

# 3D-KONEOHJAUKSEN HYÖDYT MAANRAKENTAMIS- SESSA

Huilaja, Taavi

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Taavi Huilaja	<b>Vuosi</b>	2020
<b>Ohjaaja(t)</b>	Janne Poikajärvi		
<b>Toimeksiantaja</b>	AJH Infra Oy		
<b>Työn nimi</b>	3D-koneohjauksen hyödyt maanrakentamisessa		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	28		

---

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan 3D- koneohjauksen ja satelliittipaikantamisen perusteisiin. Työssä tarkkaillaan koneohjauksen hyötyjä verrattuna perinteiseen maanrakentamiseen tarkkuuden, tehokkuuden ja kustannusten osalta.

Tietolähteenä työssä käytettiin omia kokemuksia, internet-materiaaleja, lehtimateriaaleja, aihetta käsitteleviä opinnäytetöitä sekä haastatteluja.

Kustannuslaskelmien ja omien havaintojeni perusteella 3D-koneohjauksen käytöstä oli hyötyä kaikilla vertailtavilla osa-alueilla.

Technology, communication and  
transport  
Degree Programme in  
civil engineering  
Bachelor of engineering

---

<b>Author</b>	Taavi Huilaja	<b>Year</b>	2020
<b>Supervisor</b>	Janne Poikajärvi		
<b>Commissioned by</b>	AJH Infra Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Benefits of 3D machine control in earthmoving		
<b>Number of pages</b>	28		

---

The aim of this thesis is to research the basics of 3D-machine control and satellite navigation systems. The thesis observes the benefits of machine control, in comparison to traditional earthmoving, regarding the aspects of precision, efficiency, and cost.

The sources used in this thesis are personal experiences, online material, print publications, other theses of the same field, and interviews of professionals of the trade.

The findings of this thesis indicate that according to cost estimates and personal observations, 3D-machine control had positive effects on every sector of comparison.

Key words

3D machine control, satellite positioning, earthmoving

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	AJH INFRA OY .....	7
2.1	AGNIGO EAGLE FINLAND OY .....	7
3	SATELLIITTIPAIKANNUS .....	8
3.1	Satelliittipaikannuksen havaintosuureet .....	9
3.2	Satelliittipaikannuksen mittaustavat .....	10
3.2.1	Absoluuttinen paikannus .....	10
3.2.2	Differentiaalinen paikannus .....	11
3.3	GNSS .....	12
3.4	GPS .....	12
3.5	GLONASS .....	13
3.6	Galileo .....	13
3.7	RTK- mittaus .....	14
3.8	Verkko-RTK-mittaus .....	14
4	KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ .....	15
5	TIETOMALLIT .....	17
5.1	InfraBIM- nimikkeistö .....	18
5.2	Koneohjausmallien tekeminen .....	19
6	KONEOHJAUKSEN HYÖDYT .....	20
6.1	Koneohjauksen haasteet .....	21
7	KÄYTTÖKOHTEET KITTILÄN KAIVOKSEN TYÖMAILLA .....	22
7.1	Puskukone .....	23
8	ESIMERKKILASKELMA KUSTANNUKSISTA .....	24
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	26
	LÄHTEET .....	27

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

C/A-koodi	Coarse/Acquisition –koodi on satelliittien lähettämä paikannuskoodi
GPS	Yhdysvaltojen satelliittipaikannusjärjestelmä
GLONASS	Venäjän ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä
Galileo	Euroopan unionin satelliittipaikannusjärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System, yhteisnimitys kaikille maailman satelliittipaikannusjärjestelmille
RTK-mittaus	Real Time Kinematic eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus
InfraBIM	Building information model eli rakennuksen tietomalli. Infra-alalla käytetään etuliitettä Infra.

## 1 JOHDANTO

Tietomallipohjainen rakentaminen on yleistymässä nopeasti ja koneohjauksen käyttö alkaa olla monilla työmailla jo vaatimus. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on vertailla perinteistä ja 3D-koneohjattua maanrakentamista, sekä tutustua 3D-koneohjaukseen. Työssä esitellään yleisesti satelliittipaikannuksen perusteita, koneohjausjärjestelmiä ja tietomallipohjaista rakentamista.

Olen päässyt seuraamaan koneohjauksen käyttöä useilla työmailla työskennellessäni maanrakennusyritys AJH Infra:lla. Vertailuissa käytän pohjana itse tekemiäni havaintoja ja kokemuksia.

## 2 AJH INFRA OY

AJH Infra on vuonna 2013 perustettu maanrakennusyritys. Yritys toimii pääsääntöisesti Lapin alueella, erityisesti Kittilän kunnassa. Suurin työllistäjä viime vuosina on ollut Kittilän kultakaivos, jossa AJH Infra on toteuttanut monipuolisesti erilaisia maanrakennus- ja kunnossapitotöitä. Työntekijöitä yrityksellä on noin 70.

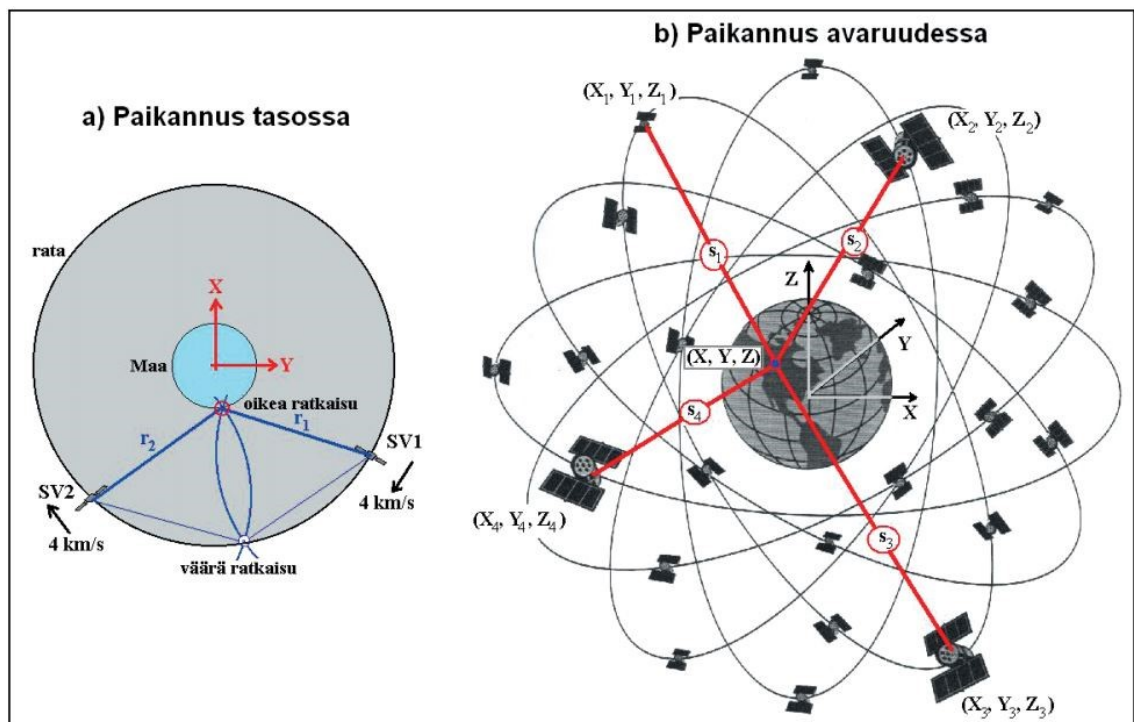
### 2.1 AGNIGO EAGLE FINLAND OY

Agnico Eagle Finland Oy on kanadalaisen kullantuottajan Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö. Se omistaa Kittilän kaivoksen, sekä harjoittaa aktiivista malminetsintää Suomessa ja muissa pohjoismaissa. Agnico Eagle osti Riddarhyttan Resources AB:ltä Suurikuusikon kultaesiintymän marraskuussa 2005. Suurikuusikkoon perustettiin yhtiön ensimmäinen kaivos Kanadan ulkopuolella. Kittilässä sijaitseva kaivos on Euroopan suurin kultakaivos. Sen toiminnan on arvioitu ulottuvan vähintään vuoteen 2035 saakka. (Agnico Eagle 2020)

### 3 SATELLIITTIPAIKANNUS

Satelliittipaikannus perustuu satelliittien lähettämien signaalien havaitsemiseen. Etäisyydet mitataan vähintään kolmeen satelliittiin havaintojen perusteella. Havaittajan paikka voidaan laskea, kun satelliittien sijainti tunnetaan havaintohetkellä. Satelliittien sijainnit lasketaan navigointiviestin tietojen avulla.

Satelliittipaikantaminen perustuu siis etäisyyksien tai etäisyyserojen mittaukseen. Paikannuksen tarkkuuden kannalta on sopivaa mitata etäisyydet kolmeen satelliittiin, mutta mittausten virheiden hallinnan vuoksi tulee etäisyydet mitata useampaan, vähintään neljään, satelliittiin. (Laurila 2012, 291.)



Kuvio 1. (Laurila 2012, 291)



### 3.1 Satelliittipaikannuksen havaintosuureet

Satelliittipaikannuksessa etäisyyksien mittauksessa hyödynnetään satelliittien lähettämien signaalien paikannuskoodia tai kantaaltoja. Siviilikäytössä käytetään L1- taajuudelle moduloitua C/A-koodia tai kantaaltoja L1 ja L2. Uudemmat satelliitit lähettävät C/A- koodin myös L2- taajuudella mutta käytössä on lisäksi kantaalto L5. Satelliittipaikannuksen perushavainnot ovat vaihehavainnot tai koodihavainnot. Lisäksi näiden yhdistelmät ovat mahdollisia. Haastavimmissa mittauksissa saatetaan käyttää Doppler- havainnot, jotka pohjautuvat kantaaltoon ja kuvaavat satelliitin loittonemis- ja lähenemisnopeutta vastaanottimen suhteen

Kun etäisyys mitataan käyttäen paikannuskoodia, puhutaan koodihavainnoista. Paikannuskoodi luo signaaliin karkeajakaisen mitta-asteikon. Etäisyydenmittaus on teknisesti melko yksinkertaista sen avulla. Etäisyydenmittaus vaihehavainnoilla perustuu satelliitin lähettämän signaalin kantaallon aallonpituuteen.

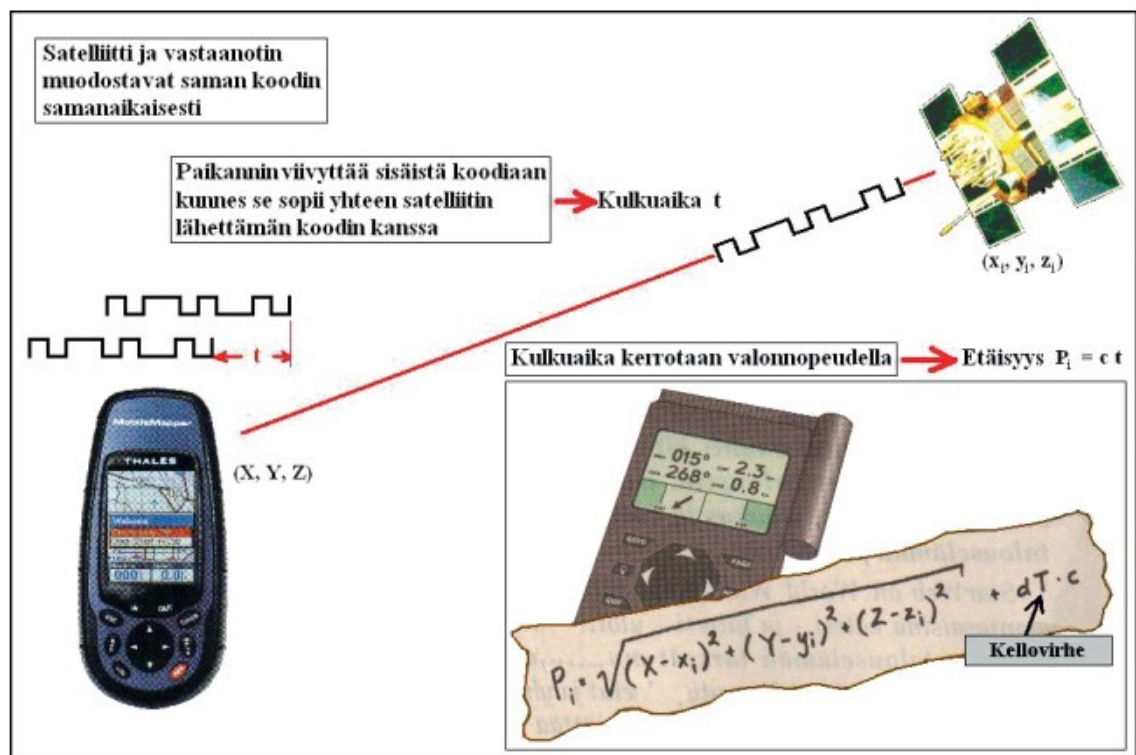
Vaihehavainnot käyttämällä päästään huomattavasti tarkempaan paikannukseen kuin pelkästään paikannuskoodin avulla, mutta samalla mittaus muuttuu paljon haastavammaksi. (Laurila 2012, 292-293.)

### 3.2 Satelliittipaikannuksen mittaustavat

#### 3.2.1 Absoluuttinen paikannus

Satelliittipaikannuksen käyttäjistä valtaosa määrittää sijaintinsa absoluuttista paikannusta käyttäen. Mittaustapa on laitteiltaan halvin ja teknisesti yksinkertainen. Absoluuttisessa paikannuksessa tarkkuus on yleensä n. 10 metriä. Tarkkuutensa puolesta se soveltuu parhaiten harrastekäyttöön sekä ajoneuvonavigointiin.

Absoluuttisessa mittaustavassa havaitsijan sijainti lasketaan suoraan satelliittien suhteen. Havaitsija mittaa etäisyydet vähintään kolmeen satelliittiin. Etäisyydenmittaus perustuu satelliitin lähettämän signaalin kulkuajan mittaamiseen C/A-koodin avulla signaalin viivytystekniikkaa käyttäen. Kulkuajan mittauksen vuoksi mitauksessa tarvitaan todella tarkkoja kelloja. (Laurila 2012, 295.)

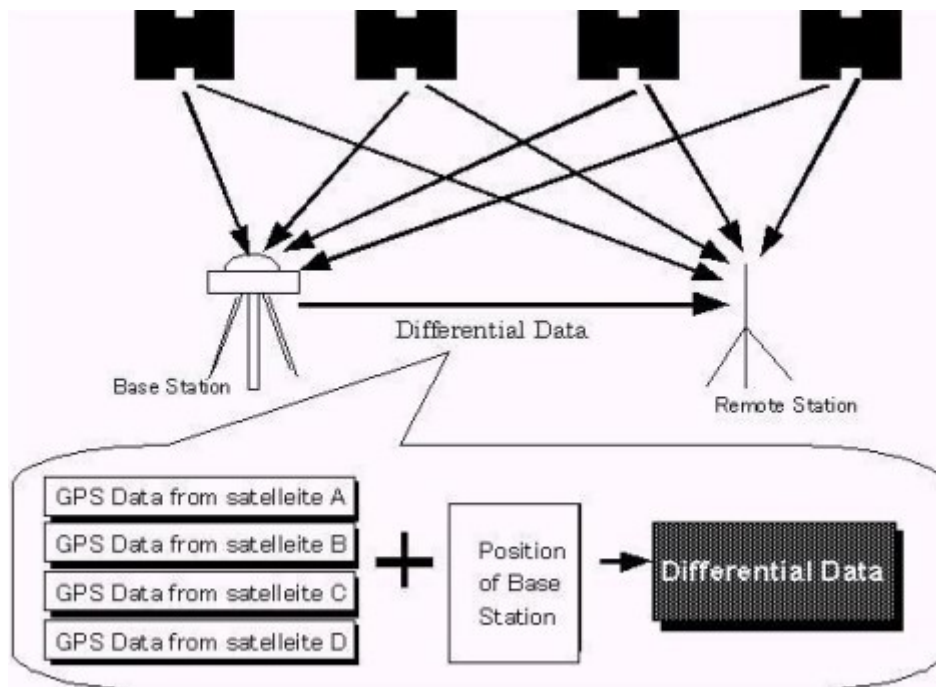


Kuvio 2. Kulkuajan mittaus (Laurila 2012, 297)

### 3.2.2 Differentiaalinen paikannus

Differentiaalisessa paikannuksessa etäisyydet satelliitteihin mitataan samalla tavalla kuin absoluuttisessa paikannuksessa. Tämän lisäksi sijaintia määrittää tukiasema, joka sijaitsee tunnetulla pisteellä. Kun mittaus tehdään, tukiasema rajoittaa satelliittien virheiden ja ilmakehän signaalin kulkemiseen aikaansaamia virheitä ja lähettää korjausdataa reaaliaikaisesti vastaanottimelle yleensä käyttäen radiolinkkiä (Kuvio 3). Sijainti lasketaan samalla tavalla satelliittien suhteen kuten myös absoluuttisessa paikantamisessa. Tukiasemaa käyttämällä paikka saadaan selville paremmin kuin absoluuttisella paikantamisella. (Mehtälä 2012, 6.)

Differentiaalisessa paikannuksesta käytettäessä mittaus tarvitsee vain yhden vastaanottimen. Suomessa ja maailmalla on saatavilla monia yleisiä tukiasemapalveluita. Differentiaaliseen paikannukseen soveltuvan paikantimen lisäksi havaintasija tarvitsee jonkin tietoliikenneyhteyden korjauspalvelun tarjoajaan ja mahdollisesti korjaussignaalin vastaanottoon vaadittavan laitteen. (Laurila 2012, 300.)



Kuvio 3. Differentiaalinen paikannus (Mehtälä 2012)

### 3.3 GNSS

Pitkän aikaa satelliittipaikantaminen oli vain GPS-paikannusta. Nykyään puhutaan enemmän GNSS-paikannuksesta tai yleisesti satelliittipaikannuksesta. GNSS-lyhenne tulee sanoista Global Navigation Satellite System. GNSS tarkoittaa eri toimijoiden ylläpitämien paikannusjärjestelmien luomaa kokonaisuutta. GNSS-järjestelmään voidaan ajatella kuuluvan kaikki paikannusjärjestelmät ja toimijat. Näin voidaan ajatella sen tarkoittavan paikantamisen infrastruktuuria. (Laurila 2012, 289.)

### 3.4 GPS

GPS eli Global Positioning System on Yhdysvaltain kehittämä ja ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä. Sen suunnittelu aloitettiin 1970-luvulla. GPS saatiin tämänhetkisessä muodossaan käyttöön vuonna 1994.

Järjestelmän avulla palvelun havaitsija voi määrittää paikkansa ja nopeutensa missä tahansa, kuten myös minä tahansa kellonaikana sääolosuhteista riippumatta. Paikannuksen lisäksi GPS-järjestelmällä tehdään myös ajanmäärittystä. Koko maailman kattavien tietoverkkojen synkronointi tehdään järjestelmän käytäen.

GPS-järjestelmän voidaan sanoa muodostuvan kolmesta lohkoista, jotka ovat satelliitti-, valvonta- ja käyttäjälohkot. Satelliittilohkoon koostuu vähintään 24 satelliitista, jotka kiertävät maata usealla ratatasolla noin 20 200 km korkeudella. (Laurila 2012, 282.)

### 3.5 GLONASS

GLONASS on Venäjän neuvostoaikaan tekemä satelliittipaikannusjärjestelmä. Tämä järjestelmä eroaa GPS-järjestelmästä siten, että satelliittisignaalit lähetetään kaikki eri taajuuksilla.

GLONASS-satelliitit sijaitsevat kolmella erillä tasolla, noin 19000 kilometrin korkeudessa. Tällä hetkellä toiminnassa on 24 GLONASS-satelliittia. Kuten GPS, GLONASS oli sotilaskäyttöön tarkoitettu paikannusjärjestelmä, mutta nykyään sen käyttö on laajentunut maa- ja meriliikenteeseen, maanmittaukseen sekä myös kuluttajatuotteisiin. GLONASS-järjestelmää modernisoidaan, siten että tulevaisuudessa sen kaikilla satelliiteilla tulisi olemaan sama lähetystaajuus. (Maanmittauslaitos 2020)

### 3.6 Galileo

Galileo on Euroopan oma siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittinavigointijärjestelmä. Galileo-ohjelman kehitystyö alkoi jo vuonna 2003. Ongelmat rahoituksessa, kehityksessä ja yhteensopivuudessa muiden paikannusjärjestelmien kanssa ovat hidastaneet käyttöönottoa.

Yhtenä merkittävimpänä tekijänä Galileo-järjestelmän kehittämiseen on sen riippumattomuus Yhdysvaltain ja Venäjän omista järjestelmistä. Riippuvuus muista ajatellaan vaikuttavan negatiivisesti turvallisuuteen ja luovan liikaa epävarmuutta satelliittipaikannussovelluksiin.

Galileo-järjestelmä tulee käsittämään kaiken kaikkiaan 30 satelliittia kolmella ratatasolla, noin 23000 kilometrin korkeudessa. Galileo-satelliitit tulevat lähettämään signaaleja samoilla taajuuksilla kuin GPS-satelliitit, mutta käyttämään eri kooditekniikoita. (Maanmittauslaitos 2020)

### 3.7 RTK- mittaus

Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, eli RTK-mittaus on laajalti hyödynnetty perusmenetelmä tehdessä satelliittimittauksia. Hyvän tarkkuutensa vuoksi se soveltuu parhaiten kartoitus- ja maastomallimittauksiin. Lisäksi sitä käytetään myös merkintämittauksissa, kuten myös koneohjauksessa.

RTK-mittauksessa tarvitaan tiedetyllä sijainnilla oleva tukiasema. Tukiasemalla oleva vastaanotin lähettää mittaamansa vaihehavainnot paikannusta tekeväälle vastaanottimelle. Tämän jälkeen vastaanotin ratkaisee alkutuntemattomat, sekä muut mittauksessa tarvittavat suureet reaaliajassa.

Vastaanottimen ja tukiaseman välillä täytyy olla yhteys, joka voidaan toteuttaa radiomodeemilla tai esimerkiksi matkapuhelinverkon yhteydellä. (Laurila 2012, 319.)

### 3.8 Verkko-RTK-mittaus

RTK- mittausta voidaan käyttää vain pienellä alueella tukiaseman ympäristössä ionosfäärin aiheutuvien ongelmien vuoksi. Käytännössä noin 10 km matka tukiasemaan on liian pitkä.

Ilmakehästä aiheutuvat virheet ovat kuitenkin hallittavissa, kun käytetään tukiasemien verkostoa vain yhden tukiaseman sijasta. Tukiasemaverkkoa käyttämällä voidaan mallintaa ilmakehän virheitä niin, että ionosfäärin ja troposfäärin aiheuttamat virheet voidaan korjata. Tällä tavoin voidaan mahdollistaa entistä suuremmat etäisyydet tukiasemiin, sekä parantaa mittausten varmuutta ja nopeuttaa mittauksia.

Yhtä tukiasemaverkostoratkaisua kutsutaan VRS- järjestelmäksi. Järjestelmä laskee vastaanottajalle oman virtuaalisen tukiaseman lähelle haluttua mittausta paikkaa. Paikannus tapahtuu monen vaiheen kautta. Kiinteät tukiasemat välittävät tietonsa laskentakeskukseen. Mittaajan likimääräinen sijainti lähetetään laskentakeskukseen matkapuhelinverkon kautta. Laskentakeskus prosessoi saamansa tiedon ja lähettää laskemansa korjausdatan mittaajalle. (Laurila 2012, 320-321.)

#### 4 KONEOHJAUSJÄRJESTELMÄ

Kun puhutaan työkoneautomaatiosta infrarakentamisessa, tarkoitetaan yleensä 3D-ohjausjärjestelmien käyttöä työkoneissa. Automatisoidulla työmaalla työkone on varustettu anturijärjestelmällä, paikannuslaitteilla ja tietokoneilla, joihin koneohjausmallit ja suunnitelmätieto tuodaan sähköisessä muodossa.

Koneenkuljettaja näkee näytöltään kolmiulotteisen koneohjausmallin ja työko-  
neen reaaliaikaisen sijainnin ja asennon koneessa olevalta näytöltä, joten perin-  
teistä maastoon merkintää ei välttämättä tarvitse tehdä.

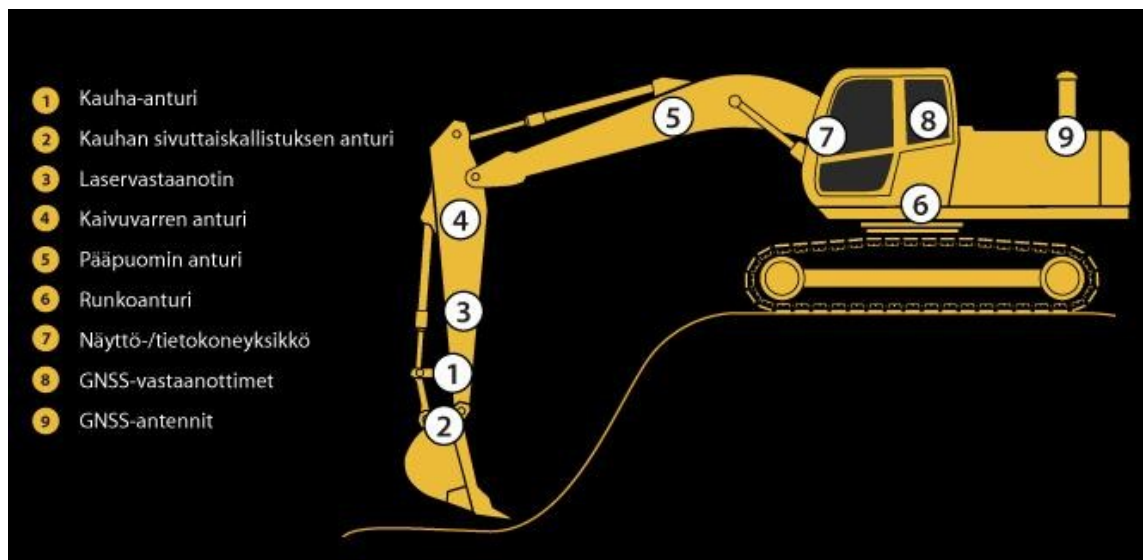
Koneohjauksen käyttö on tapa toteuttaa suunniteltu rakennelma maastossa mal-  
lin avulla, entistä nopeammin ja tarkemmin. (Snellman 2015, 3.)



Kuva 1. Kaivinkoneenkuljettajan näkymä. (Ylittervo 2020)

Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä koostuu monesta osasta (Kuvio 4). Tietokoneyksikkö on kaikkein oleellisin osa paikannusjärjestelmästä. Sen lisäksi tarvitaan liike- ja kallistusantureita sekä GNSS-vastaanottimet ja antennit. Koneohjausjärjestelmä paikantaa työkoneen terän tai kauhan X-, Y- ja Z- koordinaatit reaaliaikaisesti antureiden ja paikantimien avulla.

Työkoneen sisällä olevalta näytöltä voidaan katsoa reaaliaikaisesti työkoneen ja sen terän tai kauhan paikkaa suhteessa koneohjausmalliin (Kuva 1). Koneen paikannus tapahtuu käyttäen satelliittipaikannusta ja/tai robottitakymetria. (Kivinen 2016, 34.)



Kuvio 4. Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän periaatekuva. (Novatron Oy 2015)

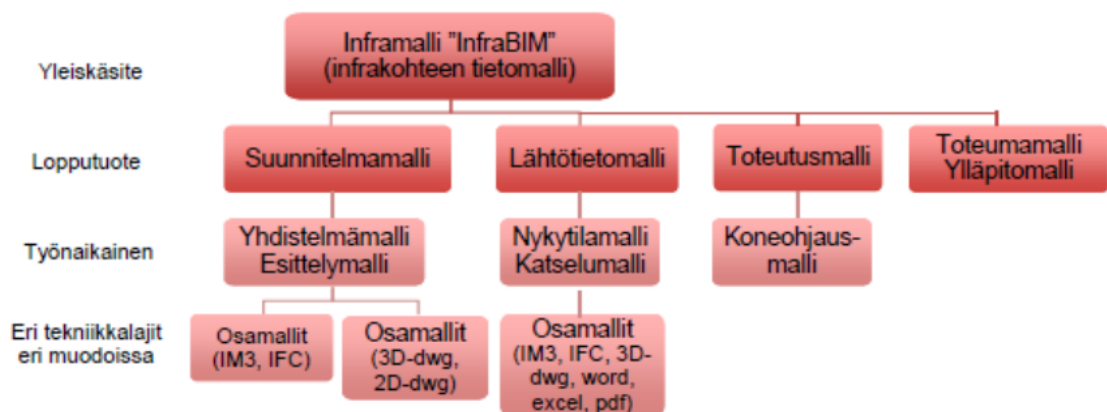


## 5 TIETOMALLIT

Mallipohjainen rakentaminen on keino toteuttaa infrakohte laadukkaammin ja nopeammin. Tietomalleja voidaan käyttää hyödyksi tuotannonsuunnittelussa ja -ohjauksessa yhdistämällä mallia kustannushallintaan tai aikatauluun. (BuildingSMART Finland 2019, 19.)

Tietomallilla tarkoitetaan rakennelman 3-ulotteista esittämistä digitaalisessa muodossa. Ideaalitulanteessa yhden mallin avulla voidaan hallinnoida rakennelman koko elinkaarta suunnittelusta lähtien toteutukseen ja jopa ylläpidosta aina purkamiseen. Infra-alan tietomallista käytetään termiä inframalli. (Väylävirasto 2020)

Inframalli on digitaalisessa muodossa olevan infrakohteen kolmiulotteinen kuvaus ominaisuustietoineen. Mallipohjainen tiedon kuvaaminen ja tuottaminen mahdollistavat sen, että ihmisten lisäksi tietotekniset järjestelmät ja sovellukset, kuten määränlaskentaohjelmistot, mittaus- ja koneohjauslaitteet sekä infran hallinnan rekisterit pystyvät tulkitsemaan näitä tietoja. Tietomallien hyödyntämisessä on suurta potentiaalia nykyisten suunnittelu- ja rakentamisprosessien tehostamiseen. (Liikennevirasto 2017, 9.)

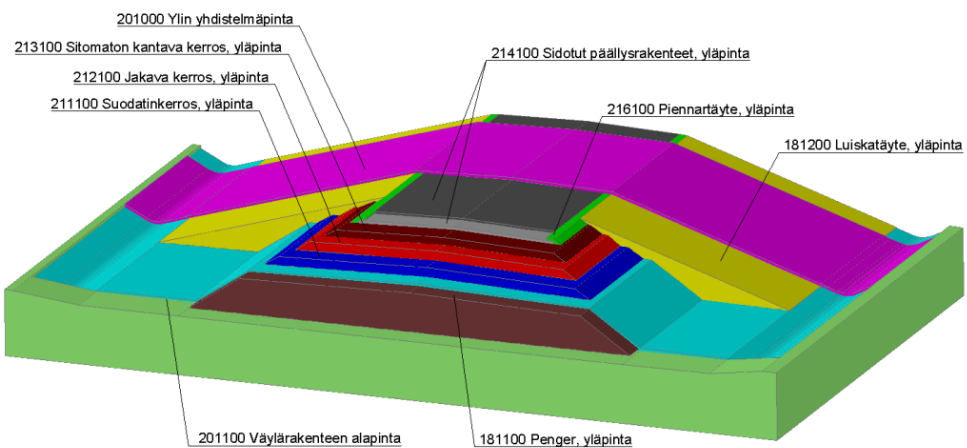


Kuvio 5. Inframallin osat. (Kylmälä 2015)

Tietomallipohjainen rakentaminen ja mallinnuksen hyödyntäminen infra-alalla on viime aikoina kasvanut voimakkaasti. Myös kiinnostus mallien käyttämiseen on kasvanut ja kehitystyötä on alettu tekemään yhdessä monien toimijoiden kanssa. Suomessa tietoa ja tukea tietomallintamisesta antaa tietomallintamisen yhteistyöfoorumi buildingSMART Finland. Se on organisoitu yhdeksi Rakennustietosäätiön päätoimikunnaksi. Yleiset inframallivaatimukset ovat BuildingSMART Finlandin julkaisu, joita se kehittää ja vie käytäntöön. (Liikennevirasto 2017, 9.)

### 5.1 InfraBIM- nimikkeistö

InfraBIM- nimikkeistö on julkaisu, jossa esitetään infrarakenteiden ja -mallien elinkaaren kattavat numerointi- ja nimeämiskäytännöt. Julkaisun tarkoituksena on saada yhtenäinen käytäntö numeroinnille ja nimeämiselle, joka siten palvelee infrarakenteita ja -malleja koko niiden käyttöiän. Nimikkeistö perustuu Infra-rakennusosanimikkeistöön ja kasvattaa sitä. (BuildingSMART Finland 2015, 13.)



Kuvio 6. Väylärakenteen pintamallit nimettynä InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti. (BuildingSMART Finland 2018)

## 5.2 Koneohjausmallien tekeminen

Koneohjausmallien tekeminen lähtee liikkeelle rakennusprojektin suunnitteluvaiheesta. Tyypillisesti suunnittelija ei tee valmiita koneohjausmalleja vaan tuottaa suunnitelmakartat ja mahdollisesti pintamallit. Nykyään monet suunnittelijat tuottavat suoraan myös pintamallit, koska tietomallipohjainen rakentaminen alkaa olla normi. Tuotetut pintamallit on yleensä jaoteltu InfraBIM-nimikkeistön mukaan ja tehty XML-formaatissa.

Usein suunnittelijan tekemät pintamallit eivät kelpaa suoraan toteutusmalleiksi. Mallien soveltuvuutta käyttöön täytyy tarkastella monelta eri kannalta. Mallien pintoja täytyy vertailla suunnitelmakarttoihin ja tarkkailla erityisesti mallien yhtymäkohtia. Mallit täytyy myös tarkistaa työteknisiltä sekä laadullisilta kannoilta. Suunniteltu rakenne voi olla mahdoton toteuttaa todellisuudessa nämä kriteerit huomioon ottaen.

Suunnitelmamallit ovat harvoin suoraan käyttökelpoisia toteutusmalleiksi. Yksi merkittävimmistä tekijöistä on rakenteen painuminen ja tiivistyminen. Toteutusmalli täytyy usein tehdä ylileveänä tai korkeana, jotta haluttuun lopputulokseen päästään.

Kun toteutusmalli on tehty, täytyy se vielä muuntaa oikeaan formaattiin. Formaateja on useita ja käytetty formaatti riippuu koneohjauslaitteiston valmistajasta. (Ylittervo 2019)

## 6 KONEOHJAUKSEN HYÖDYT

Koneohjausta hyödyntävällä työmaalla perinteistä maastoon merkintään ei maa- rakenteiden osalta tarvitse tehdä. 3D- koneohjauksen käyttökohteet ovat moni- puoliset. Erityistä hyötyä järjestelmistä on leikkaus, pengerrys sekä luiskaus- töissä. Työkoneautomaatio kasvattaa työkoneiden tehokkuutta mahdollistamalla tauottoman työskentelyn. Tämä perustuu siihen, ettei kuljettajan tarvitse odottaa puuttuvia mittatietoja.

Mittaustyömenekki vähenee kokonaisuutena, koska maastoon merkintää ei enää tarvitse tehdä. Työmaan vaatimuksista riippuen myös tarkemittausten tarve vä- henee.

Koneohjauslaitteistojen käyttöönotto muuttaa työprosesseja, sekä työmaalla työskentelevien ihmisten työtehtäviä. Mittaustyöntekijöiden tehtävät muuttuvat eniten. Työmaan uusiin tehtäviin kuuluu koneohjausmallien tekeminen, ohjaus- järjestelmien tekninen tuki, sekä kuljettajien opastaminen. (Jaakkola 2010)

Koneohjausmallien käyttö kasvattaa työntekijöiden käsitystä työmaasta, kun suunnitelmat ovat saatavilla koko ajan.

Koneohjauksen käyttömahdollisuudet eivät rajoitu ainoastaan perinteisiin maan- rakennustöihin, kuten maanleikkaukseen- tai täyttöön. Koneohjausmalleihin voi- daan lisätä rakennepintojen lisäksi paljon muuta tietoa.

Yleisimpiä käyttökohteita ovat kaapeli- ja putkikaivannot sekä erilaiset lisävarus- teasennukset. Suunniteltujen kaivantojen lisäksi malleihin voi lisätä tietoa ole- massa olevista rakenteista tai vaikka kaapeleista. Tämä lisää suuresti kaivinko- neenkuljettajan ymmärrystä toteutettavasta rakenteesta ja vähentää mahdollisia materiaalivahinkoja. Koneenkuljettaja voi toimia täten itsenäisemmin ja vapauttaa apu- tai mittamiehen muihin töihin.

## 6.1 Koneohjauksen haasteet

3d- koneohjauksen käytöllä on myös omat haasteet ja riskinsä. Kun siirtymistä koneohjauksen käyttöön tehdään, on ensimmäisenä edessä laitteiston hankinta. Tämä koskettaa erityisesti pieniä tai keskikokoisia yrityksiä, joista monet miettivät onko laitteisto hyvä sijoitus suhteellisen korkean hankintahinnan vuoksi.

Perehdyttäminen uusien laitteiden käyttöön voi olla haastava prosessi. Perehdytystä vaativat kaikki työmaalla toimivat henkilöt: koneenkuljettajat, työnjohtajat sekä mittamiehet. Laitteistojen käyttö muuttaa hieman kaikkien työnkuvaa.

Koneohjausjärjestelmien laitteistot ovat alttiita erilaisille vioille. Laitteistojen kaikki komponentit voivat vahingoittua, mutta yleisimpiä ovat anturi- tai kaapeliviat. Järjestelmän kaapelit ja anturit pyritään asentamaan suojaan, mutta ne voivat silti ottaa osua työskennessä. Laitteistoviat voivat vaatia isompaa huoltoa ja täten pysäyttävät työmaan hetkellisesti, jos mittamiestä ei ole heti saatavissa tai korvaavaa työtä tiedossa.

Satelliittien pitkä etäisyys maahan luo omat haasteensa. Pitkän matkan vuoksi satelliitin signaali on altis erilaisille häiriötekijöille, jotka heikentävät mittaustarkkuutta. Tukiasemia käytetään pienentämään näitä virheitä. Tukiaseman lähettämässä korjaussignaalisissa on silti omat rajoitteensa: etäisyys työkoneeseen ei saa olla liian suuri, eikä matkalla saa olla liikaa muita esteitä. (Kiiskinen 2015, 30-39.)

## 7 KÄYTTÖKOhteet Kittilän kaivoksen työmailla

Kaksi viimeistä vuotta olen työskennellyt maanrakennusyritys AJH Infra:lla työnjohtotehtävissä Kittilän kultakaivoksella. Olen päässyt olemaan osana monia erilaisia urakoita ja työvaiheita. Suurimpia urakoita ovat olleet NP3- altaan korotus, MK2- sekä NP4- altaan rakentaminen. Koneohjaus on ollut mukana näissä kaivissa ja sen käyttö on kasvanut tasaisesti.

Kaikista eniten 3D- koneohjausta minun työmaillani on päästy hyödyntämään kaivinkoneissa. Kaivinkoneilla suoritettavat työt ovat yleisestikin hyvin monipuolisia.

Suunnitelmanmukaisen luiskauksen toteuttaminen voi olla vaikeaa kokeneellekin kaivinkoneenkuljettajalle. Perinteisesti luiskan suunnan on merkinnyt mittamies luiskamallilla. Malli näyttää kuitenkin halutun rakenteen vain tietyllä kohtaa, jonka vuoksi koneenkuljettajan voi olla haastavaa tehdä tasalaatuista viimeistelyä. Eri-tyisesti mutkat ja käännteet rakenteessa tai korkotason vaihtelu voivat aiheuttaa ongelmia. Ainoa tapa varmistaa laatu on mitata rakennetta säännöllisesti.



Kuva 2. Pohjanrakennustyötä kaivinkoneella. (Hettula 2020)

3d- koneohjauksen käyttö urakoissamme on helpottanut suuresti luiskaustöitä. Suurien patopenkereiden tekemiseen kuuluu paljon luiskattavaa ja useassa tilanteessa vielä monessa kerroksessa. Mallien käyttö on helpottanut huomattavasti koneenkuljettajan, sekä myös mittamiehen työtä

## 7.1 Puskukone

Koneohjauksella varusteltu puskukone on tehokas ja tarkka laajemmissa pohjantasoitustöissä. Ilman koneohjausta koneenkuljettajan on vaikea seurata korossa pysymistä. MK2- altaan työmaalla (Kuva 3) pohjan leikkuu on suoritettu kaivinkoneella. Osa pohjan viimeistelytasoituksesta pystyttiin tekemään puskukonetta hyödyntäen. Koko altaan pohjasta on tehty koneohjausmalli, joka helpotti tasoitusta suuresti.



Kuva 3. Pohjantasausta telapuskukoneella. (Hettula 2020)

Telapuskukone on loistava työkonelouhepenkan rakentamiseen. Oikeanlaisilla järjestelyillä kone pystyy ottamaan vastaan suuria määriä louhetta ja työ etenee nopeasti. Materiaalina louhe luo omat haasteensa. Suuren raekokonsa vuoksi louhepenkka täytyy saada kerralla oikeaan korkoon. Pientä määrää on hankalaa leikata tai lisätä rakenteeseen.

Ilman koneohjausta käyttöä pengertäytyy tyypillisesti paaluttaa mittakepeillä. Mittakepit jäävät nopeasti rakenteen alle ja niitä voi olla hankala nähdä tarkasti työkonen kyydistä. Tämä vaatii myös aktiivista paikallaoloa mittamieheltä. Koneohjausta käytettäessä korkotieto on koko ajan kuljettajan nähtävillä.

## 8 ESIMERKKILASKELMA KUSTANNUKSISTA

3D-koneohjauksen hyödyt on helppo huomata tarkastelemalla maanrakennustöiden kustannuksia. Kustannushyödyt kasvavat samassa suhteessa työmaan koon kanssa. Tyypillisesti maanrakentaminen on huonon maa-aineksen poistamista ja muulla materiaalilla täyttämistä. Tällaisessa tilanteessa rakennustyön kustannukset koostuvat kaivuutyöstä, kuljetuksesta, täytöstä, täyttömateriaalista sekä mitauskuluista.

Esitän seuraavaksi esimerkkilaskelman, jossa tehdään massanvaihto 10cm suunniteltua syvemmälle. Käytän laskelmassa keskimääräisiä suuntaa antavia hintoja työsuoritteille.

Massanvaihto suoritetaan 1ha eli 10 000 neliömetrin alueelle. Leikattava maa-aines on sora-ainetta. Ylimääräisen kaivettavan massan määrä on siis:

$$10000 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} = 1000 \text{ m}^3$$

Sora-ainetta kaivetaan pois kaivinkoneella ja kuljetaan pois noin 2 kilometrin päähän läjitysalueelle. Kaivuutyön ja kuljetuksen hintana käytän 3,70€ / m<sup>3</sup>ktr.

$$1000 \text{ m}^3 \text{ ktr} \times 3,70 \text{ €/m}^3 \text{ ktr} = 3700 \text{ €}$$

Tehty kaivanto täytetään 0/16 kalliomurskeella. Murske kuljetetaan noin 2 kilometrin päästä ja levitetään samalla kaivinkoneella. Täyttötyön hintana on 4,50€ / m<sup>3</sup>rtr.

$$1000 \text{ m}^3 \text{ rtr} \times 4,50 \text{ €/m}^3 \text{ rtr} = 4500 \text{ €}$$

Massanvaihdon konetöiden hinnaksi tulee siis pelkästään yhteensä 8200€. Täyttömateriaalina käytetyn 0/16 kalliomurskeen hinta on noin 10€/tn. Hinta voi vaihdella suuresti sijainnin ja valmistajan mukaan. Yksi kuutio tiivistettyä mursketta painaa noin 2 tonnia.

$$1000 \text{ m}^3 \times 2 \text{ tn/m}^3 \times 10 \text{ €/tn} = 20000 \text{ €}$$



Yhteensä ylisyvän leikkuun ja täytön hinnaksi tulee siis 28200€.

Tekemäni laskelmat osoittavat kuinka helposti rakentamisen kustannukset nousevat pelkästään 10cm ylikaisuulla. Koneohjauksen käytöllä ylikaisuuta saadaan pienennettyä huomattavasti. Koneenkuljettaja pystyy seuraamaan jatkuvasti oikeaa suunniteltua leikkuun syvyyttä ja näin turhalta työltä välttään.

Mittaustyön tarve vähenee paljon koneohjausta käytettäessä. Esimerkkitilanteessa mittamiestä tarvittaisiin aktiivisesti seuraamaan leikkuusyvyttä ja täyttövaiheessa kepittämään korkoa. Tilaajan vaatimuksista riippuen jopa tarkemittaus voidaan suorittaa suoraan kaivinkoneen koneohjausjärjestelmällä.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä 3D-koneohjausjärjestelmiin ja niiden käyttöön. Toinen tärkeä osa-alue työlle oli vertailu 3D-koneohjatun ja perinteisen maanrakentamisen välillä. Alkuperäisenä suunnitelmanani oli tuottaa omaa tutkimusdataa työmaalla toteutettavien koerakenteiden avulla. Tällaisen toteuttaminen osoittautui kuitenkin hyvin haastavaksi alati muuttuvien työmaatilanteiden ja aikataulujen johdosta. Sopien olosuhteiden luonti luotettavan tutkimuksen aikaansaanniksi olisi sekoittanut liikaa muita järjestelyjä ja tuottanut liikaa kustannuksia. Tästä johtuen työn päätelmät ja tulokset on esitelty vain teoriassa.

3D-koneohjauksen hyödyt maanrakentamisessa ovat kiistattomat. Laitteistojen käyttö parantaa työtehokkuutta ja työturvallisuutta. Laitteiston korkeasta hankintahinnasta riippumatta järjestelmien käyttö vähentää rakentamisen kustannuksia varsinkin pidemmällä aikavälillä. Yksi merkittävimmistä hyödyistä käytössä on tarkkuuden parantumien ja tasalaatuinen lopputulos. Tietomallipohjainen rakentaminen palvelee työmaan kaikkia osapuolia.

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli haastavaa ja mielenkiintoista. Lähtötilanteessa tietämykseni aiheesta oli melko vähäinen, mutta työn edetessä opin paljon syvemmin 3D-koneohjauksesta ja sen käyttömahdollisuuksista

## LÄHTEET

Ylittervo, S. 2020. Mittamiehet Oy. Haastattelu 17.11.2020.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. Uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulu Julkaisutoiminta. Viitattu 1.6.2020. <http://www.ramk.fi/loader.aspx?id=7fe99c68-3849-4fa8-a563-9327cf51ea79>

BuildingSMART Finland 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV 2015. Viitattu 10.6.2020. [https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv\\_2015/](https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv_2015/)

Agnico Eagle 2020. Viitattu 1.5.2020. <http://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/>

Maanmittauslaitos 2020. Satelliittipaikannus. Viitattu 1.12.2020. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>

Kivinen, T. 2016. Tietomallit ja koneohjaus kuntatekniikan rakentamisessa. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

Väylävirasto 2020. Mikä on tietomalli. Viitattu 6.12.2020. <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli->

Jaakkola, M. 2010. Työkoneautomaatio hyötykäyttöön, haaste työnjohdolle. Tienrakennusmestari. <http://www.tierakennusmestari.com/lehdet/Jaakkola.pdf>

Mehtälä, I. 2012. Yhden vastaanottimen tarkka paikannus. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Kiiskinen, M. 2015. Koneohjauksen ongelmat työmaalla. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

BuildingSMART Finland. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015. [https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv\\_2015/](https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv_2015/)

BuildingSMART Finland. 2019. Yleiset inframallivaatimukset YIV2019/1. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV-Yleiset-inframallivaatimukset-2019\\_1.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV-Yleiset-inframallivaatimukset-2019_1.pdf)

Liikennevirasto 2017. Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Liikenneviraston ohjeita 12/2017. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-12\\_tie\\_ratahankkeiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf)