



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Marika Tolonen

Tietomallipohjaisen aineiston luonti ja käyttö koneohjauksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinööriytyö

21.02.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Marika Tolonen Tietomallipohjaisen aineiston luonti ja käyttö koneohjauksessa 68 sivua 21.02.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Ilkka Partonen
<p>Koneohjaus on maanrakennusalalla nykyaikaa. Aiemmin työmaamittaaja merkitsi itse kaikki linjat ja korot maastoon maanrakennuskoneille. Nykyään koneet näkevät kyseiset suunnitelmätiedot itsenäisesti koneohjausjärjestelmän avulla. Näin ollen koneohjausmallien ylläpitäminen ja luominen on tullut osaksi työmaan mittaustyötä, laadunvalvonnan ohella.</p> <p>MC1 on Leica Geosystems Oy:n uusi ohjelmisto koneohjaukseen ja se on hieman muuttanut tietomallien luomista. Kehä I – Laajalahti -hankkeen yhteydessä käydään läpi erilaisten koneohjausmallien luomista hankkeen tarpeiden mukaan. Tarkoituksena on luoda täysin oikeellisia malleja, jotka olisivat yhteensopivia MC1-ohjelmiston kanssa.</p> <p>Leica Geosystems Oy:n ConX-palvelu toimii etätyökaluna tietomallien siirrossa koneohjaukselaitteille. MC1:n johdosta formaattien käyttäminen on muuttunut ja monipuolistunut. Myös itse koneohjauksen toiminnot ovat kehittyneet.</p> <p>Laadunvalvonnasta on tullut visuaalisempi MC1:n johdosta. ConX-palvelusta voidaan nähdä mitatut tarkepisteet niiden oikeissa sijainneissa. Mitatuista tarkepisteistä voidaan valita suoraan ne pisteet, jotka halutaan poimia talteen. Näin ollen dataa voidaan suodattaa suoraan pilvipalvelussa, ennen sen lataamista tietokoneelle.</p>	
Avainsanat	tietomalli

Author Title	Marika Tolonen Creating and operating 3D models on 3D excavator system
Number of Pages Date	68 pages 21 February 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Ilkka Partonen, Senior Lecturer
<p>The aim of this bachelor's thesis was to create functional 3D models for 3D excavator systems, modern tools aiding construction site related work, enabling independent excavation using terrain models, produced by site engineers. The functional 3D models were to include accurate data in correct forms.</p> <p>The final year project set out to make functional 3D models serving the needs of a single construction site. The construction site required a sole-purpose model. The methods used in the project were simple. As the need for new models arose, the specifications of the site guided the creation of the models. The paramount quality required from the models was accuracy.</p> <p>For this bachelor's thesis, four models for different purposes were made. One was a point-typed model for streetlight foundations, one a line-typed model for pedestrian lane. A terrain model was made for a bridge staging foundation and a background model for area demarcation.</p> <p>The thesis is a short description of the specifications that are necessary for the models to work properly on excavators. It can be used as background material for novice model makers.</p>	
Keywords	3D models

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	3D-koneohjaus	2
3	Tietomallit	3
3.1	Tietomallit yleisesti	3
3.2	InfraBIM-nimikkeistö	3
4	Satelliittimittaus	5
4.1	Satelliittipaikannuksen periaate	5
4.2	Satelliittipaikantamisen virhetekijöitä	7
4.3	RTK	8
4.4	Verkko-RTK-mittaus	9
5	Kaivinkoneen anturit	11
6	Koneen koordinaatit	12
7	Koneohjauksen (MC1) hyväksymät formaatit	15
8	ConX	19
9	Tietomallipohjaiset aineistot	24
9.1	Pistemäinen aineisto	24
9.1.1	Pistemäisen aineiston luonti	26
9.1.2	Telinetolppien laskeminen	27
9.1.3	Pistemäisen aineiston käyttö koneohjauksessa	29
9.1.4	PXY- ja GEO-formaatit	31
9.2	Viivamainen aineisto	32
9.2.1	Viivamaisen aineiston luonti	33
9.2.2	Viivamaisen aineiston käyttö koneohjauksessa	44
9.3	Pintamalli	44
9.3.1	Pintamallin luominen	44

9.3.2	Pintamallin käyttö koneohjauksessa	49
9.4	Apumallit ja varottavat kohteet	52
9.4.1	Apumallit	52
9.4.2	Apumallin luonti ja käyttö	55
9.4.3	Varottavat kohteet	62
10	Pohdinta	63
	Lähteet	67

Lyhenteet

!BG.dxf	!Background.dxf. Tiedostopääte taustakarttaan, jotta Novatronin koneohjausjärjestelmä lukee tiedoston automaattisesti taustakartaksi.
3D-Win	Novatronin omistama maastomittausohjelmisto.
3D	Kuvaus kolmiulotteisesta tilasta.
ap	Alapinnan lyhennelmä maanrakentamisessa.
Autocad	Autodeskin ohjelmisto tietokoneavusteiseen suunnitteluun.
ayp	Alin yhdistelmäpinta väylärakentamisessa.
CAD	Computer Aided Design. Lyhenne tietokoneavusteiselle suunnittelulle.
ConX	Pilvipohjainen tietokoneohjelma Leican iCon-järjestelmien tueksi
CSV	Comma-Separated Values. Yksinkertainen formaatti tiedonsiirtoon. Lyhennelmä tulee sanoista pilkun erottamat arvot.
DWG	Autocad-ohjelmiston alkuperäinen tiedostomuoto.
DXF	Formaatti tiedonsiirtoon CAD-ohjelmien välillä.
Dxf2	3D-Win-ohjelman formaattimuuntimen nimi.
ETRS	European Terrestrial Reference System. Eurooppalainen koordinaattijärjestelmä.
GEO	Ruotsalainen vektoriformaatti.

GK25	Gauss–Krüger 25. Koordinaatistojärjestelmän Gauss-Krügerin keskimeridiaanin asteluku 25.
GLONASS	Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema. Venäjän ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System. Satelliittipaikannusjärjestelmien kokonaisuus.
GT	Tielaitoksen käyttämä yleinen maastokartoitusformaatti.
iCon	Intelligent Construction. Leica Geosystems'in vanhempi koneohjausjärjestelmä, edelleen toiminnassa oleva.
InfraBIM	Building Information Model. Infrarakenteiden nimeämistä ohjaavan nimeämis- ja numerointikäytännön nimi.
IRNSS	Indian Regional Navigational Satellite System. Intian satelliittipaikannusjärjestelmä.
JPG	Kuvanpakkausformaatti.
JSON	Leican ConX-palvelimen tarkepisteiden uloslukuformaatti ja avoimen standardin tiedostomuoto.
KOF	Yleinen koordinaattiformaatti.
Kr1	Koordinaattiristi numero 1.
Kr2	Koordinaattiristi numero 2.
LandXM	XML-perustainen tiedostomuoto tiedon siirtämiseksi.
MC1	Leica Geosystems'in koneohjausjärjestelmän uudempi versio

N2000	Valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.
NAVSTAR GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltojen ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä
PDF	Portable Document Format. Sähköisen dokumentin yleinen formaattimuoto.
PNG	Bittikarttagrafiikan tallennusformaatti.
PXY	Pistetiedoston siirtoformaatti.
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System. Japanin satelliittipaikannusjärjestelmä.
RGB	Red Green Blue. Yleinen värimalli.
RTK	Real Time Kinematic. Satelliittipaikannuksessa käytettävä yleinen mittausmenetelmä.
S2	Silta 2. Kuvaus urakan sillalle numero 2.
SJ	Sähkö Jokinen. Ulkovalaistusta valmistava yritys Suomessa.
SmartNet	Leica Geosystems'in ylläpitämä tukiasemaverkko.
T1	Tunnus 1. Tietomallin pisteen omistajatunnusta kuvaava tunnus.
T2	Tunnus 2. Tietomallin pisteen viivatunnusta kuvaava tunnus.
T3	Tunnus 3. Tietomallin pisteen lajikoodia kuvaava tunnus.
Verkko-RTK-Verkko	Verkko – Real Time Kinematic. Satelliittipaikannuksessa käytettävä tukiasemien verkko

WGS84	World Geodetic System 1984. Yhdysvaltojen ylläpitämä tasokoordinaattijärjestelmä.
VRS	Virtual Reference Station. Geotrim Oyn ylläpitämä tukiasemaverkko.
Xsite Pro	Novatron Oy:n koneohjausjärjestelmä.
yp	Yläpinnan lyhennelmä maanrakentamisessa.
yyp	Ylin yhdistelmäpinta väylärakentamisessa.

1 Johdanto

Tietomallipohjaisen aineiston käsittely on osana opinnäytetyön tekijän tulevaa ammatti-osaamista, joten tällä opinnäytetyöllä pyritään tätä taitoa parantamaan. Työssä perehdytään tietomallipohjaisen aineiston luontiin sekä käyttöön koneohjauksessa.

Tietomallipohjainen aineisto pitää sisällään erilaisia mallityyppejä, joiden luomista opinnäytetyöntekijältä vaaditaan työtehtävissään. Maastomallin luominen edellyttää tarvittavia täydellisiä korkotietoja ja taiteviivojen sijainteja. Viivamaisen aineiston oikeellinen rakentaminen hyödyntää esitettävän kohteen ominaisuuksia. Viivamaisen kohteen esittäessä väylärakenteen reunoja täytyy jokainen taite mallintaa omaksi viivakseen. Tällä tavalla voidaan kaikkiin merkittäviin linjoihin koneohjauksessa tarttua ja merkata aineiston kohteita maastoon. Varoaluemallien toimivuuden täytyy olla absoluuttista niiden esittäessä yleensä kohteita, joihin koneohjausta käyttävä kuljettaja ei saa kajota. Tällaisia kohteita voi olla esimerkiksi korkeajännitteinen maakaapeli tai maakaasuputki. Apumallien yleisenä tehtävänä on esittää merkitsevän kohteen ympäristöä. Merkitsevä kohteena voi olla esimerkiksi pistemäinen aineisto valaisinjalcojen sijainnista ja apumallina toimia alueen taustakartta. Pistemäisen aineiston tulee olla virheetön, sillä sen avulla yleensä asennetaan paikalleen erilaisia elementtejä, kuten valaisinjalustoja ja kaivoja.

MC1 on Leica Geosystems Oy:n uusi ohjelmisto koneohjausjärjestelmään, joka on tuonut mukanaan muutoksia aineistojen luontiin ja käyttöön. Näihin muutoksiin pyritään syventymään tässä opinnäytetyössä ja tietomallipohjaisissa aineistoissa tullaan ottamaan kyseiset muutokset huomioon.

Kyseisen opinnäytetyön tietomallipohjaiset aineistot luodaan Graniittirakennus Kallio Infra Oy:n urakan Kehä I – Laajalahti tarpeiden mukaan. Aineistot luodaan urakan aikana ja niiden toimivuus todetaan itse työmaalla. Mallit optimoidaan toimivaksi MC1-ohjelmistoa käyttäviin maanrakennuskoneisiin, joita kyseisellä työmaalla on neljässä eri kaivinkoneessa. Opinnäytetyön tekijä on työn ajankohtana ollut urakoitsijan palveluksessa.

2 3D-koneohjaus

Maanrakennusalalla 3D-koneohjaus on nykypäivää. Alan monipuolisuuden ja vaativuuden takia, on koneohjauksen kehittyminen tullut tarpeelliseksi. Kehittyminen on mahdollistanut jopa senttimetrin tarkkuuden 3D-kaivamisessa. Koneohjauksen avulla pystytään rakentamaan tehokkaasti ja itsenäisesti. [1]

3D-koneohjaus koostuu kaiken kattavasta mittausjärjestelmästä ja oikeellisista tietomalleista. Mittausjärjestelmä voidaan asentaa erilaisiin maanrakennuskoneisiin, jolloin kone pystyy hyödyntämään tietomalleja maanrakentamisessa. Tietomalleilla voidaan nähdä asennettavien elementtien paikat, rakennekerroksien kaivuukorkeudet ja etäisyydet reunalinjoihin. Tietomalleilla voidaan myös esittää havainnollistavat taustakartat ja varottavat kohteet. Taustakarttoina voidaan näyttää esimerkiksi putkilinjojen sijainnit ja varottavina kohteina esimerkiksi maakaasuputken sijainti. [1]

3D-koneohjaus on helpottanut myös työmaamittausta. Nykyään ei enää tarvitse kaikkia korkoja kepittää ja linjoja merkitä maastoon, vaan koneohjausta käyttävä kuljettaja näkee kyseiset tiedot tietomallien avulla. Työmaamittausta ei ole suinkaan vähentynyt, vaan enemmänkin muuttanut muotoaan. Siinä missä ennen täytyi kaikki korot ja sijainnit merkitä maastoon, ne täytyy nyt saada esitettyä tietomalleina ja saada toimimaan koneohjauksessa.

Maanrakentamisessa rakennetun jäljen laadunvalvonta on myös kehittynyt 3D-koneohjauksen myötä. Ennen täytyi kaikki kerrostarkkeet, massanvaihdon alapinnat ja kaivettujen elementtikuoppien reunat mitata työmaamittaajan. Nykyään koneohjaus mahdollistaa mittauspisteiden, eli tarkepisteiden, ottamisen kauhalla. Koneohjausta käyttävä kuljettaja voi siis itse ottaa ”pintoja kiinni”, eli mitata kaivettua korkeutta kauhansa avulla. Kauhalla voi ottaa mittapisteen joko kauhan reunoista tai keskeltä. Mittapisteelle voidaan antaa pistettä kuvaava koodi, esimerkiksi massanvaihto_ap. Nettiyhteyden välityksellä voidaan koneen koneohjaus synkronisoida laitevalmistajan palvelimen kanssa, jolloin työmaamittaaja saa tarkepisteet käyttöönsä etänä. Tämä on ehkä koneohjauksen tärkein ominaisuus. [2]

Maanrakentamista tehdään yleensä usean koneen voimilla, jolloin työmaamittaaja ei millään ehdi mitata talteen kaikkia tarkkeita. On siis hyvä, että kaivaja voi koneohjauksen avulla itse mitata tarkepisteitä talteen, kun kuoppa on vielä auki.

3 Tietomallit

3.1 Tietomallit yleisesti

Tietomallit ovat suunnitelmadataa 3D-muodossa ja sidottuna tiettyyn koordinaatistoon. Tietomalleja voidaan luoda CAD-pohjaisella ohjelmistolla, ja ne voivat olla pistemäisiä tai viivamaisia kohteita ja pintamalleja, eli maastomalleja. Kukin tietomalli on luotu palvelemaan sitä kuvastavan kohteen yksilöllistä rakentamista. Tietomallien täytyy olla oikein luotuja, niiden virheellisyyden saadessa aikaan paljon vahinkoa. Mallin virhe voi saada aikaan mittavat vahingot, joten niiden täytyy olla huolellisesti luotuja. [3]

3.2 InfraBIM-nimikkeistö

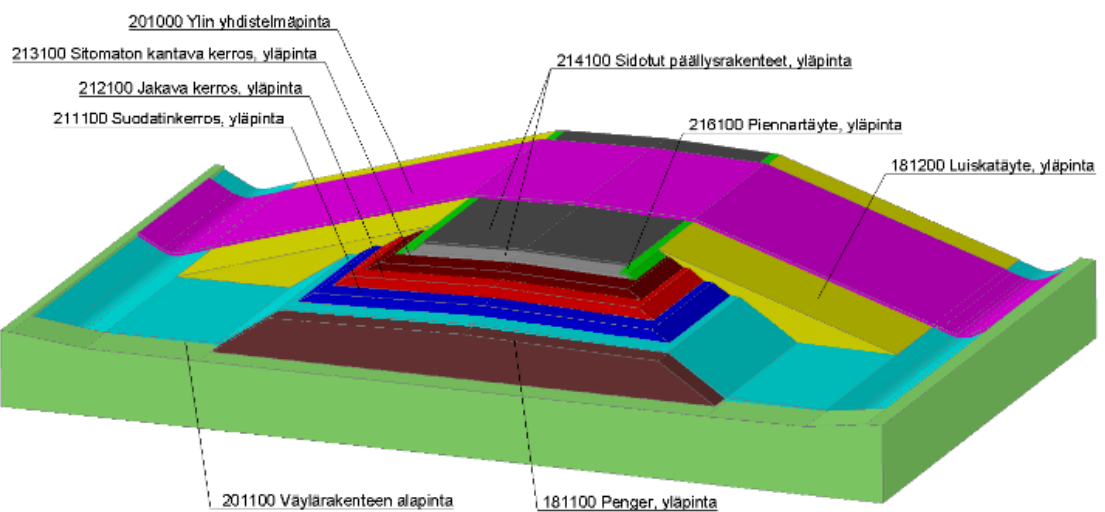
InfraBIM-nimikkeistö (BIM = Building Information Model) pitää sisällään yleiset nimeämis- ja numerointikäytännöt infrarakentamisessa. Nimikkeistö ohjaa oikeellista rakenteiden ja mallien nimeämistä sekä numerointia koko prosessin aikana. Prosessi alkaa lähtötiedoista ja päättyy toteuman mittauksiin. [4]

Väylärakenteen kerrokset nimetään sen rakennekerroksien mukaan. Yleisesti väylän rakennekerrokset sisältävät alimman yhdistelmäpinnan eli alapinnan, suodatinkerroksen, jakavan kerroksen, kantavan kerroksen, sekä ylimmän yhdistelmäpinnan eli valmiin pinnan. (Kuva 1.) [5]

Työmaallamme noudatetaan infraBIM-nimikkeistöä nimeämisen osalta, mutta numerointia on yksinkertaistettu. Taulukossa 1 esitetään, kuinka mallien nimeämistä on muutettu. Huomattavana tekijänä on, että esimerkiksi ylin ja alin yhdistelmäpinta on lyhennetty yyp:ksi ja ayp:ksi. Lisäksi yläpinta on lyhennetty yp:ksi.

Taulukko 1. Erot mallien nimeämisessä InfraBIM-nimikkeistön ja työmaan käytännön mukaan. [5]

InfraBIM	Työmaan käytäntö
201000 Ylin yhdistelmäpinta	01_yyp
213100 Sitomaton kantava kerros, yläpinta	02_kantava_yp
212100 Jakava kerros, yläpinta	03_jakava_yp
201200 Alin yhdistelmäpinta	05_ayp



Kuva 1. Väylärakenteen poikkileikkaus [5]

4 Satelliittimittaus

Satelliittimittauksella tarkoitetaan paikantamista satelliittien sijainteja ja nopeutta hyödyntäen. Satelliittipaikannus on nykypäivänä pitkälle kehittynyttä, ja paikannus on mahdollista läpi vuorokauden riippumatta käyttäjän sijainnista ja ilmakehän säätilasta. Useat eri valtiot ylläpitävät satelliittipaikannusjärjestelmiä, jotka yhdessä muodostavat kokonaisuuden nimeltä GNSS (Global Navigation Satellite System). GNSS-kokonaisuuteen kuuluvat yhdysvaltalainen NAVSTAR GPS, Neuvostoliiton (nyk. Venäjä) GLONASS, eurooppalainen Galileo, kiinalainen BeiDou, intialainen IRNSS ja japanilainen QZSS [6]

4.1 Satelliittipaikannuksen periaate

Satelliittimittaus perustuu kolmiomittaukseen, eli trilateraatioon [7]. Trilateraatiossa maanpäälliset vastaanottimet havaitsevat maata kiertävien satelliittien lähettämiä signaaleja. Satelliittien signaalien etäisyyksien ja etäisyyserojen avulla voidaan laskea havaitsijan sijainti maanpinnalla. [6] Satelliiteissa on integroitu atomikello, jonka avulla se pystyy lähettämään maahan tarkkoja aikasignaaleja. Signaalien lähtiessä satelliitti kirjaa lähetysajankohdan sisäiseen muistiin. Maanpinnalla vastaanotin puolestaan kirjaa vastaanottoajan, jolloin voidaan näiden aikaerojen erotus kertoa valon nopeudella, eli radio-signaalien nopeudella. Tällöin saadaan aikaiseksi satelliittien signaalien etäisyysmittaus. [8]

Maapallon ollessa pyöreä täytyy etäisyyksiä mitata vähintään kolmeen eri satelliittiin. Virhearvojen minimoimiseen ja tarkkuuden parantamiseen suositellaan mitattavan etäisyydet useampaan kuin kuuteen satelliittiin.

Vaihehavainnot ja paikannuskoodit ovat satelliittipaikannuksen tarkkuuteen eniten vaikuttavat havaintosuureet. Satelliittipaikannuksessa etäisyys pystytään mittaamaan yli 1%:n tarkkuudella, sillä aallonpituuden ja koodijaksojen pituus vaihtelee taulukon 2 esittämällä tavalla.

Taulukko 2. Koodijaksojen ja kantoaaltojen käyttötarkoitus sekä pituus. [6]

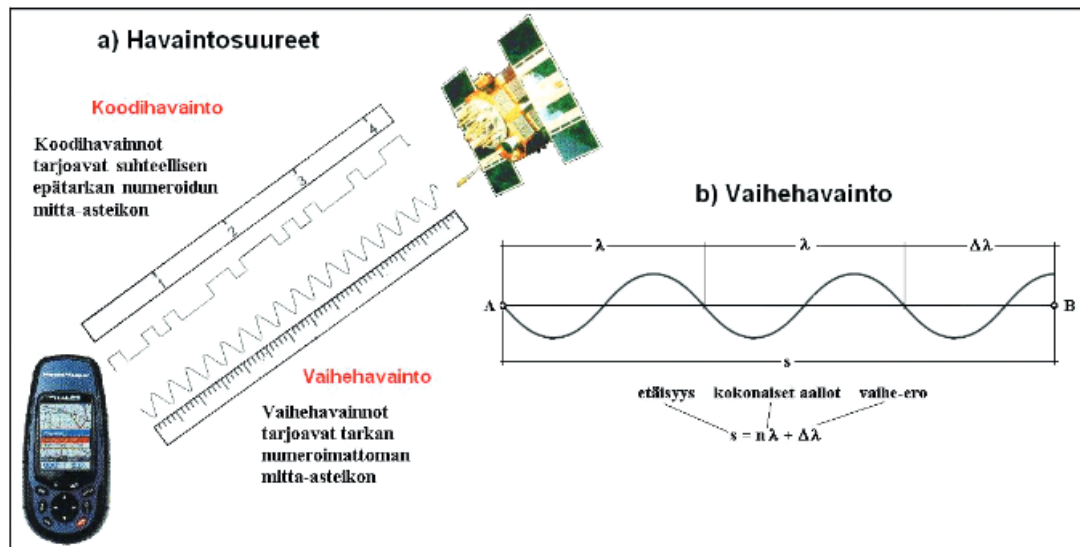
Mikä	Käyttötarkoitus	Pituus (m)
P -koodijakso	sotilas	29.3
C/A -koodijakso	siviili	293
L1 -kantoaalto	siviili	0.19
L2 -kantoaalto	siviili	0.24

Etäisyysmittauksessa hyödynnetään satelliittien lähettämien signaalien perushavaintoja, eli kantoaaltoja tai koodihavaintoja. On myös mahdollista käyttää molempia perushavaintoja yhdessä.

Satelliitin ja vastaanottimen lähenemis- tai loittonemisnopeutta voidaan hyödyntää Doppler-havainnoissa. Doppler-havainnot ovat osana vaativimpia mittauksia, ja ne perustuvat satelliittien signaalien kantoaaltoihin.

Kantoaallon aallonpituutta käytettäessä, puhutaan vaihehavainnon käytöstä etäisyyden mittaamisessa. Vaihehavainto on jaksollisesti lyhyempi kuin paikannuskoodin jaksonpituus, mutta sillä päästään tarkempiin tuloksiin.

Paikannuskoodin käyttäminen perustuu koodihavaintoihin. Koodihavainnon avulla voidaan laskea etäisyyttä satelliitin signaalista luomalla sille karkea mitta-asteikko. Mitta-asteikkoa on teknisesti yksinkertaisempi käyttää etäisyyden laskemiseen kuin vaihehavainnon aallonpituutta (kuva 2.) [6].



Kuva 2. Satelliittimittauksen havaintosuureet ja vaihehavainto [6].

4.2 Satelliittipaikantamisen virhetekijöitä

Satelliittipaikantamiseen liittyy monia virhetekijöitä, jotka voivat vaikuttaa negatiivisesti mittaustuloksiin. On hyvä tiedostaa virhetekijät, jotta niiden aiheuttamilta virheiltiltä vältyttäisiin. Taulukossa 3 on käyty läpi virhelähteet ja niiden aiheuttajat.

Taulukko 3. Satelliittipaikantamisen virhelähteet ja niiden aiheuttajat [7]

Virhelähde	Miten vaikuttaa
Kasvillisuus	Tiheä kasvillisuus voi imeä satelliittien signaalin kokonaan itseensä, jolloin ollaan niin sanotusti katve alueella.
Signaalien taittuminen	Satelliittien signaalit voivat kaupunkialueella heijastua rakennuksista, jolloin signaalin laatu kärsii ja mittalaitteilla ei päästä tarvittuihin toleransseihin.
Ilmakehän olosuhteet	Ilmakehän olosuhteet voivat myös haitata satelliittien signaaleja. Paksu pilvi voi häiritä

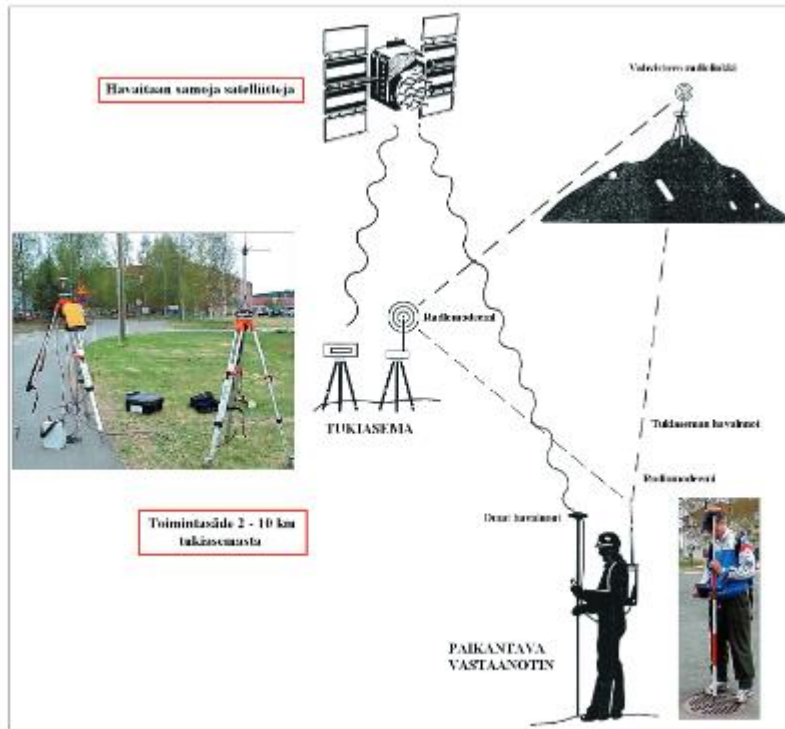
	signaalin kulkua maanpinnalle satelliittivastaanottimelle.
Auringon aktiivisuus	Auringon aktiivisuus häiritsee satelliittien signaaleja. Aurinkotuulet, eli revontulet luovat selviä häiriöitä satelliittimittauksiin, jotka on tehty kyseisenä ajankohtana.
Kellovirheet	Satelliittien lentoratamuutokset voivat luoda kellovirheitä, jotka haittaavat signaalien tarkkuuksia.
Pyörästysvirheet	Matemaattiset pyörästysvirheet voivat myös olla ongelma satelliittimittauksissa

4.3 RTK

RTK-mittaus, eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, on perinteisin mittausmenetelmä, jota käytetään pääsääntöisesti mittaus- ja kartoitustekniikassa. Koneohjauksessa RTK-mittausta hyödynnetään merkintämittauksissa. Tällöin edellytyksenä on, että koneohjaus on kiinni tukiasemassa ja käyttää sen lähettämää RTK-korjausdataa.

RTK-mittaus on suhteellista mittausta, ja se perustuu vaihehavainnon laskemiseen kiinteän vertailuvastaanottimen ja paikantavan vastaanottimen välille. Kiinteänä vertailuvastaanottimena toimii tukiasema, joka lähettää mitattuja vaihehavaintoja paikantavalle vastaanottimelle. (Kuva 3.) Paikantavan vastaanottimen tehtävänä on ratkaista reaaliaikaisesti vaihehavaintojen alkutuntemattomat sekä muut tarpeelliset suureet. Rajoituksena tähän on tukiaseman ja vertailuvastaanottimen etäisyys. Etäisyys ei saa olla yli 20 kilometriä, sillä alustusajalla kasvaa liian suureksi ionosfäärin aiheuttamien häiriöiden takia. Alustusajalla tarkoitetaan alkutuntemattomien ratkaisuaikaa.

Tiedonsiirtoyhteys on oltava tukiaseman ja vertailuvastaanottimen välillä, jotta vaihehavaintoja voitaisiin vastaanottaa. Yhteys voidaan luoda joko radion tai matkapuhelinverkon välityksellä. Radion käyttäminen edellyttää vastaanottimen ja tukiaseman etäisyyden olevan alle kymmenen kilometriä, mieluummin vähemmän. Matkapuhelinverkon käyttö ei rajoitu etäisyyteen, mutta mittausteknisesti ei suositella yli 20 kilometrin etäisyyksiä. [6]



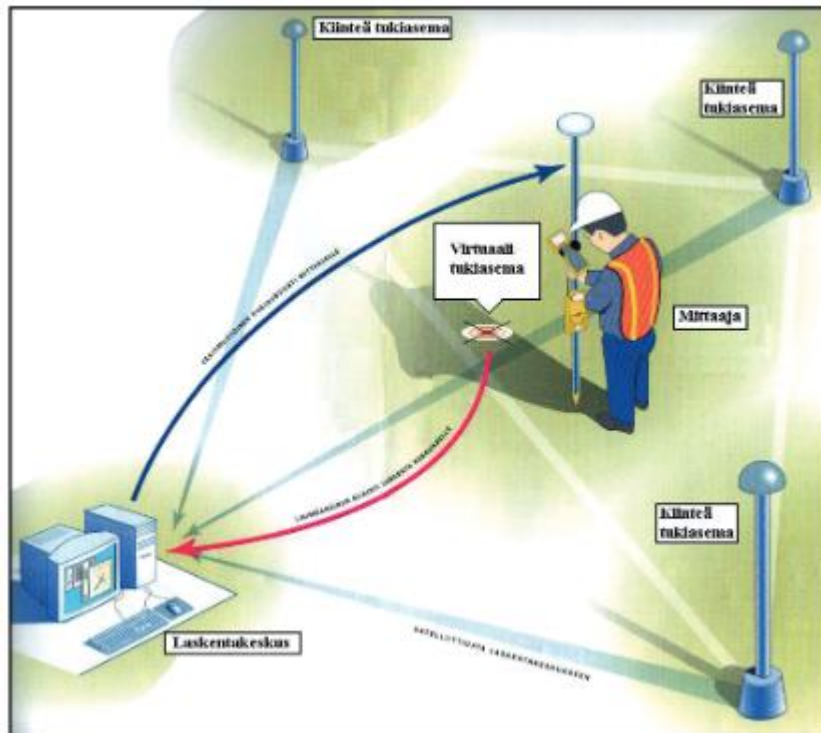
Kuva 3. RTK-mittauksen peruseriaate [6].

4.4 Verkko-RTK-mittaus

Tukiasemaverkon käyttäminen, eli verkkokorjauksen käyttäminen koneohjauksessa, mahdollistaa satelliittimittauksen ilman omaa tukiasemaa. (Kuva 4.) Laskentakeskus ratkaisee alkutuntemattomat ja lähettää korjausdatan mobiiliverkon kautta suoraan koneohjaukseen ja näin päästään samoihin tarkkuuksiin, kuin perinteisessä RTK-mittauksessa. Tätä mittaustapaa kutsutaan verkko-RTK-mittaukseksi.

Useiden tukiasemien muodostaman verkon ansiosta ilmakehään liittyvät virheet voidaan minimoida ja mittauksen laatu paranee. Suomessa suurimmat tukiasemaverkot ovat Geotrim Oy:n omistama Trimblen VRS-verkko ja Leica Geosystems Oy:n SmartNet-verkko. Verkot kattavat toiminta-alueeltaan koko Suomen molemmilla verkkojen ylläpitäjillä on yli sata tukiasemaa käytettävissään.

Koneohjauksessa korjausdata voidaan saada verkkokorjauksena, jolloin koneohjauslaitteisto hyödyntää jompaa kumpaa edellä mainittua tukiasemaverkostoa. Verkkokorjaus on varmempi kuin työmaalla käytettävä kiinteä tukiasema. Tällä tarkoitetaan tukiaseman lähettämän sijainnin virhemahdollisuutta. Tukiaseman perustamistavan mukaan on mahdollista, että tukiasema liikauttaa pois sijainniltaan ja antaa näin virheellistä korjausdataa. Toisaalta isolla työmaalla on kannattavampaa olla yksi tukiasema antamassa korjausdataa koneohjaukseen kuin erilliset verkkokorjaukset. [6]

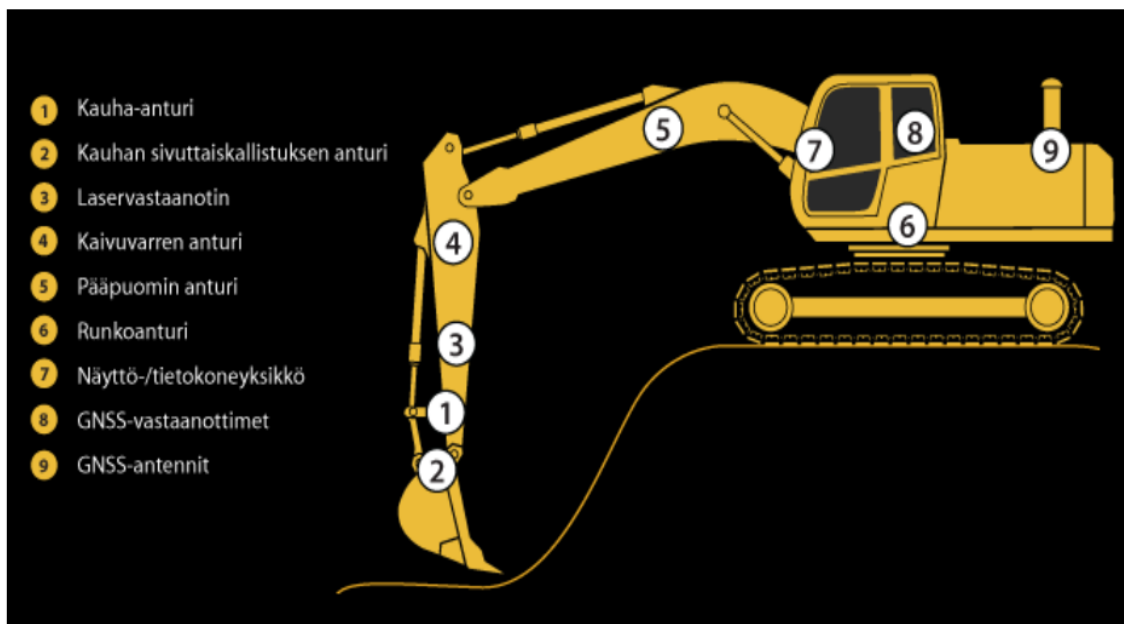


Kuva 4. Verkko-RTK-mittauksen peruseriaate [6].

5 Kaivinkoneen anturit

Kaivinkoneessa on yleensä kaksi GNSS-antennia peräpäähän katolla. Molemmat antennit vastaanottavat satelliittien signaaleja ja yhdessä laskevat koneelle suuntakulman. Kulman laskemisen takia suositellaan, että antennit olisivat mahdollisimman kaukana toisistaan. Paikallistus on tarkempaa, kun laskettava kulma on suurempi. Koneissa, joissa on vain yksi GNSS-antennivastaanotin katolla, täytyy antennissa olla integroitu kompassi, jotta kulman määrittäminen on mahdollista. [2; 9.]

GNSS-antennivastaanottimien avulla lasketaan sijainti koneen kääntökeskuksen keskipisteeseen, josta se siirretään puomin antureita hyödyntäen kauhan etureunaan. Kauhan sijainnin määrittämiseen hyödynnetään vektorilaskentaa, jonka tarvittavat etäisyydet ja kulmat saadaan kaivuvarren, pääpuomin ja kauhan antureista. [10]



Kuva 5. Koneohjauksen komponentit [7]

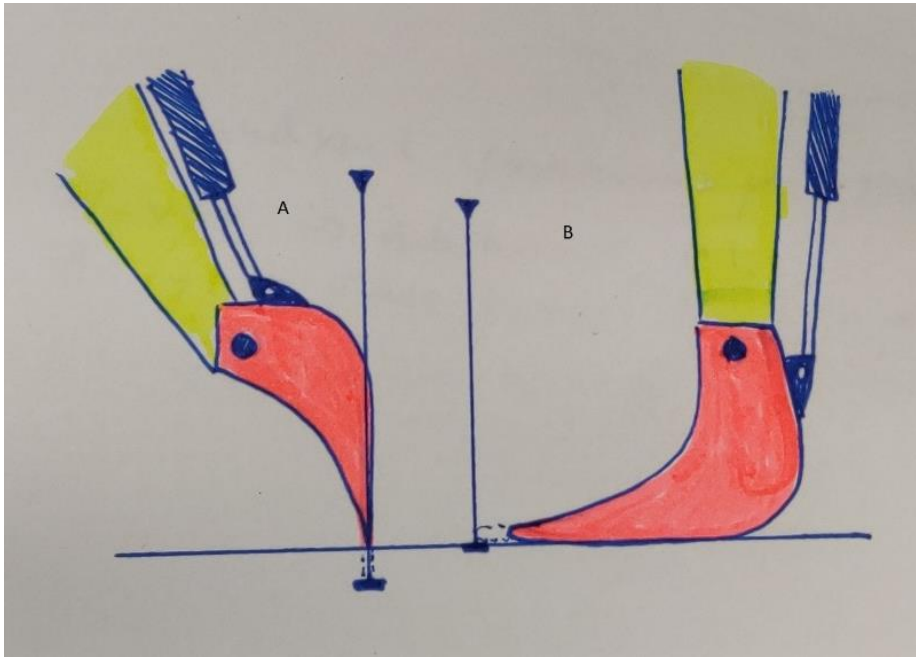
6 Koneen koordinaatit

Kaivinkone saa tarkkaa ja reaaliaikaista sijaintia kahdella eri tavalla, verkkokorjauksella (verkko-RTK-mittaus) tai työmaan kiinteän tukiaseman korjausviestin (RTK-mittaus) avulla. Korjausviestin saaminen on pakollista, jos halutaan päästä senttimetrin tarkkuuteen. Koneohjausjärjestelmästä ja koneen tyypistä riippumatta koneen koordinaatit saadaan koneen peräpäähän katolla sijaitsevien GNSS-lautasantennien vastaanottamasta sijaintitiedosta. [2]

Kauhan reaaliaikaista sijaintia tarvitaan kaivuutyössä, jossa pyritään saavuttamaan suunnitelmien mukaiset kaivuu korkeudet ja sijainnit. Korkeutta tarvitaan yleensä rakenerroksien kaivamisessa ja täyttämässä. Sijaintitietoja käytetään yleensä uusien rakenteiden sijoittamisessa maastoon. Uusia rakenteita voivat olla esimerkiksi valaisinjalustat ja portaalieleментit.

Kauhan sijaintia tarkistetaan tietyin väliajoin, jotta voidaan välttyä suurilta sijaintieroilta. Sijainnin tarkastaminen suoritetaan yleensä joko valmiiksi mitatuilla tarkepisteillä tai työmaalla olevan mittajaan avulla. Mittaaja tarkastaa koneen koordinaattien tarkkuudet vertailemalla kauhan ja mittapisteen koordinaatteja. Kauha lasketaan tukevalle alustalle ja kauhan etureunaan keskelle piirretään maahan merkki esimerkiksi spraymaalilla. Sitten katsotaan koneohjausnäytöstä, mitä kauhan sijainti näyttää koordinaateille X, Y, Z. Tarkastettavana on myös kauhan mittapisteen sijainti. Mikäli mittapiste on esimerkiksi kauhan vasemmasta etunurkasta, tulee koordinaateille virhettä puolet kauhan mitasta tai enemmän, mikä riippuu kauhan huulilevyn kulumisesta.

Huulilevyn kulumisen vuoksi olisi hyvä tarkastaa kauhan sijainti kahdella eri asennolla. Kuvan 6 asennossa A huulilevy on kohtisuoraan maata vasten, jolloin korkeus voi heittää huulilevyn kulumisen takia, mutta sijainnissa ei tapahdu muutoksia. Kuvan 6 asennossa B huulilevy on vaakatasossa maata vasten, jolloin korkeus pysyy oikeissa lukemissa. Sijainti sen sijaan voi olla eri kohdassa huulilevyn kulumisen takia.



Kuva 6. Kauhan asennot huulilevyn kulumisen mittauksessa

Kauhan sijainnin koordinaatit kirjataan talteen, minkä jälkeen koneen kuljettaja siirtää kauhan pois mittapisteen päältä ja mittaushenkilö mittaa saman pisteen omalla GNSS-laitteellaan tai takymetrillä. Sitten näiden kahden laitteen koordinaattien X, Y, Z -eroja verrataan toisiinsa. Huomattavaa eroa koordinaatteihin voi tulla katvealueesta. Katvettä yleensä luo korkeat rakennukset, kallio sekä runsas puusto. Koordinaattiero voi myös johtua tukiaseman virheellisestä sijaintitiedosta, jos koneohjausta käyttävä kone saa korjausviestinsä suoraan tukiasemasta (RTK-korjaus). Tukiaseman perustamistavan takia, on mahdollista, että tukiasema on liikkunut pois paikalta aiheuttaen virheellisen korjausdatan lähettämisen.

Tukiaseman sijainnin voi tarkastaa mittaamalla takymetrillä lautasantennin keskipisteen ja vertaamalla sitä tukiaseman sijaintiin. Mikäli tukiaseman koordinaatit eroavat

takymetrilla otettavista, täytyy tukiasema asemoida uudelleen. Tukiasema asemoidaan takymetrilla, jotta saadaan tarpeeksi tarkka sijainti. Takymetri asemoidaan tunnettuja työmaan liittospisteitä käyttäen ja otetaan tarpeeksi monta mittausta tukiaseman lautasantennin sijainnille. Tukiasemalle saatu uusi sijainti syötetään tukiaseman käsiohjaimelle, joka on yhteydessä itse tukiaseman antenniin. Kun koordinaatit on annettu, voidaan käsiohjin sulkea, ja tukiasema antaa uutta, tarkempaa sijaintia kaivinkoneiden ko-
neohjaukseen.

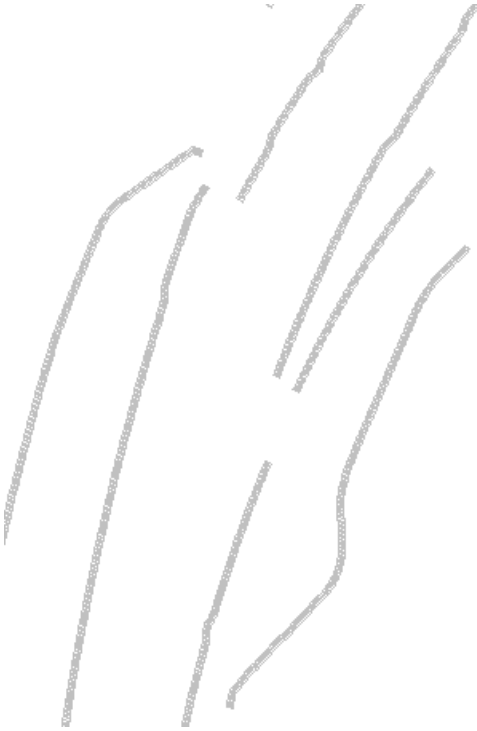
7 Koneohjauksen (MC1) hyväksymät formaatit

Formaatti	Kuvaus	Mittalinja	Pisteet	Viivat	Pinnat	Tien kerrokset	Objektitasot
LandXML	Monikäyttöformaatti	X	X	X	X	X	-
DXF	AutoCAD tiedonsiirtoformaatti	-	X	X	X	-	X
GEO	Pisteet ja viivat	-	X	X	-	-	-
KOF	Pisteet	-	X	-	-	-	-
L3D	Mittalinja	X	-	X	-	-	-
LMD	Linjamalli	X	-	X	-	X	-
CFM	Poikkileikkausmalli	X	-	X	-	-	-
LIN	Viivat ja mittalinjat	X	-	X	-	-	-
MBS	Dynaaminen tie-malli	X	-	X	-	X	-
TRM	Pintamalli	-	-	-	X	-	-

Kuva 7. Tuetut formaatit MC1:ssä [11]

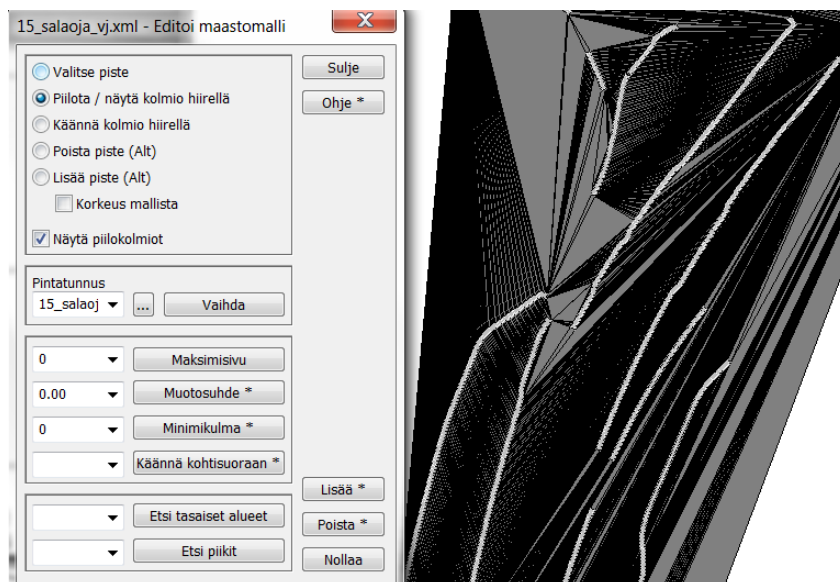
MC1-ohjelmistoa edeltävässä iCon -versiossa koneohjausjärjestelmä muutti pintamallit synkronisoinnin aikana XML- ja DXF-formaateista TRM-formaatiksi. TRM-formaatiksi muuttaminen nopeutti mallien käyttöä koneohjauksessa, mutta MC1 ei muutosta enää tee synkronisoinnin yhteydessä. MC1:n tukemat formaatit

LandXML- ja DXF-formaatteja kirjoittaessa on huomioitava, että kaikki rakenneosien kolmioidut pinnat kolmioidaan yhtenäiseksi tiedostoon. Piilokolmioita ei saa jäädä malliin formaattia ulos kirjoitettaessa. Mikäli piilokolmioita jää malliin, näyttää se koneohjauksessa samalta kuin kuvassa 9.



Kuva 8. Piilokolmiot poissa

Kuvassa 8 voidaan nähdä, miltä maastomalli näyttää ilman piilokolmioita. Malli on selkeästi luettavissa, ja kaikki kolmiodut linjat ovat eriteltyinä.



Kuva 9. Piilokolmiot näkyvissä

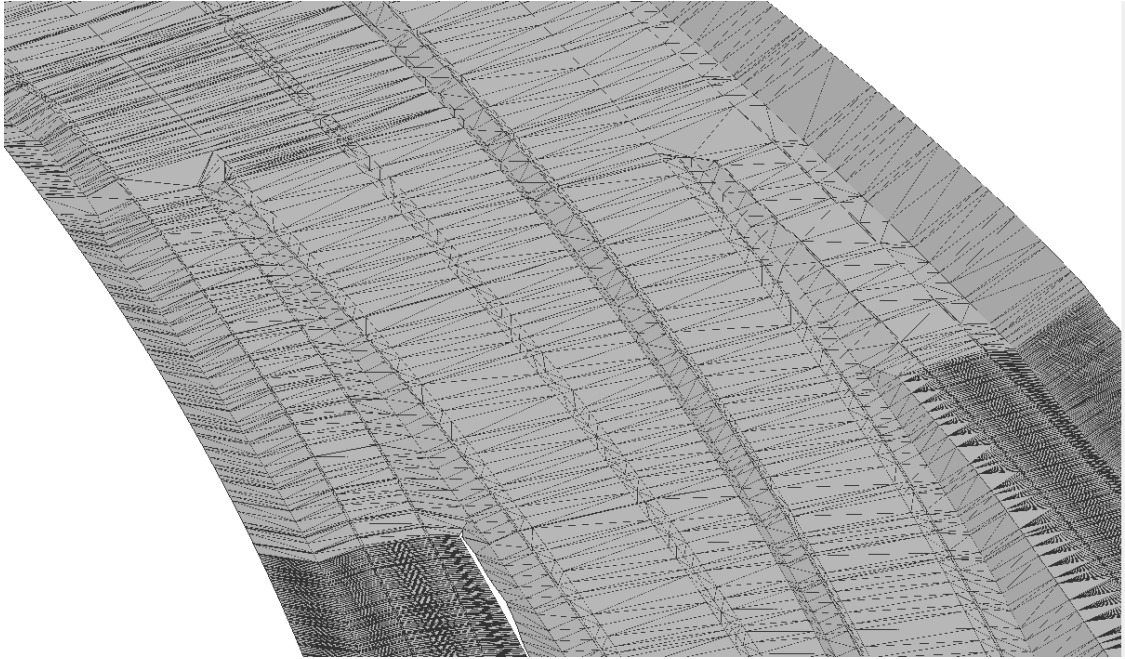
Kuvassa 9 on maastomallissa piilokolmiot päällä. Malli on raskas pyörittää ja virheellinen, sillä piilokolmiot antavat korkeutta alueelle, joka ei ole kolmiolinjan sisäpuolella. Mallista täytyy piilottaa piilokolmiot ja kirjoittaa tiedosto uudelleen halutulla maastomalli-formaatilla. [11]

Mallin kannalta tärkeät taiteviivat on hyvä säilyttää ohjauslinjoina itse malleissa. Ohjauslinjoina tarkoitetaan niitä taiteviivoja, jotka kuvastavat esimerkiksi luiskarakenteen tai muiden rakenneosien reunaviivoja (kuva 10).

Kirjoittaessa malleja erityisesti DXF-formaattiin, täytyy myös huomioida, että mallit ovat metrisessä pituusjärjestelmässä. Mikäli malli on tuumaisessa pituusjärjestelmässä, malli ei toimi oikein. [11]

DXF-formaatti ei myöskään toimi oikein, mikäli se sisältää hatchejä, bloqueja tai Xrefejä. Hatchit kuvastavat CAD-rasterointia tietyn alueen sisällä, esimerkiksi rakennuksen sisäpuoli voidaan rasteroida taustakartalle. Blokit puolestaan ovat symboleja, jotka on alkuperäisesti luotu origoon (koordinaatiston piste 0.0,0.0), mistä ne ovat siirretty toiseen kohtaan koordinaatistosta. Siirron vuoksi, blokkeihin jää viittaus origoon, jolloin esimerkiksi GK25-projektiossa kuvalle tulee virheellinen siirto. Xref on tausta-aineisto, jolla on sama siirtymiseen liittyvä ongelma kuin blokeilla. Xrefin tuotua CAD-pohjaiseen kuvaan, saattaa kohde viitata aineistoon, jota ei ole enää olemassa. [2]

Yksittäiset viivat on myös hyvä yhdistää yhtenäisiksi murtoviivoiksi ja välttää CAD-ympyröiden käyttöä. MC1 ei suoraan tue CAD-ympyröitä DXF-formaatissa, vaan ne täytyy osittaa murtoviivoiksi. [11]



Kuva 10. Kehä I – Laajalahden kohta, ylimmän yhdistelmäpinnan maastomalli

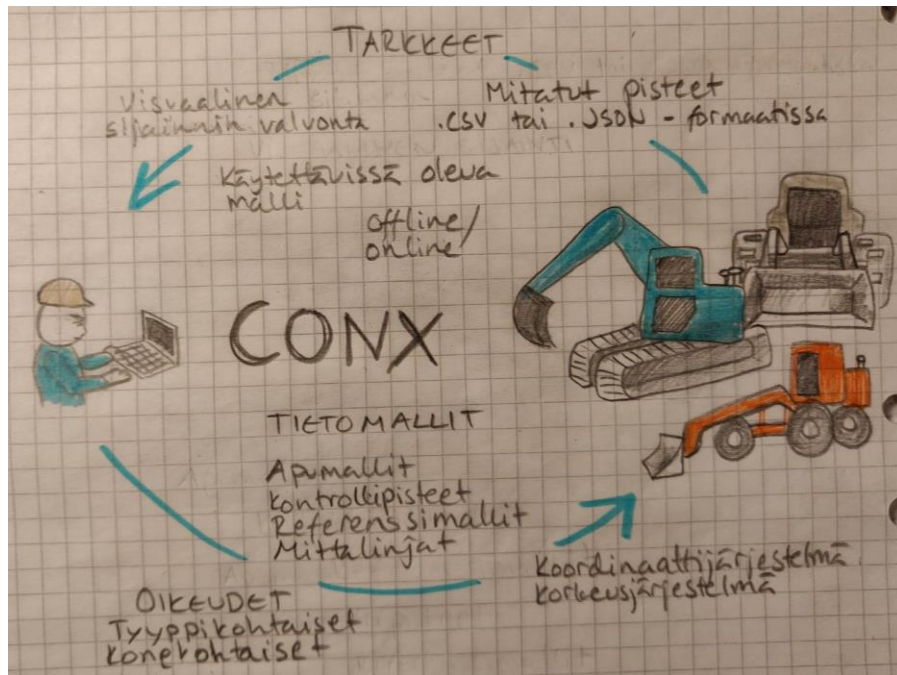
MC1 ei tue DWG-formaattia. DWG-mallit täytyy muuttaa DXF- tai XML-formaattiin ennen mallien lisäämistä ConX-palvelimeen.

8 ConX

ConX on 2017 ilmestynyt Leica Geosystems:n tarjoama verkossa toimiva digitaalinen alusta rakennushankkeiden ohjaamiseen ja tietomallipohjaisen aineiston välittämiseen asianomaisille tahoille. ConX mahdollistaa tietomalli aineistojen jakamisen suoraan toimistosta koneohjauksen käyttäjälle etänä. [12; 13.]

Projekteihin voidaan erikseen lisätä koneohjausta käyttäviä koneita, joille voidaan tietomallipohjaista aineistoa välittää sisään ja tarkepisteistä ladata ulos jälkiprosessointia varten [13].

MC1 on yhteydessä ConX-palvelimelle nettiyhteyden välityksellä. Toimiva nettiyhteys mahdollistaa etäsynkronisoinnin koneohjauksen ja ConX-palvelimen välillä. (kuva 11.) Etäsynkronisoinnin avulla koneohjausjärjestelmää käyttävä kuljettaja saa uusimmat mallit käyttöönsä. Etäsynkronointi edellyttää koneohjusta käyttävän koneen sijaitsemista työmaan projektin alla ConX-palvelussa. Koneen siirtämisen työmaan projektiin voi tehdä henkilö, jolla on tunnukset ConX-palveluun, mikäli kone on aikaisemmin ollut yrityksen työmaalla. Tällöin kone löytyy projektilistalta, josta se on helppo siirtää toiselle työmaalle ”Change project” -kohdasta (kuva 12). Muulloin koneohjaustuki siirtää koneen työmaan projektikansioon etänä. [12; 2.]



Kuva 11. ConX-palvelun toimintaperiaate

Leica Geosystems 110056_Keha_L_Laajalahti

Search

Track Sync Visualization Productivity EarthMover Utilization 3D Configure

Name	Type	Capacity	Make	Model	Note	Cost Type	Tags
Aijala CAT 329	Excavator				Sn. E607A0 Sn.2923792 ...	None	...
Aijala CAT 336	Excavator				Sn. F16226 Sn.2921786 ...	None	...
GRK Hitachi 170W MC1	Excavator wheeled				SN:2640202	None	...
Leivo Case cx235c	Excavator				Jukka 0405632445	None	...
Tervo Cobelco 260	Excavator				Tomi	None	...
Tervo Doosan 235 Hän...	Excavator					None	...
Tervo Doosan 235 Tomi	Excavator					None	...
Tervo Doosan DX170W ...	Excavator				s/n 2635635	None	...

Change project Edit Delete

Kuva 12. Koneen siirtäminen ConX-palvelussa työmaalta toiselle

ConX-palveluun luodaan hankkeelle oma projekti, jonka alle voidaan tietomallit jakaa koneohjausta käyttäville koneille. Projekti nimetään hankkeen mukaan ja tiedostoihin lisätään ensimmäisenä koordinaattijärjestelmä ja käytettävä korkeusjärjestelmä (kuva 13). Edellämainittujen tiedostojen lisääminen ensimmäiseksi on pakollista projektikansion ja mallien toimivuuden varmistamiseksi. [14]

 GK25_N2000.lok	Coordinate System	klonnberg	2019-10-30 13:48	598 bytes
 n2000.grd	Coordinate System	klonnberg	2019-10-30 13:48	916 kB

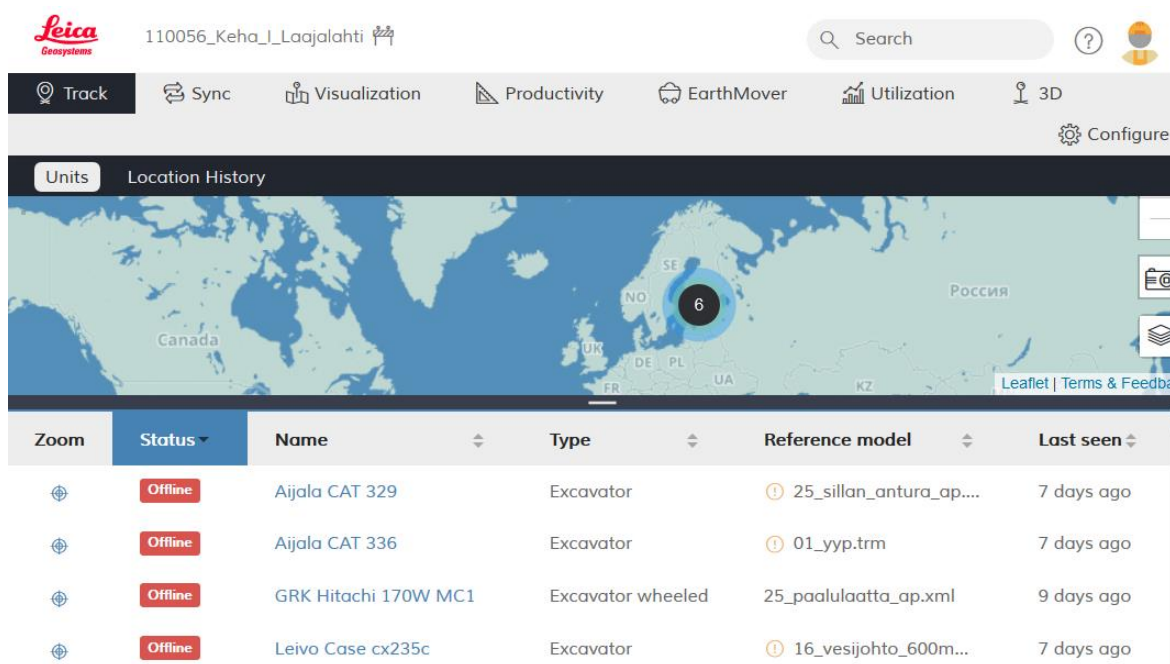
Kuva 13. Koordinaattijärjestelmä ja korkeusjärjestelmä ConX-palvelussa

Itse tietomallit voidaan lisätä koordinaattijärjestelmän ja korkeusjärjestelmän lisäämisen jälkeen. ConX antaa mahdollisuuden eritellä tietomallien näkyvyyttä antamalla koneille oikeuksia malleihin. Oikeuksia voidaan määrätä tyyppikohtaisesti tai konekohtaisesti. On siis mahdollista antaa yksilöllisille koneille eri oikeudet kuin esimerkiksi pyöroalustaisille kaivinkoneille. [14]

Huomioitavana on, että lisättäessä uusia tietomalleja palvelimelle tulee mallille antaa vain tyyppikohtaisia oikeuksia, jos halutaan tietomallien näkyvän myös projektiin myöhemmin lisättäville saman tyyppin omaaville koneille. Mikäli tietomallilla on vain konekohtaiset oikeudet, ei malli ole valittavissa toisilla koneilla, nykyisillä tai uusilla.

ConX-palvelusta voidaan nähdä koneiden reaaliaikainen sijainti kartalla, sekä niiden käyttämä tietomalli.

Esimerkkikuva (kuva 14) on otettu yleisen loma-ajan aikana, joten kaikki koneet ovat offline-tilassa.



Zoom	Status	Name	Type	Reference model	Last seen
	Offline	Aijala CAT 329	Excavator	25_sillan_antura_ap...	7 days ago
	Offline	Aijala CAT 336	Excavator	01_yyp.trm	7 days ago
	Offline	GRK Hitachi 170W MC1	Excavator wheeled	25_paalulaatta_ap.xml	9 days ago
	Offline	Leivo Case cx235c	Excavator	16_vesijohto_600m...	7 days ago

Kuva 14. ConX-palvelun projektinäkö

Koneiden ottamat tarkkeet siirtyvät automaattisesti muutaman minuutin kuluttua pisteiden mittaamisesta ConX-palveluun. Palvelusta voidaan valita tarvittavat tarkepisteet ja ladata ne ulos JSON- tai CSV-formaatissa. JSON-formaattia ei saatu toimimaan käytettävissä olevan vanhentuneen 3D-Win-ohjelman version 6.5.0 takia, mutta CSV-formaatti saatiin toimimaan onnistuneesti 3D-Win-ohjelmassa.

Tarkepisteitä voidaan seuloa niiden mittaamisajankohdan mukaan, koneiden mukaan tai suoraan niiden käyttämien mallien mukaan. Tällä hetkellä tarkepisteitä ei ole mahdollista poistaa ConX-palvelusta eikä iCon-ohjelmasta. Ainoastaan viimeksi otetun mittapisteen pystyy kumota sen ottanut kuljettaja. [10; 2]

ConX-palvelusta pystytään katsomaan mitattujen tarkepisteiden tietoja pistettä klikkaamalla. Pisteestä saadaan selville sen mitannut kone, mittausajankohta, numero, koodi sekä sijaintitiedot WGS84- ja GK25-koordinaattijärjestelmissä (kuva 15).

Leica Geosystems 110056_Keha_I_Laajalahti

Track Sync Visualization Productivity EarthMover

Measured Points

Filter by Time Interval

All Last 30 days
Last 7 days Today

From:

2015-01-01

00 : 00

To:

2020-02-12

23 : 59

Visualize/hide files
Drag and drop to reorder rows

468 Measured Points

Point Information

Unit: Tervo Doosan 235 Hänninen
Log time: 2020-02-03 16:03:17
Point number: 409
Point code: kaapelisuoja putki

Latitude: 60.20020186
Longitude: 24.80894262
Height: 8.55
Northing: 6676393.44
Easting: 25489403.49
Ellipsoid Height: 26.41

Kuva 15. ConX-palvelun tarkepistenäkymä

9 Tietomallipohjaiset aineistot

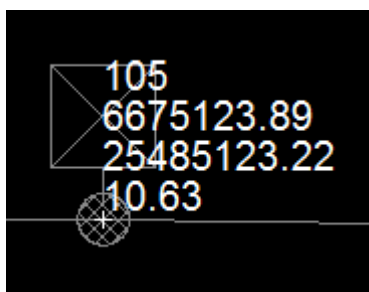
MC1:n mallinnusohje suosittelee mallinnettavan tietomallipohjaiset tiedostot omiksi, oman värikoodin omaaviksi, tiedostoiksi. Tiedostot pitävät kukin sisällään yhden rakenneosan aineistoa, kuten esimerkiksi valaistusta. Näin koneohjauksen käyttäjällä on helppompi hahmottaa eri aineistot usean tiedoston ollessa yhtäaikaaisesti aktiivisena. Tiedostojen ollessa yksilöllisillä nimillä korvaa päivitetty revisio vanhan automattisesti, kun päivitetty versio lisätään ConX-palvelimelle. Koneohjauksen käyttäjä saa heti päivitetyn mallin käyttöönsä, kun hän synkronisoi laitteensa ConX-palvelimeen.

Tietomallipohjaiset aineistot eivät saa sisältää kirjaimia Ä, Ö tai erikoismerkkejä. MC1 ei myöskään tue CAD-ympyröitä malleissa. Mallille annettu nimi on koneohjauksessa kuljettajalle näkyvä tiedostonimi. [11]

9.1 Pistemäinen aineisto

Pistemäinen aineisto koostuu hajapisteistä, joille on määritetty X, Y, Z -koordinaatit. Pistemäistä aineistoa voidaan käyttää esimerkiksi pintamallien luontiin ja yksittäisten elementtien merkitsemiseen.

Koneohjauksessa pistemäistä aineistoa käytetään, kun halutaan esimerkiksi tietää lampunjalan (kuva 17) tuleva sijainti. Lampunjalan sijainti voidaan osoittaa hajapisteinä pistemäisessä aineistossa. Tällöin lampunjalalle annetaan yläpinnan korko, joka on laskettu suhteessa tulevan/olemassa olevan maanpinnan mukaan (kuva 16). [2; 11.]

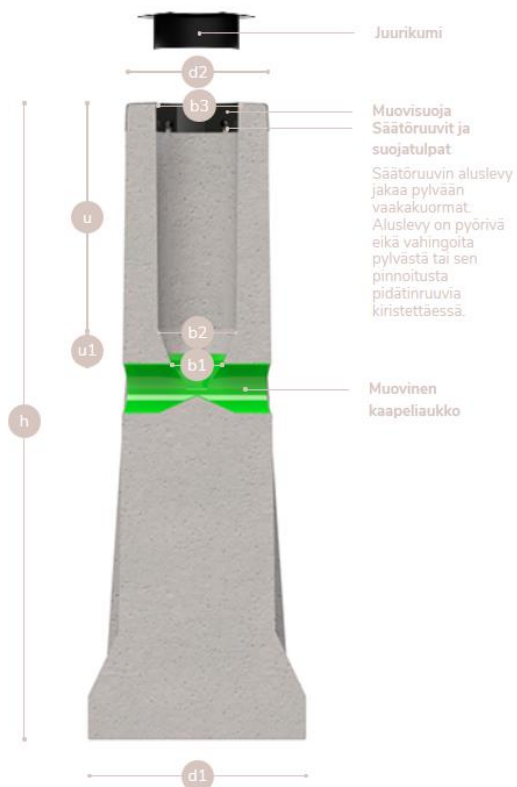


Kuva 16. Lampunjalan pistetiedot

Yleinen ohjehan on, että lampunjalan yläpinnassa olevat säätöruuvien reiät tulee jäädä näkyville, jotta voidaan lampunjalka kiristää paikalleen (kuva 18). Tähän ohjeeseen on poikkeuksiakin.



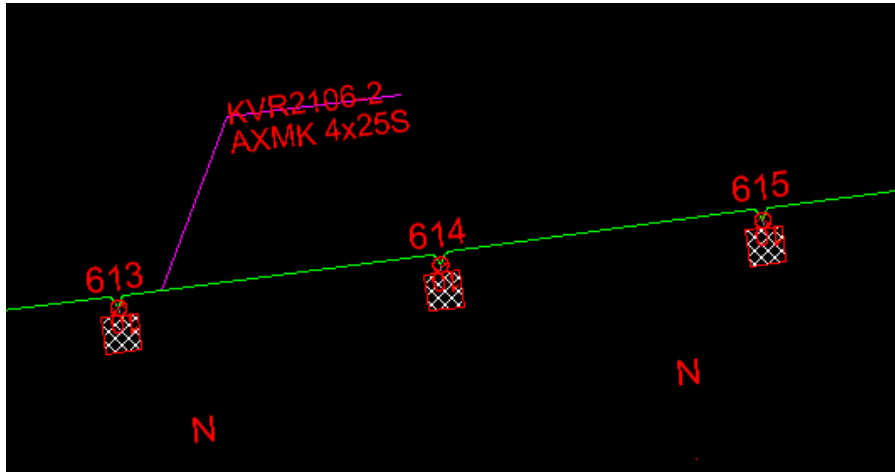
Kuva 17. Lampunjalka SJ 1.3 [16]



Kuva 18. Lampunjalan tyyppiirustus [16]

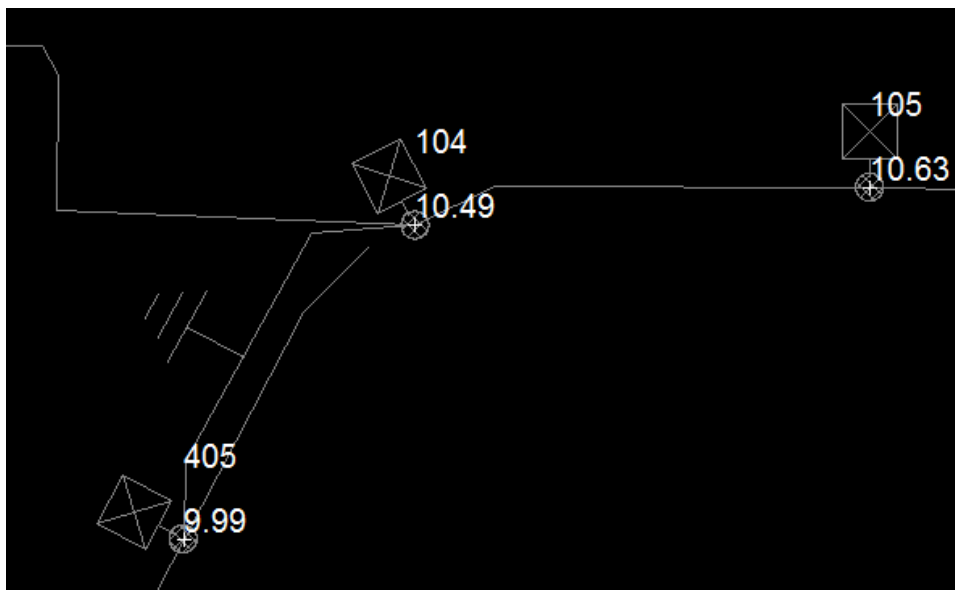
9.1.1 Pistemäisen aineiston luonti

Työmaalla pistemäinen aineisto yleensä luodaan suunnittelijan antamien DWG-kuvien mukaan. Kuvista poimitaan tarvittavat tiedot ja ne eritellään omiksi malleiksi. DWG-aineistojen kohteilla harvoin on korkeutta annettu, vaan se on 0.0.



Kuva 19. Suunnittelijan DWG-kuva valaistuksesta

Suunnittelijan DWG-kuva urakkaan suunnitellusta valaistuksesta on yleensä kuvan 19 mukainen.



Kuva 20. Taustakuva valaistuksesta pistetietojen kanssa

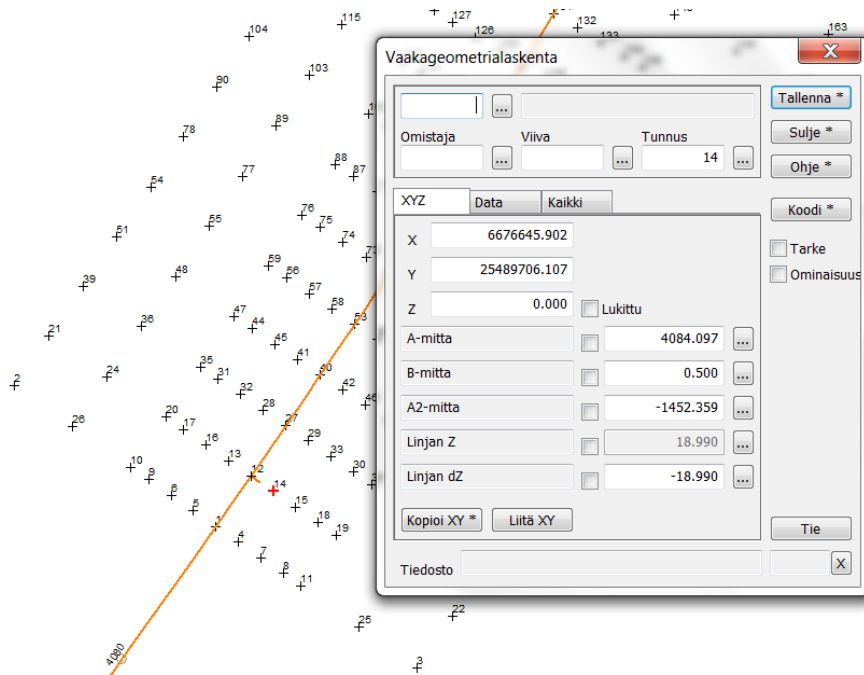
Kuvassa 20 voidaan nähdä suunnittelijan DWG-kuvista poimitut lampunjalkojen keskipisteen koordinaatit ja korkeus yläpinnalle (kuva 20). Yläpinnan korkeus on laskettu tulevan maanpinnan suhteen. Taustalla on suunnittelijan DWG-kuva harmaana.

9.1.2 Telinetolppien laskeminen

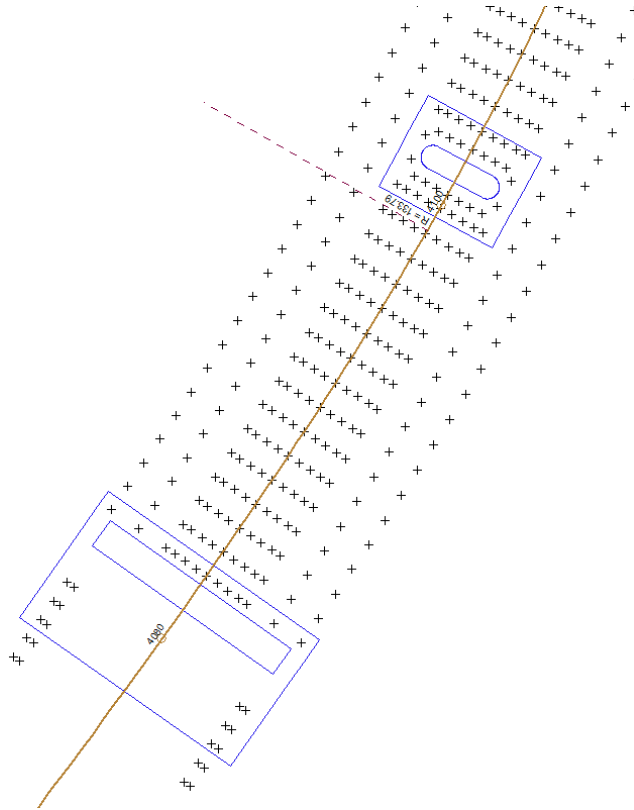
Pistemäistä aineistoa voidaan myös luoda suoraan suunnittelijan kuvista laskemalla. Työmaallamme oli käynnissä sillan S2 rakentaminen, minkä takia laskettiin telinesuunnittelijan kuvista sillan telinetolppien paikat. Telinesuunnittelijalta tuli kaksi suunnitelmaa tolppien sijainneista: poikkileikkauskuva ja tasokuva.

Tasokuvasta selvisi siipimuurien alla olevien telinetolppien jako ja lukumäärä. Poikkileikkauskuvasta ilmeni sillan linjaa seuraavien kannen telinetolppien jako ja sijainti suhteessa kannen mittalinjaan. Sillan kannen mittalinjaa apuna käyttäen pystyttiin linjalaskennalla laskemaan telinetolppien sijainnit. Sillan kansilinjaa keskelle rakennetaan telinetolppia tiheämmin, koska sillan ollessa jännitetty betoninen palkkisilta täytyy telineiden kestää keskipalkin paino.

Telinetolppia asennetaan samalle riville 13 kappaletta 1,125 metrin jaolla koko sillan kannen alle. Linjalaskennalla pystyttiin laskemaan tolppien sijainteja B-mittaa ja A-mittaa muuttamalla. B-mitalla saatiin tolppariville kaikki 13 tolppaa oikeille etäisyyksille. Keskilinjasta oikealle, eli positiiviseen suuntaan, tolppia tulee etäisyyksiin 0, 0,5, 1,0, 1,5, 1,9, 3,2 ja 4,5. Samat etäisyydet pätevät keskilinjasta vasemmalle, eli negatiiviseen suuntaan. A-mitta kuvastaa keskilinjan paalulukuja, joten tolppajako 1,125 metriä täytyi aina lisätä paalulukuun mentäessä kohti suurempia paalulukuja. (kuva 21.)



Kuva 21. Telinetolppien laskeminen vaakageometrian avulla



Kuva 22. Telinetolppien pistesijainnit sillan kannen alapuolella

Valmis telinetolppien sijaintia kuvastava tiedosto (kuva 22) kirjoitetaan ulos 3D-Win-ohjelman formaattimuuntimella GEO-tiedostoksi. GEO-tiedosto pitää sisällään pisteen numeron ja X, Y, Z -koordinaatit.

9.1.3 Pistemäisen aineiston käyttö koneohjauksessa

Siltaan S2 tehtiin pelkkapeti erillisellä pintamallilla. Pelkkapedin päälle asennettiin pelkkoja linjaan jokaisen telinetolpparivin kohdalle (kuva 23). Pelkka on 15x15 cm:n puuparru (kuva 24), joka kyseisellä työmaalla asennettiin oikeaan kohtaan koneohjauksen avulla. Aineisto kirjoitettiin 3D-Win-ohjelmalla GEO-formaattiin ja lisättiin ConX-palvelimelle kontrollipisteinä.

Aikaisemmin pistetiedosto olisi voitu lisätä ConX-palvelimelle PXY-tiedostona, mutta MC1:n ohjelmistopäivityksen takia tämä formaatti poistui käytöstä. MC1 tukee pistemäiselle aineistolle formaatteja LandXML, KOF, DXF ja GEO. [2; 11.]



Kuva 23. Sillan telinetolpat pelkkapedin päällä

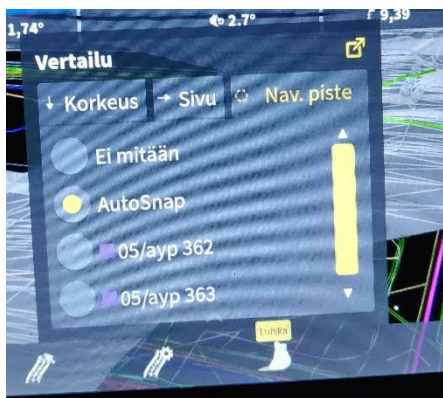


Kuva 24. Pelkka

Telinetolppien malli toimii koneohjauksessa pelkkojen asentamisessa pelkkapedille. Kaivinkonekuski näkee omalta koneohjausnäytöltään telinetolppien sijainnin laitettuaan pistetiedoston aktiiviseksi ja pystyy esimerkiksi routapiikillä merkitsemään uloimpien tolppien paikkoja maastoon. Pelkat saadaan linjaan parhaimmilleen siten, että kaivinkoneen

kuljettaja näyttää routapiikillä telinetolpparivin uloimman tolpan paikan ja pelkka asennetaan sen alle niin, että se menee hieman linjasta yli (350 mm telinesuunnittelijan tasokuvassa). Sama toimenpide toteutetaan toiselle puolelle telinetolppariviä, jolloin pelkkajako toteutuu tarpeeksi tarkasti.

MC1:ssä tuli uutena ominaisuutena AutoSnap-toiminto, joka mahdollistaa pisteen merkitsemisen lähimmän pisteen mukaan (kuva 25). Näin ollen kauha merkitsee lähimpänä olevaa pistettä, jolloin ei kuljettajan tarvitse manuaalisesti valita merkittävää pistettä. Manuaalisesti kuljettaja pystyy merkitsemään *kosketa ja pidä* -toiminnolla. Tällöin kuljettaja saa valittavaksi näytöllä näkyvän alueen valittavat tiedostot. [2]



Kuva 25. Kaivuutilan vertailuvalikko

9.1.4 PXY- ja GEO-formaatit

Aikaisemmin pistemäisiä aineistoja oli mahdollista luoda myös PXY-formaatissa, joka kattaa hajapisteen nimen, X, Y, Z -tiedot, eli pelkät pistemäiset tiedot (kuva 26). Leican uuden koneohjausohjelmiston MC1:n käyttäjät eivät pysty enää hyödyntämään kyseistä formaattia, sillä ohjelmisto ei tue formaattia. PXY-formaatin tilalle tuli kehittyneempi formaatti GEO.

J44	6676869.33225489631.117	20.360	,
J43	6676871.58225489627.958	20.340	,
J42	6676871.56425489623.544	20.320	,

Kuva 26. jätevesikaivojen pistetiedosto ETRS-GK25-koordinaattijärjestelmässä, korkeusjärjestelmä N2000 PXY -formaattissa.

MC1-ohjelmisto tukee pistemäisessä aineistossa GEO-formaattia, joka on hieman erilainen verrattuna PXY-formaattiin. GEO-formaatti on ruotsalainen vektoriformaatti, joka on yhtäläinen PXY-formaatin kanssa hajapisteen tietojen osalta, mutta esittämistapa on muuttunut (kuva 27). Lisäksi GEO-formaatti voi pitää sisällään myös viivamaista aineistoa, pelkän pistemäisen aineiston sijasta. GEO-formaatti tukee myös ominaisuustietoa, mikä PXY-formaatissa ei ollut mahdollista. [2; 15]

```
Point "2523 TP",6675947.680,25489295.930,11.380,,,
Point "2524 SOTK",6675997.310,25489301.990,11.040,,,
Point "2525 SOTK",6676046.330,25489311.850,10.400,,,
```

Kuva 27. Hulevesikaivojen pistetiedosto ETRS-GK25-koordinaattijärjestelmässä, korkeusjärjestelmä N2000 GEO-formaatissa.

Molemmat formaatit pystytään kirjoittamaan ja lukemaan 3D-Win-ohjelman formaattimuuntimella.

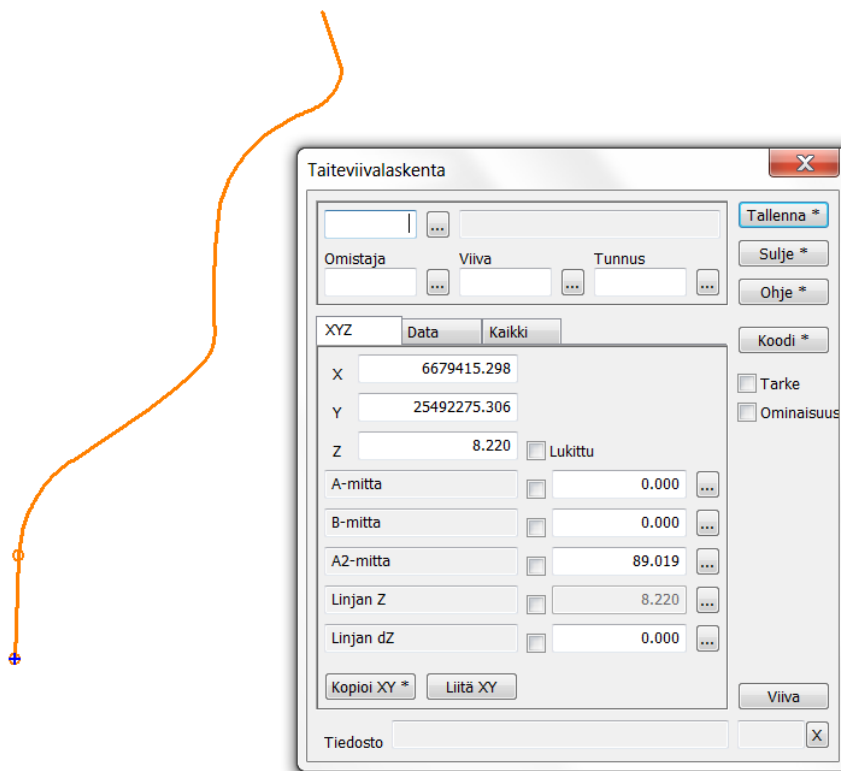
9.2 Viivamainen aineisto

Viivamainen aineisto pitää sisällään taiteviivoja, jotka on luotu pisteiden välille. Taiteviiva voi kuvastaa esimerkiksi luiskan yläreunaa tai tien keskilinjaa. Viivamaisessa aineistossa ei pidä olla ylimääräisiä hajapisteitä sen toimivuuden varmistamiseksi. Liiallinen määrä hajapisteitä viivamaisessa aineistossa saattaa haitata mallin kohteen oikeellista esittämistä. Viivamainen aineisto antaa koneohjauksessa mahdollisuuden esimerkiksi putkilinjojen, anturoiden ja päällysrakenteen reunojen merkitsemiseen. [2; 11.]

9.2.1 Viivamaisen aineiston luonti

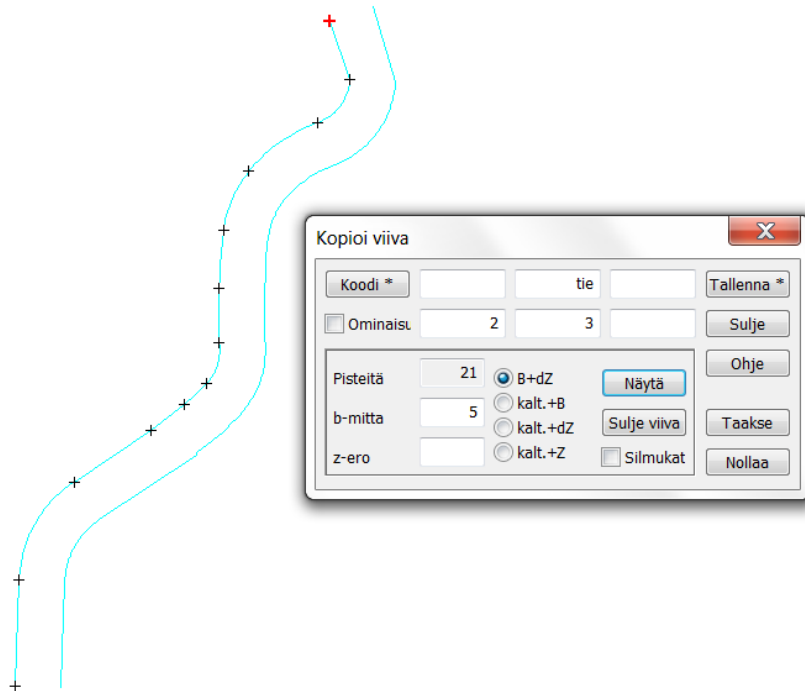
Viivamainen aineisto luodaan pääsääntöisesti joko suunnittelijan DWG-kuvasta poimimalla tai laskemalla suunnitelmista. Aineiston tulee kuvastaa esitettävää aihealuettaan mahdollisimman yksinkertaisesti ja oikeellisesti. Eri aineistojen tulee olla luotu eri väreillä, jotta malli erottuisi muiden mallien joukosta koneohjausta käyttävän kuljettajan näytöllä. Aineistojen värien tulee kuvastaa sen sisältöä mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi jätevesilinjaa kuvastava viivamainen aineisto useasti koodataan ruskeaksi ja hulevettä kuvastava viivamainen aineisto vihreäksi.

Kyseisessä urakassa ei vielä opinnäytetyön aikana tullut ajankohtaiseksi viivamaisen aineiston luontia, joten suunnittelin itse kevyen liikenteen väyläosan, jonka luontia käytän esimerkkinä. Suunniteltu laatuviiva on leveydeltään 5 metriä ja pituudeltaan 89 metriä (kuva 28). Tien molemmin puolin suunnitellaan luiskat ja pohjoispäättyyn mallinnetaan T-mallinen risteys.



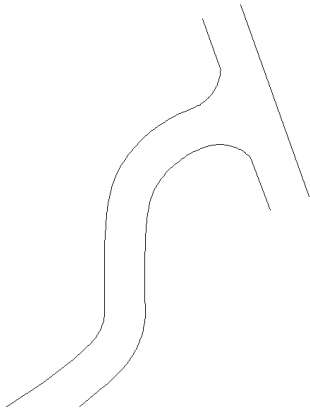
Kuva 28. Tien taiteviiva

Mallin luominen aloitetaan luomalla uusi elementti elementtilistaan. Seuraavaksi piirretään tien reunan taiteviiva viivaeditorilla, joka sitten kopioidaan halutun etäisyyden päähän tien toiseksi reunaviivaksi (kuva 29). Kaarielementtejä käytettiin taiteviivoissa parantamaan mallin jouhevutta.



Kuva 29. Tien taiteviivan kopioiminen

Tien reunaviivojen kopioimisen jälkeen haluttiin luoda tien pohjoispäättyyn T-mallinen risteys. Taiteviivasta katkaistiin pohjoispuolen ensimmäinen kaari tien molemmilta puolilta. Taiteviivan pohjoispuolen suoraa viivaa jatkettiin pidemmälle ja poistettujen kaarien tilalle luotiin uudet (kuva 30). Näin risteysalueesta saatiin siistin näköinen kaarien luodessa tarvittavat viisteet risteysalueelle.



Kuva 30. Valmiit reunaviivat

Laatuväylälle täytyy myös suunnitella kaadot, jotta vesi pääsee hyvin poistumaan kulkuväyliltä kohti luiskia. Tie suunniteltiin laskevan kohti pohjoista, jolloin lisättiin tien oikean puoleiselle reunaviivalle korkeudet sopiviksi. Lisäsin korot vain taiteviivan alku ja loppupisteille, sillä 3D-Win-ohjelman *interpoloi korkeus* -toiminnolla ohjelma laskee taiteviivan keskelle puuttuvat korot.

Laatuväylän sivuttaiskaltevuudeksi asetettiin 2 %, jolloin korko nousee kaksi senttimetriä metrin matkalla. Laatuväylän ollessa viisi metriä leveä pystyttiin laskemaan tien vasemman puolen korot kuvan 31 mukaan.

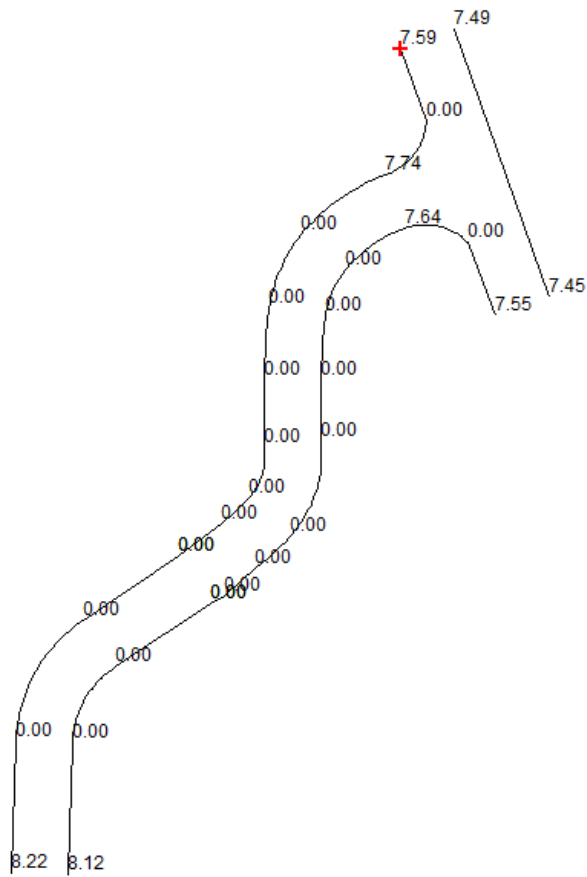
$$8.12 + (0.02 \cdot 5) = 8.22$$

$$7.45 + (0.02 \cdot 5) = 7.55$$

$$7.45 + (0.02 \cdot 5) = 7.55$$

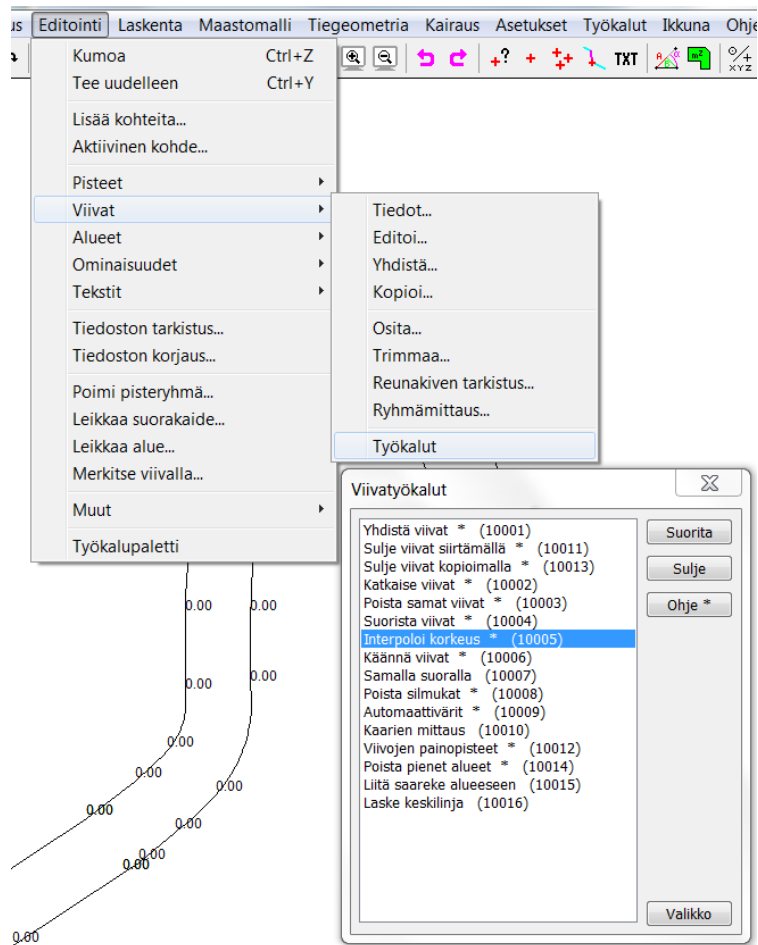
Kuva 31. Tien korkojen laskentaa

Myöhemmin lisättiin risteysalueelle vielä yhden korot varmistaakseen alueen pituus- ja leveyskaltevuuden toimivuudet. Oikeanpuoleiseen reunaan lisättiin korko 7,64 ja vasemmanpuoleiseen reunaan korko 7,74.



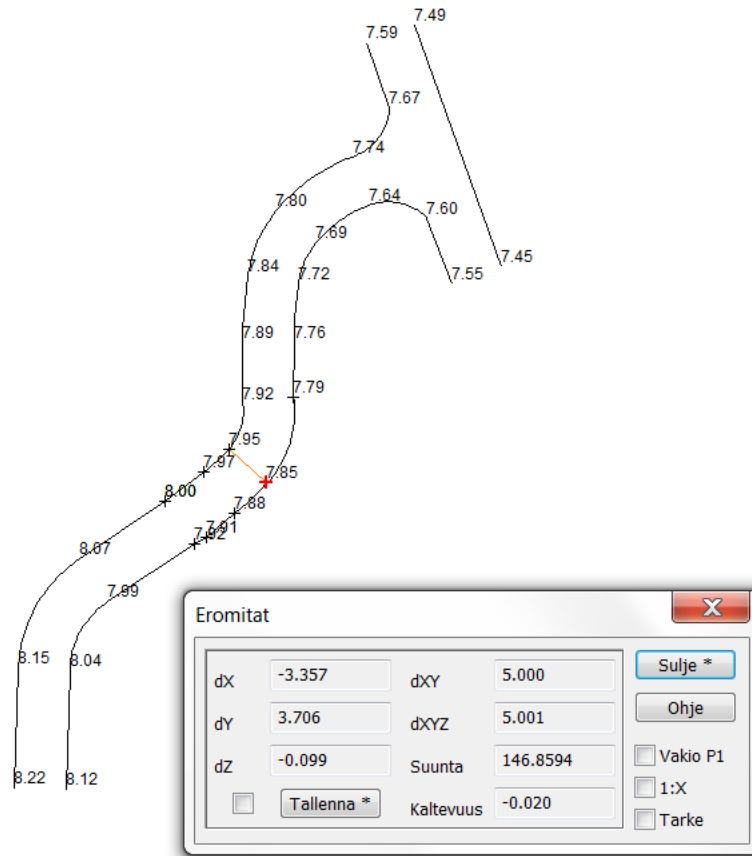
Kuva 32. Nollakorkeudet näkyvissä

Seuraavaksi lasketaan interpoloimalla nolla korkeuksille (kuva 32) taiteviivan alku- ja loppupään mukaiset korot. Korokojen interpolointi tapahtuu aktiiviselle elementille kuvan 33 mukaan.



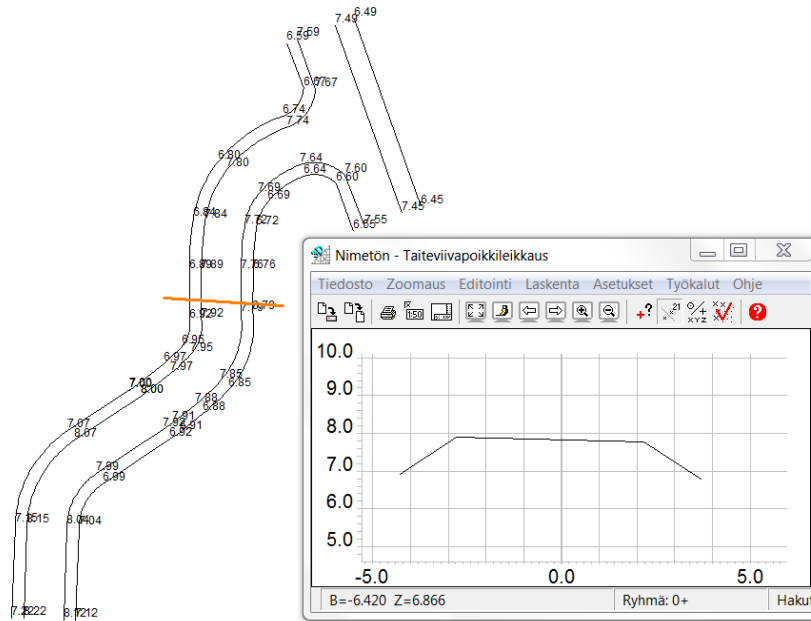
Kuva 33. Koron interpoloiminen

Taiteviivan korot tarkastetaan interpoloinnin jälkeen mahdollisten virheiden takia. Tässä tapauksessa interpolointi sujui hyvin ja haluttu sivuttaiskaltevuus saavutettiin (kuva 34).

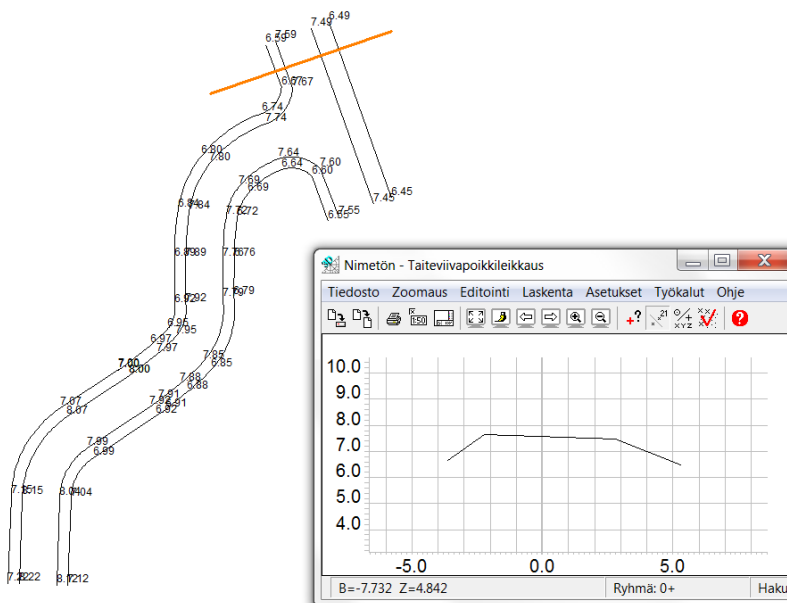


Kuva 34. Tien kaatojen tarkastaminen eromittojen avulla

Seuraavaksi luodaan laatuviivän molemmille puolille luiskat. Luiskat luodaan helpoimmin kopioimalla reunaviivat ja laskemalla niiden korkotasoa haluttu määrä alaspäin. Luiskien suhteen suunniteltiin olevan 1; 1,5, jolloin korkotaso laskee 1,5 metrin matkalla tasan metrin verran. Näin ollen kopioitiin tienreunojen taiteviivat 1,5 metrin etäisyydelle ja laskettiin niiden korkotasoa metrin verran (kuva 35). Risteyksen päädyssä olevan luiskan suunniteltiin olevan 1; 2,5, jolloin 2,5 metrin matkalla korkotaso laskee tasan metrin verran. Tällöin kopioitiin viiva 2,5 metrin etäisyyteen ja laskettiin korkotasoa metrin verran (kuva 36).



Kuva 35. Taiteviivoikkileikkaus tien keskeltä

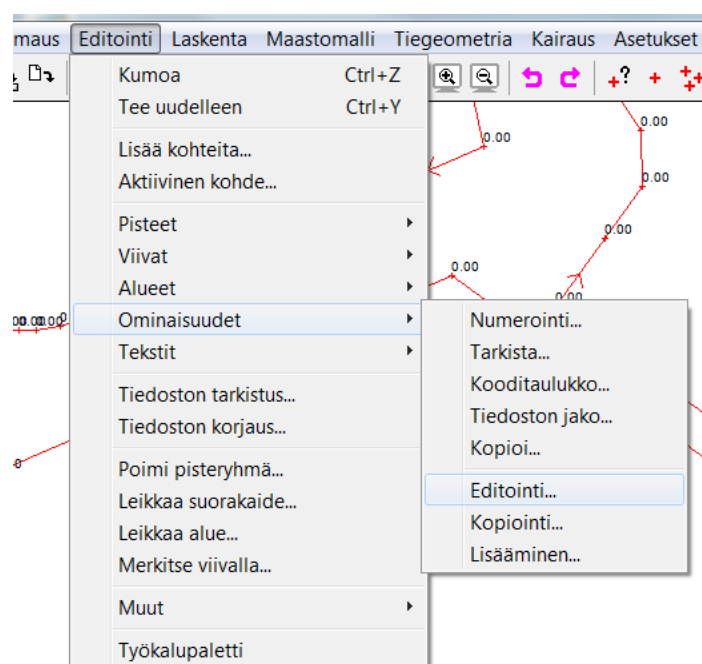


Kuva 36. Taiteviivoikkileikkaus tien alapäästä

Seuraavaksi tiedosto tarkastetaan mahdollisten virheiden varalta ja taiteviivoille lisätään kuvaavat lajikoodit InfraBIM-nimikkeistön mukaan. Tässä tapauksessa nimettiin tien reunat koodilla 120 (tien reuna) ja luiskan reuna koodilla 141 (ojan pohja). [5] Taiteviivoille

on hyvä antaa kohdetta kuvaava viivatunnus, jotta koneohjausta käyttävä kuljettaja ymmärtäisi mahdollisimman helposti mistä taiteviivasta on kysymys. Viivatunnuksen täytyy olla yksilöllinen, se ei saa olla yhtenevä toisen mallin kanssa. Tällöin koneohjaus ei välttämättä lue malleja oikein. [11]

Taiteviivojen numerointi on hyvä tehdä järjestelmällisesti, eli numeroida taiteviivat juoksevasti ykkösestä ylöspäin. 3D-Win-ohjelmassa on *numerointi*-toiminto, jolla ohjelma itse numeroi viivat järjestelmällisesti (kuva 37). [14]

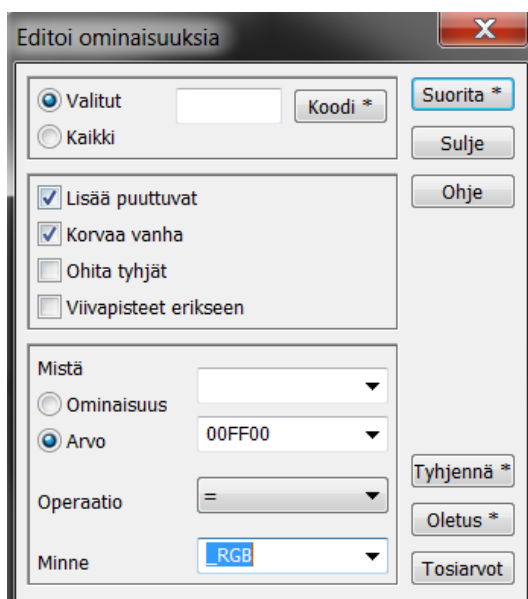


Kuva 37. Ominaisuuksien editoiminen

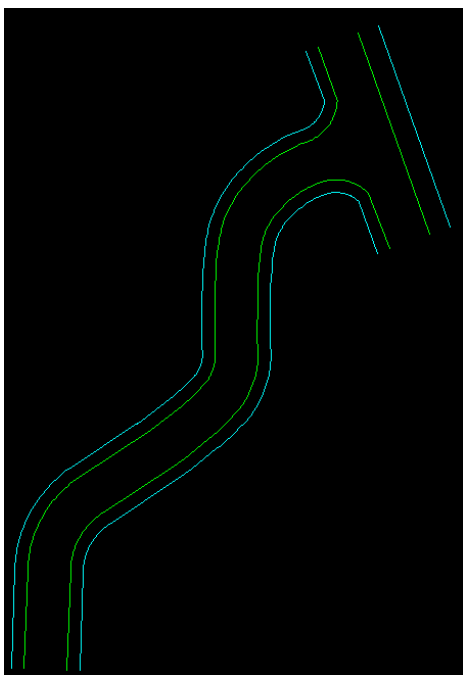
3D-Win-ohjelmassa voidaan viivamaiselle aineistolle muuttaa väriä aineiston ominaisuuksia editoimalla. *Editointi*-valikossa on *ominaisuuksien editointi*-kohta, josta voidaan koko aineisto, tai osa aineistoa editoida eri värillä.

Editoitavalle kohteelle täytyy antaa arvoksi kuusinumeroinen värikoodi, joka tässä tapauksessa on vaaleansininen ja vihreä (00FFFF ja 00FF00). Arvolle täytyy antaa myös kohde, joka tässä tapauksessa on `_RGB`. (kuva 38.) Erityisen tummia värejä ei ole hyvä

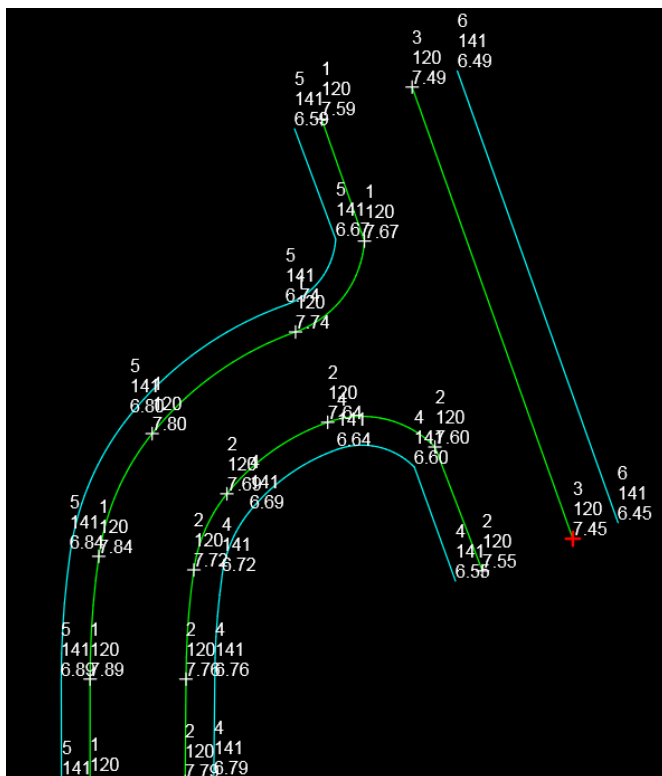
käyttää aineistoissa, sillä koneohjausnäytöt ovat mustia ja tummat värit eivät erotu näytöltä hyvin (kuva 39).



Kuva 38. Väriominaisuuksien koodaaminen



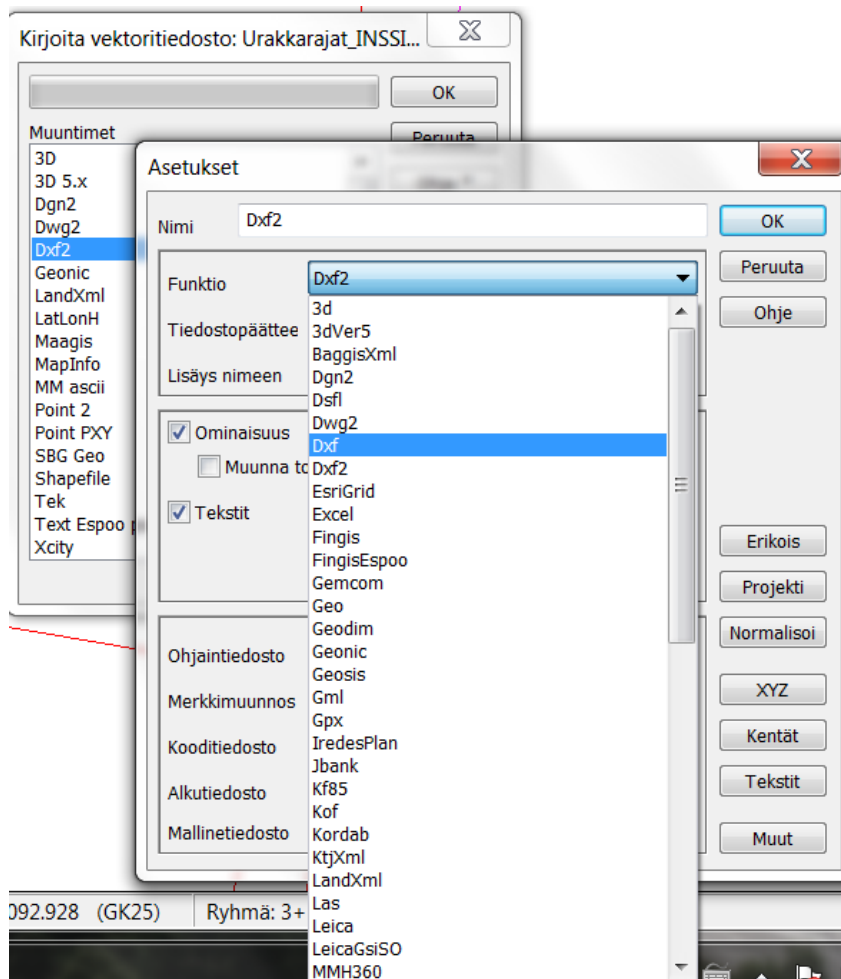
Kuva 39. Värikoodattu tie mustalla taustalla



Kuva 40. Tien viivanumerot, lajiominaisuudet ja korot aktiivisena

Toimiva malli sisältää yksilölliset viivanumerot (T2), kuvastavat lajiominaisuudet (T3), virheettömät korkotiedot ja selventävät väriominaisuudet (kuva 40). Omistajatunnus (T1) voi antaa aineistolle tarvittavaa lisätietoa, mutta tässä mallissa tunnukselle ei ole annettu arvoa. [11]

Ominaisuuksien editoinnin jälkeen täytyy aineisto kirjoittaa ulos 3D-Win-ohjelman ennalta määritetyllä formaattimuuntimella Dxf2 pelkän Dxf:n sijaan (kuva 41). Näin varmistetaan, että värien editointi säilyy aineistossa, kun sitä käytetään ohjelman ulkopuolella. Dxf2 on 3D-Win-ohjelman oma formaattimuunnin, joka ei vaikuta aineiston tiedostopäätteeseen .DXF.



Kuva 41. DXF-formaattiin kirjoittaminen 3D-Win-ohjelman formaattimuuntimella

Viivamaisen aineiston luonnissa tulee ottaa myös huomioon, että kaikki taiteviivat ovat käännettynä oikein päin ja useat yksittäiset, peräkkäiset taiteviivat on liitetty yhdeksi murtoviivaksi. Taiteviivat ja viivapisteet tulee olla oikeassa korossa ja aineisto tulee olla tarkastettu ennen kuin sen voi lisätä ConX-palvelimelle referenssimalliksi.

Referenssimalli on malli, johon koneohjaus antaa mahdollisuuden tarttua. Toisin kuin apumallien kohdalla referenssimallia on mahdollista merkitä ja mitata koneohjauksessa. [2; 11.]

9.2.2 Viivamaisen aineiston käyttö koneohjauksessa

Viivamainen aineisto koneohjauksessa antaa mahdollisuuden merkitä sijaintia ja korkoa suhteessa aktiiviseen viivaan. Tämä toimenpide edellyttää, että viivamainen aineisto on aktiivisena mallina ja merkitsemiseen käytetään kyseisen aineiston korkeutta sekä sijaintia.

Viivamaista aineistoa voidaan myös käyttää yksin tai yhdessä toisen mallin kanssa esimerkiksi pintamallin kanssa. Tällöin voidaan kaivuukorkoa merkitä pintamallista ja sijaintia viivamaisesta aineistosta. [2; 11.]

9.3 Pintamalli

Pintamalli on luotu taiteviivoista ja niitä täydentävistä hajapisteistä. Taiteviivat kuvaavat niitä rakenneosia, joissa korkeus vaihtuu radikaalisti ja hajapisteet kuvastavat yksittäisiä korkeudenvaihteluja. Kun aineisto, jossa on taiteviivoja ja hajapisteitä, kolmioidaan Autocad-peräisellä ohjelmalla, saadaan aikaiseksi pintamalli.

Pintamalleja käytetään pääsääntöisesti kuvaamaan eri rakennekerroksien korkeuksia. Yleisimmät rakennekerrokset maanrakentamisessa ovat leikkauspohja, jakava kerros, kantava kerros ja valmiin pinnan kerros. [17; 2; 7.]

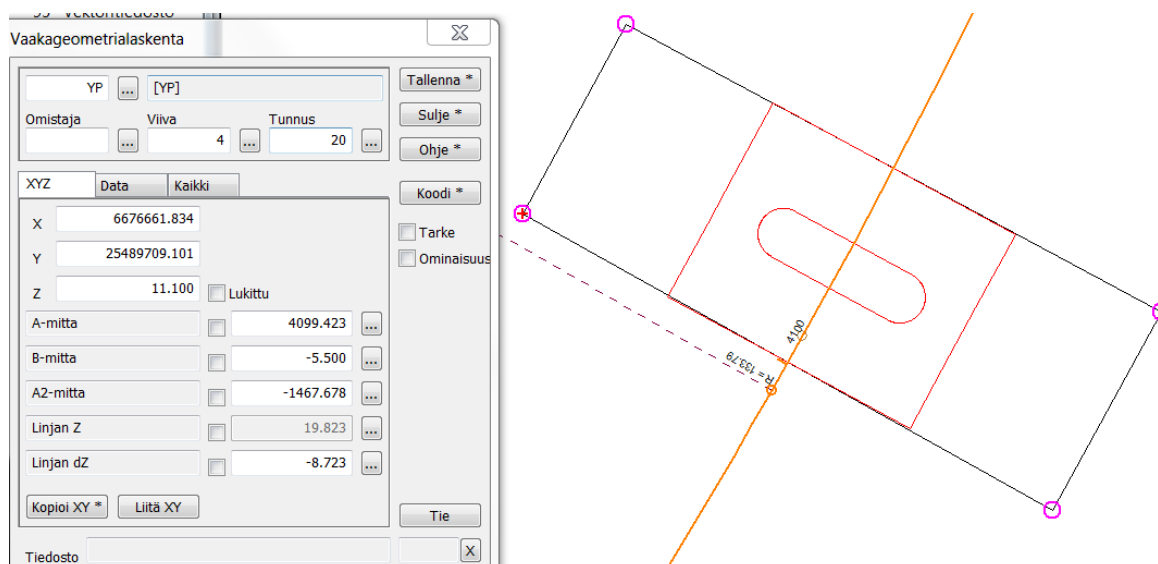
9.3.1 Pintamallin luominen

Kehä I – Laajalahti -urakassa oli käynnissä sillan S2 rakentaminen. Sillan perustuksien anturoiden ollessa valettu tuli ajankohtaiseksi pelkkapedin tekeminen. Pelkkapeti rakennetaan tukevasta maa-aineksesta, jonka päälle asennetaan itse pelkat. Pelkkojen päälle asennetaan telinetolpat, jotka kannattelevat sillan kannen rakenteita.

Useasti telinesuunnittelijan kuvat toimivat ohjeena pelkkapedin tekemisessä, mutta tässä tapauksessa kuvat eivät ehtineet saapua riittävän aikaiseen. Malli oli kuitenkin tehtävä, sillä kaivinkone odotti jo kohteessa.

Työnjohtaja Kekäle kertoi ja piirsi sillan S2 pituusleikkauskuvaan hahmotelman, kuinka peti kulki tasaisesti sillan kaarta myötäillen ja aina laskei alas anturoiden yläpinnan korolle. Anturoista lähtevät luiskat saivat olla maksimissaan 1:3, eli korkeus saisi laskea yhden metrin kolmen metrin matkalla. Etäisyys sillankannen pohjapalkin ja pelkkapedin välillä sai Kekäleen mukaan olla viiden metrin luokkaa, jotta voitaisiin käyttää puutavarasta 5,1-metrisiä tolppia. Kyseiset tolpat olivat puutavarasta halvimpia. Sillankannen leveys oli tasan 9 metriä, joten pelkkapedin malli luodaan 11 metriä leveäksi. Tällöin mallissa olisi riittävästi pelivaraa, tasan yksi metri molemmin puolin sillankantta.

Mallin tekeminen aloitettiin sillan mittalinjaa apuna käyttäen. Luotiin uusi elementti, johon tekemät muutokset tallentuisivat. *Linjalaskenta*-toiminnolla laskettiin mittalinjaa apuna käyttäen sillan anturoiden reunalinjojen kohdalle 4 pistettä pelkkapedin ulkoreunoihin, eli keskilinjasta 5,5 metriä linjan molemmin puolin (kuva 42).



Kuva 42. Pelkkapedin vaakageometrialaskenta

Jotta luiskakaltevuus toimisi, täytyy luiska muodostaa anturan suoran reunan mukaan. Mittalinjan ollessa klotoidi luiskakaltevuus vääristyisi, jos etäisyydet pelkkapedin reunalinjoihin laskettaisiin mittalinjan paalulukujen mukaan. Varmaa tapaa en tiedä, jolla saataisiin etäisyys pelkkapedistä sillankannen pohjaan mitattua luiskakaltevuuden avulla, mutta päädyin yhteen vaihtoehtoon. Kehitettiin laskukaava (kuva 43), jonka mukaan laskettiin luiskakaltevuudet.

$$\frac{(Kp - T) - Ayp}{V_k}$$

Kp = kannen pohjan korkeus
 T = tolppapituus
 Ayp = Anturan yläpinnan korkeus
 V_k = valetie kaltevuus

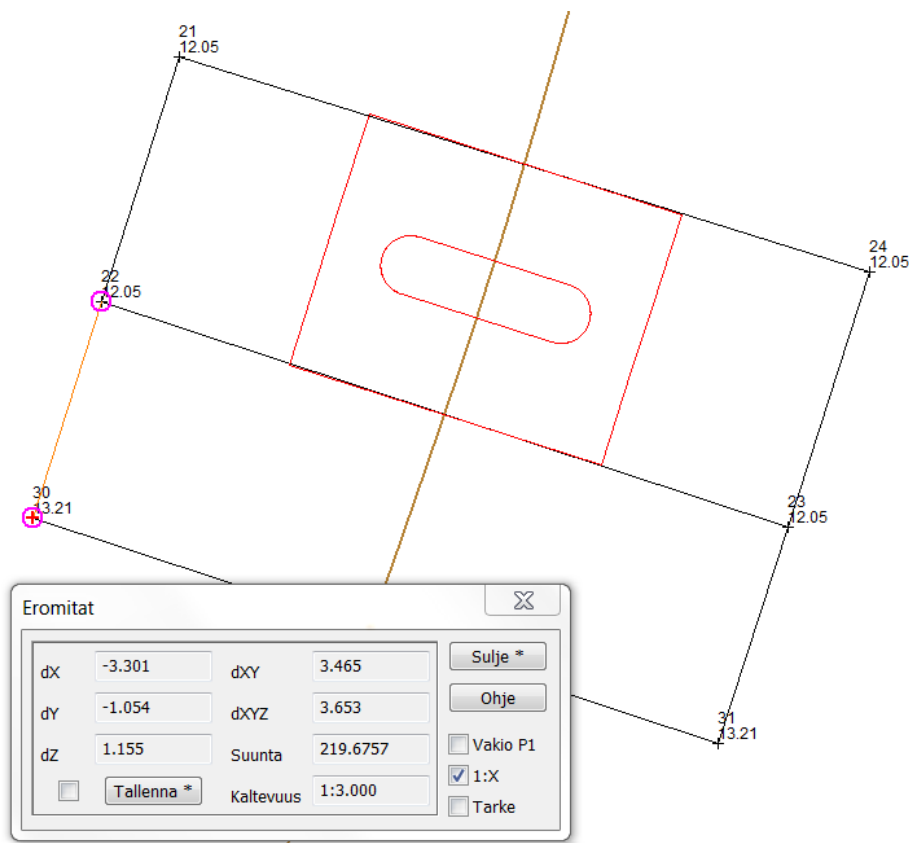
$$\frac{(Kp - T) - Ayp}{V_k} = L_{pit}$$

$$(Kp - T) - Ayp = L_{korkeus}$$

$$\frac{L_{korkeus}}{L_{pit}} = L_{korkeus}$$

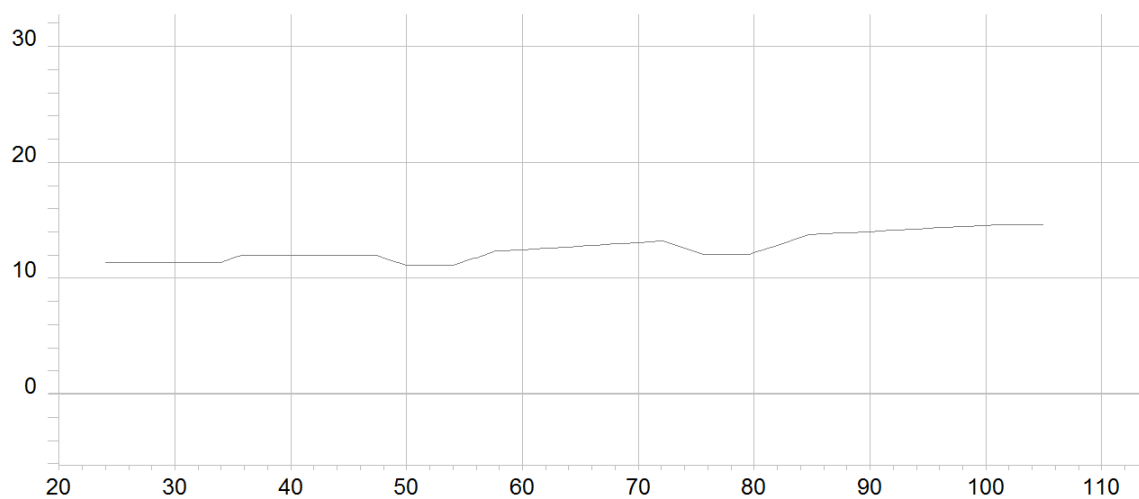
Kuva 43. Luiskakaltevuuden laskeminen pelkkapetiin

Telinetolppien suositeltu pituus oli 5,1 metriä, joten laskelmassa käytettiin ohjaavaa arvoa 5,00 metriä. Katsottiin sillan suunnitelmasta mikä korkeus sillankannen palkin pohjalle oli anturan reunan nurkissa. Esimerkiksi jos korkeus oli 19,05 metriä, siitä vähennettiin 5,00 metriä. Tuloksena saatiin korkeus 14,05 metriä, ja tähän korkeuteen pelkkapedin täytyisi nousta kyseisen anturan kohdalla. Seuraavaksi laskettiin erotus anturan yläpinnan ja pelkkapedin teoreettisen korkeuden välille. Tässä esimerkissä tulos on 2,00 metriä. Tämän jälkeen tulos jaetaan arvolla 0.333, joka tulee suoraan luiskakaltevuuden ohjearvosta 1:3. Tuloksesta saadaan arvo 6,006 metriä, joka kertoo, kuinka kauas täytyy luiskan yläreunan ulottua anturan reunasta, jotta luiskakaltevuus toteutuisi. Tietenkin näin pitkässä matkassa myös sillan korkeus vaihtelee lähtöarvoon nähden, tämän takia jätetään 0,10 metriä tolppapituudesta toleranssiin.

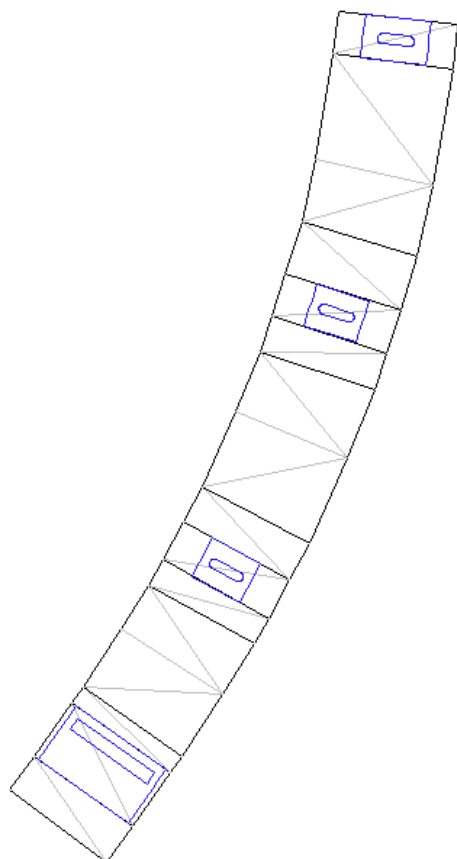


Kuva 44. Luiskakaltevuuden tarkastaminen eromittojen avulla

Kaikilta anturoilta lähtevät luiskat on laskettava erikseen tilannekohtaisesti ja tarkastettava kaltevuuksien toimivuuden takia (kuva 44). Tämän jälkeen voidaan lisätä pelkkapedin ulkoreunoille apupisteitä anturoiden välille, jotta pelkkapeti pysyisi mahdollisimman hyvin leveydessä 11 metriä. Lopuksi aineistosta poistetaan turhat hajapisteet ja tarkastetaan aineisto mahdollisten virheiden takia. (kuva 45.) Aineiston lajitunnukselle (T3) annetaan arvo 9211, eli kolmioverkko. Viivatunnus (T2) jätetään tyhjäksi ja omistajatunnus (T1) saa arvon 5 (pintatunnus 5). Aineisto kolmioidaan ja ladataan ConX-palvelimelle referenssimalliksi LandXML-formaatissa. (kuva 46.) Pintamalli nimettiin nimellä S2pelkkapeti. Nimeämisessä ei huomioitu InfraBIM-nimikkeistön ohjeita, sillä malli ei ole virallinen rakennepinnan malli.



Kuva 45. Valmiin pelkkapetimallin pituusleikkaus



Kuva 46. Valmiin pelkkapetimallin tasokuva. Sillan anturat on esitetty sinisellä värillä.

9.3.2 Pintamallin käyttö koneohjauksessa

Pelkkapetimallin ollessa aktiivisena (kuva 47) koneohjausta käyttävä kuljettaja pystyy näkemään mallin korkotason reaaliaikaisena kauhauksen liikkuessa. Näytölle tulee kuljettajalle näkymään kulloinkin korkotaso suhteessa mallin korkotasoon. Näin ollen kuljettaja näkee heti, kuinka paljon missäkin kohdassa tulee täyttää/leikkausta ja kuinka leveältä alueelta. [2]



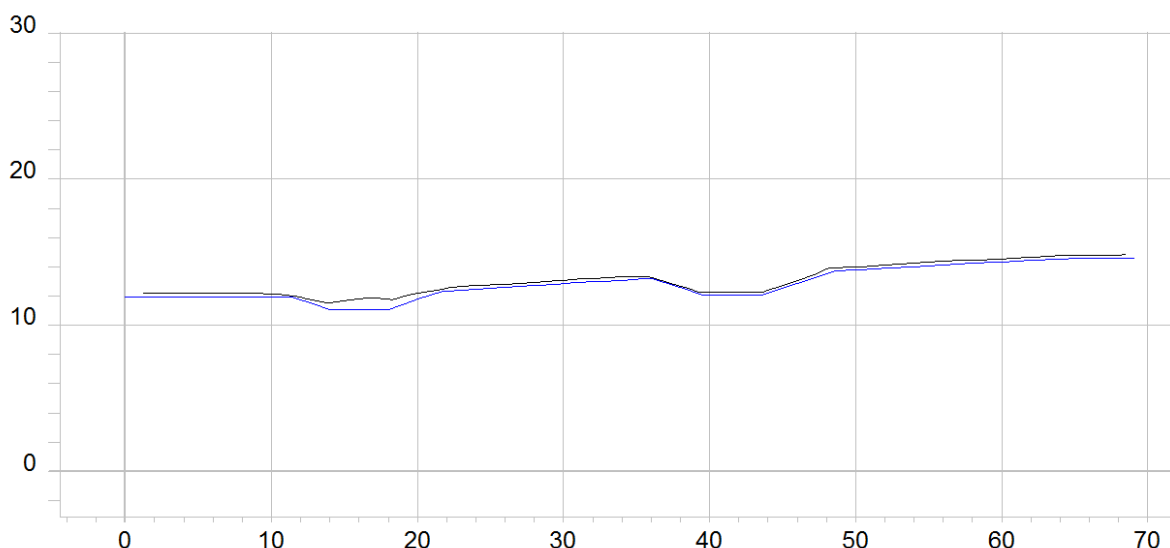
Kuva 47. Pelkkapetimalli aktiivisena koneohjausnäytöllä



Kuva 48. Pintamalli aktiivisena, kaivuukorkeudet näkyvissä

Pintamallin ollessa aktiivisena voidaan nähdä korkotaso kauhan ja mallin välillä huulilevyn molemmista reunoista. Vasemmalla reunassa korkotaso on +0,12 m ja oikealla reunassa +0,24m. Tämä ominaisuus helpottaa rakenteen taitteiden havainnoimista. (kuva 48.)

Kartoitin valmiin pelkkapedin ja vertasin sitä käytettyyn maastomalliin. Tuloksesta näkee, kuinka hyvin kaivinkone on tehnyt pelkkapedin maastomallin avulla. Luiskat on tarkasti tehty vakiokaltevuuden mukaan ja vain yhdessä kohdassa on jouduttu hieman väistämään olemassa olevaa kalliota. Kuvassa mustalla esitetään valmiin pelkkapedin yläpinta ja sinisellä maastomallin yläpinta. Korkeudessa kahden viivan välillä on huomioitava pelkan paksuus 150 mm. (Kuva 49.)



Kuva 49. Pelkkapedimallin vertailu toteuman mittaukseen, sininen väri kuvastaa mallia ja musta väri kuvastaa toteumaa.

MC1-ohjelma toi uuden mahdollisuuden pintamallien käyttöön koneohjauksessa. Vanha tapa, edelleen toimiva, oli tuoda rakennekerroksien pintamallit erikseen koneohjauksen käyttöön omina malleinaan. Uusi tapa antaa mahdollisuuden tuoda kaikki rakennekerroksien pintamallit yhdessä XML-tiedostossa koneohjaukseen. Tiedosto on voitu luoda yhdistämällä kaikki pintamallit yhdeksi. Huomioitavana on, että pintamallit täytyy olla omilla pintatunnuksillaan, jotta MC1 ymmärtäisi erotella rakennekerrokset. XML-tiedoston ollessa aktiivisena koneohjauksessa voidaan *kosketa ja pidä* -toiminnolla valita merkittävä pintamalli aktiiviseksi.

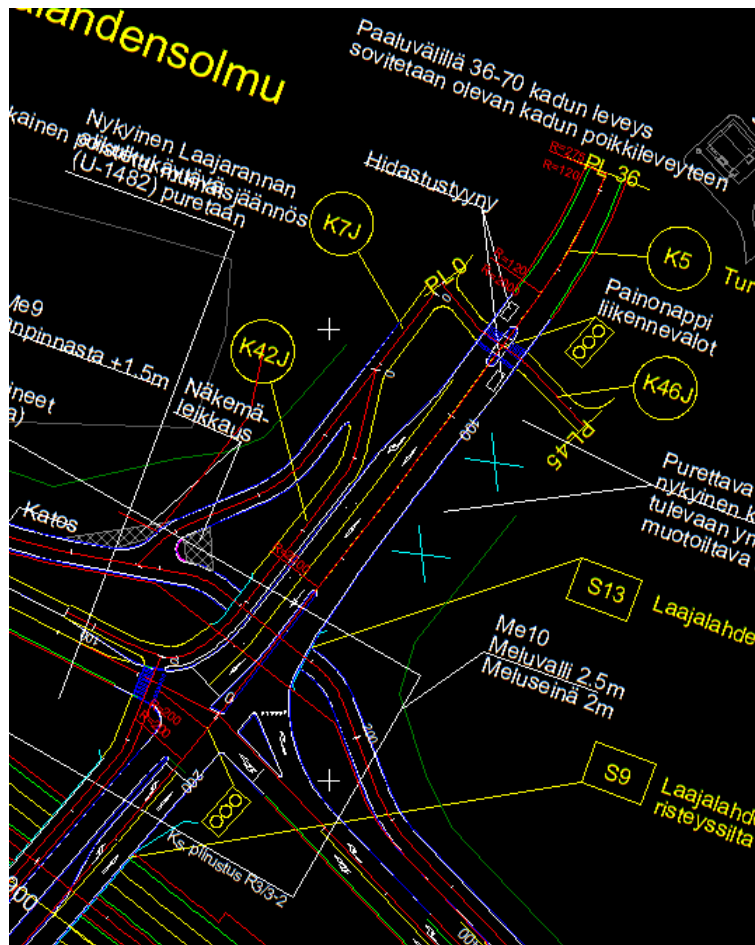
9.4 Apumallit ja varottavat kohteet

9.4.1 Apumallit

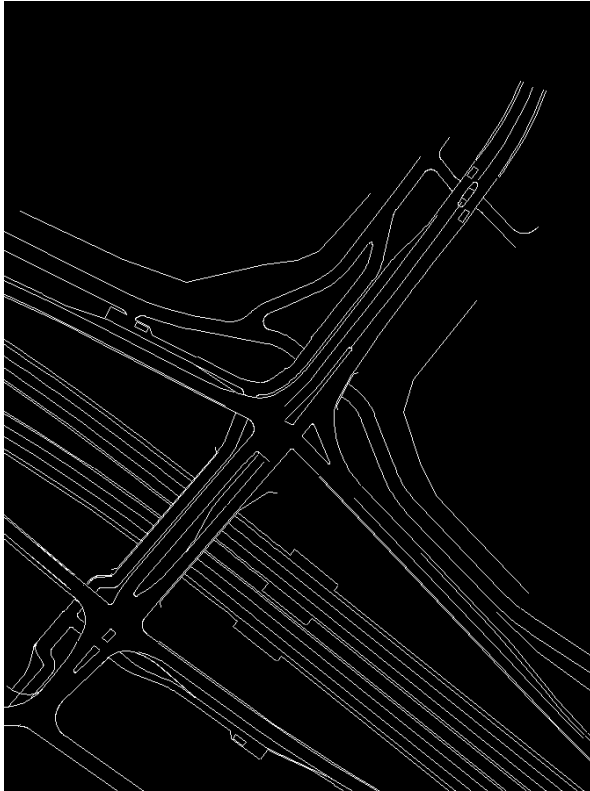
Apumalleina toimivat erilaiset urakka-alueeseen kuuluvat taustakartat. Yleisesti käytetään suunnittelijalta tullutta taustakarttaa urakka-alueesta, jossa näkyvät rakennettavat tiet, sillat ja luiskarakenteet. Taustakartta on useasti DXF-formaattiin kirjoitettu suunnittelijan DWG-kuva. DWG-kuvaa on useasti siivottu, jotta parannettaisiin kohteen havainnollistamista. Kohteesta poistetaan turhat tekstit ja turhat viiteviivat. Apumallin korkotaso on hyvä laskea nollatasoon, jotta koneohjausta käyttävä kuljettaja näkee apumallin kaikkein alimmaisena 3D-ajotilassa. [2; 11.]

Rakennuttajan mallintajilla on tapana lisätä apumallien nimen eteen "x_", jotta apumalli on helposti havaittavissa valittavien mallien joukosta sen asettuessa valittavien mallien pohjalle (kuva 50). Apumallien nimen perään lisätään myös päätte "IBG.dxf", jotta Novatronin koneohjausjärjestelmä lukee aineiston taustakartaksi. Apumalleja nimittäin käytetään Leican iCon-koneohjausjärjestelmän lisäksi Novatronin Xsite Pro -koneohjausjärjestelmässä. Lisäksi aineistoa lisätessä ConX-palvelimelle täytyy aineisto erikseen merkitä taustakartaksi. [14]


Kuvasta 50 voi huomata, kuinka ylimääräiset viivamaiset kohteet ja tekstit voivat tehdä apumallista sekavan. Kyseinen malli täytyy siivota, ennen kuin sen voi ladata ConX-palvelimelle taustakartaksi. Kuvassa 51 on taustakartta siivottu ja korkeustaso laskettu nollatasoon. Kuvan 51 apumalli voidaan lisätä ConX-palvelimelle taustakuvaksi (kuva 52).



Kuva 50. Siivoamaton taustakuva DWG-formaatissa



Kuva 51. Siivottu taustakuva DXF-formaatissa


 Upload

name	path	data type	size
x_tyomaaristeys!BG.dxf		Background Image	178.01 kB

Kuva 52. Taustakuvan lisääminen ConX-palveluun

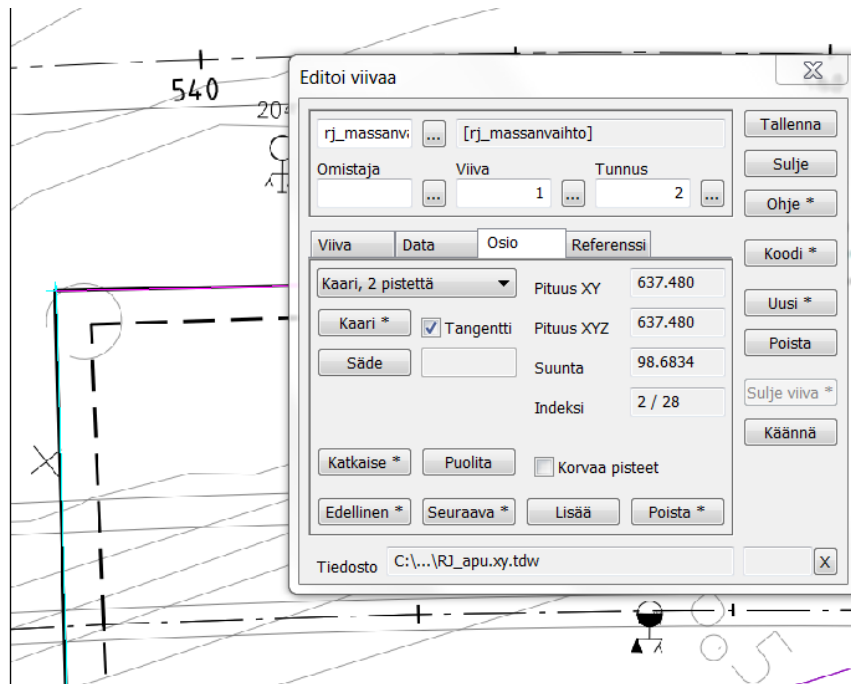
Apumallin sisältämiin kohteisiin ei voida erikseen tarttua, eikä niitä voida merkitä. Apumalli toimii parhaiten yhdessä toisen aineiston kanssa. Apumalleja pidetään yleensä taustakarttana merkatessa viivamaista tai pistemäistä kohdetta. Taustakartta auttaa hahmottamaan ympäristöä merkattavan kohteen ympärillä. [2]

9.4.2 Apumallin luonti ja käyttö

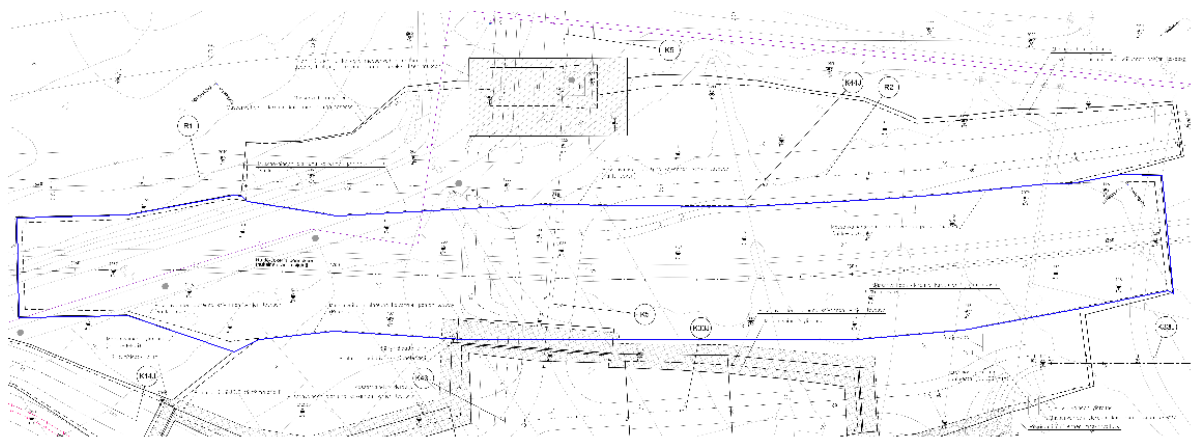
Kehä I – Laajalahti -urakassa sain tehtäväkseni erotella Raidejokerin alle jäävän massanvaihdon yleisestä risteysalueen massanvaihdosta. Työnjohtaja Keränen pyysi minua luomaan koneiden kuljettajille apumallin, jotta he näkisivät raidejokerin massanvaihdon rajan maastossa. Aluetta ei ollut erikseen eroteltu massanvaihdon pohjaa kuvaavassa pintamallissa. Mallin käyttötarkoitus ei vaatinut millimetrin tarkkuuksia sen ollessa vain apuna massanvaihdon maa-aineksen kuljettamisen päämäärässä. Mikäli kaivettu maa-aines oli rajauksen sisältä, se kuljetettiin eri paikkaan kuin rajauksen ulkopuolelta.

Suunnittelijalta ei ollut tullut suoraa DWG -tiedostoa massanvaihdosta, josta raidejokerin massanvaihdon reunaviivat olisi voitu poimia, joten jouduttiin piirtämään reunaviivat manuaalisesti. Suunnittelijan kuvista avattiin PDF-tiedosto massanvaihdosta ja muutettiin se JPG-tiedostoksi, koska 3D-Win-ohjelma lukee rasteritiedostot parhaimmin JPG- tai PNG-formaattitiedostoina. Seuraavaksi luettiin muutettu JPG-tiedosto 3D-Win-ohjelmaan. Rasterikuva avautuu automaattisesti origoon, josta sen voidaan myöhemmin Helmer-määrittelyn avulla siirtää muualle. Origo on koordinaatin piste, jossa X:n ja Y:n arvo on 0.0.

Rasterikuvan ollessa auki luotiin uusi elementti, johon aloitettiin piirtämään raidejokerin massanvaihdon ulkoreunoja (kuva 53). Seurattiin tarkasti rasterikuvassa näkyviä viivoja ja huomioitiin taitepisteet tarkasti. Annettiin taiteviivalle T3-tunnukseksi, eli laji-tunnukseksi, "rj_massanvaihto", jotta ulkopuolinenkin ymmärtäisi, mitä taiteviiva kuvastaisi. Kun reunaviivat oli piirretty kokonaan, suljettiin taiteviiva aloituspisteeseen (kuva 54).



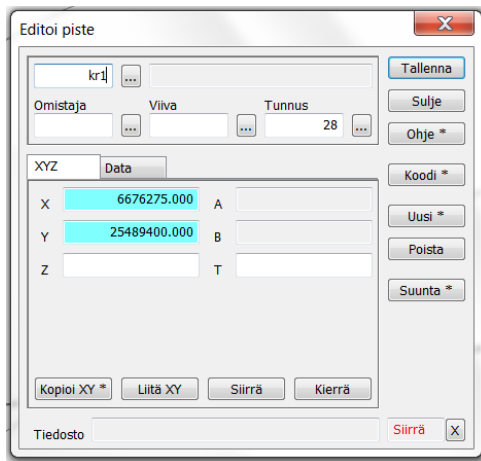
Kuva 53. Viivan luominen ja editoiminen



Kuva 54. Valmis rajaus piirrettynä sinisellä taiteviivalla rasterikuvan päälle

Suunnittelijan kuvassa oli valmiiksi koordinaattiristit, joihin kuva oli sidottu. Näitä koordinaattiristejä käyttämällä voidaan Helmert-muunnoksen avulla siirtää piirretty taiteviiva oikeaan koordinaatistoon. Suosituksena on käyttää vähintään kolmea eri koordinaattiristiä parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi, mutta suunnittelijan kuvassa kyseisiä koordinaattiristejä oli vain kaksi. Ensiksi luodaan uusi elementti, jonne voidaan luoda kaksi uutta pistettä, joille annetaan koordinaattiristien esittämät X ja Y -koordinaatit. Kaksi sidospistettä riittää tässä tapauksessa Helmert-muunnoksen suorittamiseen.

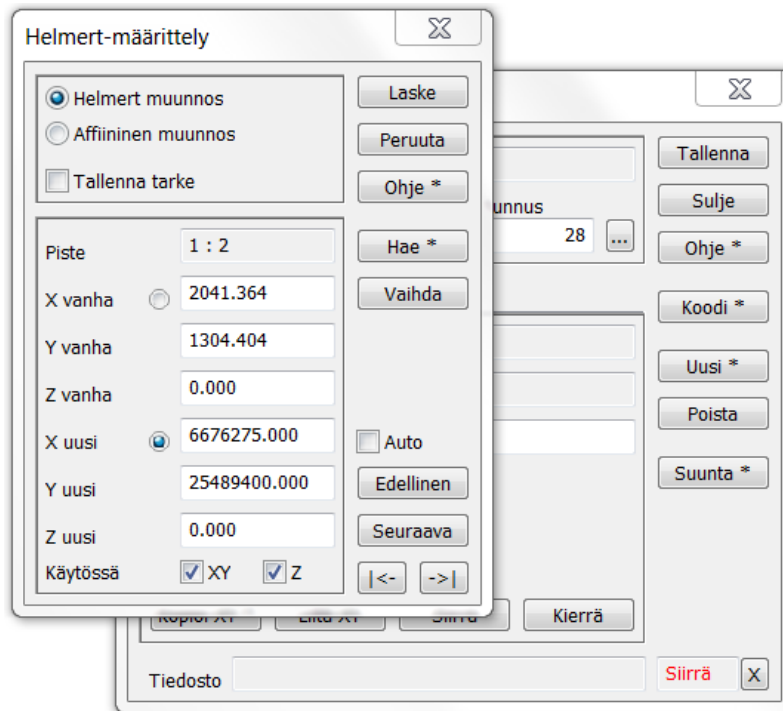
Rasterikuvassa esiintyvä nykyinen koordinaattiristin sijainti täytyy myös tallentaa uutena pisteenä, jotta se voidaan esittää sidospisteen vanhana sijaintina Helmert-muunnoksessa. Koordinaattiristit nimettiin lajitunnuksella kr1 ja kr2 (kuva 55).



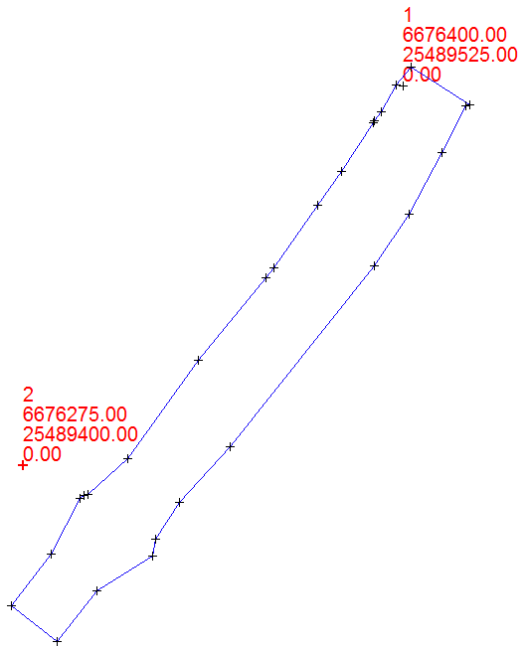
X=6676275
Y=25489400

Kuva 55. Koordinaattiristin poimiminen taustakuvasta.

Helmertoinnissa täytyy olla käytössä kaikki tarvittavat elementit ja siirrettävät kohteet valittuina. Seuraavaksi esitetään kahden sidospisteen uudet ja vanhat koordinaatit. Kun tarvittava määrä sidospisteitä on esitetty määrittelyyn, voidaan painaa *Laske*-painiketta (kuva 56). Tämän jälkeen helmertoitava kohde on skaalautunut ja siirtynyt oikeaan mitakaavaan ja oikeaan koordinaatistoon.

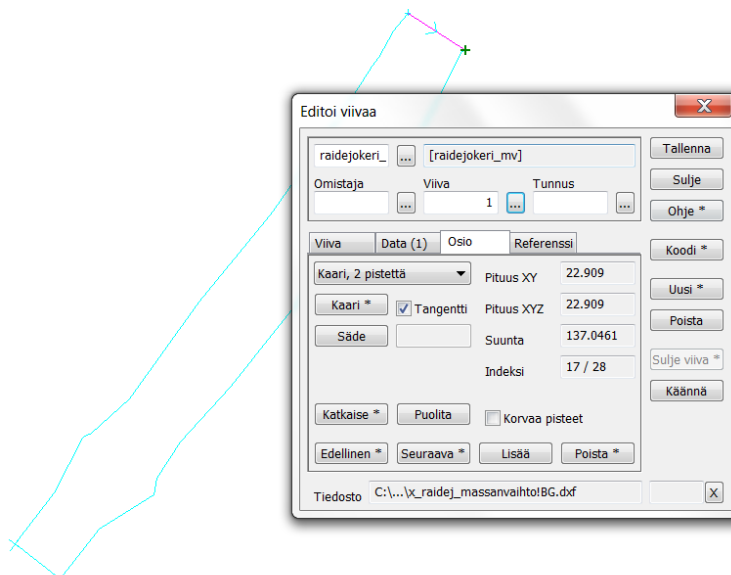


Kuva 56. Helmert-määrittely sidospisteiden avulla



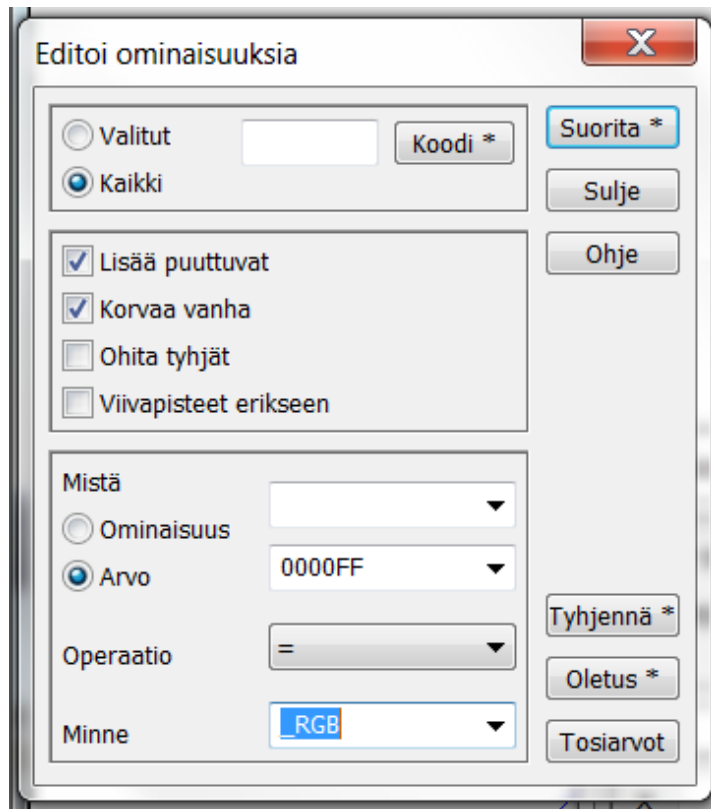
Kuva 57. Helmertoitu taiteviiva ja sidospisteet

Kuvassa 57 on näkyvillä helmertoitu taiteviiva ja sidospisteet. Seuraavaksi aineistosta poistetaan turhat hajapisteet ja muokataan T3-tunnusta kuvaavammaksi. Mallin ollessa epävirallinen apumalli ei oteta huomioon infraBIM-nimikkeistöä mallia nimetessä. Malli saa T3.tunnukseksi arvon raidejokeri_mv (kuva 58).



Kuva 58. Viivan editoiminen

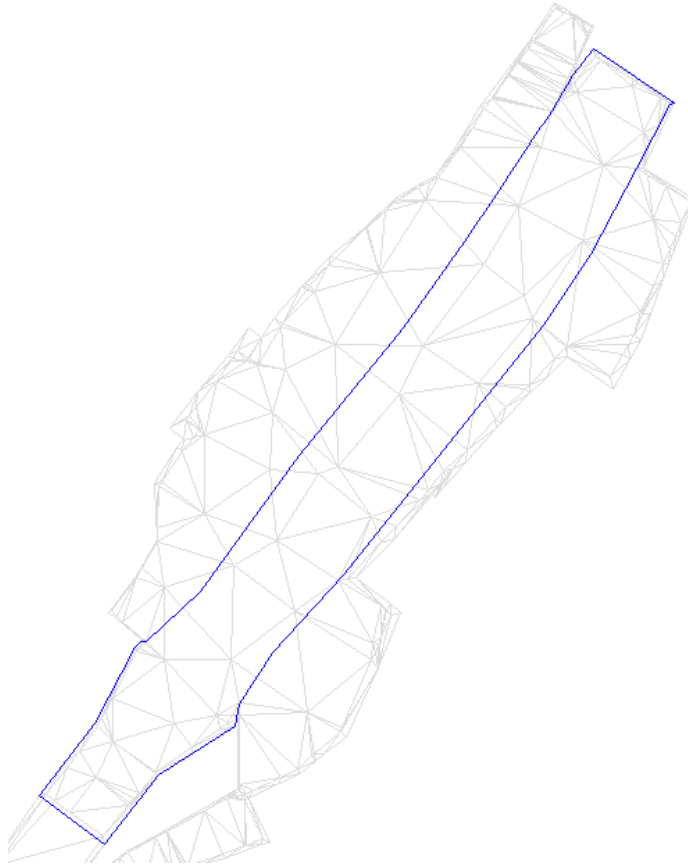
Elementin asetuksista oli asetettu elementin väritys siniseksi helpottamaan työskentelyä mallin ollessa standardiväriykseltään musta. Muutetaan malli myös virallisesti siniseksi, jotta koneohjausta käyttävä kuljettaja erottaisi taiteviivan hyvin muiden värikkäiden taiteviivojen joukosta. Väriominaisuutta voidaan muokata kohteesta editointi, ominaisuudet ja editointi (ks. kuva 37). Kohteelle annetaan arvoksi 0000FF eli sininen, ja se liitetään kohteeseen `_RGB` (kuva 59).



Kuva 59. Ominaisuuksien editoiminen

Lopuksi valmis malli kirjoitetaan 3D-Win-ohjelmalla formaattimuuntimella Dxf2, jolloin malli muuttuu DXF-tiedostoksi (ks. kuva 41).

Kuvassa 60 on näkyvillä valmis raidejokerin massanvaihtoa kuvaava apumalli massanvaihdon pohjan pintamallin päällä. Kaivuussyvyyden kuljettaja näkee pintamallista ja kaivualueen apumallin avulla.



Kuva 60. Helmertoitu taiteviiva pintamallin päällä

Oikein luotu apumalli esiintyy koneohjausnäytöllä alimmaisena. Pintamallit esiintyvät näytöllä oikeassa korossa, joten apumallit näkyvät mallin läpi (kuva 61). MC1:ssä maastomallista saa pinnat piilotettua, jolloin vain kolmioiden ulkoreunat näkyvät ja kuvassa 61 näkyvät harmaat alueet poistuvat mallista.



Kuva 61. Pintamalli aktiivisena koneohjausnäytöllä ja taustakartat näkyvissä nollatasolla

9.4.3 Varottavat kohteet

Varottavat kohteet ovat erikseen määriteltyjä malleja, jotka pitävät sisällään esimerkiksi olemassa olevia kaapelilinjoja. Koneohjausta käyttävä kuljettaja voi asettaa esimerkiksi maakaasuputken sijainnista kertovan mallin varottavaksi kohteeksi, jolloin koneohjausnäyttö muuttuu punaiseksi ja alkaa hälyttämään, kun koneen kauha on varoalueen sisäpuolella. Varoalueiksi on hyvä merkitä sellaiset kohteet, joihin ei saa kajota. [2; 11.]

10 Pohdinta

Päädyin vahingossa työskentelemään työmaallamme olevien koneohjauslaitteiden kanssa. Yleisimpiä ongelmia, joita koneohjauslaitteiden kanssa ilmeni, oli korjausdatan saaminen toimimaan tai kuinka jokin malli saataisiin aktiiviseksi. Työmaallamme ei ollut kunnollista osaamista aiheen parissa, joten päätin ottaa tehtäväkseni opetella asian. Tämän insinööriyön tarkoituksena oli parantaa omaa osaamistani koneohjauksen ja siihen lisättävien mallien saralla. Päätehtävänä oli oppia luomaan täydellisiä malleja koneohjaukseen.

Yrityksessämme on toimiva mallinnustiimi, joka pääsääntöisesti tekee kaikki mallit rakennekerroksista ja putkilinjoista. Vastaan kuitenkin tulee tilanteita, joissa tarvitaan esimerkiksi elementin perustamiseen tarvittava malli heti. Näin lyhyellä varotusajalla täytyy työmaan oman mittajaan luoda malli, sillä mallinnustiimi on yleensä täystyöllistetty muiden urakoiden kanssa.

Mallien luomista täytyi opetella, jotta ne toimisivat koneohjauksessa oikein. Olin useasti yhteydessä mallinnuspäällikkömme kanssa ja kyselin häneltä mallien luontiin liittyvistä ongelmista ja peruselementeistä.

Ensimmäinen malli, jonka loin, oli taustakartta vaahtolasikevennyksen rajauksesta. Se oli nollakorkeudessa oleva monikulmion muotoinen rajaus risteysalueen vaahtolasin sijainnista. Sain mallin vasta kolmannella kerralla toimimaan, kun kuulin mallinnuspäälliköltä, että kohteella täytyi olla oikeellinen viivatunnus.

Myöhemmin kävin Leican MC1-päivitykseen liittyvässä koulutuksessa ja Novatronin järjestämässä koulutuksessa. Koulutuksissa käytiin läpi koneohjauksen käyttöä, ongelmatilanteita ja mallintamisen perusperiaatteita. Koulutukset olivat konekuljettajille tarkoitettuja, joten pääsin näkemään mallien käyttöä kuljettajien näkökulmasta. Sain myös käyttää koneohjaussimulaattoria. Koulutukset olivat kehittäviä, sillä pääsin näkemään mallien käyttöä kuljettajan näkökulmasta. Pääsin näin tutkimaan, miltä mallit näyttävät kuljettajan silmin, ja pystyin ymmärtämään, millaisia ominaisuuksia kannattaa malleissa hyödyntää, Esimerkiksi kuljettaja näkee mallit mustalla taustalla, kun taas 3D-Win-

ohjelmassa käytän itse valkoista taustaa. Näin ollen kovinkaan tummat kohteet eivät erotu kuljettajan näytöllä niin selkeästi kuin käyttämässäni vaaleassa näytössä.

Ongelmatilanteissa, joita tuli vastaan, olin useasti yhteydessä Leican koneohjaustukeen. Tuen avulla pyrimme selvittämään ongelman lähteen ja korjaamaan sen. Tein myös paljon muistiinpanoja, jotta osaisin seuraavalla kerralla itse ratkaista ongelman. Yksi tällainen ongelmatilanne oli, kun koneohjaus ei saanut verkkokorjauksella korjausdataa, joten vaihdoin koneen kiinni työmaamme tukiasemaan. Laitoin taajuuden ja kanavan oikein, mutta korjausdataa ei löytynyt. Koneohjaustuen avulla jäljitimme vian koneohjauksen päätietokoneeseen koneen hytin ulkopuolelle. Päätietokoneessa oli kaapeli väärässä liitimessä, jonka takia sisäinen radio ei ollut toiminnassa. Sisäisen radion alettua toimimaan alkoi koneohjaus vastaanottaa korjausdataa, ja koneen tarkkuus parantui muutamaan senttimetriin.

Ensimmäinen pintamalli, jonka tein, oli tässä työssä kerrottu sillan S2 pelkkapedin malli. En ollut aiemmin tehnyt pintamallia koneohjaukseen ja jouduin tarkasti tutkimaan korkotason oikeellisuutta. Ensimmäinen versio, jonka tein mallista, käsitti jyrkemmät luiskat kuin 1:3. Alkuperäiset luiskat olivat lähellä suhdetta 1:1, koska en ehtinyt saada tietoa luiskakaltevuudesta ennen mallin teon aloittamista. Luiskakaltevuuden muututtua jouduin korjailemaan mallin korkotasoa.

Oli yllättävän haastavaa verrata sillan kannen pohjan korkoa pelkkapedin yläpinnan korkoon, niin että tarvittavan pituiset tolpat riittäisivät telineisiin. Laskin monella eri mallilla korkoeroja ja käytin hyväkseni sillan mittalinjaa. Lopulta sain mallin valmiiksi ja esitin pituusleikkauksen työnjohtaja Kekäleelle hyväksyttäväksi. Malli hyväksyttiin ja se lisättiin ConX-palvelimelle, josta koneohjausta käyttävä kuljettaja sai sen käsiinsä.

Myöhemmin telinesuunnittelija pyysi kartoitusta tehdystä pelkkapedistä, jotta hän pystyisi suunnittelemaan vinolaveerauksen telineisiin. Vinolaveerauksen tehtävän oli tukea sillan telinetolppia sivuttaissuuntaiselta liikkeeltä. Tein kartoituksesta kolmioidun pintamallin ja vertasin sitä itse pelkkapedin malliin. En olisi uskonut, että kuljettaja pystyisi tekemään pelkkapedin niin tarkasti kuin kuva antoi ymmärtää. Eroavaisuutta oli vain noin kymmenen senttimetriä korkotasossa.

MC1-ohjelmiston toimintoa, pintamallien yhdistämisestä yhdeksi XML-tiedostoksi, en varmistanut toimivaksi työmaalla. Urakan rakennekerroksien mallien ollessa jo nyt erittäin raskaita ja hitaita pyörittää, en nähnyt viisaaksi kokeilla niiden yhdistämistä. Jopa urakan yyp-malli sisälsi niin paljon dataa, että 3D-Win-ohjelma ei edes suostunut sitä avaamaan.

Odotin pitkään, että työmaallamme olisi tarvittu viivamaisen kohteen mallia koneohjaukseen. Valitettavasti tarvetta ei ilmennyt opinnäytetyön aikana, vaan jouduin itse suunnittelemaan kevyen liikenteen väylän viivamaiseksi kohteeksi. Olisin toivonut saavani käyttää suunnittelijan lähtötietoja, jotta mallin luominen olisi ollut haastavampaa. Yksinkertaisen väylän luominen itsesuunniteltujen korkotasojen mukaan oli ehkä jopa liian helppoa. Sivuttaiskaltevuudessa käytin hyväkseni edellisen urakan pyörätien kaltevuutta ja tien linjauksessa erästä polkua, jota kuljin viime kesänä.

Viivamaisen aineiston luonnissa jouduin syventymään tarkemmin InfraBIM-nimikkeistöön. Olin aiemmin käyttänyt suositeltua koodikirjastoa ja nimennyt kohteet parhaaksi näkemälläni tavalla. InfraBIM-nimikkeistö toi minulle uutta tietoa väylärakenteiden nimeämisestä.

Tämän opinnäytetyön ansiosta olen päässyt paremmin perille koneohjauksen toiminnasta. Olen oppinut laittamaan koneohjauslaitteen kiinni työmaan tukiasemaan ja tukiasemaverkkoon, jotta se saisi reaaliaikaista korjausdataa. Olen tutustunut koneohjauksen käyttöön yleisesti, ja se on parantanut osaamistani mallien luomisen hienouksissa. Itse mallien luomisessa olen oppinut koodaamaan ne oikein ja saamaan mallit esittämään niiden kohdetta mahdollisimman oikeellisesti. Olen oppinut koodaamaan viivamaiset kohteet ja taustakartat yksilöllisillä väreillä ja saamaan ne erottumaan mallien massasta.

Olen päässyt perehtymään mallien asettamista aktiiviseksi itse koneohjauslaitteissa ja saamaan mallien asetukset kuntoon. Kokeilemalla opin, että MC1:ssä voi saada pintamallin pinnat ja kolmiot erikseen näkyviin, mikä helpottaa havainnointia. Esimerkiksi pintojen ollessa piilossa voi kolmioiden läpi nähdä taustakarttoja niiden sijaitessa nollatasossa.

Oppi, jota olen saanut, tulee hyödyntämään tulevaisuuden työtehtäviäni. Työmaallamme ei enää tarvitse ensiksi soittaa koneohjaustukeen kysyäkseen neuvoa mallien kanssa, vaan kuljettajat voivat ensiksi konsultoida minua. Yhdessä voimme tutkia ongelman juurta, ja jos emme onnistu ratkaisemaan sitä, voimme kysyä koneohjauksesta tarkempia neuvoja.

Lähteet

- 1 3D-koneohjaus. 2020. Verkkoaineisto. 3D-koppi. <<https://www.3dkoppi.fi/3d-koneohjaus/>>. Luettu 1.2.2020
- 2 Savolainen, Matti. 2019. Koneohjauksen tukihenkilö. Leica Geosystems AB. Espoo. Leican MC1-koneohjausjärjestelmän kaivinkoneenkuljettajan koulutus 16.8.2019
- 3 Mikä on tietomalli? Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli-#.Xkrpmljkupq>>. Luettu 14.1.2020.
- 4 InfraBIM-nimikkeistö. Verkkoaineisto. buildingSMART. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>>. Luettu 14.2.2020
- 5 InfraBIM-nimikkeistö (suunnittelu-, mittaus- ja tietomallinimikkeistö). 19.8.2019. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/08/InfraBIM_nimikkeist%C3%B6_v1_721.pdf>. Luettu 11.2.2020.
- 6 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.
- 7 Kainuvaara, Jari. 2019. Tietomalliasiantuntija. Novatron Oy. Espoo. Koneohjauskoulutus 15.11.2019.
- 8 Satelliittipaikannus. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>>. Luettu 10.1.2020.
- 9 Kelahaara, Jokke. Tietomallin tuottamien ja siirtäminen koneohjausjärjestelmään. Opinnäytetyö. Lapin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 10 Sillanpää, Antti. 2020. Koneohjauksen tukihenkilö. Leica Geosystems AB. Espoo. Keskustelu 12.1.2020.
- 11 Leica MC1 Excavate, Mallinnus ja toiminta. 2019. Verkkoaineisto. Leica Geosystems AB. Luettu 19.11.2019.
- 12 Päiviö Olli. 2019. Leica Geosystems – Digitalisaatio etenee. Verkkoaineisto. Koneporssi. <<https://koneporssi.com/uutiset/leica-geosystems-digitalisaatio-etenee/>>. Luettu 27.12.2019.
- 13 Leica iCON iXE3 Kaivamisen tulevaisuus. 2019. Verkkoaineisto. Leica Geosystems AB. <<https://docplayer.fi/159649761-Leica-geosystems-fi-leica-icon-ixe3-kaivamisen-tulevaisuus.html>>. Luettu 20.11.2019.

- 14 Lönnerberg, Krister. 2020. Mallinnuspäällikkö. GRK Infra Oy. Puhelinkeskustelut 14.1.–17.2.2020
- 15 Geo vektoriformaatti. Verkkoaineisto. 3D-system. <<http://www.3d-system.net/help/64/fin/conv/vector/geo.htm>>. Luettu 18.12.2019.
- 16 SJ-1.3. Verkkoaineisto. SähköJokinen. <<https://www.sahkojokinen.fi/fi/jalustat/sj/sj-13>>. Luettu 14.1.2020.
- 17 Laserkeilausaineisto. 2019. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/>>. Luettu 12.01.2019.