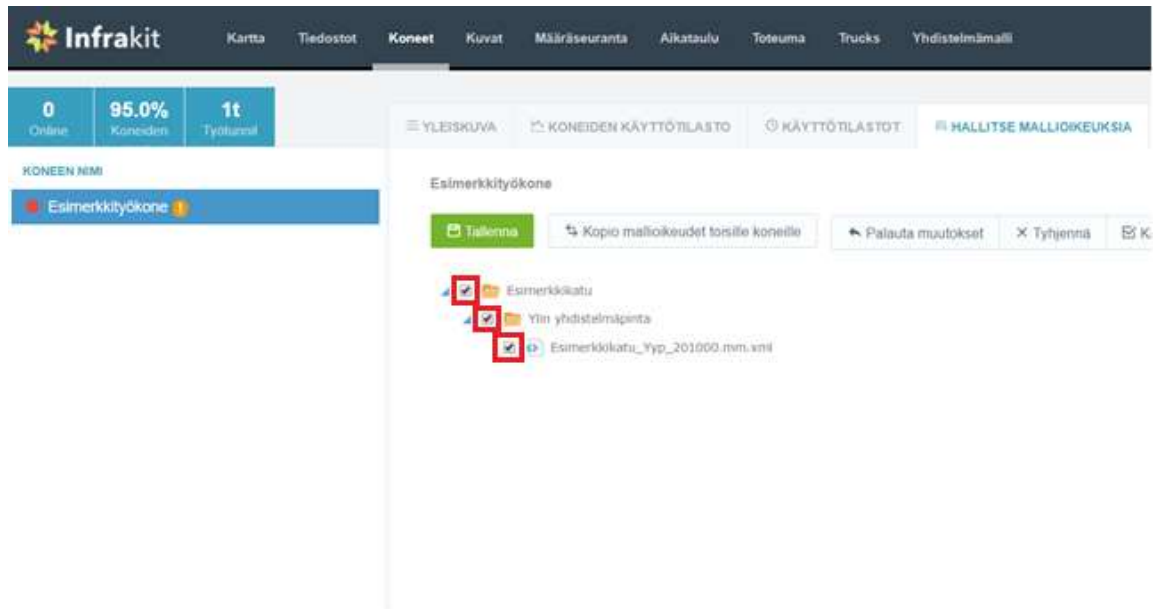


Kuvio 36. Kansiorakenteen luominen Tiedostot-sivulla



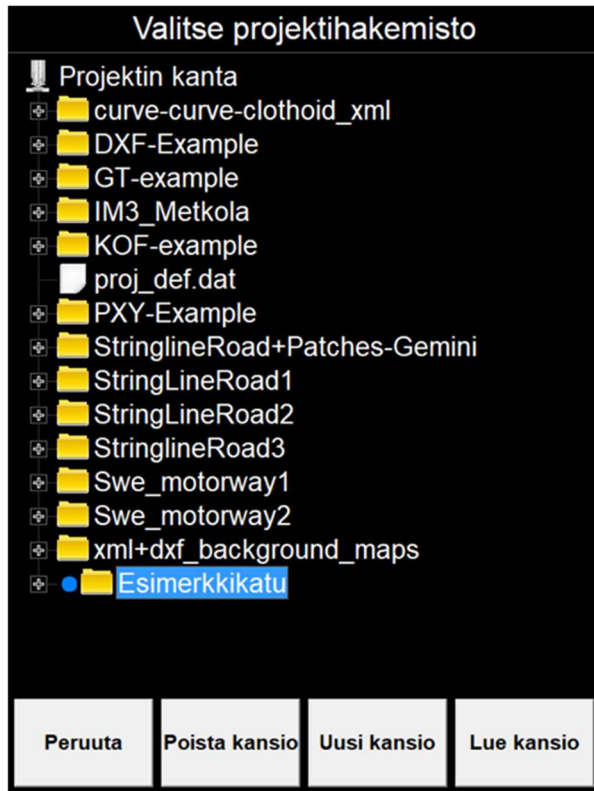
Kuvio 37. Lähetä tiedosto -ikkunassa painetaan ”Lisää” nappia

Tiedoston siirtämisen jälkeen työkoneelle pitää antaa vielä oikeudet malliin. Oikeudet annetaan Koneet-sivulta kohdasta ”Hallitse mallioikeuksia” ja antamalla Kuvion 38 mukaisesti Esimerkkityökoneelle oikeudet tiedostoihin. (InfraKit 2018d.)

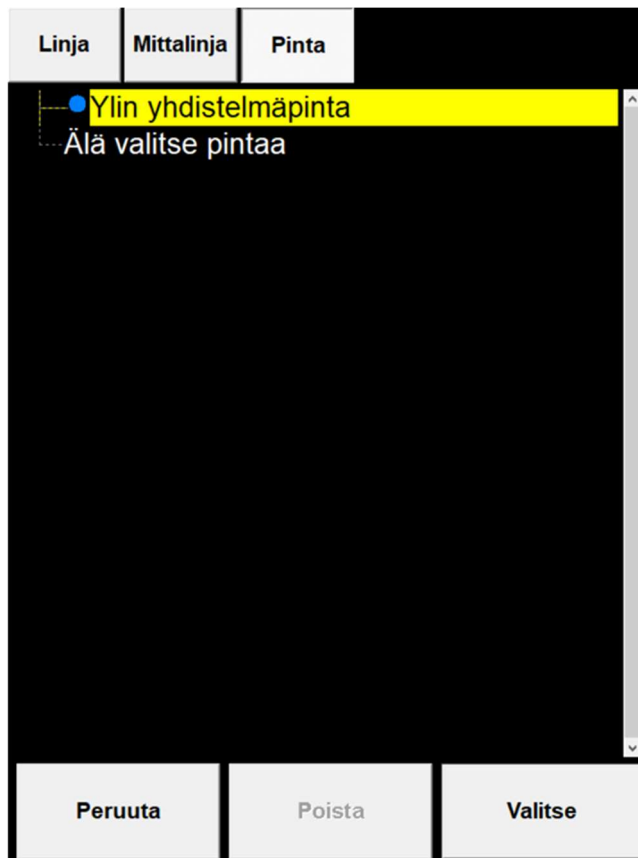


Kuvio 38. Mallioikeuksien antaminen työkoneelle

Toteutusmalli saadaan käyttöön Novatronin koneohjausjärjestelmään (opinnäytetyössä käytetään Landnova-simulaattoria) valitsemalla koneohjausjärjestelmästä ”Projekti->Avaa projektihakemisto” ja lukemalla kansion Esimerkkikatu (Kuvio 39). Tämän jälkeen mennään kohtaan ”Projekti->Lue tiedosto->” ja valitaan Ylin yhdistelmäpinta (Kuvio 40.)



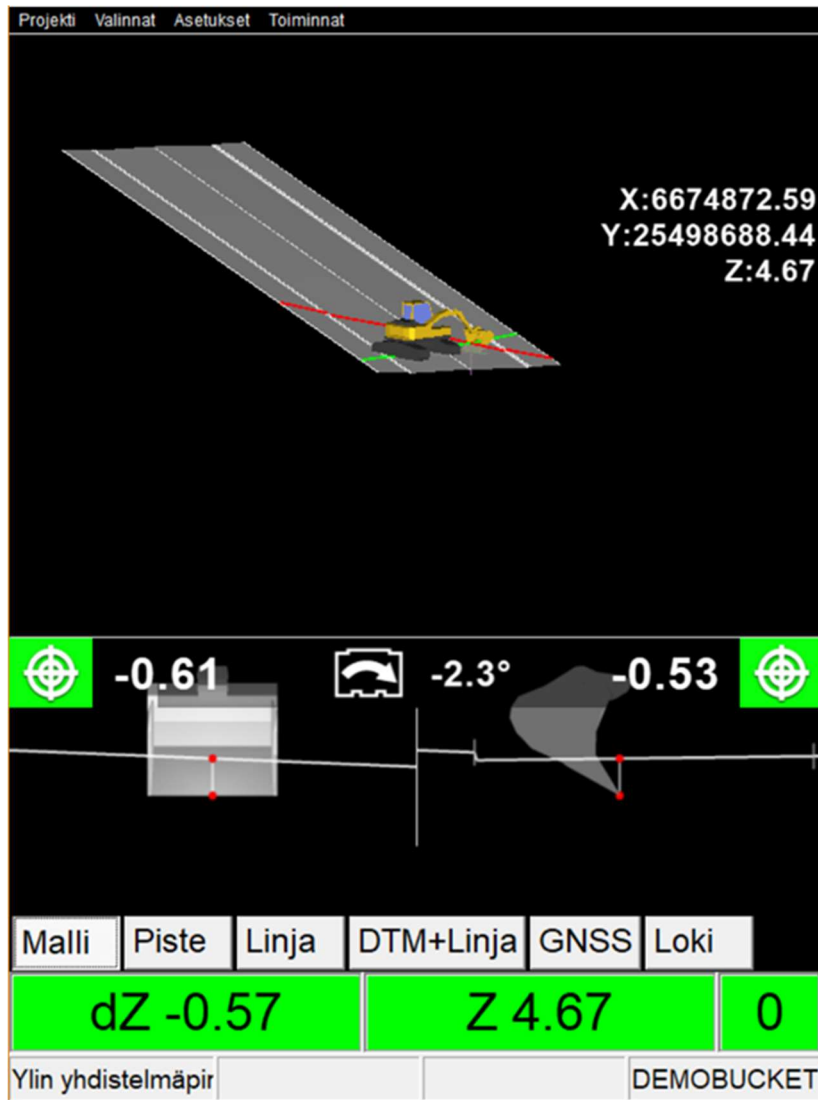
Kuvio 39. Projektin valinta. Kuva Landnova-simulaattorista



Kuvio 40. Pintamallin lukeminen. Kuva Landnova-simulaattorista



Kuviossa 41 nähdään Esimerkkikadun ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmalli siirrettynä Infrakitin avulla Landnova-simulaattoriin. Tämän jälkeen Infrakit Client -ohjelmisto päivittää automaattisesti viiden minuutin välein Infrakitiin siirrettyjä tai muokattuja tiedostoja koneeseen sekä koneella tehtyjä toteumatietoja Infrakitiin (Infrakit 2018d).



Kuvio 41. Esimerkkikadun toteutusmalli siirrettynä Landnova-simulaattoriin

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön aiheen valinta perustui omaan kiinnostukseen koneohjausta ja mallintamista kohtaan sekä kokemuksiin edellisen kesän työharjoittelusta, jolloin työskentelin koneohjauksilla varustettujen kaivinkoneiden parissa ja laadin niihin rakennekerrosten toteutusmalleja. Koneohjauksessa ja mallintamisessa on mielestäni kiinnostavaa nähdä oman työn jälki, kun laaditut mallit muotoutuvat kaivinkoneen kuljettajien käsittelyssä maastoon.

Kaivinkoneiden paikannus suoritetaan pääsääntöisesti satelliittipaikannuksella, joten satelliittipaikannuksen ja koneohjauksen perusteiden käsittelystä oli luontevaa lähteä työssä liikkeelle. Tämän jälkeen aloitin opinnäytetyön osalta tärkeimmän aihealueen eli mallinnuksen. Toteutusmalli kuuluu muiden mallien ohella infrarakentamisessa inframallinnuksen kokonaisuuteen, johon tässä osiossa perehdyin. Halusin tuottaa havainnekuvien avulla selkeän ohjeen toteutusmallin tuottamisesta, Inframodel-formaatin teosta sekä mallin siirrosta koneohjausjärjestelmään Infrakit-palvelun avulla.

Opinnäytetyössä oli hieman haastavaa saada kuvat sisällytettyä tekstiin, sillä tavalla, että ne sopisivat muodoltaan opinnäytetyöhön. Kuvat ovat varsinkin ohjeistuksen osalta tärkeitä, jotta lukija ymmärtäisi kertomani asiat. Mielestäni onnistuin tuottamaan helposti ymmärrettävän ohjeen, jota voi käyttää ohjeena esimerkiksi henkilö, jolla ei ole kokemusta toteutusmallien tuottamisesta tai siirtämisestä koneohjausjärjestelmiin. Itsellenikin olisi ollut hyvä lukea tällainen opinnäytetyö, ennen kuin aloitin edellisen kesän harjoittelun.

Aiheen ollessa mielenkiintoinen ja itseä kiinnostava opinnäytetyön tekeminen ei ollut ollenkaan raskas prosessi. Edellisen kesän työharjoittelussa opin todella paljon koneohjauksesta ja mallinnuksesta, mutta tietotaitoni karttui lisää tätä työtä tehdessä. Suosittelenkin siis seuraavia opinnäytetöiden tekijöitä valitsemaan aiheen, joka oikeasti kiinnostaa. Silloin sen tutkiminen ja työstäminen on huomattavasti vaivattomampaa ja opinnäytetyöprosessista ei tule liian vaativa.

## LÄHTEET

3D-system 2018. 3D-Win. Viitattu 9.2.2018 <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>.

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

buildingSMART Finland 2018a. Osa 5.2 Maanrakennustöiden toteutusmallin (koneohjausmalli) laadintaohje. Viitattu 15.1.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA5\\_2\\_Vaylarakenteen\\_toteutusmallin\\_laatimisohe\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laatimisohe_V_1_0.pdf).

– 2018b. Osa 1 Tietomallipohjainen hanke. Viitattu 29.1.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA1\\_Tietomallipohjainen\\_hanke\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf).

– 2018c. Osa 3 Lähtötiedot. Viitattu 30.1.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA3\\_Lahtotiedot\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf).

– 2018d. InfraBIM -nimikkeistö. Viitattu 1.2.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/InfraBIM\\_nimikkeisto\\_v1\\_6.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/InfraBIM_nimikkeisto_v1_6.pdf).

– 2018e. Osa 5.3 Maarakennustöiden toteutumamallin laadintaohje. Viitattu 3.2.2018 [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA5\\_3\\_Maarakennustoiden\\_toteutumamallin\\_laadintaohje\\_V\\_0\\_9.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_3_Maarakennustoiden_toteutumamallin_laadintaohje_V_0_9.pdf).

– 2018f. Yleiset inframallivaatimukset. Viitattu 3.2.2018 <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>.

– 2018g. Inframodel4 käyttöön 1.2.2018. Viitattu 9.2.2018 <https://buildingsmart.fi/inframodel4-kayttoon-1-2-2018/>.

Brax, V. & Karjalainen, M. 2016. Yleiset inframallivaatimukset 2015 -ohjeistuksen käyttö esimerkkiprojekteissa. Lapin ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan opinnäytetyö.

GisGeography 2017. GPS Accuracy. Viitattu 9.1.2018 <http://gisgeography.com/gps-accuracy-hdop-pdop-gdop-multipath/>.

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

Infrakit 2018a. Infrahanketietojen reaaliaikainen havainnollistaminen. Viitattu 15.2.2018 <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi/articles/115005744849-Infrakit-infrahanketietojen-reaaliaikainen-havainnollistaminen>.

– 2018b. Infrakit LINK. Viitattu 15.2.2018 <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi/sections/115001600029-Infrakit-LINK->.

- 2018c. Hankkeen luominen. Viitattu 21.2.2018 <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi/articles/115005744949-AloitUS-Hankkeen-luominen>.
- 2018d. MOBA/Novatron Xsite PRO:n liittäminen Infrakitiin. Viitattu 22.2.2018 <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi/articles/115005747169-MOBA-Novatron-Xsite-PRO-n-liitt%C3%A4minen-Infrakitiin>.
- 2018e. Tiedostot-sivu. Viitattu 22.2.2018 <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi/articles/115005765109-Tiedostot-sivu>.

Inside GNSS 2016. The International GNSS Monitoring and Assessment Service. Viitattu 10.1.2018 <http://www.insidegnss.com/node/5013>.

Kanniainen, J. 2017. Tietomallipohjainen projektinhallinta Infrakit-järjestelmällä. Lapin ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan opinnäytetyö.

Kivinen, T. 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan diplomityö.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.

Maanmittauslaitos 2018. Paikannussatelliittijärjestelmät. Viitattu 8.1.2018 <http://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/paikannussatelliittijarjestelmat>.

Novatron 2018a. Mitä on koneohjaus. Viitattu 15.1.2018 <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>.

– 2018b. Xsite PRO 3D. Viitattu 15.1.2018 <http://novatron.fi/koneohjaus/kaivin-koneisiin/xsite-pro-edistynyt-3d/>.

– 2018c. Mallinnusohje 3D-Win. Viitattu 15.2.2018 [http://novatron.fi/wp-content/uploads/2017/10/Mallinnusohje\\_3D-Win-XsitePro\\_v1.2.pdf](http://novatron.fi/wp-content/uploads/2017/10/Mallinnusohje_3D-Win-XsitePro_v1.2.pdf).

Vähätiitto, J. 2018. Inframodel3-formaatin käyttö koneohjauksen apuna Vt 19 Seinäjoen itäinen ohitustie -hankkeessa. Lapin ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikan opinnäytetyö.

Äikäs, A. 2016. Inframallin tiedonhallinta tarjouslaskennassa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan opinnäytetyö.