



Tietomallipohjaisen rakentamisen nykytila Tampereen Infra Oy:ssä

Veikko Vuorinen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2021

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Infrarakentaminen

Vuorinen Veikko:

Tietomallipohjaisen rakentamisen nykytila Tampereen Infra Oy:ssä.

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Kesäkuu 2021

Tämän työn tarkoituksena on saada selkeät käytännöt koneohjausmallien tekemisestä ja hyödyntämisestä infrarakentamisessa. Aiheesta tehdään nykytilakartoitus haastatteleamalla koneohjausmallin käyttäjää, työnjohtoa, tietomallikoordinaattoria ja koneohjausmallin tekijää. Lähtötilanneselvityksen perusteella tehdään esitys prosessin selkeyttämisestä, joka käydään työn teettäjän eli Tampereen Infra Oy:n kanssa läpi.

Työssä käydään läpi satelliittipaikannuksen perusteita ja sitä, mihin satelliittipaikannus perustuu, sekä käydään läpi aiheeseen liittyviä termejä. Työssä käydään myös esimerkin avulla läpi, kuinka luodaan yksinkertainen koneohjausmalli Novatronin koneohjausjärjestelmällä.

Haastatteluosuudessa käydään läpi haastattelun aikana ilmi käyneitä mahdollisia epäkohtia tietomallipohjaisessa rakentamisessa. Haastateltavien henkilöiden antamat kehitysideat prosessille on avattu työn haastatteluosuudessa. Haastatteleamalla selvisi, että tietomallipohjainen rakentaminen on hyvällä tasolla ja siitä saadut hyödyt ovat huomattavia, mutta kuitenkin prosessissa on joitain epäkohtia, jotka tuovat hieman haasteita työhön. Työn lopuksi käydään läpi vastauksia ja ajatuksia, mitä työn aikana kävi ilmi.

Asiasanat: infrarakentaminen, tietomalli, koneohjausmalli, satelliittipaikannus, kehittäminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Civil Engineering

Vuorinen Veikko:
Current state of the Data Model-Based Construction at Tampereen Infra Ltd.

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 1 pages
June 2021

The purpose of this thesis is to obtain clear practices for making and utilizing machine control models in infrastructure construction. The current state of the topic is mapped by interviewing the user of the machine control model, work management, data model coordinator and the author of the data model. On the basis of the baseline report, a proposal will be made to clarify the process, which will be reviewed with the client, Tampereen Infra Oy.

The work reviews the basics of satellite positioning and what satellite positioning is based on, as well as related terms to the satellite positioning. This thesis also shows by example how to create a simple machine control model with a machine control system branded Novatron.

The interview section examines possible shortcomings in data model-based construction that emerged during the interview. The development ideas that came up by the interviewees are opened in the interview part of the work. The interview revealed that data model-based construction is on a good level and the benefits are considerable, but there are still some drawbacks in the process that bring some challenges to the job. At the end of the thesis, the answers and thoughts that emerged during the thesis are reviewed.

Key words: infrastructure construction, building information model, machine control model, satellite positioning, evolution, BIM

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	Satelliittipaikannuksen toimintaperiaate	8
2.1	GNSS (Global Navigation Sattellite System)	8
2.1.1	GPS- satelliittipaikannusjärjestelmä	9
2.1.2	GLONASS- satelliittipaikannusjärjestelmä.....	9
2.1.3	Galileo- satelliittipaikannusjärjestelmä	9
2.1.4	BeiDou-satelliittipaikannusjärjestelmä	10
2.2	Satelliittipaikannukseen perustuva 3D-koneohjaus	10
3	Yleisimmät koneohjausjärjestelmien tarjoajat Suomessa	12
3.1.1	Novatron Oy	12
3.1.2	Topgeo Oy.....	12
3.1.3	Trimble Solutions Oy	13
3.1.4	Leica Geosystems	13
4	Tietomallipohjainen infrarakentaminen	15
4.1	Tietomallinnus	15
4.1.1	Yleiset inframallivaatimukset	15
4.1.2	InfraBIM-nimikkeistö	16
4.1.3	Tiedostoformaatit.....	17
5	Inframallipohjainen hanke	19
5.1	Lähtötietoaineisto	19
5.2	Suunnitelmamalli	20
5.3	Yhdistelmä- ja esittelymallit	22
5.4	Toteutusmalli	23
5.5	Toteumamalli.....	25
6	Yksinkertaisen koneohjausmallin luominen Novatronin koneohjausjärjestelmällä.....	26
6.1	Lähtötiedot oman koneohjausmallin luomiseksi	26
6.2	Ojamallin luominen.....	26
7	Nykytilakartoitus Tampereen Infra Oy:ssä	30
7.1	Tutkimusmenetelmä.....	30
7.2	Oikeanlaisen mallin tilaaminen työmaalle.....	32
7.3	Ongelmakohdat.....	34
7.4	Kehittämideoita.....	37
7.5	Esitys prosessin selkeyttämisestä	39
8	Pohdinta.....	41
	LÄHTEET	43

LIITTEET.....	46
Liite 1. Haastatteluissa kysytyjä kysymyksiä	46

LYHENTEET JA TERMIT

BIM	Building Information Model, eli tietomalli
GNSS	Englanniksi Global Navigation Satellite System on nimitys kaikkien satelliittijärjestelmien muodostamalle kokonaisuudelle.
InfraBIM-nimikkeistö	InfraBIM-nimikkeistössä esitetään numerointi- ja nimeämiskäytännöt infrarakenteille ja inframalleille.
Inframalli	Tietyn infrakohteen tietomalli
Kolmioverkko	Kolmioverkko on säännönmukainen, vierekkäisistä kolmioista muodostuva pinta. Luodaan esimerkiksi kolmioimalla viivamalli tietokoneohjelmistolla.
Koneohjaus	Koneohjauksella tarkoitetaan koneohjausmalliin ja paikannukseen perustuvaa eri tasoista koneautomaatiota, jota käytetään infra-rakentamisessa.
Korkeusmalli	Korkeusmalli on maanpinnan muotojen numeerinen esitys, joka sisältää pinnanmuotoja kuvaavan korkeuspisteiden joukon. Tyypillisesti korkeusmalli tallennetaan tietojärjestelmään joko tasavälisenä hilana tai epäsäännöllisenä kolmioverkkona.

LandXML	XML-pohjainen formaatti, joka sisältää määrittelyt infra- ja maanmittaustiedolle, jota käytetään laajasti infrarakentamisessa.
Maastomalli	Maastomallilla tarkoitetaan maanpintaa kuvaavaa mallia, joka sisältää korkeustiedon lisäksi muutakin tietoa esimerkiksi maan peitteestä, rinteiden kaltevuuksista ja viettosuunnista. Maastomallin tärkein elementti on korkeusmalli.
Pintamalli	Pintamalli on laserkeilauksen myötä käyttöön tullut termi, joka kuvaa maaston ylimmälle korkeustasolle asetettua pintaa. Näin ollen pintamalli sisältää maanpinnan korkeuksia ainoastaan avomaalla, mutta muilla alueilla pinta noudattaa esimerkiksi metsän latvustoa ja rakennusten kattoja.
Taiteviiva ja pinta	Kuvaavat eri rakennepintoja, joista tuotemalli koostuu.
Toteumapiste	XYZ-koordinaatit omaava pistemäinen tieto, joka on mitattu koneenkuljettajan toimesta 3D-ohjausjärjestelmällä varustetulla työkoneella

1 JOHDANTO

Koneohjausmallien hyödyntäminen on jatkuvasti kehittyvä osa infrarakentamisessa. Mallien käyttö on vuosi vuodelta yleistynyt rakennustyömailla ja nykyisin sitä käytetään jo laajalti ympäri suomea. Yhä useampi työn tilaaja vaatii työmailla koneohjattujen työkoneiden käyttöä.

Tässä opinnäytetyössä kartoitetaan mallintamiseen ja koneohjaukseen liittyviä epäselkeyksiä sekä kehittämisen kohteita haastatteleamalla koneohjausmallin käyttäjää, työnjohtoa, koneohjausmallin tekijää, suunnittelijaa sekä tietomallikoordinaattoria. Työssä käydään läpi satelliittipaikannukseen perustuvan koneohjauksen toimintaperiaatteita, historiaa sekä yksinkertaisen koneohjausmallin tuottaminen. Työssä koneohjaus rajataan kaivinkoneisiin.

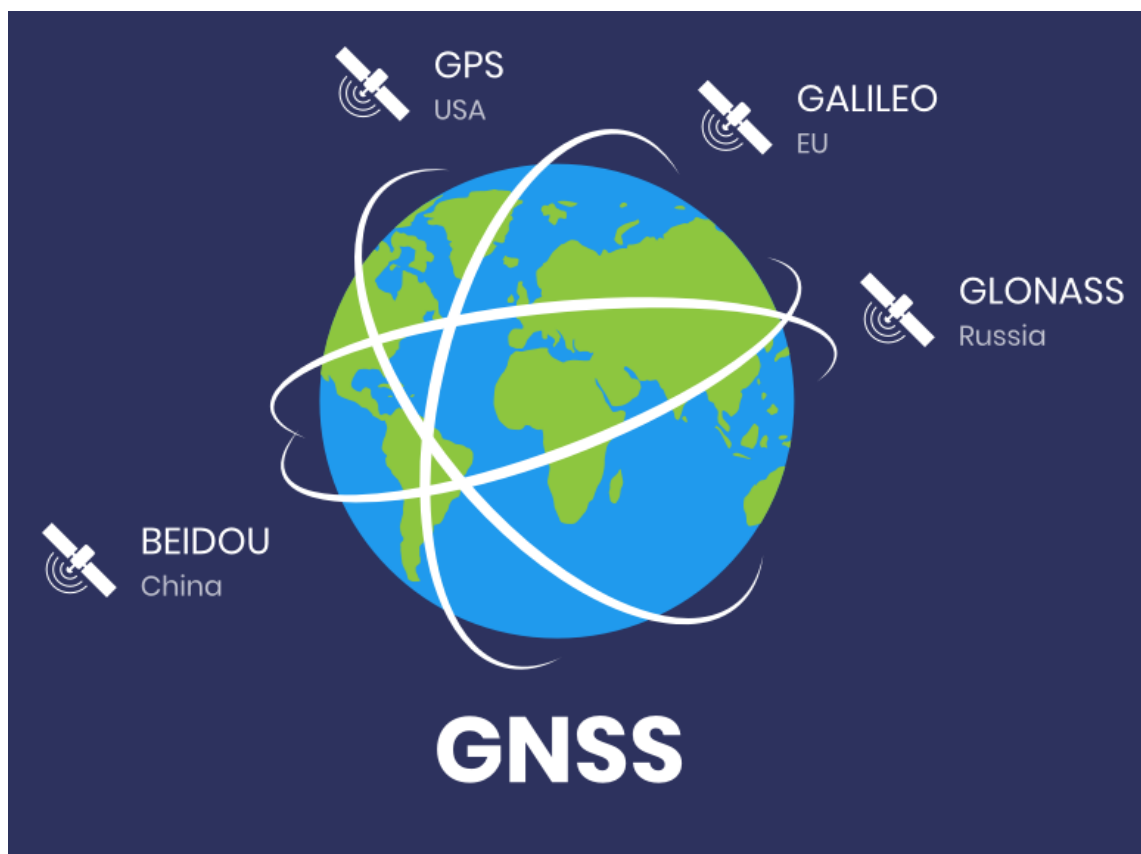
Työn teettäjän Tampereen Infra Oy:n tavoitteena on tehdä nykytilakartoitus koneohjausmallien käytöstä ja selkeyttää tietomalliprosessia. Tehdystä kartoituksesta ja mahdollisista prosessin selkeytys ehdotuksista voi olla hyötyä myös muille maanrakennusyriyksille.

Tampereen Infra Oy tuottaa yhdyskuntatekniikan kunnossapito-, rakentamis- ja paikkatietopalveluja sekä kalusto- ja korjaamopalveluja. Yhtiö kuuluu Tampereen kaupunkikonserniin ja on täysin Tampereen kaupungin omistama yhtiö. Ensimmäisenä toimintavuonna 2020 yhtiön liikevaihto oli noin 53.5 miljoonaa euroa henkilöstömäärän ollessa keskimäärin 362. Tampereen Infra Oy on liikevaihdon ja henkilöstön lukumäärän perusteella tarkasteltuna yksi merkittävimmistä Tampereen kaupungin omistamista yhtiöistä.

2 Satelliittipaikannuksen toimintaperiaate

2.1 GNSS (Global Navigation Satellite System)

Nykyaikaisen paikannuksen ja navigoinnin perustana ovat satelliitit. Sijainti pysytään satelliittisignaalien avulla määrittämään vastaanottimesta metrien tarkkuudella ympäri maapalloa. Satelliittipaikantamisesta käytetään termiä GNSS, joka on lyhenne sanoista Global Navigation Satellite System (Kuva 1). Nykyaikaisessa satelliittipaikannuksessa on erilaisia paikannusjärjestelmiä, joita ovat yhdysvaltalainen GPS, venäläinen GLONASS, eurooppalainen Galileo ja kiinalainen Beidou.



KUVA 1. GNSS Global Navigation Satellite System. Satelliittipaikannus maapallolla. (What Is Difference Between GNSS and GPS receivers. Fieldbee. 10.7.2020)

2.1.1 GPS- satelliittipaikannusjärjestelmä

GPS- satelliittipaikannusjärjestelmään (Global Positioning System) kuuluvat 31 satelliittia, jotka kiertävät maapalloa 20 200 kilometrin korkeudessa. Radat, joita satelliitit kulkevat ovat suunniteltu siten, että mistä tahansa Maan pinnan sijainnista tarkasteltaessa vähintään neljä satelliittia sijaitsee horisontin yläpuolella. Jokaisessa paikannus satelliitissa on radiolähetin sekä atomikello. Satelliitit lähettävät jatkuvasti radiosignaaleja, joista käy ilmi satelliitin tunnistus ja sijainti, sekä signaalin tarkka lähetysaika. GPS-paikannin vastaanottaa nämä signaalit. (Tieteen kuvalehti, Miten GPS-paikannin tietää sijaintinsa? Julkaistu 30.1.2018)

2.1.2 GLONASS- satelliittipaikannusjärjestelmä

GLONASS-järjestelmä kehitettiin Neuvostoliiton vastineeksi GPS-järjestelmällä. Neuvostoliiton hajottua GLONASS jäi vaille ylläpitoa ja ajautui käytännössä käytökelvottomaan tilaan, mutta 2000-luvun puolella Venäjä on palauttanut sen toimintakykyiseksi. GLONASS eroaa muista satelliittipaikannusjärjestelmistä teknisesti siten, että jokaiselle GLONASS-satelliitille on varattu oma lähetystaajuus. Muissa järjestelmissä kaikki satelliitit lähettävät samalla taajuudella ja eri satelliitit tunnistetaan signaaliin sisältyvän koodin perusteella. Satelliittikohtaisten lähetystaajuuksien käyttö kuitenkin aiheuttaa haasteita varsinkin ammattilaisvastaanotimissa, minkä vuoksi tulevat GLONASS- satelliittisukupolvet ryhtyvät käyttämään myös koodiin, eikä taajuuteen perustuvaa signaalierottelua. (Maanmittauslaitos. Satelliittipaikannus. Luettu 8.4.2021.)

2.1.3 Galileo- satelliittipaikannusjärjestelmä

Galileo on eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä ja se on kokonaan siviilien ylläpitämä. GPS ja GLONASS ovat alun perin sotilaskäyttöön kehitettyjä. Galileo tarjoaa kaikille avoimia signaaleja kahdella taajuudella, sekä saatavilla on myös kolmas taajuus esimerkiksi viranomaiskäyttöä ja lisäpalveluita varten. Galileo- satelliittipaikannusjärjestelmää on suunniteltu alusta alkaen GPS:n kanssa yhteensopivaksi, mistä syystä näiden järjestelmien tärkeimmät signaalitaajuuDET ovat samat. Galileo on osa kansainvälistä COSPAS-SARSAT järjestelmää, joka

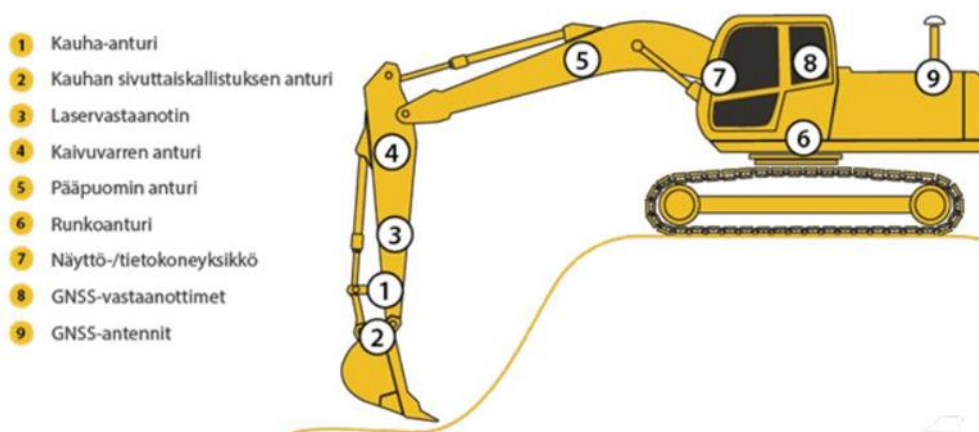
välittää hätäilmoituksia meripelastusorganisaatioille. (Maanmittauslaitos. Satelliittipaikannus. Luettu 8.4.2021.)

2.1.4 BeiDou-satelliittipaikannusjärjestelmä

BeiDou-satelliittipaikannusjärjestelmä on suunniteltu palvelemaan erityisesti Kiinan aluetta, mikä käy ilmi sen satelliittien radoista: kun muut järjestelmät käyttävät vain noin 20 000 kilometrin korkeudella lentäviä satelliitteja, kuuluu BeiDouhun näiden lisäksi satelliitteja, joiden ratakorkeus on noin 35 000 kilometriä, jotka maasta katsottuna pysyvät Kiinan pituuspiireillä. BeiDou tunnettiin aikaisemmin myös nimellä Compass.

2.2 Satelliittipaikannukseen perustuva 3D-koneohjaus

Koneohjausjärjestelmän avulla koneen kuljettaja voi toimia tarkasti työhön laadittujen suunnitelmien mukaisesti. Työkoneessa on kaksi satelliittivastaanotinta, joiden avulla pystytään määrittämään työkoneen sijainti kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Koneohjausjärjestelmä määrittelee satelliittivastaanottimen sekä koneeseen asennettujen antureiden (Kuva 2) perusteella koordinaatit kauhan sijainnille.



Kuva 2. 3D-koneohjausjärjestelmä. (Novatron 2018)

3D-koneohjausjärjestelmässä paikkatieto sekä työkohtaiset suunnitelmat linkittyy toisiinsa, jolloin koneenkuljettajan on mahdollista rakentaa tarkasti suunnitelmien mukaisesti. Työkoneen ohjauksen hoitaa kuljettaja itse, mutta koneohjausjärjestelmän avulla työkoneen hytissä olevan näytön avulla pystytään tarkastelemaan työkoneen sijaintia sekä kauhan asentoa suhteessa maastoon ja suunnitelmiin. Koneohjausta hyödynnetään nykyään todella laajasti eri luonteisilla työmailla, nykYTEKNIikka ja osaavat koneenkuljettajat mahdollistavat ja hyödyntävät koneohjauksen käytön myös pienemmissä saneerauskohteissa.

3D-koneohjauksella voidaan saavuttaa suuria hyötyjä työmaan kustannuksissa ja aikatauluissa. Suurimpia hyötyjä materiaalikustannuksissa saavutetaan koneohjausta hyödynnettäessä maaleikkauksessa, jossa jo pienillä syvyyseroillakin saavutetaan tuhansien eurojen säästöjä. Työn tehokkuuteen saadaan huomattavaa hyötyä kuten esimerkiksi turhilta työvaiheilta säästyään, kun rakennettavat pinnat saadaan kerralla oikeaan korkoon, sekä massat voidaan muotoilla jo kaivuuvaiheessa paikkaan, missä ne eivät ole tiellä.

3 Yleisimmät koneohjausjärjestelmien tarjoajat Suomessa

3.1.1 Novatron Oy

Novatron Oy on suomalainen, vuonna 1991 perustettu perheyrittäjä, jonka omistajina ovat Tervahaudan perhe sekä vähemmistöosakkaana MOBA Mobile Automation AG-konserni. Saksalainen MOBA on maailmanlaajuisesti toimiva liikkuvien työkoneiden automaatioon keskittynyt yritys.

Novatron Oy kehittää, valmistaa ja toimittaa koneohjaukseen liittyviä laitteita ja ohjelmistoja. Novatron Oy:n asiakkaita ovat maanrakennusurakoitsijat ja työkonien valmistajat Suomessa sekä ulkomailla. Novatron Oy on ostanut 3D-system Oy:n koko osakekannan 1.10.2019. Yrityskaupalla halutaan turvata 3D-Win ohjelmiston kehityksen jatkuvuus ja hyvä palvelutaso. 3D-Win-ohjelmiston kehitys, ylläpito ja tukipalvelut saavat yrityskaupan myötä lisävahvistusta Novatronin BIM-asiantuntijoista sekä ohjelmistokehittäjistä. 3D-System Oy on suomalainen maanmittausalan ohjelmistoyritys, joka on erikoistunut suunnittelemaan ja tuottamaan ohjelmistoja mittaus-, paikkatieto-, kartta- ja suunnittelutarpeisiin. (Novatron Oy. Yritys. Novatron.fi)

3.1.2 Topgeo Oy

Topgeo Oy on perustettu vuonna 1987 ja on siten pisimpään Suomen markkinoilla toiminut maanmittaus- ja rakennusmittakojien maahantuojana. Topgeo Oy:n toiminta kattaa myös vuokraus- ja huoltotoiminnot sekä koulutus- ja ohjelmistopalvelut.

Topgeo Oy:n erikoisalana ovat maan- ja rakennusmittaukseen sekä paikantamiseen liittyvät ratkaisut. Topcon Corporation joka on Topgeo Oy:n päämies, on alan suurin valmistaja. Topconin tuotevalikoimiin kuuluvat kaikki alan laitteet: vaaituskojeet, digitaaliset vaaituskojeet, teodoliitit, taso- ja putkilaserit, koneohjausjärjestelmät, takymetrit, servotakymetrit ja GPS/Glonass/Galileo satelliittipaikantimet. (Topgeo Oy. Yrityksen kotisivut.)

3.1.3 Trimble Solutions Oy

Trimble Solutions Oy on suomalainen ohjelmistoyritys, joka valmistaa kansainvälisille markkinoille mallipohjaiseen olioteknologiaan perustuvia suunnitteluohjelmistoja ja tietojärjestelmiä. Yritys on perustettu vuonna 1966 Helsingissä nimellä Teknillinen laskenta Oy, ja liiketomintanimeksi vakiintui Tekla. Yrityskaupan myötä Tekla on nykyään Trimble Solutions Oy:n aputoiminimi. Yhtiön kaikki ohjelmistotuotteet liittyvät suunnitteluun. Ohjelmistot soveltavat kolmiulotteista suunnittelua ja suunnitteluobjekteihin on tyypillisesti integroitu myös paikkatieto.

Tuotteita ovat esimerkiksi Tekla Civil, joka tarjoaa kattavan tietokantapohjaisen ratkaisun infrarakentamisen tietomallintamisen tarpeisiin, mahdollistaen ajantasaisen tiedon jakamisen rakennushankkeeneri toimijoiden välillä hankkeen koko elinkaaren eri vaiheissa. Tekla Civil vastaa infrarakentamisen mallintamisvaatimuksiin tarjoamalla kustannustehokkaat työkalut tietomallien laatimisesta suunnitelmien päivittämiseen, sekä infrahankkeen kokonaisvaltaiseen kolmiulotteiseen tarkasteluun ja visualisointiin yhdistelmämalleja hyödyntäen, vastaten myös koneohjauksen ja valmiin hankkeen ylläpidon tarpeisiin. (Tekla Civil- tietomallintaa maailmasi. Tekla.com.)

3.1.4 Leica Geosystems

Hexagoniin kuuluva Leica Geosystems kehittää kattavia ammattilaisratkaisuja. Muun muassa ilmailun ja puolustuksen sekä turvallisuuden, rakentamisen ja valmistuksen, ammattilaiset luottavat laatutuotteistaan ja innovatiivisten ratkaisujen kehittämisestä tunnettuun Leica Geosystemsiin kaikissa paikkatietotarpeissaan. Tarkoilla ja täsmällisillä kojeilla, pitkälle kehitetyillä ohjelmilla ja luotettavilla palveluilla Leica Geosystems tuo joka päivä lisäarvoa maailmamme tulevaisuuden parissa työskenteleville.

Hexagon on anturien, ohjelmisto- ja autonomisten ratkaisujen maailmanlaajuinen johtaja. Se hyödyntää tietoja tehokkuuden, tuottavuuden ja laadun parantamiseksi teollisissa, tuotanto-, infrastruktuuri-, turvallisuus- ja liikkuvuussovelluk-

sisä. Teknologiat vaikuttavat kaupunki- ja tuotantoympäristöjen ekosysteemeihin ja parantavat niiden yhdistettävyyttä ja autonomisuutta — skaalattavaa ja kestävää tulevaisuutta varten.

Hexagonin Geosystems-osasto on tietotekniikan markkinajohtaja. Sillä on ainutkertainen geospaatialiseen ja teollisiin ratkaisuihin keskittyvä portfolio, jonka avulla eri alojen ammattilaiset pystyvät ymmärtämään tarkoin toimintaympäristöään ja suoriutumaan paremmin työstään.

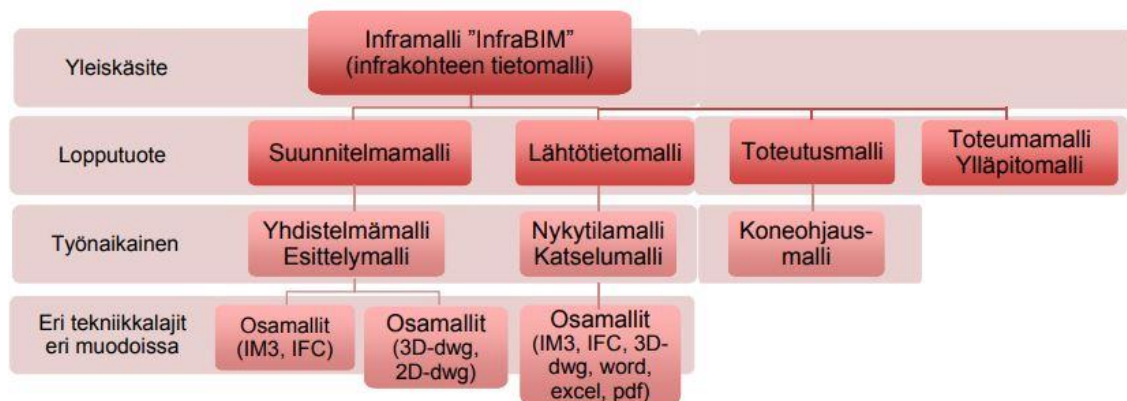
Kuvausteknologiamme luovat digitaalisia maailmoja eri näkökulmista, esimerkiksi yksiulotteiset kuvat kahden seinän välistä, kiinteistöjen väliset rajat tai kaupunkien, infrastruktuurien, sähkö- ja vesiputkistojen, kokonaisten maiden tai vaikkapa rikospaikkojen 3D-kuvat. Ne tarjoavat tärkeää tietoa ymmärtämisen, suunnittelun ja toteutuksen tueksi. Toteutuksen aikana Geosystems'in asemointi-, ohjaus- ja visualisointiratkaisut mahdollistavat maksimaalisen tehokkuuden ja laadun.

Hexagon (Nasdaq Stockholm: HEXA B) -yrityksellä on arviolta 21,000 työntekijää 50 eri maassa, ja sen liikevaihto on noin 3.8 miljardia euroa. (Leica Geosystems. Keitä me olemme? 2021.)

4 Tietomallipohjainen infrarakentaminen

4.1 Tietomallinnus

Tietomalli on InfraBIM-hankkeen mukaan ”digitaalisessa muodossa olevan infra-kohteen 3-ulotteinen kuvaus ominaisuustietoineen” (Liikennevirasto, Tie- ja rata-hankkeiden inframalliohje.12/2017). Infra-alalla tietomallia kutsutaan termillä inframalli. Inframallin hyödyntämisen tavoitteena on, että sillä pystytään hallitsemaan rakennettavan kohteen koko elinkaari aina kohteen suunnittelusta ylläpitoon. Tietomallista käy ilmi rakenteen osien ja niihin liittyvien tietojen kuvaus. Inframalli on yleistermi kaikille hankkeen elinkaaren aikana käytettäville malleille, jotka ovat esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Tietomallinnuksen peruskäsitteet infra-alalla ja tiedonsiirtoformaattit. (Tietomallien hyödyntäminen tien yleissuunnittelussa. Annukka Kylmälä. Liikennevirasto)

4.1.1 Yleiset inframallivaatimukset

Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta buildingSMART Finland (bSF) ja sen Infra-toimialaryhmä vastaa Yleiset inframallivaatimukset- ohjeiston (YIV) julkaisemisesta. Yleiset inframallivaatimukset yhdessä InfraBIM-nimikkeistön ja tiedonsiirtoformaattien määrittelyn kanssa muodostavat yleiset ohjeet sekä vaatimukset inframallintamiselle (kuva 4).

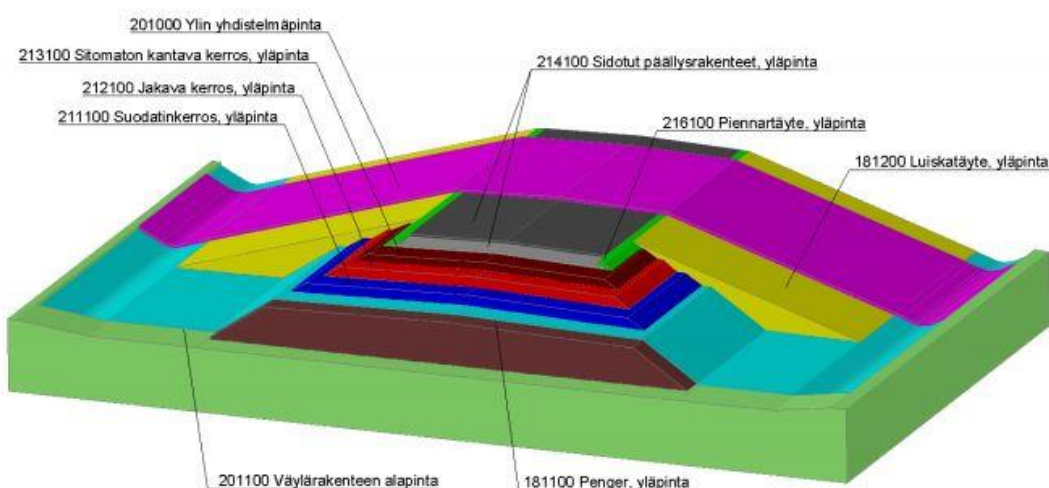


Kuva 4. Tiedonhallinnan "kolmikanta": Yleiset inframallivaatimukset, InfraBIM-nimikkeistö ja tiedonsiirtoformaattien määrittelyt. (YIV 2019)

Mallinnusvaatimukset, nimikkeistö ja formaatit muodostavat tiedonhallinnan "kolmikannan". Jotta tiedonhallinta on toimivaa, näiden tulee olla kunnossa. Inframallivaatimukset on tarkoitettu käytettäväksi myös hankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina. Yleiset inframallivaatimukset kattavat koko hankkeen elinkaaren aina lähtötietoaineistosta kunnossapitoon. Mallinnusohjeiden tavoitteena on ohjata, yhdenmukaistaa ja kehittää mallinnuskäytäntöä koko infra-alalla. (Yleiset inframallivaatimukset 2019.)

4.1.2 InfraBIM-nimikkeistö

InfraBIM-nimikkeistössä esitetään numerointi- ja nimeämiskäytännöt infrarakenteille ja inframalleille. Nimikkeistö perustuu Infra-rakennusosanimikkeistöön ja laajentaa sitä. Julkaisun tavoitteena on saada yhtenäinen numerointi- ja nimeämiskäytäntö, joka palvelee infrarakenteita ja -malleja koko elinkaaren ajan sen eri vaiheissa: lähtötietojen hankinnassa, suunnittelussa, toteutuksessa, toteutuksen mittauksessa sekä kunnossapidossa (building Smart Finland. InfraBIM-nimikkeistö).



Kuva 5. Esimerkki InfraBIM-nimikkeistön mukaisesta pintojen numeroinnista. (InfraBim-nimikkeistö 1.7. BuildingSmart Finland)

Väylärakenne esitetään kuvan 5 mukaisesti rakennepintoina, jotka määritellään InfraBIM-nimikkeistössä rakennusosien avulla. Tämän vuoksi rakennepintojen tulee vastata kulloinkin voimassa olevaa rakennusosanimikkeistöä. Rakennekerroksissa ja pengerrakenteissa mallinnetaan rakennusosan yläpinta ja leikkauksissa sekä kaivannoissa mallinnetaan rakennusosan alapinta. Kuten kuvasta 5 näkee, tämä tieto sisällytetään rakennepinnan nimeen. InfraBIM-nimikkeistö sisältää myös suoraan tiettyyn rakennusosaan kuulumattomia pintoja, joita ovat esimerkiksi 201000 Ylin yhdistelmäpinta ja 201200 Alin yhdistelmäpinta. (BuildingSmart Finland 2015b).

4.1.3 Tiedostoformaattit

Sähköisessä muodossa oleva tieto tulee pitää hyödynnettävissä olevassa muodossa. Ehdoton vaatimus sähköiseen tietoon tallennettuihin tietoihin on ensisijaisesti käyttää avoimia standardeja ja tietomallinnusta tukevia formaatteja. Yhteinen formaatti antaa paremmat lähtökohdat tiedon monikäyttöisyyteen ja säilymisaikaan sekä tehostaa suunnittelutyötä ja antaa yksityiskohtaisempaa tietoa

sisällöstä. Avoin formaatti on infrarakenteiden osalta Inframodel-sisällön ja -määrittelyn mukainen LandXML. Taitorakenteiden avoin formaatti on IFC-tiedonsiirtoformaatti.

Suomalaisten kehittämä Inframodel (IM) on avoin formaatti infratietojen siirtoon, joka perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. Inframodel3-versio on ollut käytössä vaatimuksena vuodesta 2014. Inframodel4-määrittelytyötä on tehty alan toimijoiden toimesta buildingSMART Finlandin (bSF) infran standardointiryhmässä. Sitä hyödynnetään suunnitteluohjelmissa sekä mittaus-, koneohjaus- ja tarkastussovelluksissa. Yhtenäinen toimintatapa ja avoin tietomallipohjainen formaatti on tehostanut suunnittelua ja rakentamista. (BuildingSMART Finland Inframodel 4 käyttöohje.)

Inframodel on LandXML:n osajoukko, mutta se sisältää myös rakennelaajennuksia LandXML-standardin sallimalla tavalla. Tämä mahdollistaa sellaisen tiedon siirron, jota varsinaisessa LandXML-standardissa ei olisi mahdollista siirtää. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi kohteiden nimikkeisiin liittyvä tieto ja vesihuoltoverkostojen kaivoille lisätyt ominaisuustiedot. Inframodel on dokumentoitu suomalaisen käytännön tarpeiden pohjalta ja sitä kehitetään jatkuvasti infra-alan tarpeiden mukaisesti. XML-kieleen perustuvat formaatit ovat luonteeltaan dokumentoivia. Tiedostossa välitetään varsinaisten siirrettävien tietojen lisäksi runsaasti metatietoja eli tietoa tiedosta. XML-kieli on myös rakenteellinen kuvauskieli, joka auttaa jäsentämään laajoja tietomassoja selkeämmin.

Inframodel-esimerkki - metatieto

```
<Units>
<Metric areaUnit="squareMeter" linearUnit="meter" volumeUnit="cubicMeter"
temperatureUnit="celsius" pressureUnit="HPA" diameterUnit="meter" widthUnit="meter" heightUnit="meter" velocityUnit="kilometersPerHour" angularUnit="grads" directionUnit="grads" latLongAngularUnit="grads" elevationUnit="meter"/>
</Units>
```

Kuva 6. Esitetyn aineiston yleistiedot ovat metatietoa, jolla on standardissa vakioidu koneluettava esitystapa. (Inframodel4-käyttöohje. BuildingSMART Finland. 2019)

5 Inframallipohjainen hanke

5.1 Lähtötietoaineisto

Lähtötietoaineisto terminä on määritelty liikenneviraston tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeessa seuraavasti: Lähtötietoaineistolla tarkoitetaan kaikkia hankkeen lähtötietoja dokumentoituna ja harmonisoituna kokonaisuutena, joka kuvaa kohteen lähtötiedot ja nykyisen tilan. Lähtötietoihin sisältyy siis niin mallinnettuja 3D-aineistoja kuin kartta-aineistoja ja dokumenttejakin. (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. 2017). Lähtötietoaineistosta on aikaisemmin käytetty termiä lähtötietomalli.

Lähtötietoaineistoa tarkennetaan suunnitteluprosessin edetessä kunkin suunnitteluvaiheen edellyttämällä tiedoilla. Lähtötietoaineisto toimii suunnitelmamallin pohjana. Nämä mallit pidetään hankkeen edetessä erillään, koska lähtötietoaineisto siirtyy suunnittelun mukana seuraavaan suunnitteluvaiheeseen ja sisältää määritelmänsä mukaisesti vain kyseisen vaiheen lähtötiedot.

Lähtötietoaineiston tuottamiseen tulee varata tarpeeksi aikaa hankkeen alussa. Onnistuneessa lähtötietoaineistossa on kattavat lähtötiedot jo suunnittelun alkuvaiheessa. Tämän jälkeen lähtötietoaineisto seuraa hanketta koko sen elinkaaren läpi päivittyen kussakin suunnitteluvaiheessa syntyneiden uusien lähtötietojen osalta. Päivitykset voivat olla esimerkiksi hankkeen aikana laaditut uudet pohjatutkimukset tai tarkemmat maastomittaukset.

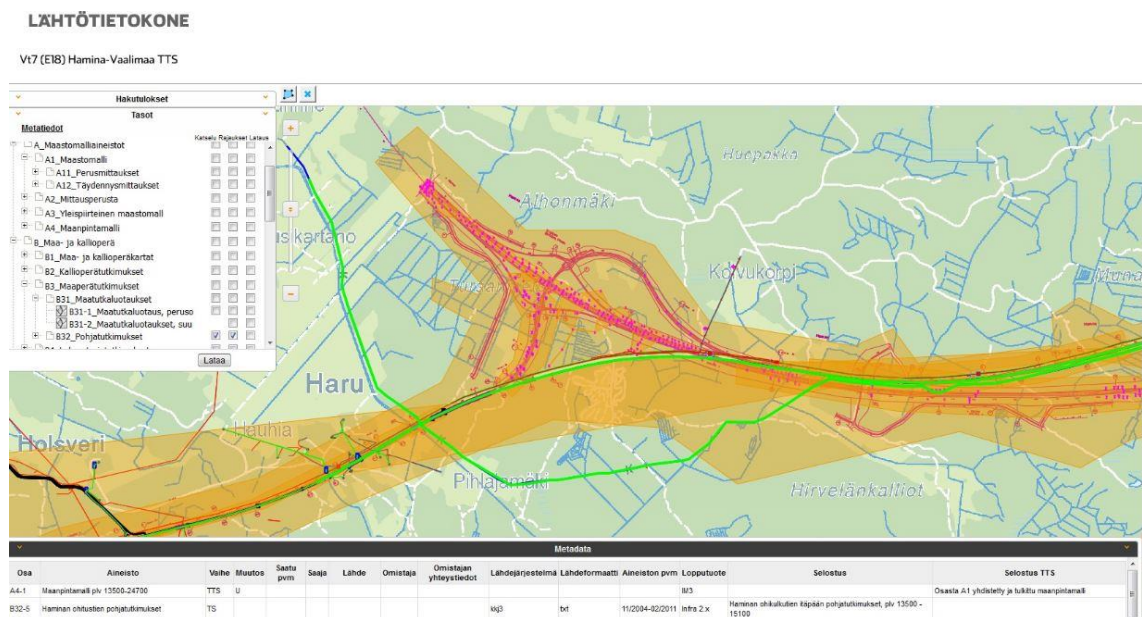


Kuva 7. Lähtötietoaineisto osana hankkeen elinkaarta. (Yleiset inframallivaatimukset 2019)

Lähtötietoaineistoluettelossa tulee olla ainakin seuraavat metatiedot:

- Tiedon alkuperä, tuottaja ja käyttöoikeus.
- Tiedon luomis-, muokkauspäivämäärä ja versio.
- Käytetty koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä.
- Tiedon tarkkuustaso ja laatu.
- Rakenteista rakennetyyppi, rakennusvuosi ja materiaali.

(Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Liikennevirasto. 2019)



Kuva 8. Lähtötietoaineistojen laajuutta voidaan havainnollistaa kartalla. (BuildingSMART Finland. Juha Salmi. Lähtötiedot ovat inframallintamisen peruskivi. 13.3.2015)

5.2 Suunnitelmamalli

Suunnitelmamallilla tarkoitetaan infrarakenteen tai -järjestelmän mallia, joka kattaa suunnittelijoiden suunnitteluratkaisut. Suunnitelmamalli voidaan vaiheistaa tarkemmin esimerkiksi esi-, yleis-, väylä- (tie-, katu- tai rata-) ja rakennus- tai rakentamissuunnitelmamalleihin. Malli jaetaan jokaisessa suunnitteluvaiheessa eri tekniikkalajien mukaan, mikä yksinkertaistaa tiedon käytettävyyttä ja jaottelua muun muassa yhdistelmämallien tarkasteluissa ja kustannuslaskennassa. Eri

osamallit tulee pystyä kirjoittamaan ulos suunnittelujärjestelmästä mallinnusta tukevassa avoimessa formaatissa (Inframodel, IFC tai tarvittaessa 3D-DWG). Mallipohjainen työskentely ja avoimet formaatit tukevat ohjelmistoriippumattomuutta.

Suunnitelmamallista pidetään lokia, josta käy ilmi mitä suunnitelmamalleja hankkeeseen kuuluu ja mistä malleista yhdistelmämalli koostuu, tätä lokia kutsutaan termillä tietomalliloki. Tietomalliloki on hyödyllinen asiakirja tilaajalle tarkastuksen kannalta ja lokista tulee käydä ilmi seuraavat asiat:

- Tekniikkalaji
- Päivämäärä
- Tiedoston nimi
- Tiedoston sijainti
- Vastuuhenkilö
- Toimenpiteet ja huomautukset

Suunnitelmamallien päivitettyt ja ajantasaiset versiot tallennetaan yhteiseen paikkaan kuten projektipankkiin. Tällöin kaikki tarvittavat versiot ovat kunkin toimijan hyödynnettävissä. (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. 2017. Liikennevirasto)

Tietomalliloki					
					Projekti Tilaaja
Tekniikkalaji	Pvm.	Kuka	Löytyy mallist	Tiedoston nimi	Toimenpiteet/Huomautukset
TS30 - Lähtötiedot (Maasto-,Kallio- ja maaperämallit)					
Lähtötiedot	4.12.2014	vpal	Kyllä	TS30_Maaston_pintamalli.xml	Maastomallin käsittely. Lopullinen maastomalli suunnittelutietokantaan. Kirjoitettu IM3 formaattiin 4.12.2014 ja lisätty yhdistelmämalliin
Lähtötiedot	28.5.2015	liti	Kyllä	TS30_Kallion_pinta.xml	Pintamallissa kolmiointirutiineista johtuvia reikiä, myös kolmion maksimisivun pituus vaikuttaa (tulkinnat).
Lähtötiedot	28.5.2015	LKE	Kyllä	TS30_Maapinta.xml	Pintamallissa kolmiointirutiineista johtuvia reikiä. Koko mittausaineisto samassa mallissa.
Lähtötiedot	2.6.2015	LKE	Kyllä	TS30_Pohjaveden_pinta.xml	
Lähtötiedot	2.6.2015	LKE	Kyllä	TS30_Saven_Ap.xml	
Loput yhdistelmämalliin otetuista lähtöaineistoista löytyy lähtötietomallista (maakaasu, kaiteet, rummut, liikennemerkkit, valaistus, hule- ja jätevesi, vesijohto, sähköverkko, valaistus, Eissa...					
TS40 - 60 Geometrinen suunnittelu					
Tie	30.6.2015	KSi	Kyllä	J10_ayp_vyp.xml	Keven liikenteen väylän varaus
Tie	30.6.2015	KSi	Kyllä	K6_ayp_vyp.xml	Tiesuunnitelma vaihtoehto 1A2: K6 ramppien R1 ja R3 yli
Tie	30.6.2015	KSi	Kyllä	M2_Tavoite_ayp_vyp.xml	Tiesuunnitelma varaus - rampin vasemmalle kääntymiskaistat
Tie	30.6.2015	Lke	Kyllä	Tiesuunnitelmarajat.dwg	Tiesuunnitelmapakartasta otettu tiesuunnitelman rajat
Kuivatus	Kuivatus mukana väylämalleissa		Kyllä		

Kuva 9. Esimerkkikuva tietomallilokista. (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. 2017. Liikennevirasto).

5.3 Yhdistelmä- ja esittelymallit

Yhdistelmämalli on eri tietomalleista yhdistetty inframalli, joka pystytään muodostamaan käyttötarkoituksen mukaan. Yhdistelmämallia hyödynnetään erityisesti tekniikkalajien yhteensovituksessa ja vuorovaikutuksessa. Yhdistelmämallin avulla voidaan tehdä esimerkiksi teknistä havainnollistamista, esittävää havainnollistamista sekä törmäystarkastelua.

Yhdistelmämallissa on yhdistettynä eri tekniikkalajien suunnittelumallit sekä lähtötietoaineisto. Yhdistelmämalliin kootaan kaikki tarvittava aineisto yhteen kuten johdot, rakenteet, pohjatutkimustiedot ja maanalaiset tilat. Mallit, mitä yhdistelmämalliin kootaan, määritetään käyttötarkoituksen mukaan. Tietylle alueelle rajattu kohennettu malli on toimiva, kun tarkastellaan jotain tiettyä kohtaa kokonaisuudesta, kuten esimerkiksi siltapaikkaa. Säännöllinen yhdistelmämallin kokoaminen on osa jatkuvaa laadunvarmistusta. Yleisissä inframalli vaatimuksissa (YIV2019) yhdistelmämallin toiminnallisuuksia on:

- valmiit näkymät
- osamallien ryhmittely
- osamallien valikointi (päälle tai pois)
- kommentointi (kommenttien tallennus)
- tiedot (kyselymahdollisuus)
- mahdollisuus hyödyntää hankkeessa määriteltyjä tiedonsiirtoformaatteja.

Esittelymallia käytetään erityisesti sidosryhmätyöskentelyssä ja yleisötilaisuuksissa tukemaan vuorovaikutusta ja päätöksentekoa sekä viestinnässä ja markkinoinnissa. Esittelymallin avulla yleisölle voidaan saada parempi käsitys rakennettavasta kohteesta, koska yleisölle on usein tärkeää, että nykytilanne on esitetty mahdollisimman realistisena. Suunniteltu tilanne voi olla esitystavaltaan teknisesti monimutkaisempi ja enemmän luonnosmaisempi.



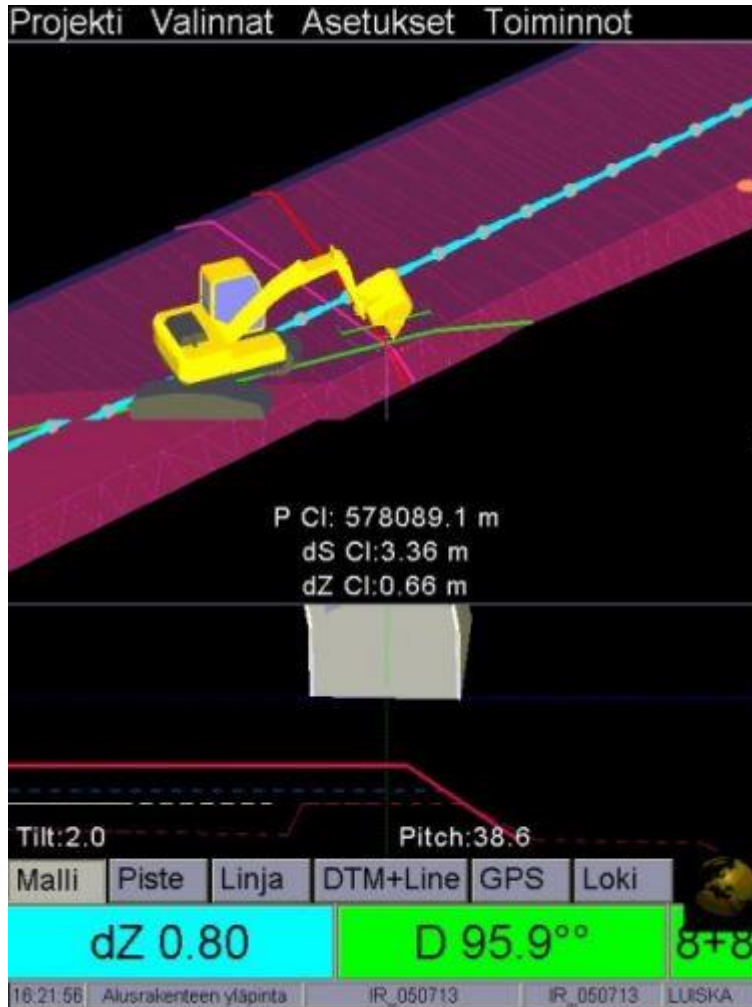
Kuva 10. Yhdistelmämallin ja esittelymallin eroavaisuudet. Yhdistelmämallissa tärkeintä on tekninen yhteensovitus ja suunnitelmaratkaisujen toimivuuden tarkastaminen. Esittelymallissa keskitytään mahdollisimman todenmukaiseen esitystapaan. (Tie- ja ratahankkeiden mallintamisohje. 2017)

5.4 Toteutusmalli

Toteutusmalli eli koneohjausmalli on rakennettavan kohteen kolmiulotteinen malli, joka tuotetaan aikaisemmin työssä esitellystä suunnitelmamallista. Rakennepintojen toteutusmallit muodostavat 3D-taiteviivoista ja niistä tuotetuista kolmioverkkomalleista. Työmaalla voidaan käyttää pelkästään taiteviiva-aineistoa, kolmioverkkomalleja tai molempia yhdessä (buildingSMART Finland 2018a. Toteutusmallin tuottaminen ja siirtäminen.).

Ilman kolmioverkkomallia olevat taiteviiva-aineistot voivat olla esimerkiksi kaapelilinjoja tai putkilinjoja. Kolmioverkkomallit ovat rakenteiden pintoja. Yhdessä niitä

voidaan käyttää esimerkiksi putkikaivannoissa, jossa kolmioverkkomalli on putkikaivannon rakennepinnat ja taiteviiva-aineistona on rakennettava putkilinja.



Kuva 11. Työkoneen kuljettajan näkymä Novatronin kaivinkoneen koneohjausjärjestelmässä. Käyttöliittymän alaosan poikkileikkausnäytöllä näkyvät eri rakennekerrosten inframodel-mallit. (Tietomallipohjaisen suunnittelu- ja rakentamisprosessin Inframodel3-pilotti. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. 17.2015)

Suunnitteluohjelmistot eivät tällä hetkellä pysty tuottamaan vaatimusten mukaisia toteutusmalleja, joten niihin tarvitsee tehdä muokkauksia, jotta vaatimukset täyttyisivät. Muokkauksia voivat olla esimerkiksi InfraBIM-nimikkeistön mukainen nimeäminen, taiteviivojen lisääminen tai ylimääräisten taiteviivojen poistaminen.

5.5 Toteumamalli

Toteumamallilla tarkoitetaan inframallia, joka kuvaa infrarakenteen sellaisena kuin se on laatuvaatimukset mukaan lukien toteutettu. Toteumamalliin saadaan kerättyä rakentamisen aikana käytetty ja saatu aineisto kuten esimerkiksi kone-ohjauksella mitatut toteumapisteet. Toteumamalli pitää sisällään lopullisen toteutuksen toteumamallit, tarkemittaukset, toteumamittaukset ja erityiset kartoitustiedot. Toteumamallin tarkoituksena on todentaa tilaajalle, että rakennettu kohde on toteutettu vaatimusten mukaisesti. Toteumamalli toimii myös hyvänä menetelmänä laadunvarmistuksessa. Toteumamalli toimii myös lähtötietona tilaajalle kunnossapitoprosessissa.

Tie-, katu- ja väylärakenteen toteumamalli koostuu seuraavista INFRA 2015 rakennusosa- ja hankenimistön mukaisista rakennusosista:

- 1100 Olevat rakenteet ja rakennusosat
- 1200 Pilaantuneet maat
- 1300 Perusrakenteet
- 1400 Pohjarakenteet
- 1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot
- 1700 Kallioleikkaukset ja -kaivannot
- 1800 Penkereet, maapadot ja täytöt
- 2000 Päällys- ja pintarakenteet
- 2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset
- 2200 Reunatuet, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset
- 2300 Kasvillisuusrakenteet
- 2400 Ratojen päällysrakenteet
- 3100 Vesihuollon järjestelmät
- 3200 Turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät
- 3300 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät
- 3400 Lämmön- ja kaasunsiirtojärjestelmät
- 3600 Imujätejärjestelmät

(Yleiset Inframallivaatimukset 2019)

6 Yksinkertaisen koneohjausmallin luominen Novatronin koneohjausjärjestelmällä

6.1 Lähtötiedot oman koneohjausmallin luomiseksi

Oman koneohjausmallin luomiseen tarvitaan vähintään kaksi pistettä, joiden väliin esimerkiksi ojamalli tai talonpohja luodaan. Pisteet voidaan syöttää järjestelmään manuaalisesti, tai ne voidaan mitata suoraan järjestelmällä. Oman mallin voi luoda myös järjestelmään tuoduista pisteistä, kuten esimerkiksi suunnittelijan määrittelemistä kaivopisteistä. Pisteiden korkotietoja on mahdollista muokata vielä mallin luontivaiheessa.

Koneohjausjärjestelmällä voidaan yksinkertaisesti luoda kolmenlaisia malleja: linja-, piste- tai pintamallin. Pistemalleja ovat esimerkiksi valaisinpylväät sekä kaivot. Linjamalleja ovat esimerkiksi putkilinjat, ojat tai kaapelilinjat. Pintamallit ovat rakennepintoja kuten rakennusten pohjat. Tässä työssä esitetään vaiheittain, kuinka koneohjausmallin voi itse tehdä. Ohjeen lähteenä on käytetty Novatron Oy:n verkkosivuilta löytyvää artikkelia: "Näin luot oman koneohjausmallin Novatronin koneohjausjärjestelmällä".

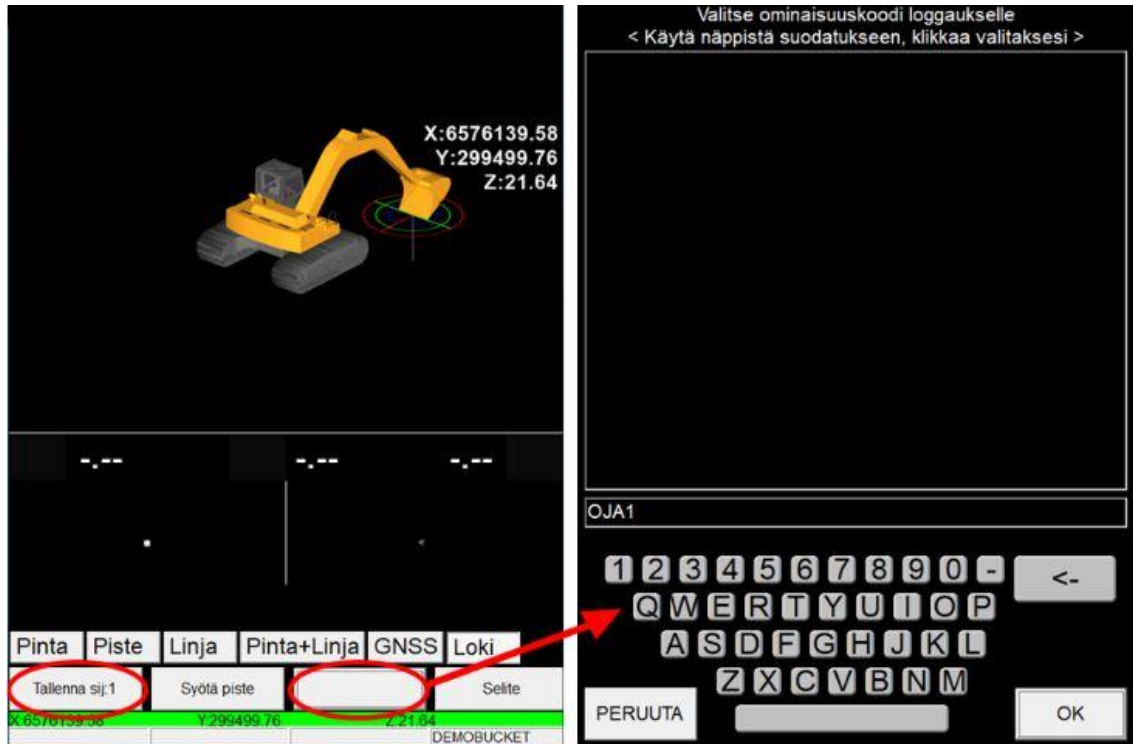
Esimerkissä esitetään, kuinka yksinkertainen ojamalli luodaan.

6.2 Ojamallin luominen

Esimerkissä luodaan koneohjausmalli suorasta ojasta. Ensimmäisenä mitataan koneohjausjärjestelmällä pisteet ojan keskikohdasta, jotta saadaan selville tulevan ojan pohjan korkeus:

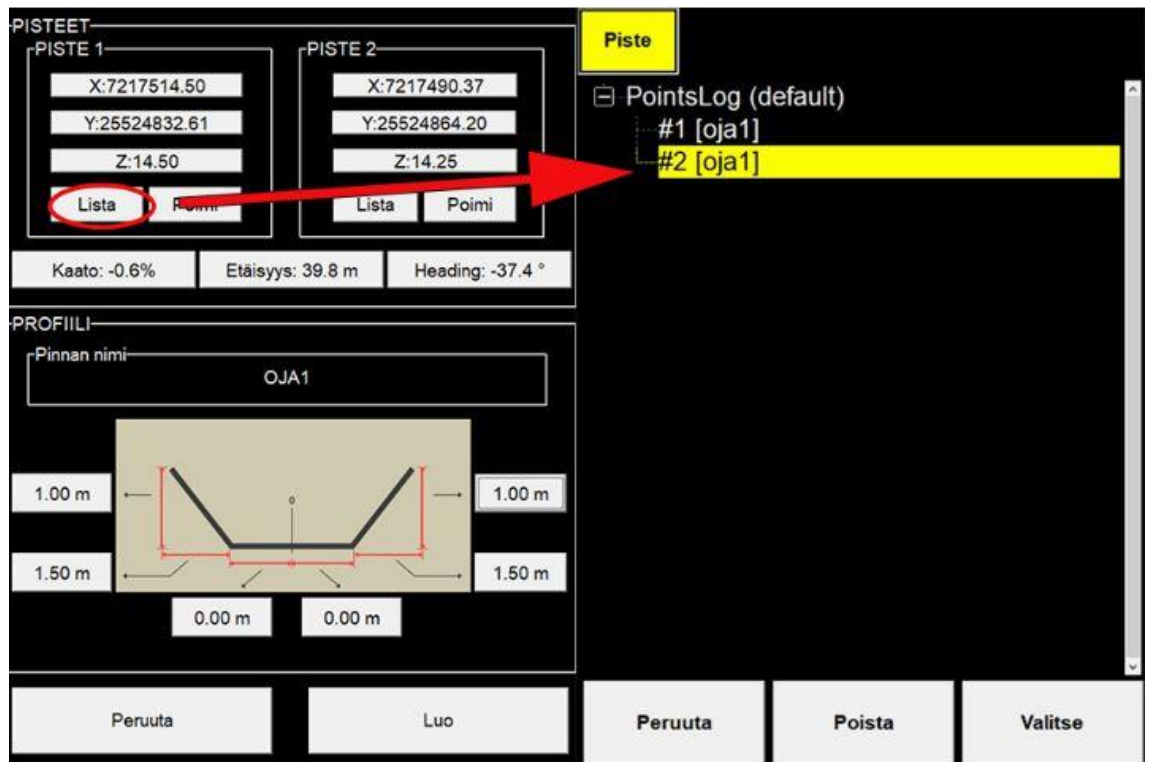
1. Asetetaan kauhan mittapiste ojan keskikohtaan.
2. Valitaan koneohjausjärjestelmän näytöltä "Loki"- välilehti.

3. Valitaan toinen painike oikealta. (Painikkeessa lukee viimeksi käytetyn pisteen koodi)



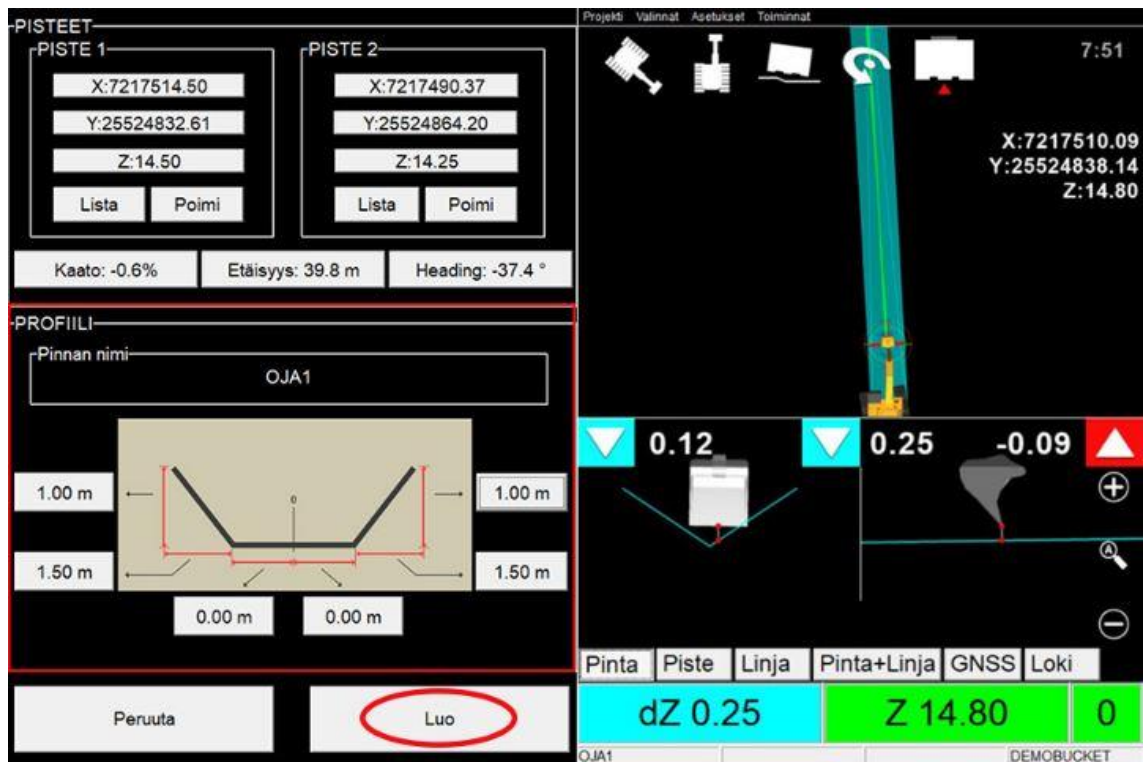
Kuva 13. Pisteiden mittaus ojanpohjaa tehdessä. (Näin luot oman koneohjausmallin Novatronin koneohjausjärjestelmällä. 14.4.2020. Novatron OY.)

4. Syötetään pisteelle koodi. Esimerkiksi Oja 1, ja valitaan ok.
5. Valitaan "Tallenna sij." Näin ojan aloituspiste on tallennettu suoraan järjestelmään.
6. Siirretään kone ojan päähän. (Jos kyseessä ei ole suora oja, kone siirretään ojan taitekohtaan kunnes saavutetaan ojan lopetuspiste.)
7. Asetetaan kauha ojan keskelle pohjaan ja painetaan "Tallenna sijainti". Ojan lopetuspiste on näin tallennettu järjestelmään.
8. Tarvittavien pisteiden määrityksen jälkeen valitaan ylävalikosta: Toiminnot: Luo referenssilinja.
9. Valitaan ojan pisteet "Lista" toiminnolla.
10. Valitaan PISTE 1- osioon ensimmäisenä tallennettu piste listalta. Sen jälkeen valitaan oikeasta alakulmasta "Valitse" (Kuva 14.)



Kuva 14. Ojan pisteiden valinta listasta. (Näin luot oman koneohjausmallin Novatronin koneohjausjärjestelmällä. 14.4.2020. Novatron OY.)

11. Valitaan PISTE 2- osioon toisena tallennettu piste listalta. Sen jälkeen valitaan oikeasta alakulmasta "Valitse".
12. Järjestelmä näyttää nyt valittujen pisteiden koordinaatit, sekä niiden väliin tulevan linjan:
 - Kaadon prosentteina (Kaato: -0.6 %)
 - Pituuden (Etäisyys: 39.8 m)
 - Suunnan (Heading: -37.4°)
13. Valitaan "Pinnan nimi", ja nimetään malli esimerkiksi OJA 1. (Kuva 15.)



Kuva 15. Kaatoprosentin, alku- ja loppupisteen koordinaattien muokkaus. Järjestelmään syötetään mitat metreinä. Oikealla kuva tallentamien pisteiden välille luodusta linjasta ja pintamallista. (Näin luot oman koneohjausmallin Novatronin koneohjausjärjestelmällä. 14.4.2020. Novatron OY.)

14. Koska mallissa halutaan luoda pintamalli ojasta, määritämme ojan profiileiksi luiskat 1:1,5. Ojan leveys- kohta jätetään arvoon 0.00 m. Halutessasi voidaan syöttää leveydeksi esim. 0.25 m oikealle ja 0.25 m vasemmalle, jolloin ojan pohjasta tulee 0.5 m leveä.
15. Tarkistetaan, että syötetyt tiedot ovat oikein.
16. Valitse "Luo".

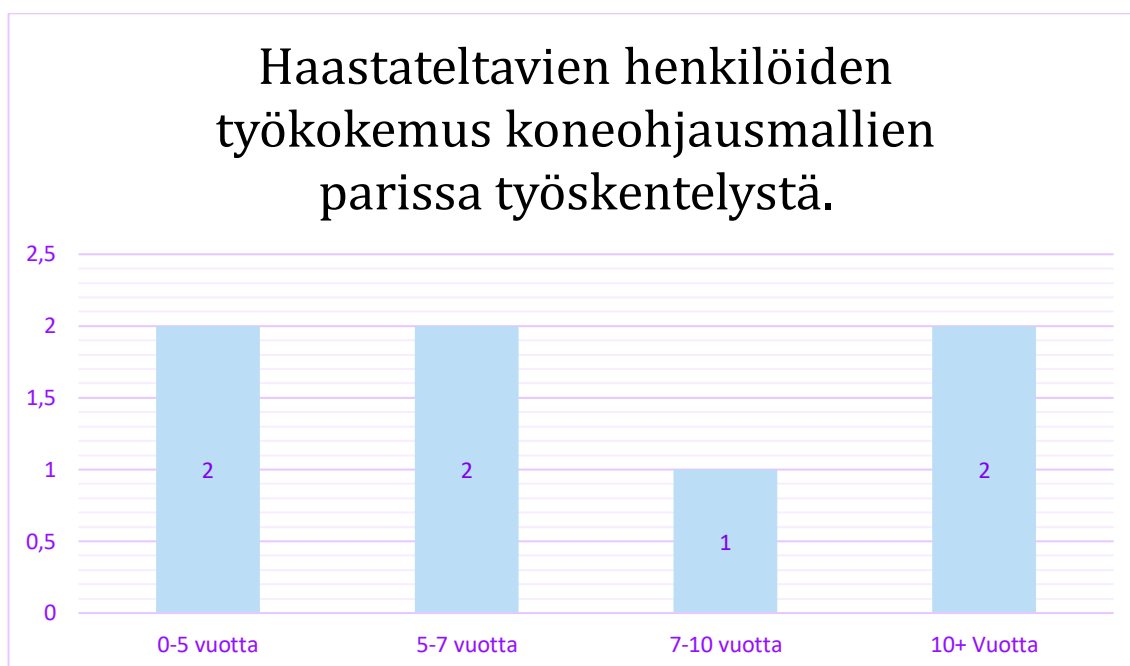
Järjestelmä luo tallennettujen pisteiden väliin linja- ja pintamallin annetuilla arvoilla. Yksinkertaisen ojalinjan koneohjausmallin tuottaminen on valmis.

7 Nykytilakartoitus Tampereen Infra Oy:ssä

7.1 Tutkimusmenetelmä

Nykytilakartoituksen tutkimusmenetelmänä käytettiin haastattelututkimusta. Haastattelut toteutettiin sähköpostitse, sekä puhelimen välityksellä. Haastattelut toteutettiin etänä maailmalla vallitsevan koronavirus-pandemian vuoksi. Haastatteluiden avulla tehtiin kartoitusta tietomalliprosessin nykytilasta. Nykytilakartoituksen tarkoituksena oli selvittää miten, koneohjausmalleja voidaan työmailla hyödyntää, minkälaisia kokemuksia koneohjauksen käytöstä on ollut, kuinka selkeää ja toimivaa koneohjauksen käyttö nykyhetkellä on sekä onko tietomallipohjaisessa rakentamisessa ilmennyt ongelmia, mitkä ovat tehneet koneohjauksen käytöstä epäkäytännöllisempää tai haitannut työn suorittamista.

Samalla haastatteluissa käytiin myös läpi mahdollisia kehitysideoita, joiden avulla tietomalliprosessista saataisiin toimivampi ja tehokkaampi. Kehitysideoita lähdettiin haastattelemaan, sillä periaatteella, että ne palvelisivat mahdollisimman hyvin kaikkia rakentamisen osapuolia, joita ovat rakennuttaminen, suunnittelu, tietomallien koordinointi, työnjohto niin rakentamisen puolella kuin paikkatietopalveluiden puolella, mittaushenkilöt, koneohjausmallin käyttäjät eli työkoneiden kuljettajat sekä työmaalla työtä tekevät infra-rakentajat. Haastatteluiden aikana ilmenneiden kehitysideoiden pohjalta tehdään esitys prosessin kehittämistä.



Kaavio 1. Haastateltavien henkilöiden työkokemus koneohjausmallien parissa.

Haastateltavia osapuolia työssä olivat:

- paikkatietopalveluiden työnjohto
- rakentamispalveluiden työnjohto
- tietomallikoordinaattori
- mittamies
- infra-rakentaja
- työkoneiden kuljettajia.

Haastateltavilla oli kokemusta seuraavista työtehtävistä: suunnittelun lähtötiedon ja toteumatiedon tuottamisesta, koneohjausmallien tuottamisesta, hankkeiden tiedonhallinnasta, suunnitelmatietojen toimittamisesta tilaajan järjestelmiin, tukiasemien koordinoinnista, hankkeen osapuolien perehdyttämisestä koneohjauksen käyttöön, koneohjausta hyödyntävien koneiden työnjohdosta, prosessin kehittämisessä sekä koneohjauksen käytöstä. Haastateltavien henkilöiden joukko pyrittiin valitsemaan sellaisesta joukosta, jotka työskentelevät päivittäin tietomallinnuksen ja etenkin koneohjausmallien parissa. Haastatteluista saadut tulokset käydään läpi työn teettäjän kanssa. Tutkimustulosten perusteella tehdään esitys prosessin selkeyttämisestä ja mahdollisista jatkotoimenpiteistä.

7.2 Oikeanlaisen mallin tilaaminen työmaalle

Tampereen Infra Oy:ssä koneohjaus on laajalti käytössä erilaisilla työmailla. Koneohjauksen käyttö on yleistynyt huomattavasti viime vuosina ja nykypäivänä koneohjausta pystytään hyödyntämään laajalti myös pienemmissä saneeraus ja viherrakentamisen kohteissa. Esimerkkejä työmaista, missä koneohjausta on Tampereen Infra Oy:ssä hyödynnetty: kadun saneerauskohteissa, katujen rakentamisessa, vesihuoltolinjojen rakentamisessa, meluvallien rakentamisessa, piha-alueiden rakentamisessa, liikunta-alueiden rakentamisessa, puistorakentamisessa sekä muissa viherrakentamisen kohteissa.



Kuva 16. Johanneksen koulun pihan perusparannus vuoden 2020 kesällä.

Kuvassa 16. esiintyvällä työmaalla toimin työnjohtoharjoittelijana kesällä 2020. Työmaalla koneohjausta pystyttiin hyödyntämään monessa eri työvaiheessa ja sen avulla saavutettiin huomattavaa hyötyä aikatauluissa. Koneohjausta hyödynnettiin koulun pihalla olevan urheilukentän salaojituksen rakentamisessa, urheilukentän pinnan muotoilussa, piha-alueelle sijoitettavien leikkivälineiden pohjien

muotoilussa sekä niiden paikalleen sijoittamisessa. Koneohjauksen käytössä tuolla kyseisellä työmaalla ei ilmennyt ongelmia ja mallin sisältö oli toimiva vaadittujen työvaiheiden kannalta. Koneohjauksen käytön takia esimerkiksi mittamiestä ei tarvinnut tilata työmaalle sellaisissa työvaiheissa, missä perinteisesti mittamiestä olisi tarvinnut.



Kuva 17. Perinteisen työmaan ja mallipohjaisen työmaan erot. Mallipohjaisella työmaalla säästetään paljon mittamiehen työtä ja näin resursseja. (Novatron. Avoin koneohjauškoulutus. 2020)

Tampereen Infra Oy:ssä on toimintatapana, että rakentamispalveluiden työnjohto on vastuussa rakennettavan kohteen mallin oikeellisuudesta, tarkistusapuna on käytössä Tampereen Infra Oy:n oma paikkatietopalvelu. Koneohjausmalli tilataan Tampereen Infran paikkatietopalvelusta, jossa on sovittu yhdessä peruspaketista mikä sisältää kerrosmallit, vesihuollon, valaistuksen, taustakartat ja työmaan lisäpyynnöstä tarvittavan lisätiedon, joka vaihtelee mallin tarpeiden mukaan rakennettavassa kohteessa. Työnjohto toimittaa tarvittavat tiedostot, kuten ajantasaiset rakennesuunnitelmat, poikkileikkauskuvat sekä muut tarvittavat suunnitelma tiedostot mallin tekemistä varten ja yhteistyössä paikkatietopalveluiden kanssa käydään läpi, minkälainen malli työmaalle tarvitaan ja mitä muita ominaisuuksia mallilta vaaditaan. Tarvittaessa koneohjausmalliin pystytään mallintamaan myös olemassa olevat vanhat putkitiedot sekä maaperässä olevat rakenteet. Tällöin työskennellessä olemassa olevien rakenteiden lähellä niitä osataan myös varoa

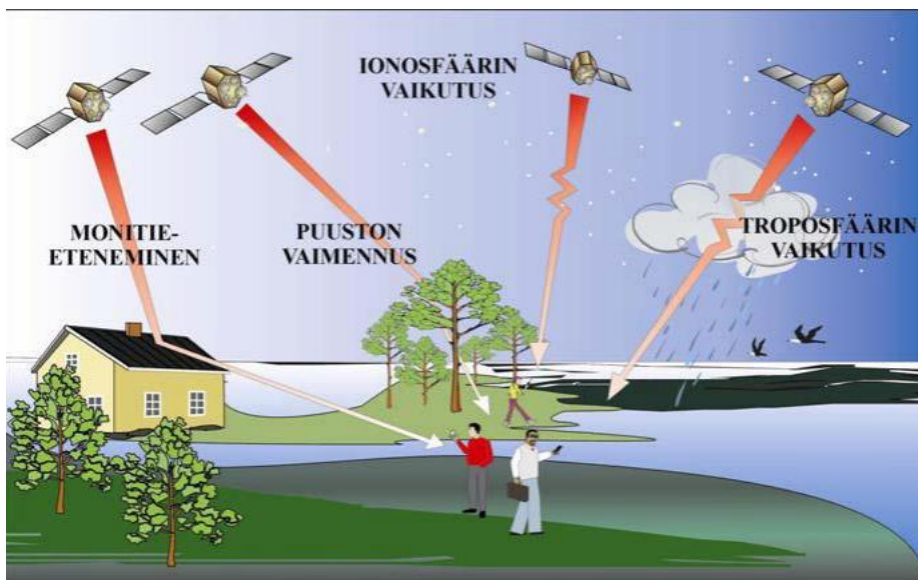
turvallisemmin. Olemassa olevaan putkitietoon ei kuitenkaan voida täysin luottaa, koska maan alta voi löytyä myös sellaisia rakenteita, joita suunnitelmiin ei ole merkitty. Eli Tampereen Infra Oy:ssä on toimintatapana se, että työnjohto vastaa työmaalle tulevasta mallista ja sen oikeellisuus käydään läpi paikkatietopalveluiden työnjohdon kanssa. Nykyisellä toimintamallilla työnjohtajalle jää suuri vastuu siitä, että mallissa on kaikki tarpeellinen tieto ja oikeat asiat, mitä rakennettavalla kohteella tarvitaan. Työnjohto myös varmistaa, että suunnitelmat ovat ajantasaiset, ennen kuin antaa toimeksiantoja koneohjausmallin tekoa varten. Jos suunnitelmia ei tarkistettaisi ja niihin olisi jäänyt jotain päivittämätöntä tietoa, kuten rakennettavan kohteen vääriä sijaintitietoja mallista tulisi käyttökelvoton.

Työmaan alussa on suositeltavaa, että mittamies suorittaa tarkastusmittaukset takymetrillä, jotta varmistetaan koneohjausmallin oikeellisuus ja vastaavuus mittamiehellä oleviin tietoihin. Mittamiehellä olevia tietoja verrataan koneohjausmallin sisältöön, koska mittamiehellä olevat tiedot ovat yleensä ajantasaisia ja jos koneohjausmalliin on jäänyt vanhentunutta tietoa ne ovat mittamiehen tiedoissa päivitetty. Suuremmilla hankkeilla koneet ovat yhdistetty pilvipalveluun, josta mallit tulevat työkoneen koneohjausjärjestelmään automaattisesti. Langaton pilvipalvelu tekee työmaan ja toimiston välisen tiedonsiirron huomattavasti tehokkaammaksi, kun suunnitelma-aineisto voidaan siirtää langattomasti työkoneisiin ilman käyntiä työmaalla. Vastaavasti työkoneen keräämää toteumatietoa voidaan lähettää toimistolle jatkojalostukseen tai työn seuranta varten. Pienemmillä Tampereen Infra Oy:n urakoilla mittamies voi tuoda mallin työkoneeseen USB-tikun avulla. Mikäli työkoneeseen tuodaan työkoneeseen USB-tikun avulla, tarvitsee tikulle luoda looginen hakemistorakenne ja jokainen malli tulee tallentaa omaan kansioonsa, koska malli, jolla työtä tehdään, valitaan kansion sijainnin sekä kansion nimen perusteella.

7.3 Ongelmakohtat

Haastatteluiden aikana kävi ilmi, että tietomallipohjainen rakentaminen on hyvällä tasolla ja siitä saadaan hyvin hyödynnettyä. Suurimpana ongelmana työkoneiden kuljettajat pitivät katvealueella työskentelyä, jolloin koneohjausta hyödyntävä työkone kadottaa satelliittipaikannussignaalin, milloin koneohjauksen tarkkuus

vaihtelee merkittävästi. Tämänlaisia katvealueita voivat olla esimerkiksi tiheä kasvillisuus, korkeat rakennukset, rakennuksen seinustan lähellä työskentely sekä maastossa esiintyvät suuret korkeuserot, näitä ongelmia on havainnollistettu kuvassa 18. Signaalin kuuluvuudesta johtuvia ongelmia on vaikea poistaa, mutta työkoneen sijainnin vaihtamisella näitä ongelmia voidaan vähentää.



Kuva 18. Satelliittipaikannuksen virheisiin vaikuttavia tekijöitä. (Koneohjauksen ongelmat työmaalla. Mikko Kiiskinen. 21.4.2015)

Osa kaivinkoneen kuljettajista koki koneohjausjärjestelmien jatkuvan päivittämisen hankalaksi, kun on opetellut työskentelemään tietynlaisella järjestelmällä ja päivittämisen jälkeen vanhaksi totuttu tapa ei enää ole toimivaa. Tämänkaltainen ongelma oli esimerkiksi kadunrakentamisessa työkoneen näytöllä ennen näkynyt paaluväli, missä työtä suoritettiin ja nyt päivittämisen jälkeen paalulukemaa ei enää näytöllä näkynyt. Päivittämiseen liittyviä ongelmia havaittiin vain hyvin harvoin ja useimmissa tapauksissa ongelmat pystytään korjaamaan vaihtamalla koneohjausjärjestelmän asetuksia siten, että työkoneen ohjaamossa sijaitsevan näyttöpäätteen (kuva 19.) näkymä saatiin totuttuun tapaan sopivaksi.



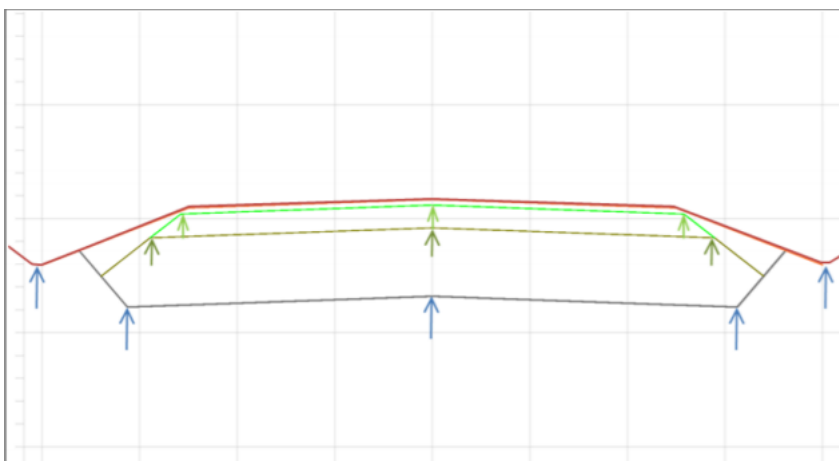
Kuva 19. Kaivinkoneen ohjaamossa sijaitseva näyttöpäätte, josta työn tekemistä seurataan. (Maanrakennusalan digitalisaatio etenee Suomen johdolla- Novatron raivaa elintilaa patentoimalla. ww.kolster.fi)

Mallien sisällöissä on havaittu eroavaisuuksia eri työmaiden välillä. Osassa työmaista mallien sisältö on ollut oikeanlainen ja helppokäyttöinen, sekä sisältänyt kaiken tarvittavan tiedon rakentamista varten. Osalla työmaista koneohjausmalleissa on ollut jotain tarpeetonta tietoa, mikä saattaa aiheuttaa ongelmia mallien kanssa työskentelyn selkeydessä. Mallin tekijän on oltava tarkkana mallia tehdessä, että tehdyssä koneohjausmallissa on yhteneväinen sisältö perinteisten suunnitelmien kanssa. Mallin tekijän tulee tietää ja arvioida, mitä kyseisellä projektilla mallilta halutaan. Mallin sisällön oikeellisuus sekä ylimääräisten tietojen siivoaminen takaa mallin selkeyden ja paremman toimivuuden. Mallien sisältö vaihtelee rakennettavan kohteen tarpeiden mukaan ja jos malleissa on tarpeetonta ja ylimääräistä tietoa sen rakennettavan kohteen oleellisen tiedon selkeys voi kärsiä tästä. Mallien sisältö tulisi käydä mallintekijän kanssa huolellisesti läpi, jotta ylimääräiseltä tiedolta vältyttäisiin ja myös varmistettaisiin mallien sisällön oikeellisuus. Tässäkin työvaiheessa hyvä kommunikaatioyhteys eri osapuolten välillä ja selkeiden ohjeiden antaminen tuottaa halutun lopputuloksen.

7.4 Kehittämisideoita

Rakentamispuolen haastatteluista kävi ilmi, että koneiden mittaamia toteumapisteitä on hieman hankala seurata. Aiemmin Tampereen Infrassa oli käytössä InfraKit-alusta, jonka avulla infrarakennusprojektin eri osapuolet kuten tilaaja, urakoitsija, valvojat ja suunnittelijat voivat toimia tehokkaasti yhteistyössä. Infrakit-pilvipalvelu käsittelee sähköisessä muodossa olevia suunnitelma- ja toteumatietoja yhdistelmämallina avoimissa formaateissa ja sen avulla voi tehdä tietojen hallintaa, näyttämistä ja jakamista.

Sitten Tampereen Infra on siirtynyt FTP-serverille, jolloin työnjohdolla ei ole mitään työkaluja toteumapisteiden seuraamiseen. Oteita karttapohjalta on mahdollista kysyä paikkatietopalvelusta, mutta tätä toimenpidettä pidettiin hankalana ja epäkäytännöllisenä prosessin päivittäisessä seurannassa. Työnjohdon mielestä tulisi vahvasti harkita jonkinlaista tapaa, jolla työnjohto tietää mitä koneohjaustoteumia koneurakoitsijat ovat ottaneet.



Kuva 19. Työkoneella tehtävät toteumamittaukset ovat tavoitteena tehdä rakenteen poikkileikkauksen määrittävien taitteiden kohdilta. Työkoneen kuljettajille tehdään vastaava projektikohtainen mittausohje työkoneella tehtävien mittauksen toteuttamiseen. (Yleiset Inframallivaatimukset. YIV 2019.)

Toteumapisteiden ottaminen on työkoneen kuljettajalle nopeaa ja vaivatonta, kun taas toteumapisteiden tarjoama tieto antaa paljon hyödyllistä tietoa projektin toteutuksesta. Toteumamittauksella osoitetaan tehdyn työn kelpoisuus suhteessa suunnitelmiin ja laatuvaatimuksiin. Toteumapisteiden ottaminen ja tallentaminen on tällä hetkellä hyvällä tasolla, mutta työkalu siihen, että projektinjohto voisi niitä

päivittäin seurata antaisi paremmat työkalut työnjohdolle laadunvarmistukseen ja työn seurantaan. Toteumapisteiden osalta kallionpinta, maaleikkaus ja kerrosrakenteiden mittaaminen toimii kohtalaisen hyvin, mutta kanaalin taitepisteiden ottaminen on haastavaa ja siinä havaittiin kehittämisen tarvetta.

Haastatteluiden mukaan koneohjausmallien täytyisi tulla suunnittelijalta valmiina mallina, mikä helpottaisi prosessin kulkua. Nyt suunnittelijalta malli tulee vektoriaineistona.

Suurena haasteena pidettiin toiminnan pirstaleisuutta. Organisaatioita, jotka tilaavat suunnittelua, suunnittelevat, rakentavat, rakennuttavat, ylläpitävät tietoja on monia kuten Tampereen Vesi, Vera, Tampereen Infra Oy, Tampereen Kaupunki ja allianssit. Tietomalliprosessi ei ole kokonaisuutena kenelläkään taholla kunnolla hallussa, kaikki toimivat hieman eri tavalla eri ympäristöissä ja ei välttämättä osaa ottaa huomioon muiden osapuolien tarpeita vaadittavalla tasolla. Prosessista puuttuu siis yhteiset pelisäännöt ja tavoitteet. Jokaisella hankkeella ja osapuolella täytyisi olla selvää, mitä ja miten täytyy kenenkin tehdä, jotta toimintatukisi myös muita osapuolia. Tämän takia tulisi luoda yhdessä hyvät ohjeistukset ja tavoitteet tiedonhallinnalle ja näitä asioita tulisi sen jälkeen vaatia esimerkiksi sopimuksissa sekä valvoa ja reklamoida.

Mittaushenkilöiden toivomuksen oli, että heille annettaisiin paremmat lähtötiedot maaston mittaamiseen ja lähtötiedon kartoitukseen. Haastatteluiden aikana nousi esiin tapauksia, jossa mittamies oli kartoittanut suuremman alueen kuin oli tarvetta. Suunnittelija ei ollut tarkentanut riittävän tarkasti miltä alueelta malliin halettiin tietoa. Suunnittelualueen tarkempi rajaus, sekä selkeämpi ohjeistus mallinnettavan kohteen tiedoista tehostaisi mittahenkilöiden työskentelyä. Toiveena oli, että suunnittelija kävisi maastossa paikan päällä katsomassa suunnittelualueita resurssien puitteissa. Näin suunnittelijakin saisi varmasti paremman käsityksen mallin sisällöstä, sekä paremman lähtötiedon mallin tekemiselle.

7.5 Esitys prosessin selkeyttämisestä

Ongelmat ja kehittämisen kohteet	Tavoitteet	Toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi	Edellytykset tavoitteiden saavuttamiseksi
Toteumapisteiden seurannan hankaluus	Työkoneiden ottamat toteumapisteet olisivat vaivattomasti tarkasteltavissa, ja näin rakentamisen eri osapuolet pystyisivät seuraamaan tarkemmin projektin kulua.	Toteumapisteiden seuraamiseen tarvittavan palvelun hankkiminen Nykyisen palvelun kehittäminen siten, että toteumapisteitä voisi vaivattomammin seurata.	Uuden tai nykyisen palvelun kehittäminen Ohjeistus Perehdyttäminen Toteumapisteiden seurantaan riittävä tarve
Koneohjausmallien sisältöerot eri työmaiden välillä	Koneohjausmallien sisältö selkeämmäksi ja mallin käyttäjän tarpeiden mukaiseksi. Koneohjausmallin sisällön oikeellisuus ja ylimääräisen tiedon karsiminen.	Varmistus työmaalla tarvittavista tiedoista mallin tekijälle. Vuoropuhelu mallin tekijän sekä mallin tilaajan välillä. Selkeiden käytäntöjen luominen.	Selkeämmät käytännöt ja ohjeistukset koneohjausmallin tekijälle. Hyvä kommunikaatio työnjohdon kanssa. Työmaalla koneohjausmallin perehdyttäminen mallin käyttäjälle.
Yhteistyö eri organisaatioiden kanssa.	Luoda hyvät yhteiset toimintamallit tiedonhallinnalle, joita voisi vaatia sopimuksissa, valvoa ja reklamoida	Eri organisaatioiden edustajien välille hyvä kommunikaatio minikälaiset toimintamallit halutaan. Kehittämistarpeen tarkempi kartoitus.	Muiden organisaatioiden tarpeiden ymmärtäminen. Toimiva yhteispeli ja yhteisten tavoitteiden asettaminen. Yhteinen halu kehittää toimintaa sujuvammaksi ja myös muita osapuolia paremmin palvelevaksi.

Koneohjausmalli valmiina suunnittelijalta.	Suunnittelijalta suoraan valmis koneohjausmalli ja näin prosessin kulku helpottuisi.	Selvitys koneohjausmallien tekemisestä suunnittelijoilta. Selkeä ohjeistus koneohjausmallien tekemisestä.	Suunnittelijoiden osaamisen selvittäminen ja mahdollinen opastus. Yhteistyö eri osapuolten välillä.
Koneohjauksen käyttöön liittyvät ongelmat.	Katvealueilla työskentelystä johtuva sijainnin epätarkkuus saataisiin minimoitua. Koneohjausjärjestelmien päivittämisestä johtuvat ongelmat saataisiin pois.	Työmaalla koneohjausmallin käyttäjän selkeä perehdyttämisen mallin käyttöön. Ohjeistus mahdollisista ongelmatapauksista ja niiden korjauksesta.	Perehdyttäminen Ohjeistus Ongelmien tiedostaminen ja niihin ratkaisuiden selvittäminen.
Mittahenkilöiden lähtötiedon selkeyttäminen ja mitattavasta kohteesta alueen tarkempi rajaaminen.	Suunnittelu-alue saataisiin rajattua siten, että ylimääräiseltä työltä välttäisiin. Mittaushenkilöille tarkempi tieto, mitä kohteella mallinnetaan ja näin toimintaa saataisiin tehokkaammaksi.	Mittahenkilöille tarvittava tieto, kuten tieto miltä alueelta mittaaminen suoritetaan ja mitä alueelle mallinnetaan.	Kommunikaation kehittämisen. Mallinnettavan kohteen alueen tarkempi rajaaminen.

Taulukko 1. Esitys prosessin kehittämisestä ja selkeyttämisestä. Taulukossa esitetty mahdollinen ongelma tai kehityskohta ja tiedot kuinka haluttuihin tavoitteisiin päästäisiin.

8 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä koneohjauksen käyttöön liittyviin haasteisiin sekä kartoittaa mahdollisia ongelmakohtia ja kehittämisen kohteita tähän liittyen. Haastatteluita tehdessä kävi ilmi, että koneohjauksen käytön tuomat hyödyt ovat merkittäviä rakentamisessa ja perusosaamisen taso on hyvin hallussa rakentamisen eri osapuolilla. Koneohjauksen käyttö on hyvällä tasolla ja osaamista löytyy monipuolisesti aina koneohjauksen käyttäjistä koneohjausmallien tuottajiin. Koneohjauksen käyttöä tullaan varmasti vielä jatkossa hyödyntämään enemmän myös pienemmillä rakennushankkeilla ja Suomi toimii tässä yhtenä koko maailman edelläkävijänä. Lähes kaikissa osa-alueissa rakentamisessa kuitenkin vielä on parantamisen varaa ja paljon kehitettävää ja niin on myös koneohjauksen käytössä. Kehityksen kohteita myös tässä työssä lähdettiin selvittämään. Työlle asetetut tavoitteet täyttyivät hyvin ja haastatteluiden avulla työn teettäjä saa hyödyllistä tietoa mahdollisista kehittämisen kohteista sekä laajemmän ja kokonaisvaltaisemman kuvan koko tietomalliprosessista.

Työn alkupuolella käytiin läpi erilaisia satelliittipaikannusjärjestelmiä, sekä 3d-koneohjauksen toimintaperiaate ja tietomallipohjaisen projektin sisällön kuvaus. Työssä esitettiin myös Suomessa koneohjausjärjestelmiä tarjoavia yrityksiä. Nämä perusteet ovat hyvä osata, jotta olemassa olevan tiedon päälle voidaan kehittää uusia parantamishdotuksia. Usein toiminnan periaatteen ymmärtäminen auttaa huomattavasti laitteiden ja käytäntöjen ymmärtämisessä. Työssä esiin nousseet kehittämisen kohteet ja käyttöön liittyvät haasteet tullaan käymään läpi yhdessä työn teettäjän eli Tampereen Infra Oy:n kanssa. Työstä saatujen tulosten perusteella työn teettäjä sai laajemmän ja tarkemman kuvauksen koneohjauksen käytön nykytilasta. Koneohjauksen ja tietomallipohjaisen rakentamisen kehittäminen ja käytäntöjen uudistaminen saattaa välillä olla hieman haastavaa, koska 3d-koneohjausjärjestelmät päivittyvät jatkuvasti, ohjeita muutetaan jatkuvasti, sekä vaatimukset koneohjauksen käytöstä muuttuvat.

Yhteenvetona koneohjauksen käytön hyödyt ovat tänä päivänä jo melko selvät kaikille osapuolille ja jatkossa niitä tulisi hyödyntää ja kehittää yhä enemmän. On selvää, että tietomallipohjainen rakentaminen on tulevaisuudessa yhä suurempi

osa rakentamisprosessia. Tekniikan jatkuvan kehityksen ja uusien ohjeiden ymmärtäminen voi olla hieman hankalaa ja se vaatii paljon resursseja, mutta se on elintärkeää kilpailukyvyn säilyttämisen kannalta. Onnistunut kehitystyö vaatii osapuolten välistä hyvää yhteishenkeä sekä yhteisten tavoitteiden asettamista.

LÄHTEET

InfraBIM-nimikkeistö (suunnittelu-, mittaus- ja tietomallinimikkeistö). v.1.72. BuildingSmart Finland. Julkaistu 19.8.2019. Luettu 3.4.2021

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/08/InfraBIM_nimikkeist%C3%B6_v1_721.pdf

Inframodel4-käyttöohje. BuildingSMART Finland. Julkaistu 1.4.2019. Luettu 15.4.2021

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/04/bSF_Infra_Inframodel4_kayttoohje_01042019.pdf

Keitä me olemme? Leica Geosystems. Julkaistu 2021. Luettu 15.4.2021

<https://leica-geosystems.com/fi-fi/about-us/summary/who-we-are>

Kelahaara, J. 2018. Toteutusmallin tuottaminen ja siirtäminen koneohjausjärjestelmään. Lapin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

<https://core.ac.uk/download/pdf/161423549.pdf>

Kiiskinen, M. 2015. Koneohjauksen ongelmat työmaalla. Metropolia ammattikorkeakoulu. AMK-opinnäytetyö. 21.4.2015. Luettu 23.5.2021.

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89820/kiiskinen_mikko.pdf?sequence=1

Koneohjauksen hyödyntäminen pienemmillä työmailla. 3D-koppi Oy. Julkaistu 27.2.2020. Luettu 5.4.2021

<https://www.3dkoppi.fi/koneohjauksen-hyodyntaminen-pienemmillä-tyomailla/>

Miten GPS-paikannin tietää sijaintinsa? Tieteen kuvalehti. Julkaistu 30.1.2018.

Luettu 1.3. 2021. <https://tieku.fi/teknologia/miten-gps-paikannin-tietaa-sijaintinsa>

Näin luot oman koneohjausmallin Novatronin koneohjausjärjestelmällä. Novatron OY. Julkaistu 14.4.2020. Luettu 5.4.2021

<https://novatron.fi/nain-luot-oman-koneohjausmallin-novatronin-koneohjausjarjestelmalla/>

Reijo Rantanen. Maanrakennusalan digitalisaatio etenee Suomen johdolla- Novatron raivaa elintilaa patentoimalla. Julkaistu 25.5.2020. Luettu 5.5.2021

<https://www.kolster.fi/blog/novatron-raivaa-elintilaa-patentoimalla>

Satelliittipaikannus. Maanmittauslaitos. Luettu 8.4.2021

<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>

Tekla Civil- tietomallintaa maailmasi. Tekla.com. Luettu 5.4.2021.

<https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-civil>

Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Liikennevirasto. Julkaistu 12/2017. Luettu 15.4.2021.

https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf

Tietomallien hyödyntäminen tien yleissuunnittelussa. Liikennevirasto. Julkaistu 3/2015. Luettu 14.4.2021

https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-03_tietomallien_hyodyntaminen_web.pdf

Tietomallipohjaisen suunnittelu- ja rakentamisprosessin Inframodel3-pilotti. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Julkaistu 17.2015. Luettu 20.4.2021

https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2015-17_tietomallipohjaisen_suunnittelu_web.pdf

Vähätiitto, J. 2020. Avoin koneohjauskoulutus. Novatron Oy. Luento TAMK 12.11.2020

Yleiset inframallivaatimukset YIV 2019. Building SMART Finland, Infra-toimialaryhmä. Julkaistu 2.5.2019. Luettu 3.4.2021

https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/03/YIV_p%C3%A4ivitystiedosto_FINAL-hyv%C3%A4ksyttyversio_20190502.pdf

Yritysesittely. Novatron Oy. Päivitetty 18.7.2018. Luettu 4.3.2021.

<https://novatron.fi/yritys/>

Yrityksen kotisivujen yritysesittely. Topgeo Oy. Luettu 13.4.2021.

<https://topgeo.fi/yritys/>

LIITTEET

Liite 1. Haastatteluissa kysytyjä kysymyksiä

Minkälaisissa projekteissa tietomalleja ja koneohjausta on käytetty?

Käytetäänkö koneohjausta kaiken kokoisilla työmailla?

Toimiiko toteumapisteiden ottaminen? (määrä ja laatu)

Miten tietomalliprosessia voisi kehittää?

Miten varmistetaan, että malleissa on tieto mitä työmaalla tarvitaan?

Onko tietomalleissa ilmennyt ongelmia, jos on niin minkälaisia?

Onko tietomalleissa kaikki tarvittava tieto, vai onko niissä puutteita?

Millaisia ongelmia on havaittu koneohjauksen käytössä?

Minkälaisissa projekteissa tietomalleja ja koneohjausta on käytetty?

Oma kokemus tietomallipohjaisen rakentamisen parissa?