



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Juha Pehkonen

Koneohjausaineistojen mallintaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

22.11.2020

Tekijä Otsikko	Juha Pehkonen Koneohjausaineistojen mallintaminen
Sivumäärä Aika	78 sivua 22.11.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Ilkka Partonen mallinnuspäällikkö Krister Lönnberg
<p>Insinööriyössä käsitellään infrarakentamisen koneohjausaineistojen mallintamista maanrakennusurakoitsijan näkökulmasta. Työssä perehdytään tihankkeen mallintamiseen ja mallien tekemisen haasteisiin.</p> <p>Työssä käydään läpi mallintamisen vaatimuksia ja sitä, mistä elementeistä koneohjausmallit koostuvat. Lisäksi käsitellään malleihin vaikuttavia tiesuunnitelmia, eri koneohjausaineistoja ja sitä, mitkä ovat tärkeimmät asiat ratkaistaessa mallinnuksen ongelmia. Havaittiin, että suunnittelijalta tulleita malleja ei voi suoraan viedä koneohjausjärjestelmään. Monesti urakoitsijan mallintaja joutuu yhdistämään suunnittelijan erillisiä malleja yhdeksi kokonaisuudeksi. Tällöin mallinnustyön yhdeksi tärkeimmistä elementeistä koettiin mallien taiteviivat, jotka pitää tehdä Yleisten inframallivaatimusten mukaisina. Mallien taiteviivoja käytiin läpi niiden rakentamista tieparametreilla, kopiointitekniikalla ja pystykuvien kääntämistä koordinaatistoon. Kanaalimallien tekeminen koettiin haastaviksi sekä teiden risteysten mallintaminen. Mallien laaduntarkistuksesta tutkittiin, miten mallintaja voi tarkistaa tekemänsä mallit. Lisäksi työssä selvitettiin myös voiko mallinnusvaiheessa jo varautua toteumamittauksiin ja niiden tarkastamisiin. Mallinnuksen ohjelmistoina esiteltiin 3D-Win ja AutoCAD.</p> <p>Urakoitsijan mallintajan yksi tärkeimmistä töistä on mallien tarkistaminen tiesuunnitelmien pituus- ja poikkileikkauksia vasten, joiden menetelmiä käytiin läpi. Toteumamittauksiin varautumista mallinnusvaiheessa ei voida kovinkaan paljoa tehdä, koska toteumamittaukset mitataan pääasiassa koneohjauksella. Toteumamittaukset pitää myös käydä mallintajan toimesta läpi ennen niiden luovutusta tilaajalle.</p> <p>Insinööriyö auttoi selvittämään mallintajan työtä ja sitä, mitkä asiat vaikuttavat mallien tekemiseen. Lisäksi se antoi näkemystä siitä, mistä mallinnukseen perehdytys pitäisi aloittaa. Selvityksen tuloksena saatiin kokonaiskuva siitä, mitä koneohjausaineistojen mallintaminen käytännössä sisältää.</p>	
Avainsanat	koneohjausmalli, mallintaminen, koneohjaus, 3D-Win, toteumamalli

Author Title	Juha Pehkonen Modelling of Machine Control Data Model
Number of Pages Date	78 pages 22 November 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Ilkka Partonen, Senior Lecturer Kristen Lönnberg, BIM Manager
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to study the modelling of machine control materials for environmental construction from the perspective of a construction contractor. The case studied was the modelling of a road project, focusing on the challenges of making models.</p> <p>The requirements of modelling and the model elements were studied. Additionally, the road plans affecting models, and the most important causes for problems were reviewed. Furthermore, the quality control of models, and the preparations in the modelling phase for the measurements of an as-built model were studied. 3D-Win and AutoCAD software were used to present the implementations of the modelling work.</p> <p>The thesis showed that the models received from the designer cannot be directly exported to the machine control system. Usually, the contractor's modeller has to combine the separate models into a single one. One of the most important elements of modelling was considered to be the break line of the models, which must comply with the general modelling requirements for environmental construction. When modifying machine control models, they must always be checked against the longitudinal and cross-sections of the road plans.</p> <p>The thesis paints an overall picture of the modelling of machine control data in practice.</p>	
Keywords	machine control model, modelling, machine control, 3D-Win, as-built model

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Infrarakentaminen	3
2.1	Tietomallinnus	3
2.1.1	Mallintaminen	5
2.1.2	Tietomallikoordinaattori	5
2.2	Yleiset inframallivaatimukset (YIV)	7
2.3	InfraBIM-nimikkeistö	8
2.4	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL)	9
2.5	Tiedonsiirtoformaatti	10
2.6	Yhteenveto mallien vaatimuksista	11
2.7	Toteumamalli	12
3	Koneohjaus	13
3.1	Koneohjausjärjestelmän toiminta	14
3.2	Satelliittipaikannus	14
3.2.1	Liikkuvan vastaanottimen paikannuksen menetelmiä	15
3.2.2	Koneohjauksen satelliittipaikannus	17
3.3	Koneohjauksen laitetoimittajat	18
4	Ohjelmistot	19
4.1	Rakennussuunnitelmien tiedostomuodot	19
4.2	Mallintamisen ohjelmat	19
4.2.1	3D-Win	19
4.2.2	AutoCAD	20
4.2.3	Trimble Business Center	21
5	Mallintaminen tiehankkeessa	22
5.1	Mallin elementit	22
5.2	Koordinaattijärjestelmät	23
5.2.1	WGS84-järjestelmä	24

5.2.2	ETRS89-koordinaattijärjestelmä	24
5.2.3	ETRS89:n pitkät ja lyhyet koordinaatit	25
5.2.4	Koordinaattimuunnokset	27
5.2.5	Korkeusjärjestelmä N2000	28
5.3	Tiesuunnitelmat mallintamisessa	29
5.3.1	Tasokuva	29
5.3.2	Tasauskartta	30
5.3.3	Tiegeometriatiedosto	30
5.3.4	Pituusleikkaus	31
5.3.5	Poikkileikkaus	31
5.4	Koneohjausaineistot	32
5.4.1	Taustakartat	33
5.4.2	Pistemäiset aineistot	34
5.4.3	Tien rakennekerrokset	35
5.4.4	Kaivannot ja täytöt	36
5.4.5	Louhinta-aineistot	37
5.4.6	Rakentamisen muut aineistot	37
5.5	Koneohjaustiedostot	38
5.5.1	XML-formaatti	38
5.5.2	DXF-formaatti	39
5.5.3	Muut formaatit	39
6	Haasteet mallintamisessa	40
6.1	Koneohjausmallin tuottaminen	40
6.2	Laadukkaan mallin edellytykset	40
6.2.1	Taiteviivat	41
6.2.2	Pistetiheys	43
6.3	Taiteviivojen tuottaminen	44
6.3.1	Tieparametreilla	44
6.3.2	Taiteviivojen kopiointi	45
6.3.3	Pystykuvien kääntäminen koordinaatistoon	47
6.4	Kanaalilouhinta	53
6.5	Putkien kaivuumalli	57
6.6	Risteykset	58
6.6.1	Risteysten reunakaarista taiteviivat	58
6.6.2	Risteyksen tasauskäyrät	60
6.7	Mallinnuksen periaatteet	61

7	Mallien laaduntarkistus	64
7.1	Visuaalinen tarkastelu	64
7.2	Poikkileikkaustarkastelu	65
7.3	Tien pystygeometria	66
7.4	Rakenteiden leveys, paksuus ja kaltevuus	66
7.5	Tien tasaus	67
8	Toteumamallin tarkistaminen	68
8.1	Toteumamittaus	68
8.2	Mittavaatimukset	68
8.3	Toteumamittauksiin varautuminen mallinnuksessa ja mallien apuviivat	70
8.4	Toteumien tarkastaminen laadunvarmistuksessa	71
9	Yhteenveto	72
	Lähteet	75

Lyhenteet ja käsitteet

2D-kartta	Kartta, jossa on vain tasokoordinaattitiedot eikä korkeutta.
3D-malli	Muodostuu kolmioverkkopinnasta.
3D-Win	Monipuolinen kartoituksen, määrälaskennan ja mallinnuksen suomalainen maanmittausohjelmisto.
AutoCAD	Vektoripiirtämiseen soveltuva laaja rakennusalan Autodeskin ohjelmistotuote, jonka infraosaan kuuluu Civil 3D.
BIM	Building Information Model (rakennustietojen mallinnus).
buildingSMART	buildingSMART Finland. Suomalainen rakennusalan tietomallintamiseen keskittynyt eri toimijoiden yhteistyöfoorumi.
DEM	Digital Elevation Model (korkeusmalli).
DTM	Digital Terrain Model (maastomalli).
DWG	AutoCAD-taustainen vektorimuotoinen tiedostoformaatti.
DXF	Alun perin AutoCAD-taustainen vektorimuotoisten tietojen tiedonsiirtoformaatti.
EPSG	IOGP (International Association of Oil & Gas Producers) Geomatics Committee ylläpitämä projektitietokanta geodeettisista koodistoista.
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989. Eurooppalainen koordinaattijärjestelmä.
ETRS-GKnn	Tasokoordinaatisto, joka on tarkoitettu Suomessa yksittäisten kaistojen alueella toimivien käyttöön.

ETRS-TM35FIN

Tasokoordinaatisto, jossa koko Suomen alue kuvataan yhdelle projektiokaistalle.

EUREF-FIN European Reference Frame, ETRS89:n suomalainen realisaatio eli alueellinen eurooppalainen koordinaatisto.

inframalli Yleisnimitys infra-alalla käytettävistä tietomalleista.

Inframodel Suomessa kehitetty LandXML-standardiin perustuva avoin formaatti infratietojen siirtoon.

JHS Julkisen hallinnon tietohallinnon suositukset.

KKJ Kartastokoordinaattijärjestelmä, joka oli vuodesta 1970 Suomessa yleisissä kartastotöissä käytössä ollut tasokoordinaatisto.

kolmioverkko

Vektorimalli, joka on tallennettu epäsäännöllisenä kolmioverkkona ja joka muodostuu koordinaattipisteistä, joilla on korkeustieto.

korkeusmalli

Katso kolmioverkon kuvaus.

koneohjaus Maanrakennuskoneeseen asennettava työkoneautomaatiojärjestelmä, joka on tarkoitettu kuljettajan apuvälineeksi.

koneohjausaineisto

Taustakartta, viivamainen tieto, pistemäinen tieto tai kolmiomalli, joka viehdään koneohjausjärjestelmään.

koneohjausmalli

3D-malli, joka kuvaa yleensä suunniteltua pintaa, johon maanrakennuskone kaivaa tai tasoittaa rakennettavan pinnan.

koneohjaustiedosto

Tiettyyn tiedostformaattiin tallennettu koneohjausaineisto, jota käytetään koneohjausjärjestelmässä.

koordinaatit x- ja y-tasokoordinaatit sekä z- korkeuslukema.

korkeus z-koordinaatin mukaista korkeutta. Sillä kuvataan korkeutta merenpintaan nähden (+ on merenpinnan yläpuolella ja – alapuolella).

LandXML Kansainvälinen XML-pohjainen infra- ja maanmittaustiedon tiedonsiirtoformaatti.

malli Katso kuvausta koneohjausmalli.

maastomalli Maanpintaa kuvaavaa malli.

N2000 Korkeusjärjestelmä N2000 on Suomen kolmannen tarkkavaaituksen (1978–2006) tuloksena syntynyt korkeusjärjestelmä. Suomen valtakunnallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa on siirrytty käyttämään N2000-korkeusjärjestelmää kaikkialla.

N43 Aikaisempi tilapäiseksi tarkoitettu korkeusjärjestelmä, Suomen toisen tarkkavaaituksen (1935–1955) tuloksena syntyneitä korkeusjärjestelmiä.

N60 Aikaisempi vanha korkeusjärjestelmä, Suomen toisen tarkkavaaituksen (1935–1975) tuloksena syntyneitä korkeusjärjestelmiä.

RTK Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus (Real Time Kinematic) on maanmittauksessa käytettävä satelliittipaikannuksen mittausmenetelmä.

RYL Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset, Rakennustieto Oy:n määrittelemiä julkaisusarjoja, joista InfraRYL on julkaistu infra-alalle.

satelliittipaikannus

Sijainnin ja korkeuden paikantamista satelliittien avulla.

taiteviiva	Yksittäinen tai yhtenäinen vektoriviiva, joka muodostuu koordinaattipisteistä, jolla voi olla myös korkeustieto.
TIN	Triangulated Irregular Network (kolmioverkko).
toteumamalli	Inframalli, joka kuvaa infrarakenteen sellaisena kuin se toteutettu.
toteutusmalli	Inframalli, jota voidaan hyödyntää rakentamisessa.
WGS84	World Geodetic System 1984 -koordinaatistojärjestelmä, jota käytetään satelliittipaikannuksessa.
YIV	Yleiset inframallivaatimukset julkaisu. Valtakunnalliset ohjeet tietomallipohjaiseen suunnitteluun ja mallintamiseen.
YKJ	Yhtenäiskoordinaatisto, joka oli käytössä KKJ:n kanssa ja jossa Suomi oli kuvattu yhdessä projektiokaistassa.

1 Johdanto

Koneohjauksen käyttö on yleistynyt viime vuosina nopeasti maarakentamisen työkohteissa. Yhä enenevässä määrin infrarakennushankkeissa edellytetään käytettävän koneohjausta, jolloin rakennussuunnitelmat pitää olla mallinnettu koneohjausmuotoon. Suunnittelijoiden tekemiä malleja ei voi aina suoraan hyödyntää sellaisenaan koneohjauksessa, eikä valmiita malleja ei ole aina tarjolla maarakennusurakoitsijalle. Tällöin urakoitsija tai sen aliurakoitsijana toimiva mittauskonsultti joutuu tuottamaan koneohjausmallit itse. Mallit pitää myös aina tarkistaa suunnitelmia vasten ennen maarakennuskoneeseen viemistä.

Tässä insinööriyössä tutkitaan koneohjausaineistojen mallintamisen haasteita ja niiden ratkaisuja maarakennusurakoitsijan näkökulmasta. Työssä selvitetään mallintamisen vaatimuksia, periaatteita ja itse koneohjausaineistojen mallintamista sekä mallien tarkistamista erityisesti tierakentamisen alueelta. Mallintamisen ohjelmistoina esitellään 3D-Win ja AutoCAD.

Työssä käsitellään aluksi perusteoria infrarakentamisen tietomalleista ja vaatimuksista sekä koneohjausta yleisellä tasolla. Sen jälkeen perehdytään erityisesti tiehankkeen koneohjausaineistoihin, tiesuunnitelmiin ja koordinaattijärjestelmiin sekä varsinaiseen mallintamiseen. Lopuksi selvitetään mallinnuksen haasteita ja niiden ratkaisuja sekä selvitetään, miten mallien laatua voidaan tarkastella.

Työ tehtiin maarakennusurakoitsija GRK Infra Oy:lle, koska GRK Infralla oli tarve kuvata koneohjausaineistojen mallintaminen. Kuvatut asiat soveltuvat myös maanmittausalan mittausyrityksille, joita maarakennusurakoitsijat käyttävät mittauskonsultteina.

GRK Infra Oy on pääasiassa Suomessa toimiva infrarakennusalan konserni, jolla on toimintaa myös Ruotsissa ja Virossa. Konsernissa työskentelee yli 600 rakennusalan ammattilaista, ja yrityksen liikevaihto vuonna 2018 oli 250 miljoonaa euroa. GRK Infran liiketoiminnan tärkeimmät osa-alueet ovat olleet tie- ja katuhankkeiden rakennusurakat. Viime aikoina se on laajentunut voimakkaasti raideliikenteen toimintoihin. Konserni tarjoaa myös palveluita infrarakentamisen suunnitteluun ja kunnossapitoon. GRK Infra Oy:n tytäryhtiöinä toimivat raideliikenteeseen erikoistunut GRK Rail Oy ja tieväylien

päällystykseseen GRK Road Oy sekä Ruotsin toimintoja hoitava GRK Infra AB ja Viron GRK Infra AS. [Konsernitiedot 2020.]

GRK Infralla mallinnustyö on lisääntynyt viime vuosina paljon. Sen kaikilla tietyömailla on käytössä koneohjausjärjestelmät, joten esimerkiksi katu- tai väylähankkeissa tarvitaan lähes aina koneohjausmallit työmaan kaivinkoneiden käyttöön. GRK Infralle on myös viime vuosina rekrytoitu uusia henkilöitä mallinnustyöhön, joten koneohjausaineistojen mallintamista on ollut tarvetta kuvata laajemmin.

2 Infrarakentaminen

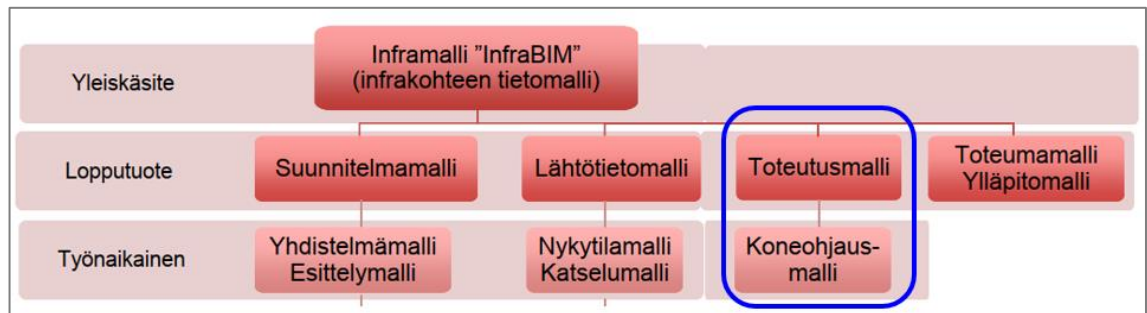
Infrarakentamisella tarkoitetaan yhdyskunnan infrastruktuurin rakentamista. Se sisältää tieväylien, katujen, raideliikenteen, teknisten putki- ja kaapeliverkoston, satamien, vedenpuhdistamoiden, tunneleiden ja maanalaisten tilojen rakentamista. Infrarakentamisen näkyvimpiä osa-alueita ovat tie- ja katuväylien rakentaminen, joita tässä insinööri-työssä käsitellään. Tieväylät ovat valtion hallinnoimia teitä, joita Suomessa hallinnoi Väylävirasto. Väylävirasto on Suomen Liikenne- ja viestintäministeriön alainen virasto. Sen tehtävänä on vastata Suomen valtion tieverkon, rautateiden ja vesiväylien kehittämisestä sekä kunnossapidosta. Väyläviraston nimi oli vuodesta 2010 vuoteen 2018 Liikennevirasto ja vasta vuodesta 2019 alkaen Väylävirasto. [Infrarakentaminen 2019; Väylävirasto 2019; Väylävirasto 2020.]

Infrarakentamisessa on yleistymässä tietomallipohjaiset toimintatavat. Talonrakentamisessa on jo pitkään käytetty tietomalleja, josta ne otettu käyttöön myös infrarakentamiseen. Tierakentamisessa monet tilaajat vaativat, että hankkeissa käytetään tietomalleja. Myös Väyläviraston tavoitteena on käyttää hankkeissaan tietomallipohjaista toimintatapaa. [Ketola 2018: 4.]

2.1 Tietomallinnus

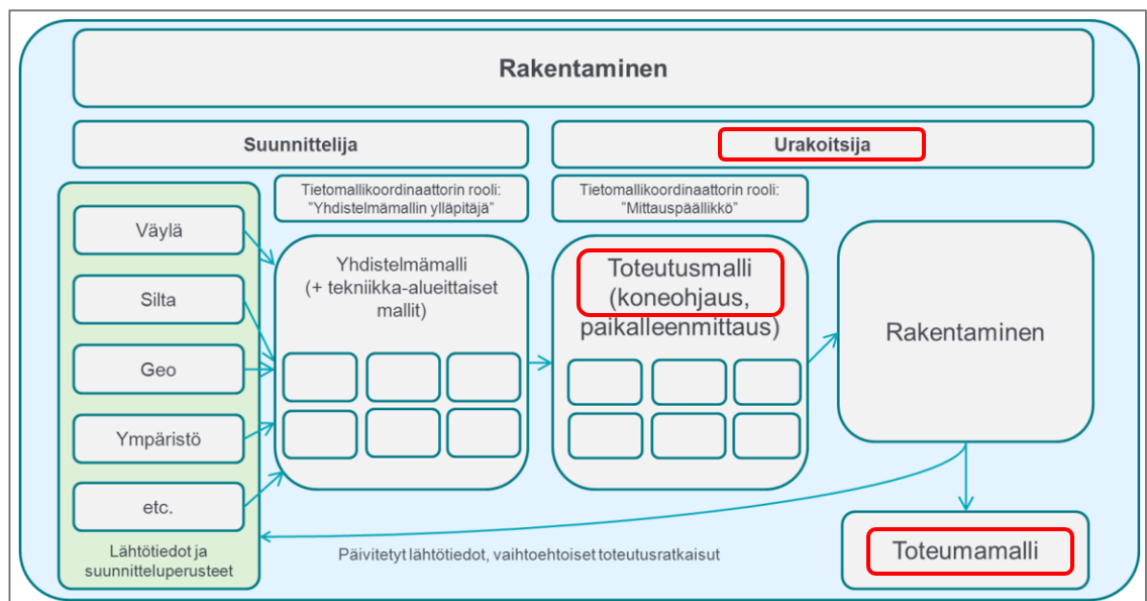
Tietomalli on digitaalisessa muodossa olevan rakennelman esittämistä kolmiulotteisesti. Tietomalli sisältää myös rakenteen ominaisuuksia, kuten materiaalitietoa. Rakentamisen tietomalli on lähtöisin talonrakentamisesta ja on sieltä siirtynyt infrarakentamiseen, jossa sitä kutsutaan nimellä inframalli. Mallin avulla tie voidaan esittää visuaalisesti. Malli voidaan viedä mittaus- tai koneohjauslaitteeseen, josta siitä pystytään saamaan korkeus- ja sijaintitietoa. Erilaisten mallien avulla on tarkoitus hallita rakentamisen koko elinkaarta ja hyödyntää avointen tiedonsiirtoformaattien käyttämistä. Inframalli voidaan jakaa lopputuotteiden alakategorioihin, joita ovat suunnittelumalli, lähtötietomalli, toteutusmalli ja ylläpitomalli.

Nämä lopputuotteet taas jakautuvat työaikaiseen yhdistelmämalliin, nykytilamalliin ja koneohjausmalliin, kuten kuvassa 1 havainnollistetaan. [Ketola 2018: 4; Mikä on tietomalli 2019; Kylmä 2015: 22.]



Kuva 1. Koneohjausmallin sijoittuminen inframalliin [Kylmä 2015: 2].

Koneohjausmalli on tiedosto, jota käytetään koneohjausjärjestelmässä. Käytännössä koneohjausmallilla tarkoitetaan aina toteutusmallia, koska se on generoitu siitä. Rakentamisen jälkeen muodostuu toteumamalli, kun rakentamisvaiheessa on tehty toteumamittaukset valmiista tieväylästä ja sen eri rakenneosista. Kuvassa 2 on esitetty urakoitsijan vastuulla olevat toteutus- ja toteumamalli [Niskanen 2015: 16].



Kuva 2. Mallien käyttö urakoitsijalla rakentamisvaiheessa [Niskanen 2015: 16].

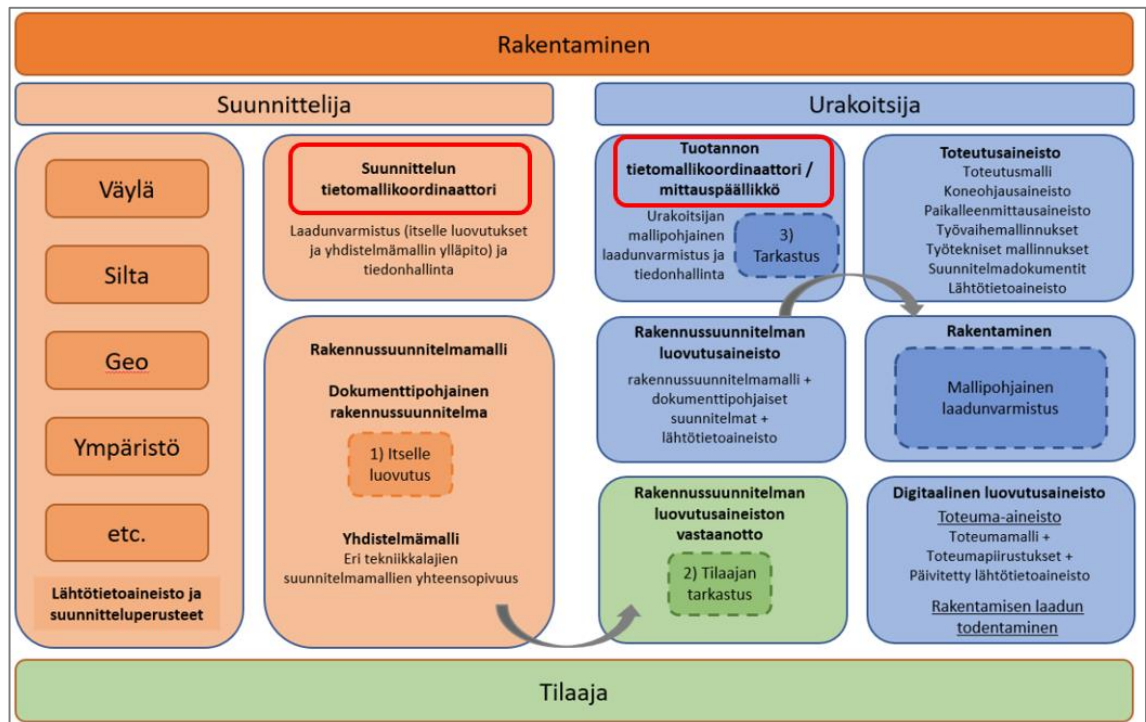
2.1.1 Mallintaminen

Mallintamistyöllä tarkoitetaan mallien tuottamista joko suunnittelutoimistossa tai maanrakennusurakoitsijalla tai sen käyttämällä mittauskonsultilla. Mallintaja tuottaa suunnittelijan tekemistä rakennussuunnitelmista mallit. Mallintaja voi olla silloin suunnittelija, urakoitsijalla mallinnukseen perehtynyt henkilö tai mittauskonsultilla työskentelevä mittausyöntekijä. Talon- ja infrarakentamisen mittauskonsultit (yleensä maanmittausalan yritykset) hallitsevat myös mallintamisen, koska monilla talonrakennus- tai maanrakennustyömailla on käytössä koneohjausjärjestelmät kaivinkoneissa. Koneohjaus ei ole siksi vähentänyt perinteistä maanmittauksen mittausyötä tekevien henkilöiden töitä, vaan heidän työtehtävänsä ovat mallinnuksen myötä monipuolistuneet. Malleja voivat tehdä myös pelkästään koneohjausmallintamiseen erikoistuneet yritykset, jotka tekevät maanrakennusurakoitsijoille koneohjausmalleja ja määrälaskentaa.

2.1.2 Tietomallikoordinaattori

Rakentamisen suurissa tietomallipohjaisissa hankkeissa tarvitaan mallien tarkistamiseen ja mallien koordinoimiseen tietomallikoordinaattori. Tietomallikoordinaattoria tarvitaan erikseen suunnitteluvaiheessa ja rakentamisen tuotantovaiheessa. Suunnittelun tietomallikoordinaattorin tehtäviä on tyypillisesti osallistua mallintamisen suunnitteluun ja aikatauluttamiseen sekä valvoa, että mallinnus tehdään vaatimusten mukaisesti. Tuotannon tietomallikoordinaattorin tehtäviä on yleensä tarkistaa rakennussuunnitelmamallit ja laatia toteutusaineisto. Hän vastaa myös rakentamisen laadunvarmistuksen toteuttamistausten ylläpidosta ja dokumentoinnista. [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 23–25.]

Tietomallikoordinaattorin rooli rakentamisen eri vaiheissa ja organisaatiossa selviää kuvasta 3. Siitä havaitaan, että tietomallikoordinaattorin tehtävänä on vastata mallipohjaisen tuotannon laadusta [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 117].



Kuva 3. Suunnittelun ja tuotannon tietomallikoordinaattorin tehtävät infrarakentamisen organisaatiossa [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 117].

Tietomallikoordinaattoriksi ei valmistuta varsinaisesti koulusta, vaan tehtävät voi oppia työskentelemällä mallipohjaisessa tuotannossa. Tietomallikoordinaattoriksi voi kuitenkin kouluttautua esimerkiksi täydennyskoulutuksella, jolloin koulutus antaa valmiudet toimia tietomallihankkeen johtamisen tukena ja tietomallintamiseen liittyvän suunnittelun, kehittämisen, toimeenpanon ja valvonnan asiantuntijana [Tietomallikoordinaattori, infra 2020].

Tietomallikoordinaattorin täytyy olla selvillä infrarakentamisen malleihin liittyvistä ohjeuksista ja määräyksistä. Tie- ja ratahankeissa Väylävirasto on julkaissut omat ohjeensa tie- ja ratahankeiden inframallinnuksesta [Tie- ja ratahankeiden inframalliohje 2017]. Inframallien ohjaukseen on olemassa buildingSMART Finlandin Yleiset inframallivaatimusten (YIV) julkaisu, joita mallinnuksessa pitäisi noudattaa. Rakentamisen laatutarkasteluun on taas olemassa InfraRYL:n yleiset laatuvaatimukset.

2.2 Yleiset inframallivaatimukset (YIV)

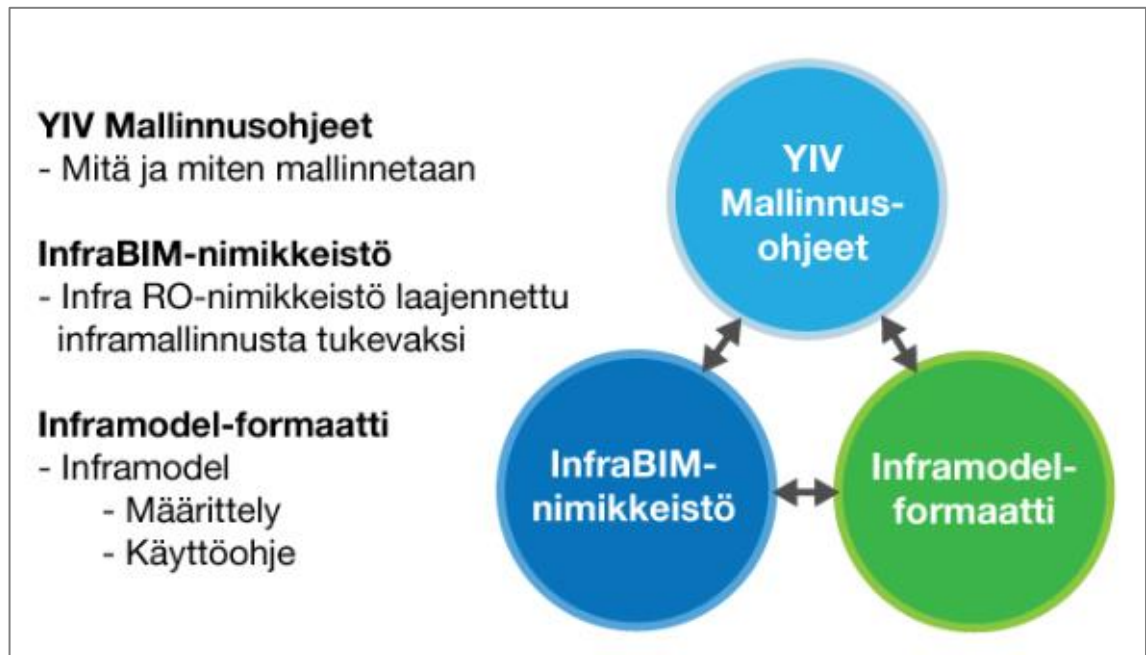
Yleiset inframallivaatimukset (lyhenne YIV) on Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunnan buildingSMART Finland Infra-toimialaryhmän julkaisemat yleiset ohjeet ja vaatimukset infra-alan rakentamisen malleista [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 6]. YIV-vaatimuksissa ohjeistetaan tietomallipohjaisen hankkeen koko prosessi alusta loppuun asti. Mallinnusohjeiden tavoitteena on yhdenmukaistaa ja kehittää infra-alaa. Väylävirasto edellyttää näiden YIV-ohjeiden noudattamista. YIV-vaatimusten uusin versio on julkaistu vuonna 2019 [Yleiset inframallivaatimukset 2019]. Aikaisempaan vuoden 2015 julkaisuun verrattuna tekstin sisältöä, luettavuutta ja julkaisun yhtenäisyyttä on parannettu [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 8].

Yleiset inframallivaatimukset 2019 koostuvat seuraavista osista [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 1–4]:

- ensimmäinen osa sisältää yleisen johdanto-osan, jossa käsitellään infra-hankkeen vaiheita, hankkeen tehtävien rooleja, mallipohjaista hanketta sekä yleisiä mallitekniisiä vaatimuksia
- toisessa osassa käsitellään lähtötietoaineistoja ja niiden raaka-aineita ja tarkkuutta eri suunnitteluvaiheissa
- kolmas osa sisältää suunnitteluvaiheen vaatimuksia ja laadunvarmistusta
- ja neljäs osa itse rakentamista
- sekä viidennessä osassa käsitellään kunnossapitoa.

Vaatimusten tärkeimmät osat urakoitsijan näkökulmasta ovat kolmas ja neljäs, joka sisältää suunnittelun ja rakentamisen. Urakoitsijan on noudatettava näitä inframallivaatimusten ohjeistuksia. Pelkät YIV-vaatimukset eivät sellaisenaan riitä, siksi buildingSMART Finland on julkaissut myös InfraBIM-nimikkeet ja tiedonsiirtoformaattit.

Kuvassa 4 on esitetty, mitä eri julkaisujen ja standardien ohjeet sisältävät ja miten vaatimukset, nimikkeet ja formaatit muodostavat yhtenäisen ”kolmikannan” [Yleiset inframallivaatimukset 2019].

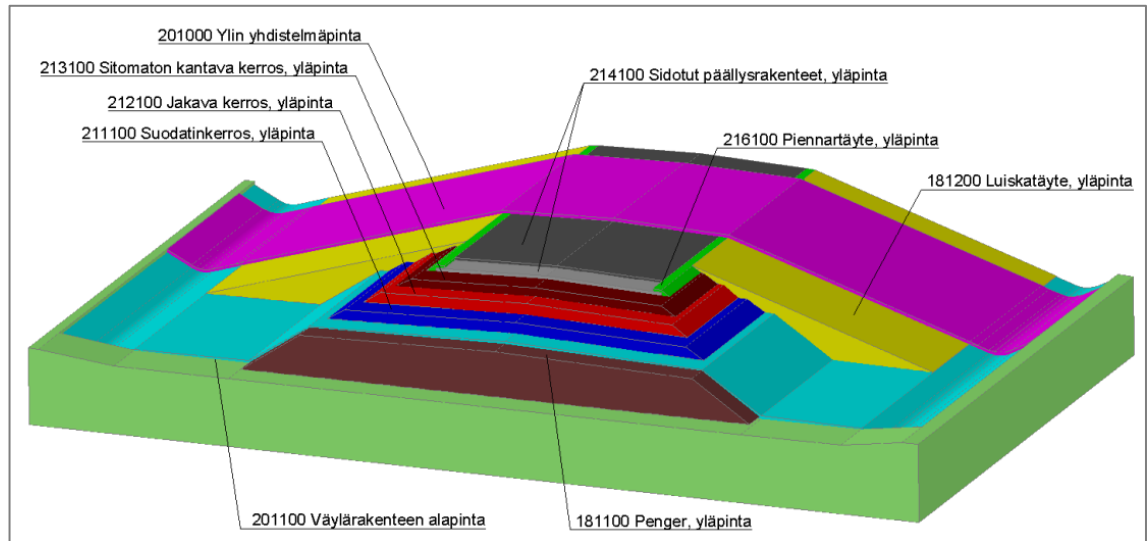


Kuva 4. Yleisiin inframallivaatimuksiin liittyvä julkaisu ja standardit [Yleiset inframallivaatimukset 2019].

2.3 InfraBIM-nimikkeistö

InfraBIM-nimikkeistö (BIM = Building Information Model) sisältää buildingSMART Finlandin julkaisemat infrarakenteiden numeroinnin ja nimeämiskäytännöt. InfraBIM-nimikkeistö perustuu Infran rakennusosanimikkeistöön, joka on osa Rakennustieto Oy:n julkaisemaa rakennustöiden yleisten laatuvaatimusten (RYL) kustannussarjaa. InfraBIM-nimikkeistön tavoitteena on palvella tierakentamisen tilaajaa, infrasuunnittelijaa, urakoitsijaa ja kunnossapitäjää yhtenäisellä numerointi ja nimeämiskäytännöllä koko mallin elinkaaren ajan. [InfraBIM-nimikkeistö 2015; Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 2019.]

Oheisesta kuvasta 5 voidaan hyvin havaita tieväylän 3D-mallin rakennekerrosten koodit ja nimeäminen, jotka ovat määritetty InfraBIM-nimikkeistössä [InfraBIM-nimikkeistö 2015: 4].

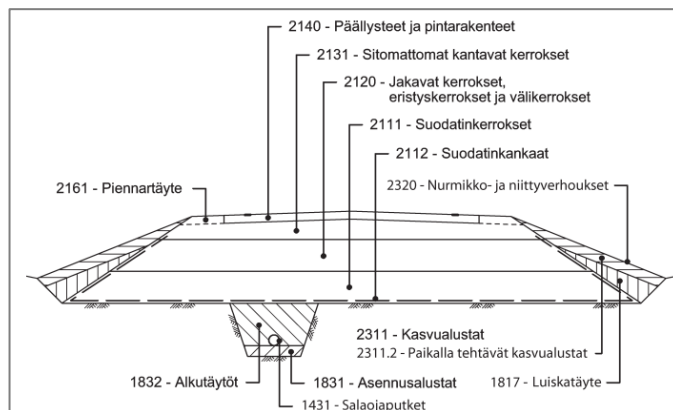


Kuva 5. Havainnekuva InfraBIM-nimikkeistöstä tien rakennekerrosten koodeista ja nimeämisestä [InfraBIM-nimikkeistö 2015: 4].

2.4 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL)

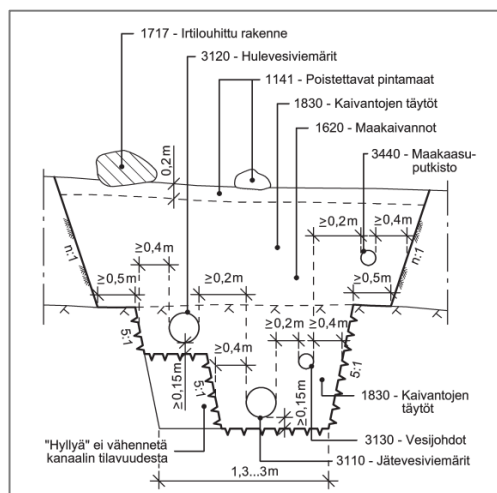
Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset (lyhenne RYL) tarkoittaa Rakennustieto Oy määrittelemiä julkaisusarjoja, joista InfraRYL on tehty maanrakennustöitä varten. RYL ei ole virallinen määräys, mutta rakennuttajien välisissä sopimuksissa se on yleisesti sovittu sitovaksi laatumäärittelyksi. Kun suunnitelmissa viitataan RYL:iin, ei kaikkia yksityiskoh-
tia tarvitse esittää suunnitelmissa. InfraRYL jakautuu nimikkeistöosiin ja määrämitta-
osaan. Nimikkeistössä kuvataan jokainen rakennusosan nimi ja mitä se tarkoittaa, mää-
rämitta-osaan miten jokin rakennusosa merkitään tai miten mitataan. [Rakennustöi-
den yleiset laatuvaatimukset 2019; Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määrämitta-
tausohje 2015: 5–7.]

InfraRYL:ssä määritellään nimenomaan, mitä tarkoittavat tiessä päällyys- ja pintarakenteet, kuten kuvan 6 esimerkistä selviää.



Kuva 6. Esimerkkikuvaus tien rakenteista ja niiden nimikkeistä [Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määramittausohje 2015: 89].

InfraRYL:ssä myös määritellään, miten esimerkiksi putkilouhinta on nimetty ja mitä sen osat tarkoittavat ja mitkä ovat mittauasetäisyydet eri nimikkeillä (kuva 7).



Kuva 7. Esimerkkikuvaus putkilouhintojen rakenteista ja nimikkeistä [Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määramittausohje 2015: 70].

2.5 Tiedonsiirtoformaatti

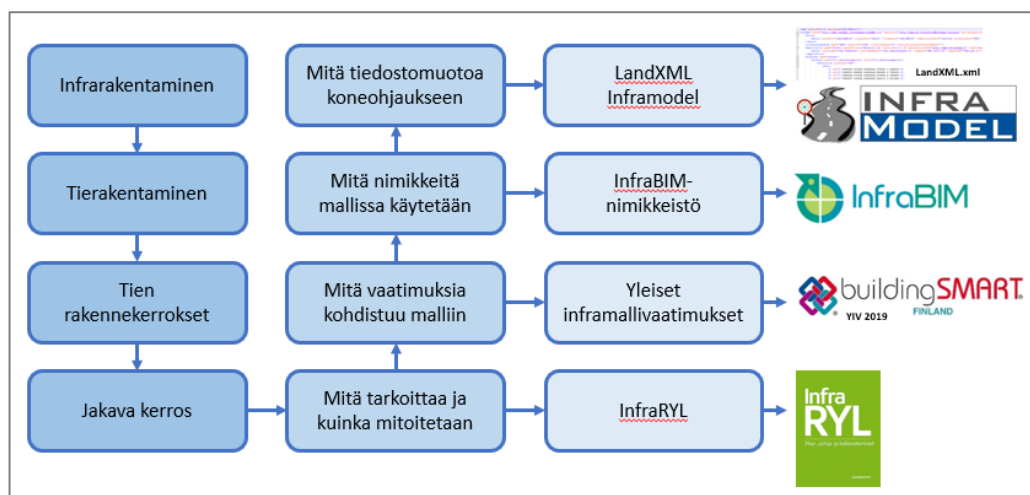
Jotta malleja voidaan siirtää eri ohjelmista toiseen ja hyödyntää erilaisissa laitteissa, pitää olla määritelty formaatti, jotta malleja osataan lukea. Yleiseen Extensible Markup

Language -standardiin (XML) perustuvasta esityskielestä on määritelty kansainvälinen infra- ja maanmittaustiedolle perustuva LandXML-standardi. Tämä avoin tiedonsiirtoformaatti soveltuu käytettäväksi mallien esittämiseen niin koneohjauksessa kuin tiedon siirtämisessä ohjelmasta toiseen, koska se on täysin ohjelmistoriippumaton formaatti.

Suomessa LandXML-standardiin perustuvasta formaatista on määritelty Inframodel-formaatti, jossa voidaan esittää nimikkeisiin liittyvää tietoa. Inframodel mahdollistaa esimerkiksi vesihuoltoverkostojen ominaisuustietojen esittämisen. BuildingSMART Finland suosittelee käyttämään Inframodel-tiedonsiirtoformaattia, joka mahdollistaa avoimen tiedonsiirron koko infra-alalla, niin suunnitteluohjelmissa kuin mittaus- ja koneohjaussovelluksissa. [Ketola 2018: 8; Inframodel-tiedonsiirtoformaatti 2020.]

2.6 Yhteenveto mallien vaatimuksista

Mallipohjaisessa rakentamisessa on tarkoitus noudattaa malliohjeistuksia ja vaatimuksia. Tietomallinnuksen ohjeet ja vaatimukset eivät ole ristiriidassa keskenään, vaan ne täydentävät toisiaan. Jos malliohjeistusta ei noudateta tai käytetään virheellisiä nimikkeitä, toteutusmallin sisältö ei ole vaatimusten mukainen ja tällöin joudutaan korjaamaan malleja. Kuvaan 8 on koottu yhteenvetona infrarakentamisen toteutusmalliin vaikuttavat ohjeistukset. Esimerkkinä on havainnollistettu tieväylän jakavan kerroksen rakentamiseen vaikuttavat ohjeistukset.



Kuva 8. Toteutusmalliin vaikuttavia ohjeistuksia. Kuvan logojen lähteet Yleiset inframallivaatimukset 2019; InfraBIM-nimikkeistö 2015; Rakennustietokauppa 2020].

2.7 Toteumamalli

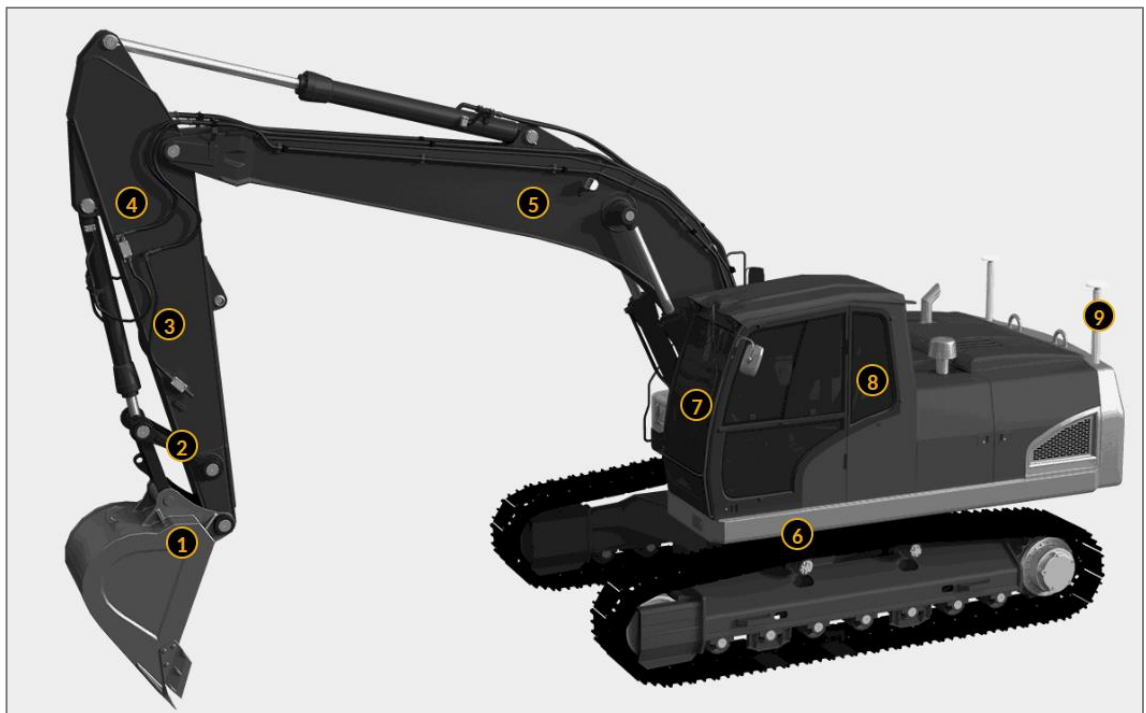
Rakentamisen jälkeen laaditaan toteumamalli, jos tilaaja niin vaatii. Toteumamalli kuvaa infrarakenteen sellaisena kuin se on rakennettu. Yleensä toteumamalli koostuu toteutusmallista päivittämällä sitä rakentamisvaiheessa tehdyistä toteumamittauksista. Toteumamittauksilla todennetaan rakenteen laatua ja se suoritetaan työmaan koneohjausta käyttävillä työkoneilla tai mittaushenkilöiden mittauskalustoilla. Toteumamittauksia koordinoi tietomallikoordinaattori. Toteumamalliin voidaan lisätä rakentamisen jälkeen tien kunnossapidon tietoja. Toteumamallista muodostuu yleensä kunnossapito- ja ylläpitomalli. Toteumamallin ja toteumamittauksen vaatimukset on kuvattu YIV-vaatimuksissa.

Rakentamisen jälkeen toteumamalli luovutetaan tilaajalle digitaalisen luovutusaineiston osana. Digitaalisella luovutusaineistolla kuvataan valmiin työmaan luovutus tilaajalle. Luovutusaineisto muodostuu toteumamallista ja laadunvarmistukseen liittyvistä dokumentaatiosta. Aineistolla todennetaan rakentamisen laatu ja se toimii lähtötietona kunnossapitovaiheelle. [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 10–12, 19, 20.]

3 Koneohjaus

Maanrakennustyömaalla voi työskennellä samaan aikaan monta kaivinkonetta. Jokainen kone tarvitsee ohjeet tai suunnittelukuvan siitä, missä kohtaa, ja miten paljon pitää kaivaa tai levittää maa-aineksia. Perinteisesti mittamies on toiminut koneen kuljettajalle ”kartana” merkitsemällä maastoon tien sijainnin ja korkeuslukemat tai kaivinkoneen apumies on näyttänyt kaivinkoneen kuljettajalle kaivuusyvyiden tai täyttöpaksuuden. Koneohjaus (työkonejärjestelmä) on maanrakennuskoneeseen asennettu kuljettajaa avustava järjestelmä. Se poistaa nämä maastoon merkinnän työvaiheet ja apumiehen mittaustyöt lähes kokonaan, jolloin kaivinkone pystyy työskentelemään täysin itsenäisesti. Koneohjausta voidaan käyttää monissa maarakennuskoneissa: kaivinkoneissa, pyöräkuormaajissa, paalutuskoneissa ja poravaunuissa. [Mitä on koneohjaus 2020; Koneohjausjärjestelmät 2020.]

Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmään kuuluvat kuvassa 9 esitetyt komponentit: 1) kauha-anturi, 2) kauhan sivuttaiskallistuksen anturi, 3) laservastaanotin, 4) kaivuvarren anturi, 5) pääpuomin anturi, 6) runkoanturi, 7) näyttö- ja tietokoneyksikkö, 8) satelliittivastaanottimet, 9) satelliittiantenni. [Mitä on koneohjaus 2020.]



Kuva 9. Koneohjausjärjestelmän komponentit [Mitä on koneohjaus 2020].

3.1 Koneohjausjärjestelmän toiminta

Koneohjausjärjestelmä toimii maanrakennuskoneessa yleensä satelliittipaikannuksella. Lisäksi koneohjaus voi olla myös takymetriohjauksessa, jolloin takymetri on asemoitu koordinaatistoon kiintopisteistä, tähyksistä tai satelliittipaikannuksella. Koneohjausjärjestelmään voidaan tuoda erilaisia 2D-karttoja (sisältää vain tasotiedon) tai 3D-malleja (sisältää sijainnin lisäksi korkeustiedon). Kuvassa 10 on näkymä kaivinkoneen ohjaamosta, johon on asennettu koneohjausjärjestelmä [Lönnberg 2018]. Kuljettava pystyy koko ajan seuraamaan koneohjauksen näytöltä kauhan sijaintia mallia vasten. Näin koneohjausjärjestelmän käyttö tehostaa työkoneen työskentelyä ja kaivuujälki on tarkkaa (kuva 10). [Niskanen 2017: 14; Mitä on koneohjaus 2020.]



Kuva 10. Koneohjauksen kuljettajan näkymä kaivinkoneen ohjaamosta [Lönnberg 2018].

3.2 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannus tarkoittaa sijainnin määrittystä maailmanlaajuisen GNSS-satelliittijärjestelmän avulla (Global Navigation Satellite System). Se on eri maiden ylläpitämien paikannusjärjestelmien muodostama kokonaisuus. Aikaisemmin on puhuttu pelkästään yhdysvaltalaisesta GPS-järjestelmästä (Global Positioning System), mutta nykyään globaalissa järjestelmässä on mukana myös venäläinen GLONASS ja eurooppalainen

GALILEO sekä kiinalainen BeiDou. Näiden lisäksi on olemassa vielä paikallisella alueilla toimivat japanilainen QZSS ja intialainen IRNSS. [Partonen 2020.]

Satelliittipaikannus perustuu satelliittien lähettämiin radiosignaaleihin. Signaalien viestien perusteella saadaan mitattua etäisyydet satelliitteihin. Kun satelliittien sijainti tunnetaan havaintohetkellä, voidaan etäisyyksien perusteella selvittää paikannusvastaanottimen sijainti, kun etäisyydet saadaan laskettua vähintään kolmeen satelliittiin. Käytännössä satelliitteja pitää kuitenkin näkyä enemmän, jotta saadaan satelliittien aikaviive ratkaistua ja satelliittikonstellaatio (satelliittien näkyvyys yhtenä ryhmänä) optimaaliseksi. Satelliittivastaanotin voi mitata kulku-aikaa, jonka signaali matkaa satelliitista maahan, jolla tarkoitetaan **koodihavaintoihin perustuva menetelmä**. Lisäksi vastaanotin voi mitata satelliitin ja vastaanottimen signaalien välistä vaihe-eroa, jolla tarkoitetaan **vaihehavaintoihin perustuva menetelmä**. Tällöin erilaisia paikannusmenetelmiä käyttämällä päästään paikannuksissa eri tarkkuuksiin. [Partonen 2020.]

3.2.1 Liikkuvan vastaanottimen paikannuksen menetelmiä

Liikkuvan vastaanottimen satelliittipaikannuksen yleisimmin käytetty menetelmä on **absoluuttinen paikannus**, jolloin käytetään vain yhtä vastaanotinta ja etäisyydenmittaus satelliittiin perustuu koodihavaintoihin. Vastaanottimen sijainti saadaan laskemalla etäisyys moniin satelliitteihin. Tätä käytetään monissa kuluttajan laitteissa, kuten autonavigaattoreissa, kännyköissä tai erillisissä harrastekäytön paikannuslaitteissa. Tarkkuus näissä laitteissa on noin 10 m, mutta hyvissä olosuhteissa voi olla tarkempikin. [Partonen 2020.]

Toinen koodihavaintoihin perustuva menetelmä on **differentiaalinen paikannus** (DGPS). Tässä menetelmässä käytetään tunnetulla pisteellä sijaitsevaa kiinteää tukiasemaa. Etäisyydenmittaus perustuu myös koodihavaintoihin. Parempi sijaintitarkkuus saadaan sillä, että tukiasema laskee korjauksen jokaiseen satelliitista mitattuun etäisyyteen. Korjaus vastaanottimelle voidaan lähettää reaaliaikaisesti monella eri tavoin, kuten RTCM-radiosiirtona (Radio Technical Commission for Maritime). Näitä palveluja käytetään laivojen navigointipalveluissa. Tarkkuudessa päästään noin metrin sijaintiin ja jälkilaskennassa päästään vielä parempaan tarkkuuteen. Maanmittauslaitoksella on kuitenkin tarjolla DGNSS-palvelu (Differential GNSS), jota voi käyttää reaaliajassa ja sillä

päästään noin puolen metrin tarkkuuteen [Yleistä paikannuspalveluista 2020]. [Partonen 2020.]

Kolmas paikannusmenetelmä on **suhteellinen (relatiivinen) paikannus**. Tässä menetelmässä käytetään vaihehavaintoja etäisyyden laskentaan satelliiteista sekä RTK-mittaukseen perustuvaa paikannusta. RTK-mittaus on reaaliaikaista kinemaattista mittausta (Real Time Kinematic), jolloin tunnettua pistettä käytetään referenssipisteenä ja sen perusteella lasketaan sijainti. RTK-mittauksessa on kaksi vastaanotinta, yksi tunnetulla pisteellä eli tukiasema (Base) ja toinen liikkuva vastaanotin (Rover). Tukiasema vastaanottaa satelliittidataa ja lähettää reaaliaikaisesti oman sijaintinsa ja havaintonsa satelliiteista liikkuvalla vastaanottimelle. Sen jälkeen ratkaistaan tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välinen etäisyysvektori, jolloin liikkuvan vastaanottimen sijainti saadaan selville. Tässä paikannusmenetelmässä saadaan reaaliajassa senttimetriluokan paikannustarkkuus. Tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välillä käytetään tiedonsiirtoon radiomodeemia, jonka kantavuus voi olla pari kilometriä tai vahvistettuna maksimissaan 10 kilometriä. Tiedonsiirtoon voidaan myös käyttää matkapuhelinverkkoa, jolloin päästään pitempiin etäisyyksiin. Menetelmää voidaan käyttää vain rajallisella alueella, mikä johtuu käytössä olevasta yhden tukiaseman ratkaisusta. [Toivonen & Ylikoski 2013: 6–7; Partonen 2020.]

Kun suhteellista paikannusmenetelmään käytetään **verkko-RTK-mittauksena**, päästään eroon alueellisesta rajoituksesta. Verkko-RTK-mittauksen menetelmässä käytetään kokonaista tukiasemien verkkoa. Tukiasemaverkossa yksittäiset tukiasemat ovat osa kokonaista verkkoa ja niiden avulla lasketaan verkkoratkaisu. Tukiasemia voi olla verkossa toistasataa. Jokainen yksittäinen tukiasema vastaanottaa dataa kaikista saatavissa olevista satelliiteista ja välittää sijaintitietonsa verkon laskentakeskukselle. Tämä verkon laskentakeskus korjaa reaaliaikaisesti satelliitti virheitä hyödyntäen kaikkien tukiasemien saamia tietoja. Suomessa on kaksi RTK-verkkomittauksen palvelutarjoajaa Leica Geosystems Oy:n SmartNet ja Trimblen GEOTRIM Oy:n VRS Trimnet. Kummallakin palvelutarjoajalla on kattava verkko koko Suomesta, mutta verkon ratkaisun laskentatekniikka on eri. Leica ja GEOTRIM tarjoavat palvelusopimuksia, jotka mahdollistavat RTK-mittauksen palvelun käyttämisen erilaisten lisenssien avulla. [Toivonen & Ylikoski 2013: 6–7; Partonen 2020; Trimnet MC Infra VRS 2020.]

Trimblen VRS Trimnet -palvelussa laskentakeskus laskee ”virtuaalisen” tukiaseman liikkuvan vastaanottimen lähelle. Virtuaalinen tukiasema toimii kuin kiinteä tukiasema, mutta liikkuvan vastaanottimen ja tukiaseman välinen etäisyysvektori pysyy tällöin lyhyenä. Ratkaisemalla etäisyysvektori, saadaan vastaanottimen sijainti paikannettua. Erona Trimbleen Leican SmartNet-palvelu käyttää MAX-korjausmenetelmää (Master Auxiliary Correction) verkon ratkaisemiseksi. Verkon laskentakeskus lähettää verkon päätukiasemalle MAX-korjaukset ja korjaus- ja koordinaattierot avustaville tukiasemille. Liikkuva vastaanotin taas vastaanottaa datan ja laskee verkkoratkaisun soveltaen omaan sijaintiinsa sopivia korjausarvoja. Kummankin palveluntarjoajan verkko-RTK-mittauksessa tarvitaan vain yksi vastaanotin, jolla voidaan mitata alueesta riippumatta. Vastaanottimella pitää olla kuitenkin luotettava yhteys verkon palvelukeskukseen. Tämä yhteys voidaan hoitaa internet-yhteydellä esimerkiksi puhelinliittymällä, jossa on datayhteys. [Toivonen & Ylikoski 2013: 9–15; Partonen 2020; Trimnet MC Infra VRS 2020.]

3.2.2 Koneohjauksen satelliittipaikannus

Koneohjauksessa hyödynnettävä satelliittipaikannus perustuu RTK-paikannukseen. Kaivinkoneen vastaanotin voi toimia työmaan oman tukiaseman tai verkko-RTK-mittauksen varassa, jolloin se saa sijaintitietonsa reaaliajassa. Jos käytetään työmaan omaa tukiasemaa, ei koneurakoitsijan tarvitse erikseen maksaa verkko-RTK-mittauksen palvelusta. Työmaan omana tukiasemana voi toimia satelliittivastaanotin, joka on sitä varten hankittu ja pystytetty työmaalle. Kaivinkoneen vastaanottimen pitää olla tällöin määritelty käyttämään juuri työmaan tukiasemaa. Jos urakoitsijan kaivinkone on määritelty käyttämään Leican tai Trimblen verkko-RTK-mittauksen palvelua, pitää urakoitsijalla olla käytössä palveluntarjoajan lisenssit verkon käyttämiseen.

Koneohjauksen tarkkuus on RTK-paikannuksessa senttimetriluokkaa [Toivonen & Ylikoski 2013: 6]. Käytännön mittauksissa on päästy noin 2 cm:n korkeus- ja 4 cm:n tasotarkkuuteen [Tappola 2016: 18]. Tasosijainnin paikannustarkkuus voi kuitenkin kertautua moninkertaiseksi (jopa 6 senttimetriin), kun kaivinkoneen satelliittiantennit ovat lähellä pyörimisliikkeen keskipistettä [Laulainen 2015: 21]. Tällöin pieni virhe satelliittipaikannuksessa tekee isomman virheen kauhan päässä. Tarkkuus myös huononee, jos työkonen kauhaa ei kalibroida säännöllisesti. Usein kaupunkialueilla korkeiden talojen ja voimalinjojen läheisyys huonontavat tarkkuutta, jolloin korkeustarkkuus voi olla noin 3–5 cm ja tasotarkkuus noin 10 cm [Laulainen 2020].

3.3 Koneohjauksen laitetointittajat

Yleisimmin Suomessa käytetyt koneohjausjärjestelmien laitetointittajat ovat suomalainen Novatron Oy, sveitsiläinen Leica Geosystems Oy ja yhdysvaltalaisen Trimblen edustaja Sitech Oy. Novatron on Tampereelta lähtöisin koneohjauslaitteisiin erikoistunut toimittaja. Se tekee yhteistyötä oppilaitosten kanssa ja on erikoistunut tietomallipohjaisen tuotannon kehittämiseen. Leica on kansainvälinen tunnettu maanmittauslaitevalmistaja, joten sillä on vuosien kokemus mittauslaitteista. Leicalla on lisäksi Suomessa tarjolla satelliittipaikannuksen Smartnet-palvelu. Kansainvälinen Trimble on myös perinteinen maanmittauslaitevalmistaja, jonka koneohjauslaitteita Suomessa myy ja huoltaa Sitech. Se toimittaa myös Trimblen valmistamia maastonmittauslaitteita ja maanrakentamisen koneautomaatioon liittyviä ohjelmistoja. Trimblellä on tarjolla myös satelliittipaikannuksen Trimnet-palvelu. [Uusi-Kouvo 2018: 29, 33 ja 38.]

Koneohjaustiedostot siirretään koneohjauslaitteiden valmistajien tarjoamille verkkopalvelimille, jolloin ne ovat työmaan kaivinkoneiden käytettävissä. Palvelimilta kaivinkoneen kuljettaja lataa (kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän näytöltä) työmaansa tarvitsemat koneohjausmallit ja kartat. Perinteisesti koneohjaustiedostot voidaan siirtää myös manuaalisesti USB-muistitikulla kaivinkoneeseen. Novatronin koneohjauspalvelimelle tiedostot siirretään FTP-tiedonsiirtona käyttäjän omalta tietokoneelta. Leicalla on erillinen palvelinohjelmisto, jota käytetään Internet-selaimella, samoin on myös Trimblellä. Trimblen verkkopalvelinta voidaan käyttää lisäksi myös Trimble Connect -ohjelman kautta.

4 Ohjelmistot

4.1 Rakennussuunnitelmien tiedostomuodot

Maanrakennusurakoitsijat saavat käyttöönsä kaikki infrasuunnittelijan tuottamat rakennuskuvat PDF- ja DWG-muodossa. Tasokuva, pituus- ja poikkileikkaus tulisi olla DWG-muodossa ja malleihin liittyvä tiedosto Inframodel-formaatin mukaisessa XML-tiedostossa. Riippuen tiehankkeesta, voi malleja ja muita suunnitelmia olla 3D-Win-ohjelman omassa TDW-muodossa.

Kun urakoitsijalle toimitetaan samat rakennussuunnitelmakuvat eri tiedostomuodoissa (PDF, DWG tai XML), voi urakoitsijan mallintajalla olla vaikeaa tietää, missä muodossa oleva kuva on määräävä tekijä, jos kuvissa on ristiriitoja. Tällöin pitää aina selvittää ristiriidan syy suunnittelijalta, ennen kuin kuvista voidaan ottaa mittoja tai rakentaa malleja. Lisäksi kuvista pitää aina tarkistaa käytettävä revisio päiväyksineen.

4.2 Mallintamisen ohjelmat

GRK Infralla on käytössä 3D-Win- ja AutoCAD- sekä Trimble Business Center -ohjelmistot. Suomessa suunnittelijat tekevät infrasuunnittelua yleisesti käytössä olevilla infrasuunnitteluohjelmistoilla Trimblen omistamilla Novapoint- ja Tekla Civil -ohjelmilla sekä Autodeskin AutoCAD Civil 3D:llä [Infrasuunnitteluohjelmistojen koulutus 2019], jolloin urakoitsijalle välitettävät XML-muotoiset mallit on tuotettu näillä ohjelmilla.

4.2.1 3D-Win

GRK Infralla käytetään mallinnustyöhön 3D-Win-ohjelmistoa. 3D-Win on koneohjauslaittevalmistaja Novatron Oy:n omistama maanmittausohjelmisto. Ohjelmisto on tarkoitettu kartoitusaineiston ja maastomallien käsittelemiseen sekä määrälaskentaan. Ensimmäiset versiot ohjelmasta ilmestyivät jo 1990-luvun lopulla, minkä jälkeen ohjelmaan on vuosien ajan lisätty erilaisia uusia toimintoja. Siksi ohjelman käyttöliittymän toiminta ei aina ole kovin yksinkertaista. 3D-Win-ohjelman omistus ja kehitystyö siirtyivät 3D System Oy:ltä Novatronille syksyllä 2019. Novatron on tuottanut aikaisempien vuosien aikana

paljon mallinnusohjeita 3D-Winin käyttöön ja ollut kouluttamassa 3D-Winistä mallinnuspuolen asioita. [3D-Win 2019; Ladattavat materiaalit 2020.]

3D-Win on suunniteltu mitatun tiedon monipuoliseen käsittelemiseen. Ohjelmaan voi tuoda, ja sillä on mahdollista kirjoittaa monia eri formaatissa olevia tiedostoja. Lisäksi sillä voidaan suorittaa koordinaattimuutoksia ja esittää mitattua kartoitustietoa. Ohjelmassa on monipuoliset toiminnot maastomallien tuottamiseen ja käsittelemiseen. Näiden avulla ohjelmalla voidaan tehdä erilaisten maanpintojen ja rakennekerrosten määrälaskentaa (puhekielessä käytetään nimitystä myös ”massanlaskenta”) ja esittää tietoa poikki- ja pituusleikkauksen muodossa. [3D-Win aloitusohje 2019: 3; 3D-Win maastomalliohje 2019: 3.]

4.2.2 AutoCAD

GRK Infralla on käytössä 3D-Winin rinnalla myös AutoCAD-ohjelma. AutoCAD on vektorigrafiikkaa hyödyntävä tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto, jota julkaisee yhdysvaltalainen Autodesk Inc. AutoCADin ensimmäinen versio julkaistiin jo vuonna 1982, ja uusia versioita tulee joka vuosi. Tiedostoformaatti DWG on juuri lähtöisin AutoCAD-ohjelmasta. AutoCAD-ohjelman perusversio on yleissuunnitteluohjelma, joka on laajennettavissa erilaisilla Autodeskin alakohtaisilla laajennuksilla. Infrasuunnitteluun on tarkoitettu AutoCAD Civil 3D -ohjelma. Tällä ohjelmalla pystytään käsittelemään tietomalleja ja ohjelmassa on monipuolisemmat toiminnot moniin infra-alan tiedostojen käsittelyyn, kuin perusversio AutoCAD-ohjelmasta. [AutoCAD 2019; Leppänen & Niskala 2016: 30.]

AutoCAD Civil 3D -ohjelmalla voi käsitellä mallien kolmioverkkoja. Maastomallien kolmioverkkojen käsittely on AutoCADin perusversiossa erilaista kuin 3D-Winissä. AutoCAD pystyy käsittelemään kolmioverkkoa yksittäisinä kolmioina, kun taas 3D-Winissä kolmioverkko on aina yhtenäinen verkko, jota ei voi ”hajottaa” osiin. AutoCAD on tarkoitettu rakennuskuvien piirtämiseen, siinä on myös eri kuvien välillä ”kopioi ja liitä” -toiminnot, kun taas 3D-Winissä tätä mahdollisuutta ei ole. 3D-Winissä eri tiedostot (kuvat) voidaan laittaa näkyviin päällekkäin ja muokata niitä yhdessä tai erikseen, toisin kuin AutoCAD-ohjelmassa, jossa sama näkymä on aina samaa kuvaa.

4.2.3 Trimble Business Center

GRK Infralla ei varsinaisesti käytetä mallintamiseen Trimble Business Centeriä, mutta sitä käytetään Trimblen koneohjausaineistojen käsittelyyn. Trimble Business Center (TBC) on monipuolinen ohjelmisto erilaisten aineistojen käsittelyyn. Sillä voidaan tarkastella toteutus- ja koneohjausmallien oikeellisuutta ja muokata niitä. Se mahdollistaa myös infrahankkeissa määrälaskennan ja se sopii pistepilvien käsittelyyn. Ohjelmassa on valikoima työkaluja maanmittaustietojen laskentaan, jonomittaukseen ja verkkotasoitukseen. [Trimble Business Center 2020.]

5 Mallintaminen tiehankkeessa

Tässä insinööriyössä käsitellään koneohjausaineistojen mallintamista maanrakennusurakoitsijan tai mittauskonsultin näkökulmasta. Työssä tarkastellaan mallintamista tiehankkeessa. Tietä voidaan leventää tai rakentaa kokonaan uusi tie, jolloin koneohjausaineistoja tarvitaan tien rakennekerrosten ja vesihuoltoverkostojen rakentamiseen. Insinööriyössä käsiteltävät tiehankkeen mallinnusperiaatteet soveltuvat myös muuhun infra-rakentamiseen, kuten talonrakentamisen perustuspoijien, kadunrakentamisen tai vesihuoltoverkostojen mallintamiseen.

5.1 Mallin elementit

Mallintamisella voidaan tarkoittaa monenlaista tekemistä. Yleensä mallintaminen on tietyn asian kuvaamista eri tavoin [Mallintaminen 2019]. Maanmittauksessa mallintaminen on yleensä maanpinnan tai muun vastaavan esittämistä kolmiulotteisesti eli 3D-mallina.

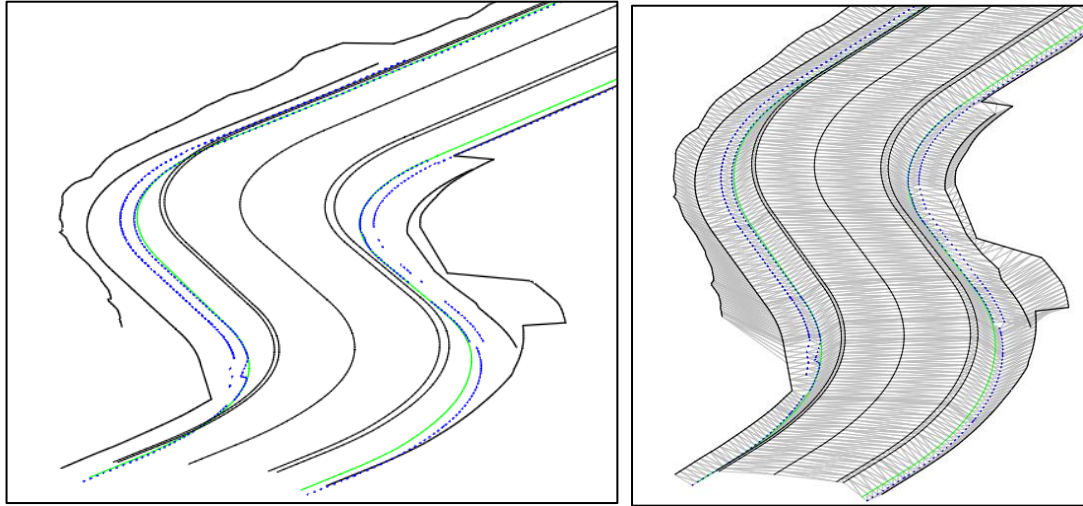
Koneohjausaineiston 3D-malli koostuu erilaisista elementeistä.

- **Piste**, jolla on tasokoordinaatit x ja y sekä korkeuslukema z .
- **Taite- eli vektoriviiva**, joka alkaa pisteestä ja päättyy pisteeseen.
- **Tyypikoodi**, joka ilmaisee mitä tien viivaa taiteviiva kuvaa.
- **Pintatunnus**, joka kertoo, mikä rakennekerroksen pinta on kyseessä.
- **Kolmioverkko** eli 3D-pintamalli.

Pisteet yhdistetään toisiinsa taiteviivalla. Pisteillä on oma lajityyppinsä, esimerkiksi ojan pohja tai valmiin pinnan tien ulkoreuna. Pisteet yhdistetään vain samaan lajityyppiin, jolloin muodostuu kolmiulotteinen 3D-kartta. Kolmioverkko eli vektorimalli (Triangulated Irregular Network, TIN) on korkeusmalli (Digital Elevation Model, DEM), joka on tallennettu epäsäännöllisenä kolmioverkkona. Tämä malli on maastomallin (maanpintaa kuvaavaa malli, Digital Terrain Model, DTM) tärkein elementti. Siksi kolmioverkkoa usein kutsutaan puhekielessä maastomalliksi. Kolmioverkko on kolmiulotteinen 3D-malli, koska sen jokaisen kolmion muodostamalla tasolla on tieto korkeusasemasta. Malli muodostetaan kolmioimalla taiteviivoissa olevat pisteet. Kolmioinnissa yhdistetään pääsääntöisesti kolme lähintä pistettä. Taiteviivan yli ei kolmioida, vaan siitä tehdään kolmion yksi

sivu. Kolmioiden muodossa pyritään ensisijaisesti tasasivuisiin kolmioihin. [Oksanen 2020; 3D-Win maastomalliohje 2019: 11–12.]

Kuvassa 11 vasemmalla puolella nähdään taiteviivoista muodostettu 3D-kartta tien linjasta. Kun verrataan kuvan 11 oikeanpuoleista kuvaa, nähdään sama tielinja kolmioituna. Jokaisen kolmion pisteiden väliseen kolmioalueeseen on muodostunut tasopinta.



Kuva 11. 3D-kartta, joka on rakennettu taiteviivoilla ja sama tie kolmioituna 3D-mallina.

Ennen kolmiointia pisteille pitää antaa pintatunnus, jonka mukaan ohjelmat nimeävät pinnan. Taiteviivoille taas määritellään tyypikoodi, joka voi olla esimerkiksi pientareen reuna, ojan pohja tai rakennekerroksen taite. Kun pisteillä on pintatunnus ja viivoille on annettu tyypikoodi, voidaan pintatunnuksen mukaan kolmioida taiteviivat, jolloin muodostuu kolmioverkko eli koneohjauksen 3D-malli. Kun koneohjausjärjestelmää käyttävä kaivinkone kaivaa kaivantoa, saadaan jokaisesta kolmiulotteisen kuvan kohdasta tietoa millä syvyydellä kaivinkoneen kauha kyseisellä hetkellä on. Tähän perustuu juuri koneohjauksessa 3D-mallien hyödyntäminen.

5.2 Koordinaattijärjestelmät

Koordinaattijärjestelmä on mallin tärkeä osa varsinkin tiehankkeessa. Vaikka siltasuunnitelma tai muu vastaava tehdään erilliskoordinaatissa, se tulee muuntaa hankkeen viralliseen koordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään [Yleiset inframallivaatimukset 2019:

77]. Mittayksikkönä tulee käyttää metriä [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 36]. Tällöin ei tule epäselvyyttä siitä, käytetäänkö millistä vai metristä kuvaa, kun kaikkialla käytetään samaa mittayksikköä. Suomessa käytetään nykyään yhtenäisiä valtakunnallisia koordinaatiojärjestelmiä eikä enää erillisiä omia tasokoordinaatio- ja korkeusjärjestelmiä. Kun koneohjausmallien käyttö kaivinkoneissa perustuu satelliittipaikannukseen ja eri ohjelmistojärjestelmät on tehty kansainväliseksi, voi koordinaatiojärjestelmät valittaessa ja käytettäessä tulla eteen, mitä pitäisi valita ja mistä koordinaatiosta muuntaa toiseen koordinaatiojärjestelmään. Seuraavissa luvuissa selvitetään koordinaatiojärjestelmien käyttämistä.

5.2.1 WGS84-järjestelmä

World Geodetic System 1984 eli WGS84-järjestelmää käytetään satelliittipaikannuksessa. Sen on kehittänyt Yhdysvallat oman satelliittipaikannuksen tarpeisiin. Se on kuitenkin globaali järjestelmä. Koneohjaukseen vietävässä mallissa ei tarvitse erikseen asettaa, mitä satelliittipaikannuksen koordinaatiojärjestelmää malli käyttää, vaan se on määritelty kaivinkoneen koneohjausjärjestelmässä. [Laurila 2012: 160.]

5.2.2 ETRS89-koordinaatiojärjestelmä

European Terrestrial Reference System 1989 eli ETRS89-järjestelmä on eurooppalainen koordinaatiojärjestelmä, jota voidaan pitää identtisenä WGS84-järjestelmän kanssa. Suomen valtakunnallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa on siirrytty käyttämään tätä ETRS89-järjestelmää. ETRS89:n suomalainen realisaatio on EUREF-FIN (European Reference Frame eli alueellinen eurooppalainen koordinaatiojärjestelmä), ja se on käytännössä sama kuin WGS84, jota satelliitit käyttävät. Näin ollen se helpottaa myös paikannusta. [JHS 153 2008: 7; Laurila 2012: 160.]

Suomessa Maanmittauslaitos alkoi jo vuonna 2010 käyttää kartastokoordinaatiojärjestelmän sijaan ETRS89-koordinaatiojärjestelmää. Kartastokoordinaatiojärjestelmä (KKJ) oli vuodesta 1970 yleisissä kartastotöissä käytössä ollut tasokoordinaatiojärjestelmä. Tässä koordinaatiostossa Suomi oli kuvattu kuudessa Gauss–Krüger-projektiokaistassa, joiden leveys oli 3°. Yhtenäiskoordinaatiostossa (YKJ) Suomi oli kuvattu yhdessä projektiokaistassa, jonka keskimeridiaani oli 27°. Uusi koordinaatiojärjestelmä ETRS89 on tarkempi ja tasalaatuisempi kuin vanha KKJ. [ETRS89-koordinaatiojärjestelmä käyttöön 2010.]

ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto on tarkoitettu koko maassa toimivien käyttöön. Siinä Suomi on kuvattu yhdessä kaistassa. Leveäkaistainen ETRS-TM35FIN-järjestelmä ei ole projektiosta aiheutuvien virheiden takia tarpeeksi tarkka kaikkiin tehtäviin, joten paikallisesti on suositeltavaa käyttää Gauss–Krüger-projektioon perustuvaa tasokoordinaatistoa. Tällöin kaista valitaan lähimmän tasa-asteen mukaan, ja projektiokorjaukset pysyvät täten pienempinä kuin yhtä kaistaa käytettäessä. Tällaista koordinaatistoa kutsutaan nimellä **ETRS-GKnn** (vastaava kuin vanha KKJ), jossa nn tarkoittaa kaistanumeroa. [ETRS89-koordinaattijärjestelmä käyttöön 2010.]

Nimitykset ETRS-TM35FIN ja ETRS-GK26 tarkoittavat seuraavia seikkoja:

- ETRS koordinaattijärjestelmän nimi
- TM / GK käytettävä karttaprojektio
- numero kaistanumero/-tunnus (35 / 26)
- FIN suomalainen sovellus UTM-standardista

Taulukossa 1 on esimerkki saman pisteen ETRS-GK26-, ETRS-TM35FIN- ja KKJ3-koordinaattiarvoista. Piste sijoittuu Kemi–Simon välille valtatie 4:n tien viereen. Arvot on saatu 3D-Win-ohjelman koordinaattimuunnoksen laskennalla.

Taulukko 1. Tasokoordinaattien koordinaattiarvoja samalle pisteelle.

Koordinaatisto	N-koordinaatti (X)	E-koordinaatti (Y)
ETRS-GK26	7287355.428	26443009.650
ETRS-TM35FIN	7285712.031	397086.490
KKJ3	7288760.667	3397217.693

5.2.3 ETRS89:n pitkät ja lyhyet koordinaatit

Koordinaateissa pitää huomioida ETRS-GKnn-tasokoordinaatiston lyhyet ja pitkät koordinaatit. Esimerkiksi EPSG-projektitietokannassa on olemassa kaksi eri versiota ETRS-GKnn-projektioista. EPSG oli vuosina 1986–2005 European Petroleum Survey Groupin käyttämä projektitietokanta, jonka koodit yksilöivät käytettävän koordinaatiston. Koordinaatistojen järjestelmällinen esittäminen jäi elämään EPSG-nimiseen rekisteriin, ja se kuuluu nykyisin International Association of Oil and Gas Producers (IOGP) Geomatics

Committeen ylläpitämään projektitietokantaan geodeettisista koodistoista. Tästä EPSG-projektitietokannasta voidaan hakea aluerajauksella soveltuvia koordinaatistoja ja niiden parametreja. [JHS 197 2016: 16; Metsälä 2020; EPSG 2020.]

EPSG-koodien taakse on tallennettu koordinaattijärjestelmien määritelmät ja parametrit. Vanhemmassa koodisarjassa itäkoordinaatin poikkeutus on kaikille kaistoille aina 500 000 metriä. Uudemmassa koodisarjassa itäpoikkeutus on 500 000 metriä plus 19–31 miljoonaa metriä GK-kaistan keskimeridiaanista riippuen. Julkisen tietohallinnon suositusten (JHS) mukaan pitäisi käyttää kaistasta riippuvaa itäpoikkeutusta eli uudempaa koodisarjaa. Monet paikkatieto-ohjelmat tuntevat vain vanhemman sarjan koodit. Taulukkoon 2 on listattu EPSG-koodit pitkille ja lyhyille koordinaateille, jonka mukaan esimerkiksi GK25-kaistalla pitää käyttää ”ETRS89/GK25FIN” EPSG-koodia 3879 (Y-koordinaatilla 25515223.900), eikä lyhyitä koordinaatteja ”ETRS89/ETRS-GK25FIN” EPSG-koodia 3132 (Y-koordinaatilla 515223.900). [ETRS-GKn-tasokoordinaatisto ja EPSG-koodit 2020; JHS 197 2016: 16–17.]

Taulukko 2. EPSG-koodit [ETRS-GKn-tasokoordinaatisto ja EPSG-koodit 2020].

GK-kaista	JHS:n mukainen koodi	EPSG-kannassa virallinen nimi	Vanha koodi	EPSG-kannassa vanha nimi vanhentuneelle koodille
19	3873	ETRS89 / GK19FIN	3126	<i>ETRS89 / ETRS-GK19FIN</i>
20	3874	ETRS89 / GK20FIN	3127	<i>ETRS89 / ETRS-GK20FIN</i>
21	3875	ETRS89 / GK21FIN	3128	<i>ETRS89 / ETRS-GK21FIN</i>
22	3876	ETRS89 / GK22FIN	3129	<i>ETRS89 / ETRS-GK22FIN</i>
23	3877	ETRS89 / GK23FIN	3130	<i>ETRS89 / ETRS-GK23FIN</i>
24	3878	ETRS89 / GK24FIN	3131	<i>ETRS89 / ETRS-GK24FIN</i>
25	3879	ETRS89 / GK25FIN	3132	<i>ETRS89 / ETRS-GK25FIN</i>
26	3880	ETRS89 / GK26FIN	3133	<i>ETRS89 / ETRS-GK26FIN</i>
27	3881	ETRS89 / GK27FIN	3134	<i>ETRS89 / ETRS-GK27FIN</i>
28	3882	ETRS89 / GK28FIN	3135	<i>ETRS89 / ETRS-GK28FIN</i>
29	3883	ETRS89 / GK29FIN	3136	<i>ETRS89 / ETRS-GK29FIN</i>
30	3884	ETRS89 / GK30FIN	3137	<i>ETRS89 / ETRS-GK30FIN</i>

5.2.4 Koordinaattimuunnokset

Rakennussuunnitelmien tasokuvat pitäisi aina tarkistaa tai oikeastaan verrata johonkin tunnettuun kuvaan, jonka koordinaatit tunnetaan. Tämä tarkistaminen onnistuu esimerkiksi 3D-Winissä lataamalla rakennussuunnitelmakuvien päälle Maanmittauslaitoksen peruskartta tai ortokuva-aineisto, josta nähdään heti silmämääräisesti, ollaanko oikeassa sijainnissa. Joskus suurten pistepilviaineistojen käsittely eri ohjelmilla voi olla hidasta; tällöin on perusteltua poistaa x- ja y-koordinaatista kaksi ensimmäistä numeroa, jotta ohjelma käsittelee aineistoa nopeammin.

Nykyään paikalliset koordinaattimuunnokset tehdään suoraan ohjelmalla, jotka osaavat tehdä esimerkiksi Helmert-koordinaattimuunnoksen. 3D-Win-ohjelmassa on olemassa työkalut koordinaattimuunnoksille (Laskenta > Muunnokset). 3D-Win tulkitsee käytettävän koordinaattijärjestelmän itäkoordinaatin perusteella ja ilmoittaa sen ohjelman alareunan tilarivillä [3D-Win aloitusohje 2019: 4, 36]. Tähän pitää kuitenkin suhtautua varauksella, jos koordinaatteja on lyhennetty tai tehty koordinaattimuunnokset virheellisesti.

Alla on kuvattu 3D-Win-koordinaattimuunnoksen toimintoja:

- Koordinaattijärjestelmä:
 - mistä TM35FIN (27) ja minne GK25 (25)
 - kokeile ensin ”Tunnista” -nappia, jos et ole varma siitä, mikä järjestelmä on kyseessä
- Muunna XY:
 - mistä TM35FIN (27) ja minne GK25 (25)
 - muunna millinen kuva metriseksi tai päinvastoin
 - lisää tai vähennä X- tai Y-koordinaattiin pitkät tai lyhyet koordinaatit
 - samoin voidaan muuttaa N60-korkeusjärjestelmästä N2000-järjestelmään, jos tiedetään korkeusero ko. alueella
- Helmert-määrittely (”kuvan kohdistaminen”) > Helmert muunnos
 - kahdella tai useammalla pisteellä (esim. koordinaattiristit) voidaan koko kuva kohdistaa uudelleen tunnettuihin pisteisiin.

Koordinaattimuunnoksen Helmert-määrittely eli kuvan kohdistaminen

Helmert-muunnoksessa tehtävät laskennalliset muunnokset [Laurila 2012: 80–82] voidaan toteuttaa kohdistamalla vektori-, rasteri-, tai pistemuotoinen aineisto oikeaan koordinaatistoon yhdellä pisteellä ja kuvan kierrolla. Kuva, jota ollaan kohdistamassa, kutsutaan sivujärjestelmäksi, ja kuva, jonka mukaan kohdistetaan, kutsutaan taas pääjärjestelmäksi [Laurila 2012: 82]. Kohdistaminen toteutetaan AutoCADissa tai vastaavassa samantyyppisessä ohjelmassa seuraavasti.

- Sivujärjestelmä skaalataan oikeaan mittakaavaan, tehdään kuvalle elentien yhdistäminen yhdeksi objektiksi (block) ja muutetaan objektin geometriaskaalausta X ja Y mittakaavan mukaisesti.
- Sivujärjestelmä kopioidaan tietystä pisteestä ja liitetään se vastaavaan pääjärjestelmän tunnettuun pisteeseen (liittäminen pitää tehdä objektina).
- Sivujärjestelmän kuva (objekti) kierretään pääjärjestelmän suuntaisesti.

Näiden toimintojen jälkeen pääjärjestelmän kuvan päältä voidaan ”irrottaa” sivujärjestelmän kuva kopioimalla kuvaobjekti (block) uuteen tiedostoon, esimerkiksi AutoCADin toiminnolla kopioi ”0,0,0”. Tämä koordinaattimuunnos kannattaa tehdä vain paikallisesti, eikä sitä kannata käyttää isojen alueiden muuntamiseen, jotta muunnoksen virheet eivät kasva kohdistamisviivasta kauimmaisissa osissa liian suuriksi. Tätä kohdistustoimintoa käytetään yleisesti talorakennuspuolen merkintämittauksessa talokuvien kohdistamisessa rakennuksen moduuliverkkoon. Moduuliverkko on ensin kohdistettu ulkoiseen koordinaatistoon, esimerkiksi GK25, minkä jälkeen kaikki talokuvat kohdistetaan moduuliverkon mukaisesti, jolloin ne tulevat automaattisesti GK25-koordinaatistoon.

5.2.5 Korkeusjärjestelmä N2000

Korkeusjärjestelmä N2000 on Suomen kolmannen tarkkavaaituksen (1978–2006) tuloksena syntynyt korkeusjärjestelmä. Aikaisemmat vanhat korkeusjärjestelmät olivat N43 ja N60 Suomen toisen tarkkavaaituksen (1935–1955) tuloksena syntyneitä korkeusjärjestelmiä. Suomen valtakunnallisissa kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa on siirrytty käyttämään tätä N2000-korkeusjärjestelmää kaikkialla. Kuitenkin vanhoissa suunnitelmissa tai lähtöaineistoissa tai nykyisten pintojen kartoituksissa voi olla käytössä vanhoja korkeusjärjestelmiä. Jokaisessa kunnassa tai eri alueilla voi olla määritelty korkeusmuunnoksesta millä erolla vanhat korkeusjärjestelmät muunnetaan uuteen N2000-järjestelmään. [Laurila 2012: 165–169.]

5.3 Tiesuunnitelmat mallintamisessa

Tie rakennetaan tien rakennusparametreista, jotka saadaan suunnittelijan tekemistä suunnitelmista. Olennaiset suunnitelmat, joita tarvitaan, ovat suunnitelmakartta eli **tasokuva**, valmiin pinnan **tasauskartta**, **tiegeometriatiedosto**, **pituusleikkaus**, **tyyppi-poikkileikkaus** ja myös paalukohtaiset poikkileikkaukset.

5.3.1 Tasokuva

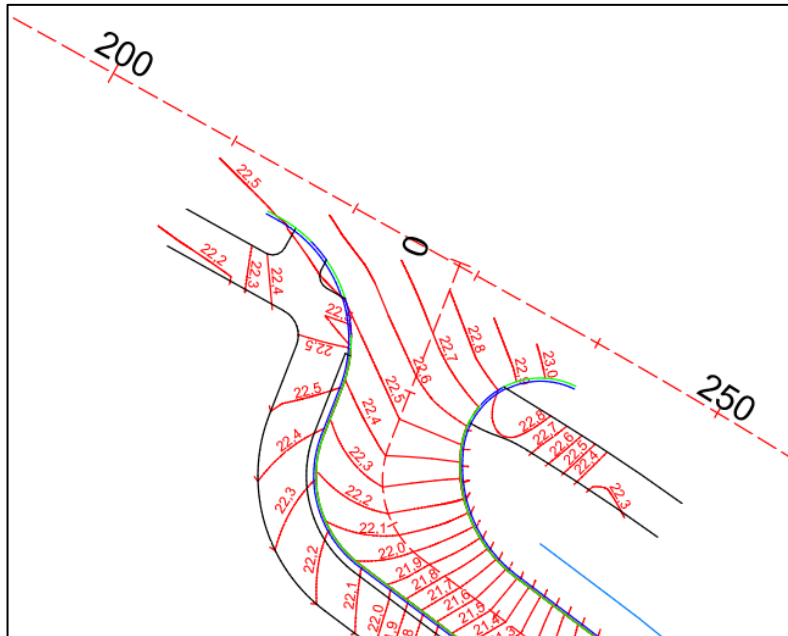
Tasokuva on suunnitelmakartta (rakennussuunnitelma RS), johon on kuvattu tie ja sen reunat. Kartta on vastaava kuin talonrakennuksessa asemapiirros, ja siinä näkyy pääasiassa kaikki tien tekemiseen tarvittava tieto ”ylhäältä päin” katsottuna. Kuvassa 12 on tyypillinen tien suunnitelmakartta. Olennaiset asiat tasokuvassa on tien rakentamisessa ”risteysalueen kaaret”, jotka poikkeavat tien leveydestä ja samoin levennykset, esimerkiksi bussipysäkit. Tärkeä asia tasokuvassa on tien mittalinja ja paaluluvut.



Kuva 12. Suunnitelma eli tasokartta, jossa näkyy tien reunalinjat ja mittalinja paalulukuineen.

5.3.2 Tasauskartta

Valmiin tiepinnan tasauskäyrät eli tasokartan korkeuskäyrät ovat tärkeitä tiepinnan korkeustason ja kaltevuuden kuvaamisessa. Esimerkiksi risteyskohdan tai liikenneympyrän valmiista pinnasta voi olla vaikeaa tuottaa 3D-mallia, jos tasauskäyriä ei ole. Kuvassa 13 on esitetty tien risteyskohdan tasauskäyrät.



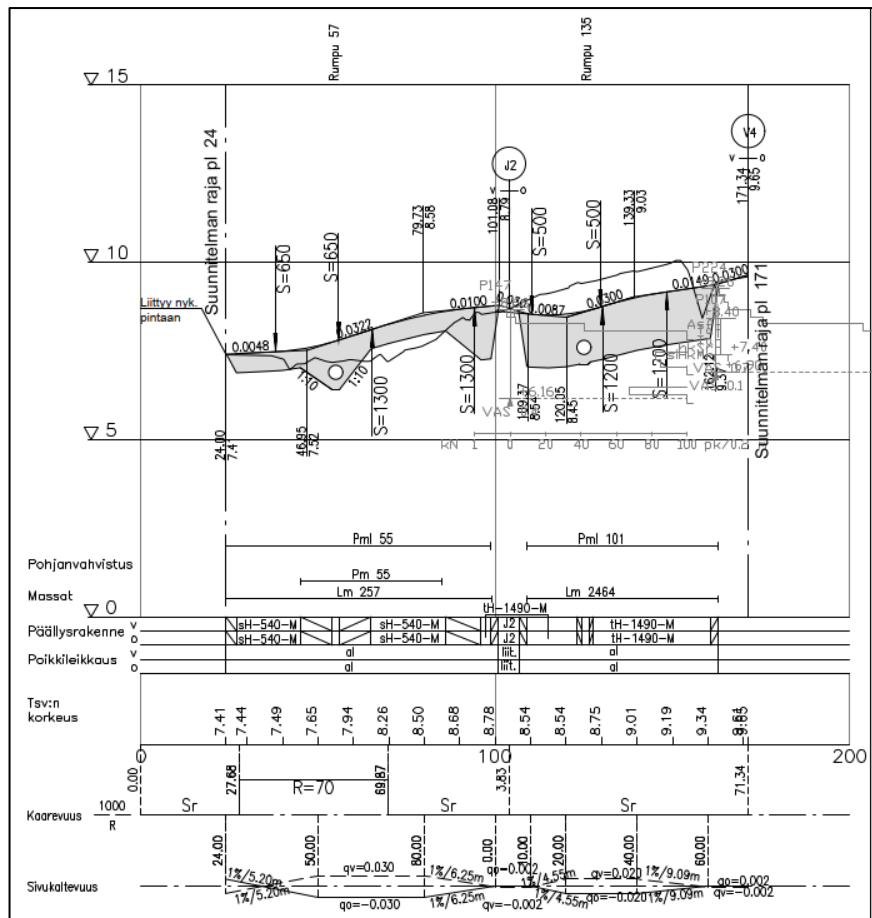
Kuva 13. Tasauskartasta saadaan selville tien tasauskäyrien avulla tien kallistuminen.

5.3.3 Tiegeometriatiedosto

Tiegeometriassa määritellään tien vaak- ja pystygeometria. Tien vaakalinja on tasokuvassa kulkeva mittalinja (ML), joka on yleensä jaettu 20 metrin välein oleviin ”paaluihin”, jota kutsutaan paaluluvuiksi. Mittalinja alkaa nolasta ja jatkuu aina tien loppuun asti. Mittalinja kulkee tien tasausviivan mukaisesti. Yleensä tasausviiva (TSV) määrittää tien keskiliinjan, joka on tien leveyssuunnassa yleensä korkein kohta, josta kallistukset sivulle määritellään. Pystygeometriassa on kerrottu tien korkeusvaihtelut. Tiegeometria on oma tyyppisensä tiedosto, joka sisältää tien vaak- ja pystygeometrian parametriarvot. Se voidaan avata ohjelmalla, joka osaa käsitellä sitä, mutta sitä ei yleensä tulosteta. Jos suunnittelijalta ei tule tiegeometriatiedostoa, se pitää rakentaa itse tasokuvan mittalinjasta (vaakageometria) ja pituusleikkauksesta (pystygeometria).

5.3.4 Pituusleikkaus

Tien pituusleikkauksessa on kuvattu tien pystygeometria. Pituusleikkaus on nimensä mukaisesti pitkittäissuunnassa kuvattu leikkaus tiestä, joka kuvaa tietä mittalinjan eli ta-sausviivan kohdalta. Pituusleikkauksessa on kuvattu myös tien sivukaltevuudet. Kuvassa 14 on esimerkki tien pituusleikkauksesta ja sivukaltevuudet on kuvattu alimpana. Pituusleikkauksessa on kuvattu paaluluviittain tai tiheämmin tien rakennekerrosten vaihtuvuus.

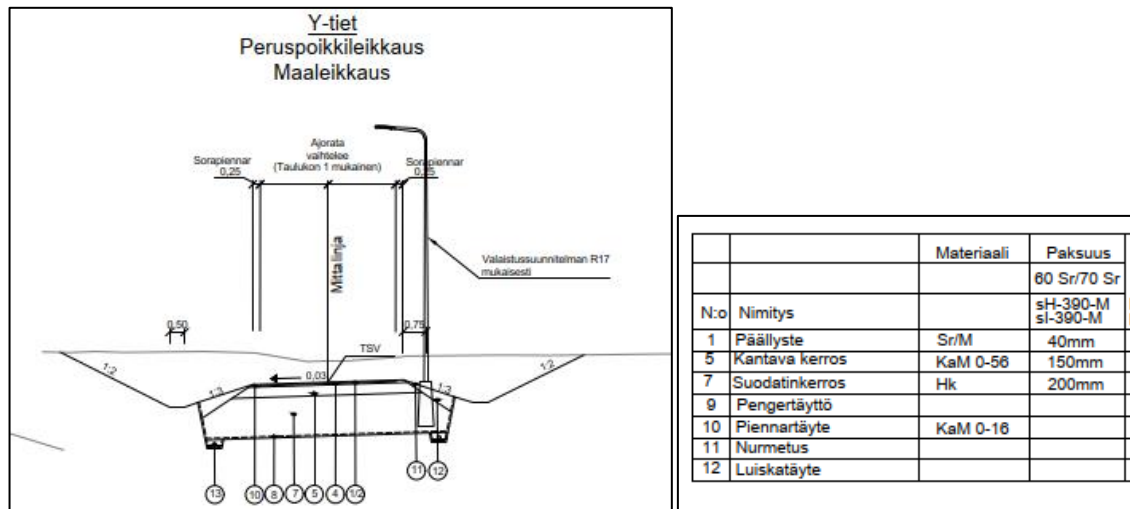


Kuva 14. Pituusleikkauksen tärkeimpiä tieparametreja on sivukaltevuudet.

5.3.5 Poikkileikkaus

Tien poikkileikkauksessa määritellään tien leveys, rakennekerrokset ja kallistukset sekä tiealueen taiteviivat. Tyypipoikkileikkauksessa on kerrottu tien yleiset määritykset ja rakennekerrosten paksuudet.

Kuvassa 15 on esitetty tyypillinen tyypipoikkileikkaus, jossa on myös kerrottu rakennekerrosten paksuudet. Yleensä jokaisesta paaluluvusta on paalukohtainen poikkileikkaus, joka määrittää juuri sen kohdan leikkauksen tiedot.



Kuva 15. Tyypipoikkileikkaus, jossa myös kerrottu rakennekerrosten paksuudet.

5.4 Koneohjausaineistot

Työmaalla tarvittavat koneohjausaineistot, mallit ja taustakartat, riippuvat aina hankkeesta ja urakoitsijasta. Jokaisella urakoitsijalla on omat käytännöt siitä, mitä aineistoja koneohjaukseen tuotetaan, minkä nimisiä ja mitä sisältöä niissä pitää olla. Vaikka YIV-vaatimukset infraBIM-nimikkeistöineen suosittavat ja ohjaistavat käyttämään tiettyjä nimiä toteutusmallien aineistoissa, urakoitsijat voivat käyttää omilla työmailla tiettyjä nimikkeitä nimenomaan koneohjausaineistoissa, jotka se pitää omana ”standardina”. Kun aineistoja siirretään muiden työmaiden tai urakoitsijoiden käyttöön (urakoitsijan ulkopuolelle), on noudatettava infraBIM-nimikkeistöjä ja inframodel-tiedonsiirtoformaatteja.

GRK Infran työmailla käytetään koneohjausaineistoista sen omia nimeämiskäytäntöjä ja näiden käyttämistä voidaan perustella esimerkiksi seuraavasti.

- Kaivinkoneiden kuljettajien ei tarvitse muistaa tai pitää listaa pitkistä InfraBIM-nimikkeistä ja koodeista, vaan nimet pitää olla ymmärrettäviä.
- Tiedoston nimen etuliitteestä halutaan päätellä, mistä rakennekerroksesta on kysymys.

- Kaikkien koneohjausjärjestelmien (Novatron, Leica ja Trimble) tiedoston nimissä käytetään samaa nimeämiskäytäntöä, jolloin syntyy vähemmän väärinkäsityksiä ja sama tiedosto kelpaa kaikkiin järjestelmiin.
- Esimerkiksi Novatronin DXF-tiedostoformaattien tauskarttojen nimessä pitää olla lopussa "!BG.dxf" [Palviainen ym. 2019: 28], jolloin samaa nimeämiskäytäntöä käytetään kaikissa koneohjausjärjestelmässä.
- Tärkeintä on yksinkertaisuus ja selkeä nimeäminen, jotta kaivinkoneen kuljettaja ymmärtää, mistä on kysymys. Näin vältetään turhaa työtä ja virheitä, joiden korjaaminen maksaa paljon.

5.4.1 Taustakartat

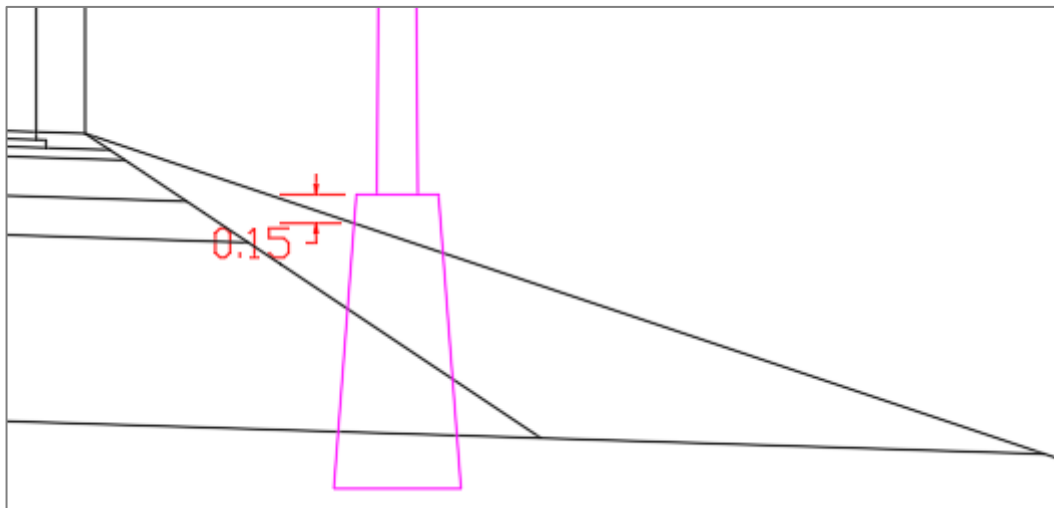
Työmaalla ensimmäiseksi tarvittavia koneohjausaineistoja, ovat yleensä taustakartat. Taustakartat ovat vektorimuotoisia (AutoCADin DWG-formaatista tallennettu DXF-formattiin) tasokarttoja eli 2D-karttoja, joilla ei ole korkeustietoa eikä niiltä ole tarkoitus mitata [Palviainen ym. 2019: 28]. Taustakarttoja vasten nähdään koneohjausnäytöllä kaivinkoneen sijainti. Kiireellisimmät taustakartat, joita työmaa tarvitsee, ovat nykytilaa kuvaavat kartat, kuten nykyiset kaapelit ja putket eli maan alla piilossa olevat tiedot. Tämä on erityisesti tärkeää siksi, että tiedetään, mistä saa kaivaa ja mitä maan alla on. Lisäksi taustakarttoja tehdään suunnitelmakartoista ja tien mittalinjoista ja muista vastaavista tiedoista. Näillä taustakartoilla työmaan kaivinkone näkee heti, missä se itse sijaitsee työmaahan nähden.

Taustakartat tehdään mahdollisimman yksinkertaiseksi ja poistetaan niistä "turha" tieto sekä sellaiset symbolit ja elementeistä yhdistetyt objektit (block), jotka eivät näy kunnolla koneohjauksen näytöllä. Tekstejä ei jätetä taustakartalle. Tärkeintä taustakartoissa on esittää vain se tieto, jota varten kartta viedään koneohjaukseen, ei mitään muuta. Koneohjausjärjestelmän käyttäjää helpottaa se, että jokainen esitettävä asia, on erillisenä tiedostona eli omana taustakarttana, jotta taustakartan sisältämät tiedot voidaan piilottaa ja ottaa käyttöön koneohjausnäytöllä. Jotta taustakarttojen tiedostoja ei tulisi liian paljon, yhdistetään nykyisten tietojen karttoja. Esimerkiksi nykyiset kaapelit laitetaan kaikki samaan tiedostoon (sähkö, puhelin ja tietoliikenne kukin omalla tasolla) ja nykyiset putket samaan tiedostoon (hulevesi, jätevesi ja salaoja kukin omalla tasolla). Taustakarttoja tallennettaessa AutoCAD-ohjelmalla on huolehdittava siitä, että tasoja (AutoCADin layer) ei tule kuin käytössä olevat tasot. AutoCADin oletustasot saa pois, kun kierrättää tiedoston 3D-Win-ohjelman kautta. Taustakartat erotetaan malleista lisäämällä tiedoston nimen eteen x-kirjain ja alaviiva.

5.4.2 Pistemäiset aineistot

Tiehankkeessa pistemäisiä aineistoja ovat yleensä yksittäiset kohteet ja tiedot, kuten kaivot, valaisimet ja muut vastaavat. Pistemäiset tiedot kuvaavat yksittäisiä uusia rakennettavia kohteita. Pisteellä on sijaintikoordinaattien lisäksi yleensä myös korkeustieto. Kaivojen, joissa juoksee vesi, kuten hulevesi, jätevesi ja salaoja, korkeudeksi tulee kaivon alimman putken vesijuoksun korkeuslukema. Näin kaivinkone tietää kaivaa kaivon kohdalta aina alimman putken syvyyden mukaan. Näin tehdään taas yksinkertaisuuden ja selkeyden vuoksi, kaivinkoneen kuljettajalle ei tule epäselvyyttä siitä, mikä on kaivon korkeuslukema, kun aina käytetään alinta vesijuoksua. Koneen kuljettaja huolehtii itse kaivojen sakkapesän korkeudesta, jos kaivon tyyppi muuttuu tai pitääkin kaivaa jostain syystä sille syvempi ”pohjaosa”, koneen kuljettaja huolehtii siitä itse, eikä kaivopisteen korkeustieto muutu.

Valaisinpisteen korkeuslukemaksi laitetaan tierakenteen valmiista pinnasta +10 cm. Näin pidetään huolta siitä, että valaisimen betonipylväs jää aina valmiin pinnan yläpuolelle. Valaisinpylväät asennetaan usein tien luiskaan, jolloin pitää huolehtia siitä, ettei valaisimen betonipylväs jää maanpinnan alle luiskassa. Kuvasta 16 havaitaan valaisinpylvään yläpuolelle jäävän riittävästi korkeutta, esimerkiksi 15 cm.



Kuva 16. Luiskassa maan pinnalla valaisimen betonipylväälle on jätetty riittävästi tilaa.

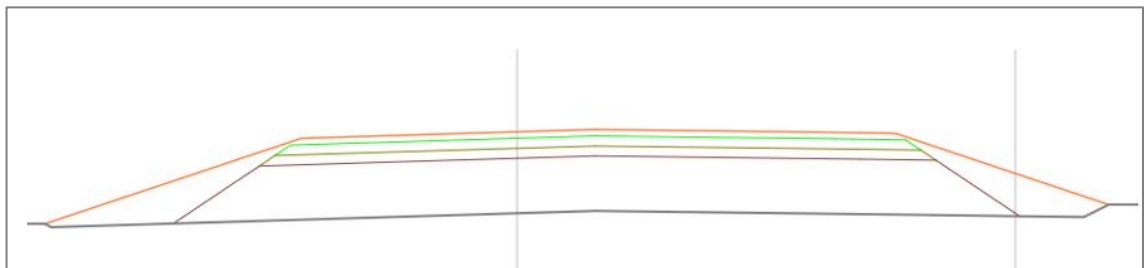
3D-Winillä voidaan käydä kaikki valaisinpisteet läpi, käyttämällä siihen poikkileikkaustyökalua. Poikkileikkaustyökalulla nähdään valaisimien korkausasema tieväylän valmista

pintaa vasten. 3D-Winin taiteviivapoikkileikkaustyökalun ikkuna-asetuksiin säädetään riittävä ”hakuetaisyys”, jolloin valaisinpisteet näkyvät poikkileikkausikkunassa pidemmällä matkalla.

5.4.3 Tien rakennekerrokset

Tierakentamisessa tärkeimmät koneohjausmallit ovat rakennekerrokset. Tien rakennekerrokset kuvaavat tien eri maa-aineksia, joita tien rakentamisessa käytetään. Jokaisella rakennekerroksella on aina oma paksuus, jotta tiedetään, miten paljon maa-ainesta täytetään tiettyyn pintaan asti. Rakennekerrosten tyypit on kuvattu hyvin kattavasti InfraRYL-määräyksissä [Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määrittämissuhteet 2015: 89]. Yleensä rakennekerrospaksuudet ja tyypit kuvataan tyyppipoikkileikkauksessa, jossa myös viitataan InfraRYL-määräyksiin.

Rakennekerrosten malleista kuvataan yleensä ko. kerroksen ylintä pintaa (yp) eikä esimerkiksi ”kantavan kerroksen alapintaa”. Ylin pinta muotoilee aina kerroksen maa-aineksen täyttöpintaa. Poikkeuksena on kaivuumalli (kaikkein alin pinta), jossa kuvataan väylän alapinta tai ”ylintä mahdollista kaivuupintaa”. Väylän alapinta on tärkein rakennekerros, koska se tarvitaan työmaalla ensimmäiseksi. Tierakennustyömaalla kaivinkone kaivaa aluksi tien pohjan, jotta ylemmät kerrokset voidaan levittää tiepohjalle. Tämä siis silloin, jos tien rakennekerrokset menevät nykyisen maanpinnan alle. Jos ne taas jäävät nykyisen päälle, ei kaivuuta tarvita lukuun ottamatta pintamaan poistoa (kasvualusta, juurakot, kannot ja humusmaat). Tyyppillisesti rakennekerrokset laajenevat ylhäältä alasäin, kuten kuvan 17 poikkileikkauksessa näkyy.



Kuva 17. Rakennekerrosten pinnat väreillä ja kuvattuna ylhäältä alaspäin poikkileikkauksessa.

Rakennekerrokset määritellään pinnan mukaan eri väreillä, jotta eri kerrosten pintojen paksuus ja sijainnit ovat helposti havaittavissa. Kerrosten nimeämisessä onkin hyvä tapa

käyttää numerointia 01–05 etuliitteenä, jolloin kerrosten tiedostot järjestyvät oikeassa järjestyksessä ja nimestä voidaan päätellä, missä kohtaa ko. kerros sijaitsee.

Tärkeimmät rakennekerrokset, joita GRK Infran työmailla tarvitaan, on kerrottu taulukossa 3. Kerrosten nimissä on käytetty samoja värejä, kuin kuvan 17 poikkileikkauksessa. Tiedoston nimeämisessä käytetään selkeitä ja kuvaavia nimiä, jotta kaivinkoneen kuljettaja ymmärtää, mitä kerrosta ko. malli kuvaa ja onko se kerroksen yläpinta vai alapinta. Mallien nimissä käytetään myös vastaavia nimiä kuin tiedostonimet, jolloin mallin pinnan nimi pysyy yksiselitteinä eikä sekoiteta malleja keskenään. Monesti tällä yksinkertaistamisella vähennetään mallien virheellisiä nimiä, mikä taas nopeuttaa työtä, kun kuljettajan ei tarvitse miettiä, mikä on mitään.

Taulukko 3. Rakennekerrokset ylimmästä pinnasta alaspäin.

Rakennekerros	Tiedostonimi	Yleisen inframallivaatimuksen mukainen koodi
Ylin yhdistelmäpinta	01_yyp	201000
Kantava kerros	02_kantava_yp	213100
Jakava kerros	03_jakava_yp	212100
Suodatinkerros	04_suodatin_yp	211100
Alin yhdistelmäpinta	05_ayp	201200

Taulukossa 3 kuvattu ylin yhdistelmäpinta tarkoittaa yleensä rakentamisen valmistumisen jälkeen näkyväksi jäävää pintaa eli valmista pintaa. Alimmalla yhdistelmäpinnalla tarkoitetaan pääosin samaa kuin väylärakenteen alapinta. Yleensä alimmalla yhdistelmäpinnalla kuvataan maaleikkauksen alapintaa eli leikkaus- tai kaivuupohjaa.

5.4.4 Kaivannot ja täytöt

Usein maanrakennustyömailla, oli sitten kysymys tieväylästä tai muusta rakentamisesta, joudutaan kaivamaan maata pois ja täyttämään sitä suunnittelijan määrittämällä maaineksella. Kaivuumalli eli maan pinnalle tehtävä ”leikkaus” on yleismalli kaikkeen kaivamiseen. InfraRYL:n ”1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot” [Rakennusosa- ja hankenimikeistö, määramittausohje 2015: 53] osassa määritellään kaivamisen liittyvät asiat.

Samoin myös kaikista kaivamisen ja täyttämisen alueista, putki yms. on kuvattu mm. luiskien kaltevuuksia. Tämä on huomioitava aina, kun kaivuu- ja täyttömalleja tehdään, jos suunnittelija ei ole määritellyt luiskan kaltevuutta, on katsottava määräyksistä, mikä on luiskien ja kaltevuuksien minimikaadoista on kuvattu. Tyypillisimmät kaivuumallit tiehankkeessa ovat vesihuoltojärjestelyjen huleveden- ja salaojen kaivuumallit ja myös maavallien ja melusteiden kaivuu- ja täyttömallit. Vesihuoltojärjestelyjen putkikaivannot käydään tarkemmin läpi myöhemmin luvussa Haasteet mallintamisessa.

5.4.5 Louhinta-aineistot

Kalliopintojen louhinta-aineistot ovat periaatteessa samantyyppisiä kuin kaivuut, mutta InfraRYL:ssä niistä on kuvattu erikseen luvussa ”1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit” [Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määrämittausohje 2015: 66]. Louhinnassa on huomioita erityisesti putkikaivannot eli kanaalit, joiden louhinta tehdään kalliioavoleikkauksen jälkeen. Ensin louhitaan louhintasuunnitelman mukainen ”yleislouhinta” siihen tasoon, joka suunnitelmissa on merkitty, ja sen jälkeen louhitaan kanaalilouhinnat. Poravaunuissa on nykyään myös koneohjaus, joten louhintasuunnitelmat pitää myös tuottaa koneohjausmallina, erikseen tehtynä kanaalilouhintamallit kanaalien kaivoineen. Kanaalilouhintaa on salaoja-, hulevesi-, jätevesi- ja kaukolämpöputkien kaivannot. Louhintatöissä on erikoisuutena alle 1 metrin olevat louhinnat, jotka ovat tasauslouhintaa eli neliölouhintaa. Tämä täytyy huomioida louhintojen määrälaskennassa. [Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määrämittausohje 2015: 67.]

5.4.6 Rakentamisen muut aineistot

Muita rakentamisen aineistoja maarakentamisessa voivat olla erilaisten rakennelmien perustusten mursketäyttömallit. Esimerkiksi anturoille tehdään paalutuksessa murskepeti, jonka täyttömallit tarvitaan työmailla. Monessa rakentamisessa voi olla sovittu erilaisia työvaroja, jotka leventävät malleja sivuille, mutta nämä ovat yleensä työmaakoh- taisia. Samanlaisia kuin mursketäyttömallit, ovat yleensä paalulaatat, joista malleihin tehdään aina yläpinta. Edelleen myös näiden koneohjausaineistojen tiedostonimissä on tärkeää käyttää merkintää siitä, mitä korkeustasoa malli kuvaa, yläpintaa (yp) vai alapintaa (ap).

5.5 Koneohjaustiedostot

5.5.1 XML-formaatti

Koneohjausjärjestelmät tukevat monenlaisia tiedonsiirtoformaatteja. LandXML on yleisin tiedostomuoto, ja sillä pystytään esittämään mallit, geometriat, kolmioverkot, taiteviivat, pisteet ja verkostot. Se soveltuu pääsääntöisesti kaikkien aineistojen esittämiseen, joten sitä käytetään GRK Infran työmailla mitattavan tiedon "oletusformaattina". Koneohjaukseen vietävään LandXML-tiedostoon tulisi sisällyttää vain yksi toteutusmalli (kolmioverkon pinta) tiedostoa kohden. Päivitettäessä suunnitelmia käytetään tiedostojen nimissä koko ajan samaa nimeä, jolloin kaivinkoneen kuljettajan ei tarvitse huolehtia siitä, mitä päivitysversiona käyttää. [Leica Mallinnusohje MC1 Excavator 2019: 3.]

Novatronin ja Leican koneohjausjärjestelmät tukevat seuraavia koneohjausaineistoja LandXML-formaatissa [Palviainen ym. 2019: 40; Leica Mallinnusohje MC1 Excavator 2019: 4]. Hakasulkeissa oleva merkintä tarkoittaa XML-elementin nimeä.

- Mittalinjat eli geometriatiedot <Alignment>
- Pintamallit eli kolmioverkot <Surface>
- Viivamaiset aineistot, esimerkiksi putkilinjat <Breaklines>
- Pistemäiset aineistot, esimerkiksi kaivopisteet <CgPoints>
- Rakenteiden ominaisuudet (Leican koneohjaus ei tue tätä), esimerkiksi putken halkaisija <PipeNetwork>.

Kun XML-elementissä pinnan (Surface) nimenä käytetään samaa nimeä kuin tiedoston nimi (Surfaces), päästään selkeään ja yksiselitteiseen nimeämiseen, joka helpottaa kuljettajan ymmärtämystä siitä, mistä mallista on kysymys. 3D-Winissä pinta nimetään: Maastomalli > Editoi > Pintatunnus. Leican koneohjauksessa ei voida käyttää rakenteiden ominaisuuksia, jotka kuuluvat Inframodel-määrittelyyn. Inframodel-tiedostot ovat LandXML-muotoisia tiedostoja, joissa esimerkiksi putkiverkot ovat PipeNetwork-osiossa. Kolmioverkkotiedostoon voidaan myös kirjoittaa taiteviivat. Tämä kuitenkin kasvattaa XML-tiedoston kokoa, joka isoissa tiehankkeissa voi muodostua ongelmaksi, kun monen kilometrin pituinen tielinja ja sen sivutiet ovat kaikki samaa yhteistä mallia.

Leican uuden koneohjausjärjestelmän MC1:n ominaisuutena on, että kaikkien XML-mallit, riippumatta mallin sisällöstä, pitää olla samassa XML-tiedostossa. Jokainen

yksittäinen mallitiedosto pitää silloin yhdistää XML-yhdistelmä-tiedostoon. Yhdistelmä-tiedostoon voi sisältyä monta erillistä XML-tiedostoa, jotka muodostavat tiedoston sisällä jokainen oman XML-elementin. 3D-Winissä on toiminto XML-tiedostojen yhdistelyyn (Tiedosto > Formaattit > LandXML-käsittely > Yhdistä).

5.5.2 DXF-formaatti

Ei mitattavat kartat, kuten vektorimuotoiset taustakartat, tallennetaan DXF-formaattiin (Drawing Exchange Format). Tätä formaattia tukevat myös Novatronin ja Leican järjestelmät. DXF on alun perin AutoCAD-taustaisten vektorimuotoisten tietojen tiedonsiirtoformaatti. Se soveltuu viivamaisten karttojen esittämiseen ja myös 3D-mallille. DXF on ASCII-muotoinen tekstitiedosto. Kun mallissa on paljon taiteviivojen pisteitä, voi DXF-tiedoston koko kasvaa jopa kolminkertaiseksi LandXML-tiedostoon verrattuna, siksi DXF-kolmiverkkomalleja ei pitäisi käyttää koneohjauksessa.

Trimblen koneohjausjärjestelmä ei tue samoja tiedostomuotoja kuin Novatronin ja Leican järjestelmät, joten esimerkiksi LandXML- ja DXF-formaatissa olevat mallit täytyy muuttaa Trimblen järjestelmään sopiviksi Trimble Business Center -ohjelmistolla. Lisäksi Trimblen vanhemmat koneohjausjärjestelmät eivät tue pitkiä koordinaatteja, joten y- ja x-koordinaattien alusta täytyy poistaa ensimmäiset kaksi numeroa ennen viemistä ohjelmaan.

5.5.3 Muut formaatit

XML- ja DXF-formaattien lisäksi on olemassa myös muita koneohjaukseen soveltuvia formaatteja. Näitä ovat mm. geometrioiden VGP- (Xroad) ja LIN-formaatit, kolmioverkkojen TRM-formaatti, taiteviivojen ja pisteiden GT-, KOF-, PXY- ja GEO-formaatit. Ongelma näiden käyttämisessä on kuitenkin se, että eivät sovellu käytettäväksi kaikissa koneohjausjärjestelmissä, jolloin jouduttaisiin tuottamaan esimerkiksi kahta erilaista formaattia. Tämä taas voi johtaa siihen, että suunnitelmia päivittäessä voi esimerkiksi Novatronin koneohjausjärjestelmässä olla käytössä eri versio päivittyneestä suunnitelmasta kuin Leicassa. Tärkeintä on käyttää jokaisesta koneohjausaineistoista samaa tiedostoformaattia työmaan kaikissa koneohjausjärjestelmissä, jos se vaan on mahdollista. [Palviainen ym. 2019: 40; Leica Mallinnusohje MC1 Excavator 2019: 4.]

6 Haasteet mallintamisessa

6.1 Koneohjausmallin tuottaminen

Toteutusmallit pitäisi tehdä suunnittelutoimistossa, mutta jos suunnittelija ei tee malleja tai mallit ovat vajavaiset tai niitä ei välitetä maanrakennusurakoitsijalle, joutuu urakoitsija tai mittauskonsultti tekemään mallintamistyön itse. Infrarakentamisen urakasta riippuu, välitetäänkö urakoitsijalle malleja, vaikutusta voi olla myös tilaajan ja suunnittelijan välisellä sopimuksella. Jos suunnittelija tekee mallit, pitää sen tuottaa toteutusmallit YIV-vaatimusten mukaisesti ja välittää ne urakoitsijalle LandXML-formaatissa. Mallin pitää sisältää kolmioverkon lisäksi taiteviivat.

Suunnittelijan tekemät mallit eivät välttämättä aina vastaa YIV-vaatimuksia: malleissa voi olla tiheästi pisteitä ja liian tiheä kolmioverkko. Lisäksi teiden risteykset eivät aina ole yhtenäisiä, vaikka tiehankkeen eri teiden mallit tulisivat osissa. Siksi suunnittelijan tekemiä malleja ei voi viedä suoraan koneohjaukseen [Laulainen 2020]. Infrasuunnitteluohjelmistoilla suunnittelijan tuottamat mallit voivat olla myös muokattu monella eri ohjelmalla, ennen niiden kirjoitusta XML-muotoon, kuten Ylioja [2019: 22] tutkimuksessaan toteaa: Novapointilla suoraan tuotetut taiteviiva-aineistot vaativat aina jatkokäsittelyä, jolloin ne eivät kelpaa sellaisenaan koneohjaukseen. Yliojan [2019: 23–24] mukaan 3D-Winiä käytetään usein koneohjausmallien viimeistelyyn, koska se on Novapointissa ja AutoCAD Civil 3D:llä ”kankeampaa ja epätarkempaa”. Siksi urakoitsijan ei pitäisi koskaan suoraan luottaa saamiinsa XML-malleihin, vaan mallit pitää aina tarkistaa tiesuunnitelmia vasten. Koneohjausaineistojen mallintaminen tarkoittaa taiteviivojen muokkaamista tai rakentamista ja sen jälkeen taiteviivoista kolmioverkon muodostamisen. Mallintamisen jälkeen mallit kirjoitetaan LandXML-muotoon ja siirretään koneohjauspalvelimelle työmaan kairinkoneiden käyttöön.

6.2 Laadukkaan mallin edellytykset

Laadukkaan mallin edellytys on se, että noudatetaan mallinnuksen ohjeita, kuten YIV-vaatimuksia. Vaatimuksissa on kuvattu esimerkiksi tietomalliselostus [Yleiset inframalli-vaatimukset 2019: 27], jossa pitää yksityiskohtaisesti kertoa jokaisesta mallista, miten se on muodostettu ja millä ohjelmalla sekä mitä puutteita siinä on. Jos malli on laadukkaasti

tehty, ei selostuksessa pitäisi olla huomautuksia mallien virheistä. Seuraavissa luvuissa käydään läpi taiteviivoja ja pistetiheyttä, jotka ovat laadukkaan mallin perusta.

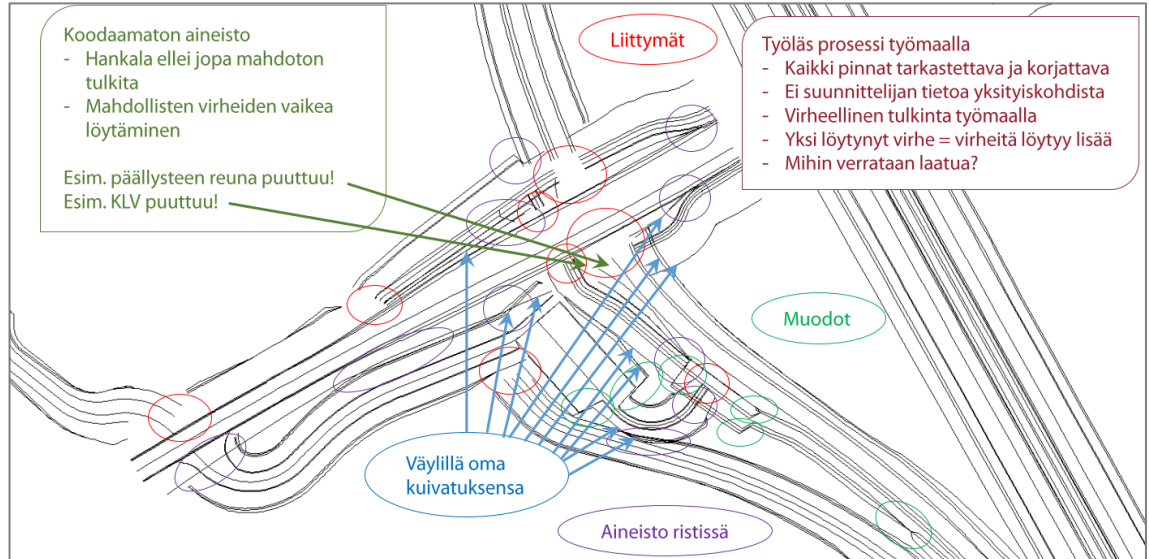
6.2.1 Taiteviivat

Mallin kolmioverkon perusta on taiteviivat pisteinen, joten mallia muokataan taiteviivojen kautta. Jos suunnittelijalta tullessa mallin kolmioverkossa on korjattavaa, pitäisi korjaus tehdä taiteviivojen kautta (korjaamalla viivoja) eikä mallin kolmioverkkoa muokkaamalla [Laulainen 2020]. Kun tiesuunnitelmaan tulee myöhemmin muutoksia, tehdään sekin aina taiteviivoja muokkaamalla.

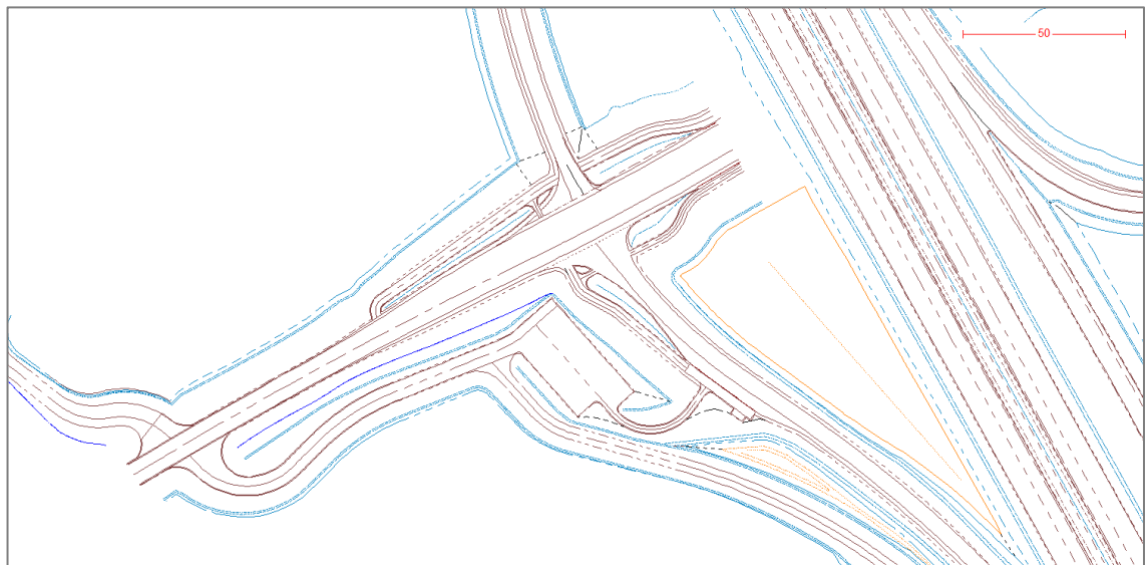
Jos tiessä on kaaria, ne ositetaan pienemmiksi suoriksi, koska kaarellisia taiteviivoja ei pysty kolmioimaan. Taiteviivat muodostuvat aina pisteistä ja mitä enemmän pisteitä viivassa on, sitä enemmän kolmioita muodostuu, jolloin mallista tulee entistä haastavampi ja vaikeampi muokata. Taiteviivat määritellään omalle koodille eli esimerkiksi pientareen ulkoreuna, jolloin 3D-Win-ohjelmalla viivat piirtyvät sille määrättyllä tyypillä ja värillä. Myös viivat määritellään omalla pintatunnuksella, jota ne kuvaavat. 3D-Win-ohjelman poikkeausikkuna näyttää jokaisen pintatunnuksen omalla värillä, mikä auttaa mallin visuaalista tarkastelua.

YIV-vaatimuksissa määritetään taiteviivojen laatu. Taiteviivalla ja pinnalla on jatkuvuusvaatimus, jolloin taiteviivat pitää jatkua tien loppuun asti eikä taiteviivoja saa mennä päällekkäin samassa mallissa. Pystysuoria pintoja ei saa olla. Kun on tarvetta tehdä suora kulma ylöspäin, pitää taiteviivaa mahdollisuuksien mukaan siirtää sivulle 1–2 cm, jotta viivat eivät mene päällekkäin. Eri tieväylien väliin saa jäädä alle yhden metrin rako, mutta kolmioinnissa pitää kuitenkin muodostaa yhtenäinen pinta niiden välille. Taiteviivojen pisteväli ei saa olla yli 10 m pitkä, ja eikä se saa olla alle 0,5 m, jos jokin erityinen rakenne ei vaadi tiheämpää väliä. Myös kaarresäteiden taiteviivoilla on minipituudet, jotta pisteitä ei ole liian tiheästi. Kolmioverkossa ei myöskään saa olla aukkoja. Mallin kolmioverkko saadaan mahdollisimman säännömukaiseksi, kun noudatetaan taiteviivoista annettuja ohjeita. [Yleiset inframallivaatimukset 2019a: 90–93.]

Novatronin mallipohjaisen tuotannon esityksessä Palviainen [2017] ottaa esimerkkejä mallien virheistä ja niiden korjaamisista. Kuvassa 18 Palviaisella on hyvä esimerkki huonosti toteutetuista mallin taiteviivoista, ja taas kuvassa 19 on se, miten aineiston taiteviivat olisi pitänyt tehdä.



Kuva 18. Käytännön esimerkki taiteviivojen ongelmista [Palviainen 2017].



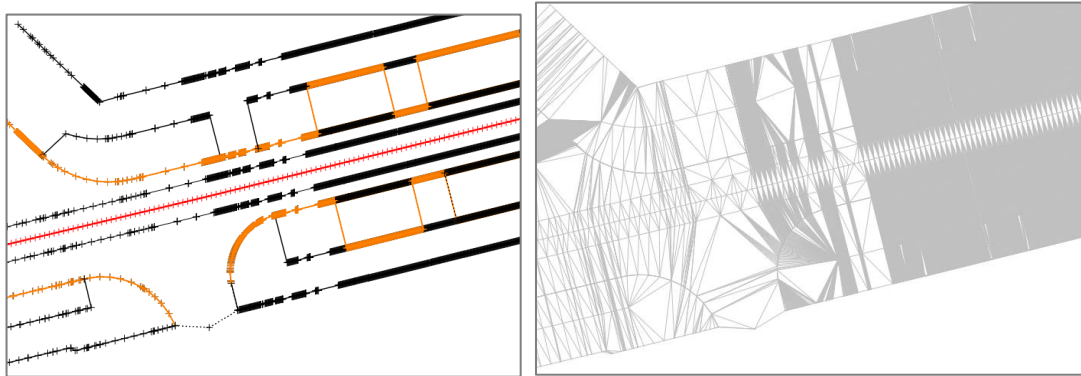
Kuva 19. Korjatut ja viimeistellyt taiteviivat [Palviainen 2017].

Laadukkaan mallin yksi tärkeä edellytys on, että taiteviivat ovat yhtenäiset risteystenkin yli, vaikka mallit toimitettaisiinkin osissa. Taiteviivojen laatua voidaan todentaa

esimerkiksi 3D-Winin viivojen tarkistustoiminnolla, joka ilmoittaa ongelmallisista pisteitä ja viivoista (Editointi > Tiedoston tarkistus).

6.2.2 Pistetiheys

Taiteviivojen pisteiden määrän pitää noudattaa YIV-vaatimuksia, muuten vaikeuttaa kolmiointia. Liian tiheästi viivalla olevat pisteet ovat haastavaa harventaa. Liian suuri piste-tiheys nostaa kolmioidun tiedoston koon suureksi, jolloin koneohjausjärjestelmät voivat toimia hitaasti isojen tiedostojen käsittelyssä. Kuvassa 20 on suunnittelijalta tullut taiteviiva-aineisto ja vieressä saman aineiston kolmioverkko (malli). Aineisto ei täytä YIV-vaatimuksia eikä mahdollista koneohjausjärjestelmään viemistä, ilman muokkausta. Pisteitä on niin tiheästi, että niiden väliä on edes vaikea havaita. Pistetiheys tiheimmissä kohdissa on 5 cm.



Kuva 20. Suunnittelijalta tulleessa aineistossa pistetiheys oli 5 cm, vasemmassa taiteviivat ja oikeassa sama kolmioituna.

Suunnittelijalta ei ollut mahdollista saada korjattua aineistoa, joten korjaus piti tehdä urakoitsijalla. Pisteitä harvennettiin 3D-Winissä (Editointi > Viivat > Linearisointi), jolla kyseinen aineisto saatiin paremmaksi. Kyseinen aineisto olisi ollut mahdollista alun perin rakentaa muutamalla suoran viivan pisteellä. Alueella oli parkkipaikka, jossa erilaisia korkeustasoja eroteltuna katujen reunakivillä. Nämä suorakulmaiset tasot olisi voitu tehdä neljällä nurkkapisteellä, jotka olisi yhdistetty taiteviivoilla. Kun taso olisi vaihtunut eri korkeudelle, tehtäisiin ylemmälle tasolle taas omat nurkkapisteet yhdistettynä omilla taiteviivoilla. Kolmioinnissa ei tällöin olisi tullut tiheää kolmioverkkoa, vaan suorakulmaisen viivojen rajaamalla alueella vain kaksi kolmioverkon kolmiota.

6.3 Taiteviivojen tuottaminen

Mallien taiteviivat voidaan rakentaa monella eri tavoilla. Tähän vaikuttaa se, mitä tie-suunnitelmia on käytettävissä ja missä muodossa (PDF, DWG tai XML) erilaista aineis-toa on. Mallintajan täytyy ratkaista, mikä on yksinkertaisin sekä samalla kustannustehokkain tapa rakentaa mallit. Seuraavissa luvuissa on esitelty mallien rakentamisen haasteita ja niiden ratkaisuja.

6.3.1 Tieparametreilla

Tien rakentaminen tieparametreilla voidaan toteuttaa 3D-Win-ohjelmalla. 3D-Winissä on toiminto, johon syöttämällä tien rakennusparametrit, saadaan tuotettua taiteviivat. Kun valmiin pinnan tasauskäyräkuvaa ei ole ja jos tien sivukaltevuus muuttuu kesken matkan, tehdään taiteviivat tieparametreilla. Tien rakentaminen 3D-Winin tieparametreilla onnistuu vain, jos tien leveys ei muutu kaartuvissa linjoissa. Esimerkiksi risteyksien kaaria ei voi rakentaa pelkillä parametreilla. Toisaalta tien suorien linjojen taiteviivat voidaan toteuttaa parametreilla ja sen jälkeen risteyskohtien viivat erikseen.

Tielle tarvittavat tieparametrit, joilla tien rakennekerrosten taiteviivat voidaan rakentaa, ovat seuraavat.

- **Tiegeometriatiedostossa** määritellään tien tasausviiva, saadaan suunnittelijalta ja jos ei, se pitää rakentaa itse mittalinjasta ja pystygeometriasta.
- **Tien leveys**; määritellään tien leveys keskilinjasta oikealla ja vasemmalle. Kuvaus löytyy tyyppipoikkileikkauskuvasta.
- **Pientareet** voivat olla erikseen määritelty ja niillä voi olla eri kaltevuus kuin varsinaisella tiellä. Kuvaus löytyy tyyppipoikkileikkauskuvasta tai paalukohtaisesta poikkileikkauskuvasta.
- **Sivukaltevuudet**, miten tie kallistuu sivuille. Kuvaus löytyy tyyppipoikkileikkauskuvasta ja pituusleikkauksesta paalukohtaiset kallistukset kummallekin puolelle.
- **Rakennekaltevuus**, rakennekerrosten reunan kaltevuus. Kaltevuus on määritelty tyyppipoikkileikkauskuvassa tai paalukohtaisessa poikkileikkauskuvassa.
- **Rakennekerrosten paksuudet**, jossa määritellään jokaisen kerroksen paksuudet erikseen. Kuvaus löytyy tyyppipoikkileikkauskuvasta tai paalukohtaisesta poikkileikkauskuvasta.

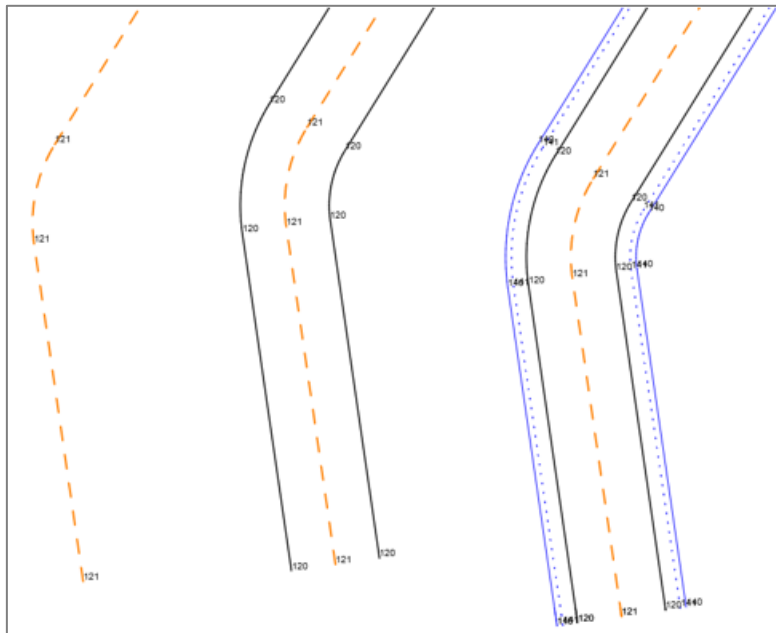
Parametreilla voidaan määritellä 3D-Winissä myös sivuluiskien täyttöjä yms., mutta niiden taiteviivojen käyttäytyminen riippuu aina nykyisen maanpinnan muodoista. Jos nykyistä maanpintaa ei tiedetä tai se tarkentuu vasta työmaalla, ei luiskien rakennusta voi tehdä maanpinnan perusteella. Kun tieparametrit on asetettu valmiiksi, saadaan 3D-Winissä generoitua tien rakennekerrosten kaikki taiteviivat samalla kertaa valmiiksi.

6.3.2 Taiteviivojen kopiointi

Taiteviivojen kopioimisessa tien rakennekerrokset rakennetaan ylimmästä kerroksesta alaspäin. Jokainen yksittäinen taiteviiva (tien reuna, ojan pohja, rakennekerroksen taite, jne.) kopioidaan erikseen. 3D-Winissä on monipuolinen toiminto, jolla viivoja voi kopioida sivulle kaltevuudella, etäisyydellä ja korkeuserolla (Editointi > Viivat > Kopioi). Samoin on myös toiminto, jolla taiteviiva voidaan kopioida sivulle annetulla kaltevuudella viivan alla olevan mallin leikkauskohtaan (Maastomalli > Muut > Kopioi viiva malliin). Lisäksi on olemassa mallin muokkausta helpottava toiminto: viivan lisäys malliin (Maastomalli > Muut > Lisää viivoja malliin). AutoCAD Civil 3D:ssä on myös mahdollisuus tuottaa taiteviiva kahden pinnan leikkauskohtaan (komento: minimumdistancebetweensurfaces).

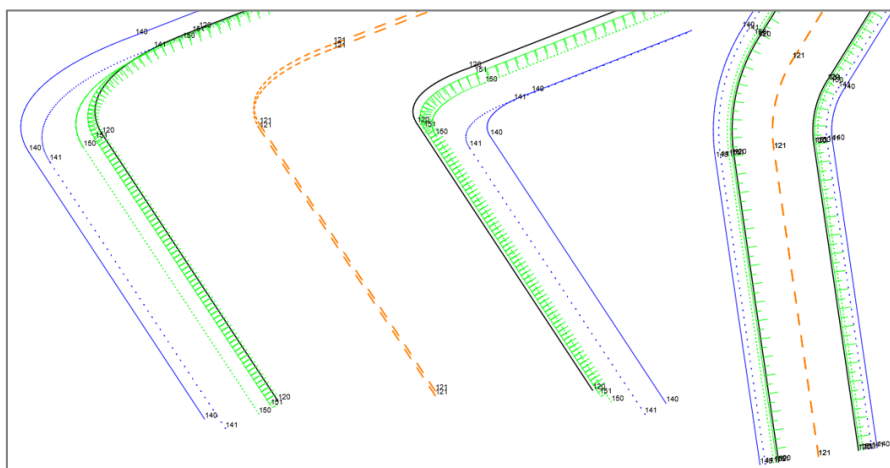
Taiteviivojen kopiointi aloitetaan tien mittalinjasta (tasausviivasta). Tiegeometriatiedosto sisältää tien mittalinjan pystygeometrioineen. Koska tiegeometriatiedoston tielinja ei ole normaali vektoriviiva, kopioidaan (3D-Win > Tiegeometria -> Kopio -> Taiteviiva) siitä vektorimuotoinen mittalinja tasausviivaksi. Tiegeometriatiedosto voidaan myös itse rakentaa: tien mittalinja kopioidaan tiesuunnitelmien tasokuvasta ja muutetaan tiegeometriatiedostoksi (3D-Win > Tiegeometria -> Taiteviiva tielinjaksi) sekä annetaan sille pituusleikkauksesta löytyvät pystygeometria-arvot (3D-Win > Tiegeometria -> Pystygeometria). Kun tien keskilinja korkeustiedoilla on tuotettu yhtenäiseksi vektoriviivaksi, kopioidaan siitä tien sivuille taiteviivat. Rakennekerrosten taiteviivojen kopioimiseen tarvittavat arvot saadaan yleensä tiesuunnitelmien tyyppipoikkileikkauksesta.

Kuvassa 21 on esitetty esimerkkinä taiteviivojen kopioiminen: keskilinjasta (koodi 121) kopioidaan sivuille 3 %:n kaltevuudella tien reunat (koodi 120), reunoista 50 %:n kaltevuudella alaspäin ojan pohja (koodi 141) ja ojasta ylöspäin ojan reuna (koodi 141).



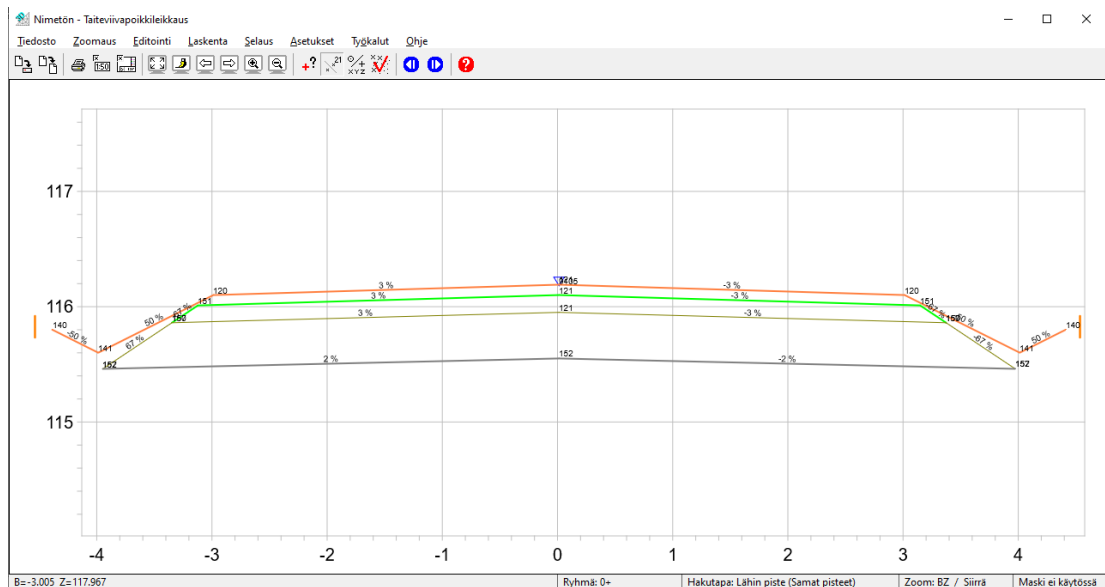
Kuva 21. Ylimmän pinnan taiteviivojen kopioiminen sivuille.

Ylimmän pinnan taiteviivojen jälkeen jatketaan kopioimista rakennekerroksia alaspäin, kuten kuvassa 22 vihreällä viivan värillä näkyy kantavan kerroksen yläpinta, vasen näkymä on kolmiulotteinen ja oikeanpuoleinen tasonäkymä.



Kuva 22. Kantavan kerroksen taiteviivojen kopioiminen (vihreällä värillä olevat tien reunat).

Lopuksi kantavasta alaspäin kopioidaan jakavan kerroksen yläpinta ja edelleen väylän alapinta (leikkauspohja). Kuvan 23 poikkileikkauskuvasta voidaan nähdä kaikkien rakennekerrosten kopioituvat taiteviivat, jolloin tieväylän taiteviivat ovat valmiit kolmioitavaksi.



Kuva 23. Poikkileikkauskunnan näkyvässä kaikkien rakennekerrosten taiteviivat valmiina.

6.3.3 Pystykuvien kääntäminen koordinaatistoon

Mallintamisen haasteena on käsitellä suunnitelmien pystykuvia, joita ovat tierakentamisessa poikki- ja pituusleikkaukset. Mallien generoiminen pystykuvista ei onnistu suoraan, koska pystykuvien x-, y- ja z-koordinaatit ovat erisuuntaisesti kuin tasokuvien. Usein pitkällä tieväylän osuudella, jolla ei ole risteyksiä tai levennyksiä paalulukujen välillä, on nopeampaa tehdä mallit paalukohtaisista poikkileikkauksista (pystykuvista) kuin rakentaa "suorat" osuudet jollain muulla tavalla. Usein tämä joudutaan tekemään juuri sellaisissa tiehankkeissa, joissa levennetään nykyistä tietä, jolloin yksittäisten muutoskohtien hahmottamisen havaitaan parhaiten paalukohtaisista poikkileikkauksista.

Suunnittelijan tekemät paalukohtaiset poikkileikkauskuvat kuvaavat tiestä 20 metrin väliä otettuja poikkittaisia leikkauksia. Nämä kuvat ovat tien pituussuuntaan nähden kuvia siitä, miltä tie näyttää "halkaistuna" katsottuna kyseisestä kohdasta. Kun tiestä on paalukohtaisia poikkileikkauksia, nähdään tien rakennekerrosten paksuudet ja leveydet sekä luiskien kaltevuudet juuri kyseisestä kohdasta. Jos nämä kaikki paalukohtaiset

poikkileikkaukset laitetaan peräkkäin jonoon pystysuunnassa ja samalle korkeuskohdalle sekä vielä tien keskilinjassa oikeaan suuntaan, saadaan poikkileikkauksista tien linjaa kuvaavat kohdat 20 metrin välein. Tätä toimintoa voidaan kutsua kokonaisuudessaan nimellä "poikkileikkauksen kääntäminen koordinaatistoon".

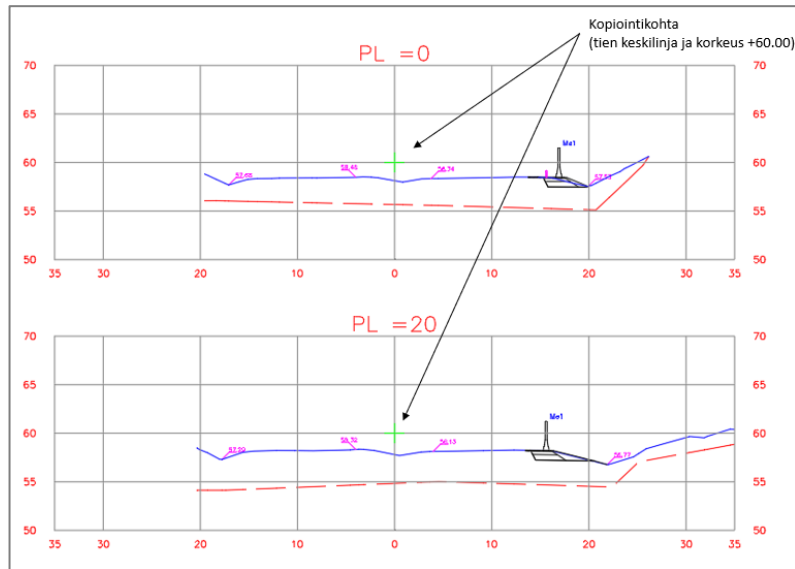
Poikkileikkauksien kääntäminen koordinaatistoon

Toimintoa varten tarvitaan poikkileikkausten lisäksi tien mittalinja eli tiegeometriatiedosto, jonka mukaan poikkileikkaukset asetetaan mukailemaan tien linjaa. Ennen tätä pitää poikkileikkausten koordinaattien y-arvo kääntää z-arvoksi. AutoCADissa x- ja y-koordinaatit esitetään päinvastoin, kuin maanmittauksessa. Tuotaessa 3D-Win-ohjelmaan DWG-muotoista vektoritiedostoa, 3D-Win osaa kääntää koordinaatit automaattisesti maanmittauskoordinaatistoon, jossa x on pystysuunnassa ja y vaakasuunnassa.

Joskus mittalinjan (tiegeometrian) korkeus on poikkileikkauksissa esitetty väärässä kohdassa, jolloin poikkileikkausten kopiointi mittalinjan koron suhteen ei onnistu. Tämä ongelma vältetään, kun poikkileikkaukset kopioidaan jonkun tietyn tasakorkeuden suhteen. Poikkileikkauksissa ei välttämättä ole mittalinjan korkeuskohtaa piirretty, joten "sitominen" pitää silloinkin tehdä johonkin muuhun tasakorkeuslukemaan. Ennen kuvien kääntämistä, poikkileikkausten kuvista poistetaan kaikista viivoista korkeustieto (z-arvo), asettamalla korkeus nolaksi, esimerkiksi AutoCADin toiminnolla "FLATTEN". Muutoin kohdistaminen oikeaan tielinjan korkeustasoon ei onnistu.

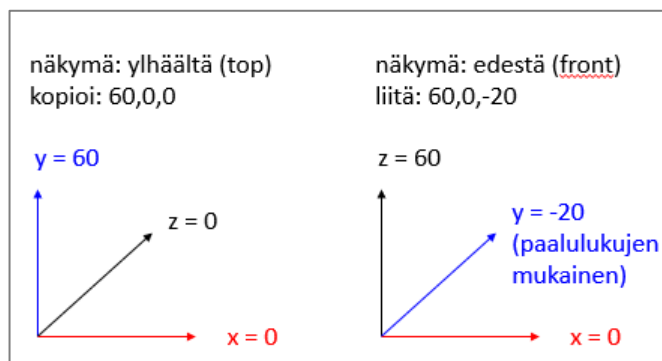
Poikkileikkausten kääntäminen koordinaatistoon tapahtuu avaamalla paalukohtaiset poikkileikkaukset AutoCAD-ohjelmalla ja kopioilla ensimmäinen poikkileikkauksikuva paalulta PL0. Kopiointikohdaksi valitaan keskilinjalla kohdalta tasakorkeuslukema.

Esimerkiksi +60.00, joka kuvassa 24 on esitetty (korkeuslukema ja keskikohta) ja josta poikkileikkaukset kopioidaan, ensin PL0 ja sen jälkeen edelleen PL20.



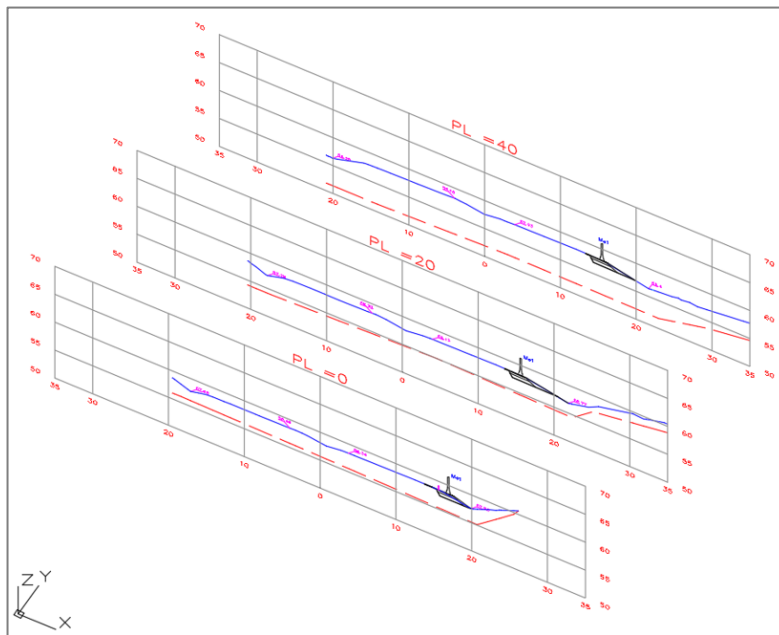
Kuva 24. Poikkileikkauksien kopiointikohtat.

Luodaan uusi tyhjä tiedosto AutoCADissa ja asetetaan sen näkymäksi edestä päin ("FRONT") ja liitetään siihen poikkileikkaus PL0 sijainnilla 0,0,0. AutoCADin "kopiointi ja leikkaa" -toiminnossa on ominaisuus, jolla aina kopioitaessa voidaan antaa kuvan sijaintikoordinaatit (x, y ja z). Jos koordinaateissa annetaan 0,0,0, kopioituu kuva samaan paikkaan, jossa se oli alkuperäisessä kuvassa. Seuraavaksi kopioidaan paalun PL20:n kuva kohtaan 0,0,-20, jossa -20 on korkeus ja edelleen kaikki muut poikkileikkaukset samalla tavalla. Kuvassa 25 nähdään kopiointitoiminto, jossa y-koordinaatti kääntyy pituussuuntaiseksi paalulukujen mukaan ja taas z-koordinaatti kääntyy pystysuuntaiseksi.



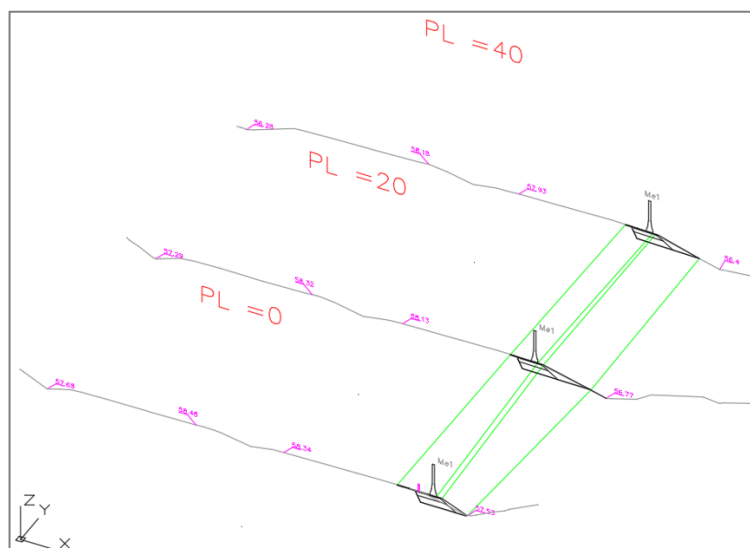
Kuva 25. Koordinaattien y ja z käynnön havainnollistaminen.

AutoCADin 3D-tilassa (kuva 26) saadaan hahmotettua, mitä operaatioissa tapahtui.



Kuva 26. AutoCADin 3D-näkymässä nähdään poikkileikkaukset jonossa.

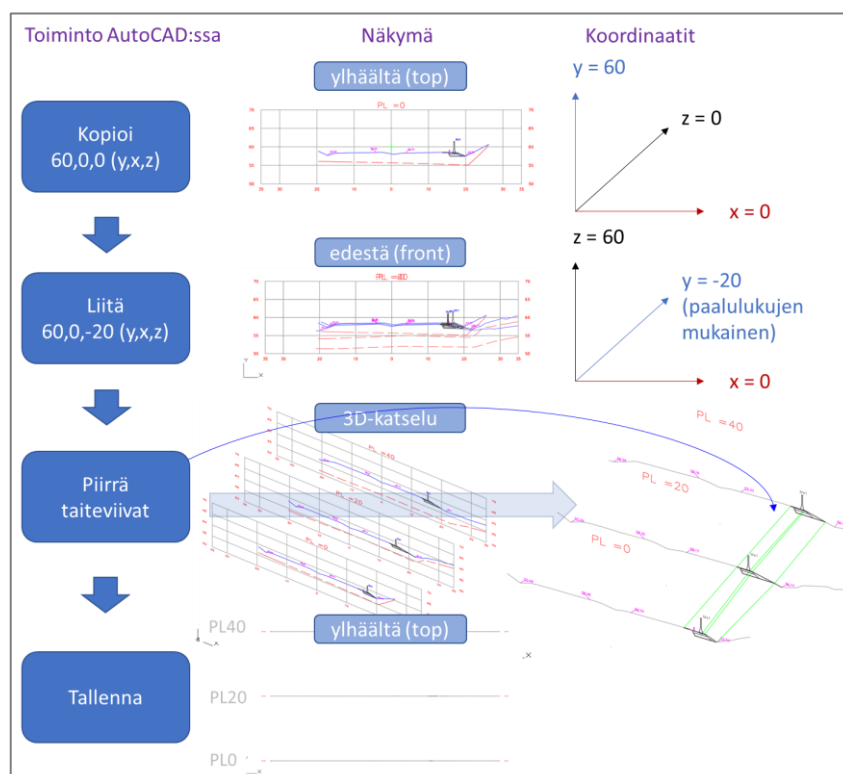
Poikkileikkauksen kääntämisen tarkoituksena on tuottaa tieväylän taiteviivat. Se tapahtuu 3D-näkymässä, jossa piirretään (3D-polylinenä) jokaisen rakennekerroksen ja luiskien taiteviivat poikkileikkausten välille (kuvan 27 vihreät viivat). Taiteviivat sijoitetaan jokainen omalle tasolle (layer), jotta ne voidaan jokainen myöhemmin erottaa kuvasta.



Kuva 27. Taiteviivat (vihreät viivat) piirretty 3D-näkymässä.

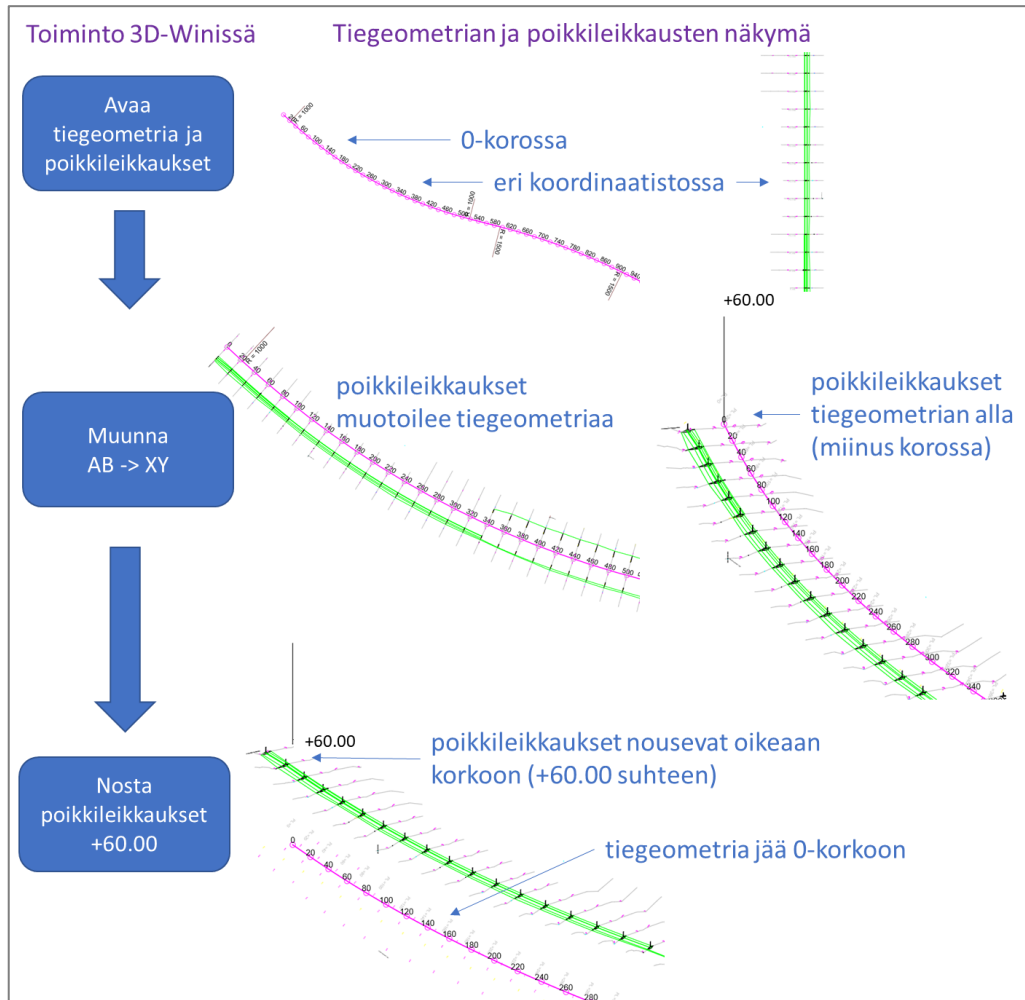
AutoCADilla piirretyt taiteviivat tallennetaan ylhäältä päin katsottavassa näkymässä (TOP), ja sen jälkeen avataan tiedosto 3D-Winissä. Tässä vaiheessa tuodaan 3D-Winiin tieväylän tiegeometriatiedosto, joka muutetaan 0-korkeuteen, jos se ei ole siinä. Taiteviivat poikkileikkaustiedostossa ovat vielä eri koordinaatistossa, kuin tiegeometriatiedosto. 3D-Winin toiminto ”Muunna AB -> XY”, muuntaa poikkileikkaustiedoston myötäilemään tiegeometriatiedon mukaista linjaa ja pystygeometrian korkeutta. Paaluväli laitetaan mahdollisimman pieneksi (1 metri), jotta taiteviivat myötäilevät tarkasti tien geometrian muotoja. Lisäksi valitaan ”Lisää pystygeometria” ja sen ”Linearisointi”, jotta pystygeometrian korot tulevat oikein tasoitettuna mittalinjan mukaisesti. Korkeustasoon +60.00 m sidotut poikkileikkaukset kulkevat nyt tuon tiegeometrian mittalinjan alla eli miinuskorolla, jolloin ne nostetaan miinuskoron verran ylöspäin. Tämän jälkeen poikkileikkausten taiteviivat myötäilevät tiegeometrian linjaa ja oikeaa korkeustasoa. AutoCADissa omille tasoille tallennetut tien rakennekerrosten taiteviivat ovat 3D-Winissä T3-kentässä, josta ne voidaan helposti tallentaa omiin tiedostoihin mallien rakentamista varten.

Kuvassa 28 näkyy yhteenvetona, mitä poikkileikkausten kääntämisen käsittelyssä tapahtui AutoCAD-ohjelmassa: kopioinen, liittäminen, piirtäminen ja tallentaminen.



Kuva 28. Poikkileikkausten kääntämisen AutoCADin käsittelyn yhteenveto.

Kuvassa 29 näkyy yhteenvetona, mitä poikkileikkausten kääntämisen käsittelyssä tapahtui 3D-Win-ohjelmassa: tiedostojen avaus, muuntaminen ja korkeuden nostaminen.



Kuva 29. Poikkileikkausten kääntämisen 3D-Winin käsittelyn yhteenveto.

Vaakageometrialle pystygeometria pituusleikkauksesta

Jos tiehankkeen tarjousvaiheen määrälaskennassa ei ole saatavilla maanpinnan tai kallion pintamallia eikä paalukohtaisia poikkileikkauksia ole tarjolla, kalliopinnan malli on digitoitava pituusleikkauksesta. Myös nykyinen maanpinta voidaan digitoida pituusleikkauksesta. Maanmittauslaitoksen avointen aineistojen palvelusta olisi kuitenkin saatavilla maanpinnan laserkeilausaineiston malli, mutta aineistojen paikkansa pitävyydestä nykyiseen maanpintaan verrattuna ei ole aina varmuutta. Myöskään kalliopinnasta ei ole maan pinnan alta tietoa, muuta kuin avokallioista.

Pituusleikkauksen kalliopinta digitoidaan AutoCADissa 3D-polyline -viivana, jolloin saadaan tien mittalinjan suuntainen suora linjaviiva, jonka jokaisessa taitekohdassa on korkeustieto. Digitoimisen voi tehdä ennen koordinaatistoon kääntämistä. Pituusleikkauksen digitoidun kallioviivan kopioinnin alkukohdaksi asetetaan jokin tasakorkeus ja paaluvuolta PL0. Sen jälkeen se liitetään AutoCADissa samalla tavalla kuin poikkileikkausten kääntäminen koordinaatistoon tehtiin FRONT-näkymässä. Koska poikkileikkaukset olivat tien vaakasuuntainen näkymä ja pituusleikkaus taas tien pituussuunnan näkymä, pitää ennen tallentamista (AutoCADin TOP-näkymässä) digitoitu pituusleikkauksen kalliopinnan korkeusviiva kääntää katsojaan nähden pystysuuntaan eli ylöspäin. Käännöksen jälkeen näytöllä pitäisi näkyä pituusleikkauksen viiva ylöspäin, joka tallennetaan ja avataan 3D-Winissä. Tämä digitoitu kallioviiva pitää sovittaa tielinjan mukaiseen vaakageometriaan, niin kuin poikkileikkaukset tehtiin.

Kun esimerkiksi kallioviiva, joka on korossa ja käännetty tielinjan mukaiseen geometriaan (koordinaatistoon) on valmis, voidaan siitä levittää sivuille kalliopintaa tai muuta vastaavaa. Tässä tietysti pitää huomata se, että kalliopintahan ei ole tasainen tien leveys suunnassa ja tehty kalliopinta tien pituusleikkauksesta vastaa vain tien tasausviivan kohdalla myötäilevää kalliopintaa, joka näkyy pituusleikkauksessa. Paremmin tämä operaatio sopii kuitenkin tieväylän pohjan digitoimiseen pituusleikkauksesta, koska se on yleensä paljon tasaisempi kuin kalliopinta.

Aina kun pituus- tai poikkileikkaus on käännetty koordinaatistoon, pitää tarkistaa kääntämisen onnistuminen. Tähän helpottaa apuviivojen piirtäminen johonkin tunnettuun korkeustasoon ja tasosijaintiin, joista myöhemmin voidaan todeta kuvien kääntyneen oikein. Poikki- ja pituusleikkausten kääntäminen koordinaatistoon vaatii ajattelutavan muutosta. Koordinaatistoja pitää katsella kolmiulotteisesti ja nähdä näistä kuvista myös se, että aina kun kuvista löytää kolme koordinaattielementtiä (x, y ja z), on mahdollista muodostaa malli, vaikka ne esitettäisiin tasokuvamaisesti pystykuvana.

6.4 Kanaalilouhinta

Kanaalilouhinnan mallit tuotetaan vesihuoltokuvista, joissa putket on piirretty vektoriviivoina. InfraRYL:ssä määritellään sekin, mikä kuuluu kanaalilouhintaan ja mikä ei [Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määramittausohje 2015: 69]. Siellä ei oteta kantaa,

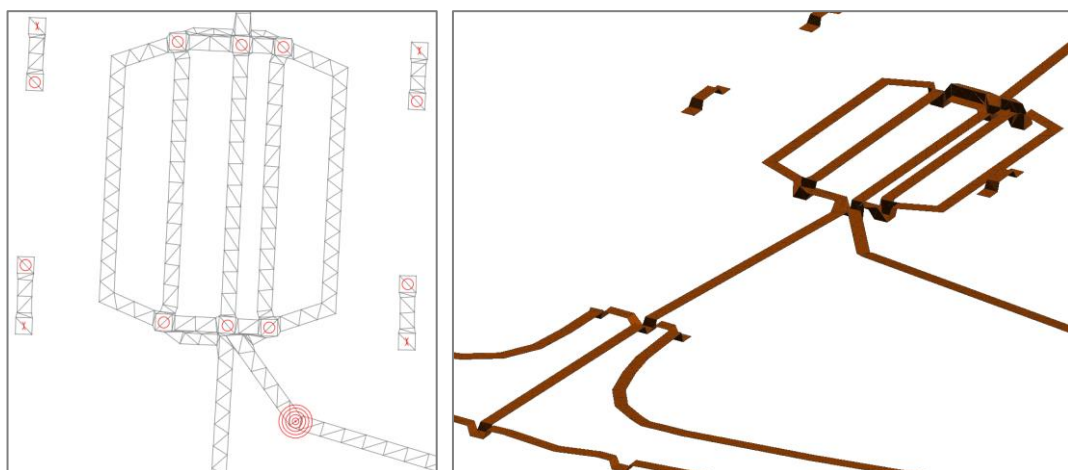
mikä pitää olla kanaalikaivannon leveys, muuta kuin kanaalikaivannon minimileveys 1,3 m, samoin ei kaivojen leveyksiä. Kanaalilouhintaa varten pitää varmistaa työmaalta, miten paljon alemmaksi putken vesijuoksusta kanaalia louhitaan, esimerkiksi -0,15 m. Samoin kaivojen kohdalla kaivon alimman vesijuoksusta kaivon sakkapesän syvyys, jos sitä ei erikseen tarkisteta jokaisen kaivon kohdalta, esimerkiksi -1,0 m alle vesijuoksun. Lisäksi kaivon leveys pitää varmistaa työmaalta, esimerkiksi kaivon kooksi 1,5 x 1,5 metrin kokoiset neliöt. Kanaalien luiskien kaltevuudeksi on InfraRYL:ssä määritelty 5:1, mutta niitä ei tarvitse louhintamalliin tehdä. Samoin kaikki muut yksityiskohdat huomioi porari työmaalla, jolloin mallista pyritään tekemään hyvin yksinkertainen ja selkeä. Kanaalin syvyydessä alimmasta vesijuoksusta riittävät edellä mainitut määritykset, jolloin mallintaja ei huomioi porarin tekemiä yliporauksia, vaan ne kuuluvat porausurakoitsijalle, jolla on omat norminsa sille, kuinka paljon porari poraa yliporauksia.

Kanaalilouhinnan mallin tekemisen haasteena on tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja helppo malli. Seuraavaksi esimerkki kanaalilouhinnan mallin tekemisestä 3D-Winin ja AutoCADin avulla. Luodaan ensin uusi kaivotiedosto 3D-Winissä merkitsemällä vesihuoltokuvasta jokaiselle kaivolle kaivopiste ja kaivojen korkoeustiedoksi sen putken vesijuoksu, joka on alimpana. Luodaan myös uusi putkitiedosto, johon tehdään viivat putkilinjoille kaivopisteen keskeltä kaivopisteelle. Asetetaan tehdyille viivoille korkeustieto kyseisen kaivon lähdön tai tulon vesijuoksusta. Jos putkilinjoilla on mutkia (ei suoraa viivoja kaivosta kaivoon), kuten salaojaputkilla usein voi olla, tasoitetaan mutkapisteiden korot kaivojen välillä AutoCADin "Feature Line" -toiminnolla, minkä jälkeen yhdistetään kaivovälien viivat yhtenäisiksi viivoiksi. Tämän jälkeen kopioidaan 3D-Winissä putkien viivat sivuille (Editointi > Viivat > Kopioi), louhinnassa kanaalin min leveys 1,3 m, joten kopioidaan sivulle 0,65 m. 3D-Winissä reunojen kopiointi on nopeampaa kuin AutoCADin "Offset" -toiminto, koska voi kopioida molemmat puolet ja myös viivat, jotka ovat "3D-polyline"-muodossa (AutoCADissa ei 3D-polyline viivojen offsettoiminto onnistu). Tämä kanaalilouhinnan työtiedosto tallennetaan DWG-muotoon ja avataan AutoCADissa.

Kaivotiedostolle tehdään 3D-Winissä väliaikainen muutos kooditiedostoon, valitsemalla sellainen T3-kentän tyyppikoodi, jossa muotona on neliö. Muutetaan sen leveydeksi kaivoille sovittu louhintaleveys, esimerkiksi 1,5 m (louhinta tehdään kaivojen kohdalla 1,5 x 1,5 m). Sen jälkeen muutetaan kaikille kaivopisteille tehty uusi koodi, jolla on symbolina neliö ja leveytenä 1,5 m. Tallennetaan kaivopisteet DWG-muotoon ja avataan se AutoCADissa. Kaivoneliöiden symbolit poistetaan, jos niitä tuli DWG-tiedostoon mukaan.

AutoCADissa kopioidaan kaivoneliöt kanaalilouhinnan työtiedostoon. AutoCADissa työtiedostossa piilotetaan putkilinjojen keskilinjat, jotka ovat eri tasolla (Layer eli 3D-Winin T3-tyyppikoodi). Tiedostossa pitäisi nyt olla omalla tasolla kaivoneliöt ja putkien reunalinjat. Käännetään jokainen kaivoneliö erikseen putkilinjojen suuntaisesti, koska ne ovat muutoin suorakulmassa kuvaan nähden.

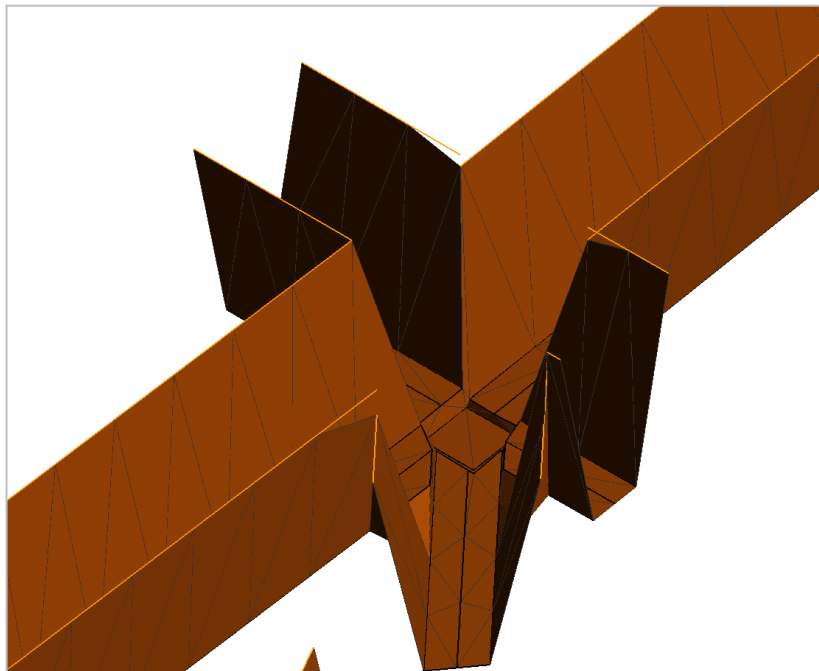
Kanaalilouhinnan työtiedoston kuvassa voi olla yhteen kaivoon liittyviä monia putkilinjoja ja risteäviä putkia, ja nyt kaivoon päätyvät putkien reunalinjat "törmäävät" kaivoneliöiden sisälle. Seuraavaksi katkaistaan jokainen reunalinja ennen kaivoa noin 5–30 cm:n etäisyydeltä kaivosta, jotta myöhemmin kolmioitaessa viivat eivät ole toisissa kiinni, kun ne ovat eri korkeudella toisistaan. Yhdistetään katkaisun jälkeen putkilinjan päädyt toisiinsa 3D-polyline-viivalla. Aina on tarkistettava päällekkäisten putkilinjojen alin vesijuoksu, jolloin muut putkilinjat, jotka jäävät alimman putken yläpuolelle, katkaistaan päälle menevien osalta yhdistämällä katkaisukohtat kiinni toisiinsa 3D-polylinella. Seuraavaksi avataan kanaalilouhinnan työtiedosto 3D-Winissä ja kun kaivot ja reunaviivat ovat omalla koodilla, pudotetaan niiden korkeutta alaspäin louhinnassa sovitun mukaiseksi, esimerkiksi kaivoneliöt -1.0 m ja kanaalit -0.15 m. Tässä vaiheessa kanaalilouhinnan työtiedosto on valmis kolmioitavissa. Kun kanaalilouhinnan mallille ei tehdä luiskia, generoidaan siitä LandXML-tiedosto vietäväksi koneohjaukseen. Kuvassa 30 on valmis kanaalilouhinnan malli, vasemmanpuoleinen tasokuva kolmioituna, jossa kaivojen kohdalle laitettu näkyviin punaisella kaivoympyrät havainnollistamaan kaivojen kohtia. Sama malli oikeanpuoleisessa kuvassa, mutta 3D-näkymänä, jossa voidaan havaita kaivojen kohdalla 1,0 metrin pudotus alaspäin.



Kuva 30. Kanaalilouhinnan kolmiokuvana ja 3D-katseluna.

Valmista mallia voidaan hyödyntää louhinnan määrälaskennassa, kuten 3D-Winin poikkileikkausmenetelmän massanlaskentaa, jossa määritellään erikseen kanaalilouhinnan 5:1 reunaluiskat, jotka on ohjeistettu InfraRYL:ssä. Tässä vaiheessa AutoCADissa on myös mahdollista tuottaa kanaalilouhinnan 5:1 luiskat. Valmiin kanaalilouhinnan työtiedostoon (kanaalit pudotettu -0.15 m ja kaivot $-1,0$ m) ”digitoidaan” 3D-polyline-viivat kiertämällä jokaisen putkilinjojen ja kaivojen ulkoreunoilta yhtenäisellä viivalla. Viivan pitää olla yhtenäinen, ja sama viiva kiertää kaivot ja putket. Kun putkilinja päättyy kaivoon, jatketaan viivaa kaivoneliöiden ulkoreunalla. Näin viivan ja linjan ulkoreuna sekä korkeus kulkevat aina alimmasta kohdasta, esimerkiksi kaivoneliöiden kohdalla viiva putoaa yhden metrin alemmaksi kanaalin korosta. Kun reunat on digitoitu, avataan kanaalilouhinnan työtiedosto 3D-Winissä ja kopioidaan digitoitu ulkoreunaviiva luiskaksi kaltevuudella 5:1 (Editointi > Viivat > Kopioi). Viiva on täysin yhtenäinen, jolloin luiskaviivasta tulee yhdellä kertaa oikeanlainen luiskan yläreunan taiteviiva. Tämän jälkeen voidaan tehdä kanaalilouhinnan määrälaskenta kahden pinnan erotuksella.

Kuvassa 31 on havainnollistettu 3D-näkymä kanaalilouhinnasta 5:1 luiskilla, jotka voidaan tehdä niin korkeana (tai äärettömänä), kuin ylin mahdollinen kalliopinta alueella on. Kahden pinnan erotus laskentatapa soveltuu vain alueelle, jossa kaikkialla on kalliopintaa eikä maaleikkauksia.

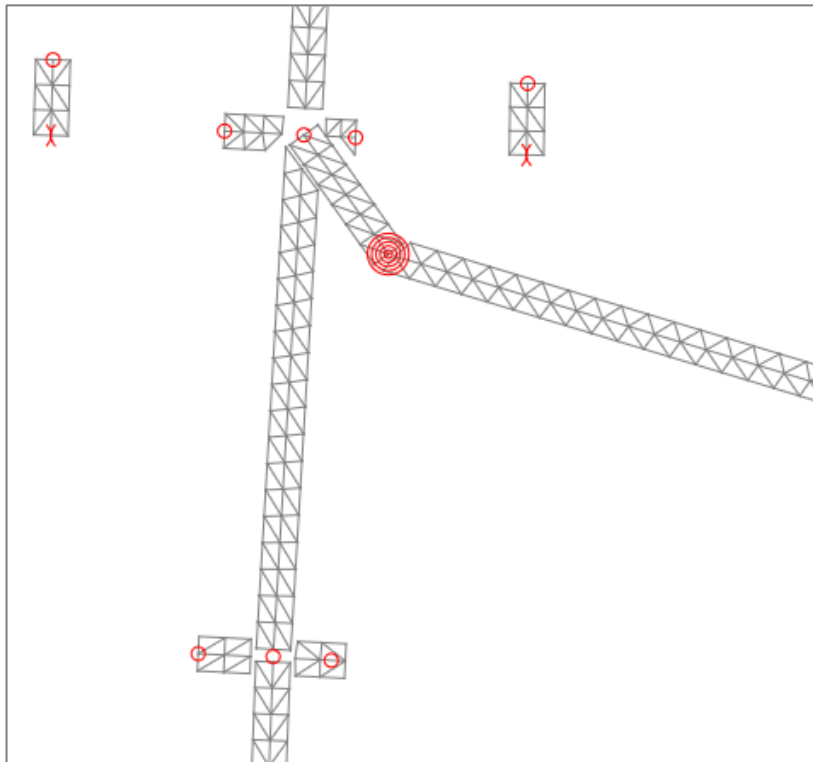


Kuva 31. Kanaalilouhinnan 3D-näkymä 5:1 tehdyistä reunojen luiskista.

6.5 Putkien kaivuumalli

Edellä olleessa luvussa käsitelty kanaalilouhinnan koneohjausmallin periaatteet soveltuvat myös putkien kaivuumalleihin. Kaivuumallit tehdään aina saman levyisenä, esimerkiksi 2,5 metriä leveänä. Tämä siksi, että kaivinkoneen on helpompi kaivaa riittävän leveällä mallilla, kuin jos se olisi kapea. Poikkeuksena louhinnan kanaalimalliin ei kaivojen kohdalle tehdä erillisiä kaivojen syvennyksiä tai levennyksiä, vaan kaivinkoneen kuljettaja huolehtii itse kaivojen sakkapesien kaivuunvaroista. Samoin kaivuukanaalin syvyytenä käytetään aina alimman vesijuoksun korkeutta, jolloin kaivinkoneen kuljettaja huolehtii putken asennusvaroista (putken alle levitettävien maa-aineisten paksuuksista).

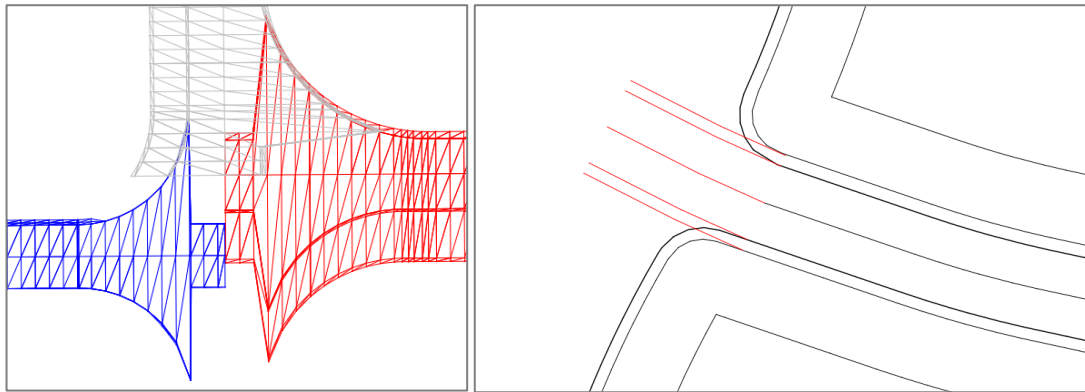
Kun putkien kaivuumalli tehdään 2,5 m leveänä, kopioidaan putkilinjasta sivuille 1,25 m. Poikkeuksena kanaalilouhintaan putkien "päät" jätetään kaivoihin päättyviksi, ilman kaivojen levennyksiä. Kuvassa 32 on tyypillinen kolmioitu hulevesiputkien kaivuumalli, jossa punaiset ympyrät ovat kaivojen kohtia. Voidaan huomata, ettei mallia ole kaivojen kohdalla levennytty tai syvennetty, vaan putket päättyvät kaivoon. Alimman vesijuoksun putket ovat kaivojen kohdalla "määräävänä tekijänä".



Kuva 32. Tyypillinen hulevesiputkien kaivuumalli kolmioituna, jossa kaivojen kohdat "avoinna".

6.6 Risteykset

Tiesuunnitelman tiegeometriakuvaus määrittää tien alku- ja loppukohdan. Jos tie päättyy tai alkaa toisesta tielinjasta tai tiet risteävät, pitää kaikkien risteyksien olla mallinnettu ennen kuin ne voidaan viedä koneohjaukseen. Risteysten mallinnus tarkoittaa sitä, että risteyskohdassa risteävien teiden mallien pitää olla yhtenevät ja kaikkien pintojen ja tien reunalinjojen pitää liittyä toisiinsa sulavasti, eikä ristiin meneviä malleja tai viivoja saa olla. Kuvan 33 vasemmanpuoleisessa kuvassa suunnittelijalta on tullut valmiit mallit risteyksien kaarilla, mutta risteyskohtaa ei ole mallinnettu erikseen. Oikeanpuoleisessa kuvassa suunnittelijalta on taas tullut pelkät suorat taiteviivat (piirretty oikeanpuoleiseen kuvaan punaisella) ilman risteyksen kaariviivoja, jolloin risteys kaariviivoineen (kuvassa piirretty mustalla viivalla) pitää mallintaa itse.



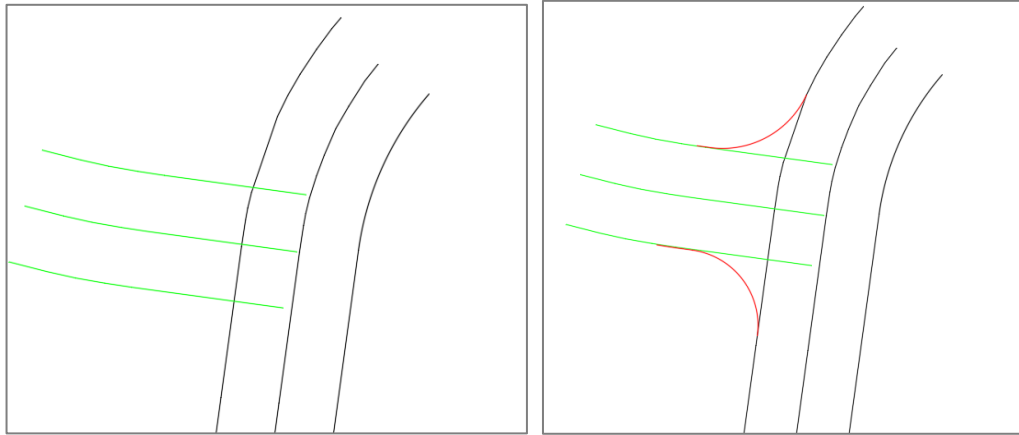
Kuva 33. Kuvan vasemmanpuoleisessa risteyksestä risteyskohdan malli on vajavainen ja oikean puolen kuvassa taiteviivan kaaret puuttuivat, punaiset viivat.

Jos risteyksiä ei ole mallinnettu oikein, malleja ei voi yhdistää eikä viedä sellaisenaan koneohjaukseen. Tällöin suunnittelijalta tulevat risteyskohtien mallit tai oikeastaan taiteviivat pitää erikseen mallintaa.

6.6.1 Risteysten reunakaarista taiteviivat

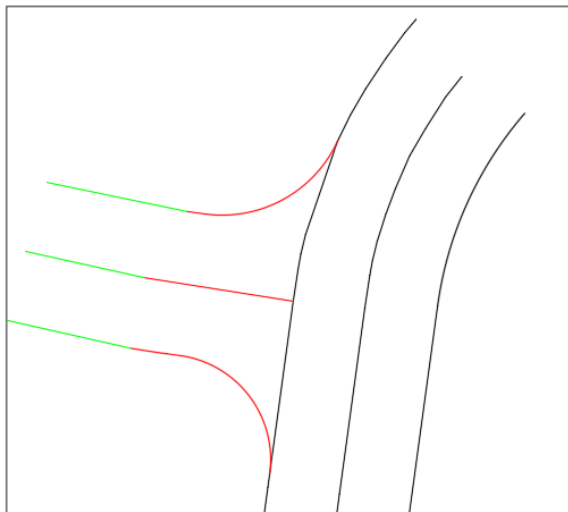
Risteysten reunakaarien taiteviivojen mallintaminen on mallinnusvaiheen työläämpiä vaiheita. Haasteena on tasoittaa risteyksen reunakaarien taiteviivojen korkeustiedot oikein, jotta risteyksen valmiin pinnan kaltevuudet myötäilee suunnittelijan tarkoittamia kaltevuuksia.

Kuvan 34 vasemmanpuoleisessa kuvassa on piirretty risteys ja oikeanpuoleisessa punaisilla viivoilla risteuksen reunakaaret, jotka pitää toteuttaa. Reunakaaret saadaan kopiaimalla ne tiesuunnitelman tasokuvasta.



Kuva 34. Tien risteys vasemmanpuoleisessa kuvassa ja oikeanpuoleisessa lisätyt reunakaaret.

Seuraavaksi alkuperäisestä tielinjauksesta katkaistaan reunakaarien kohdalta viivat ja uudet reunakaaret otetaan käyttöön taiteviivoina. Kuvassa 35 näkyvät punaisella uudet reunakaaret ja samoin risteävän tien keskilinja, jotka korvaavat alkuperäiset taiteviivat.



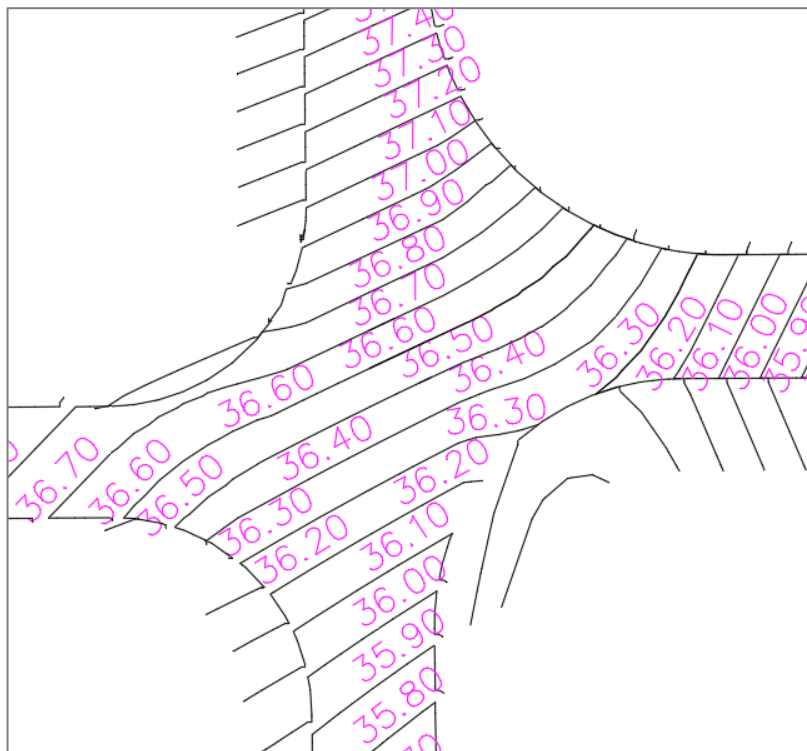
Kuva 35. Kuvassa näkyvät punaiset viivat ovat risteuksen uudet taiteviivat.

Edellä tehdyt uudet punaiset taiteviivat eivät ole vielä valmiit, koska niillä ei ole vielä oikeaa korkeustietoa. Risteuksen taiteviivojen korkeustiedot pitää vielä tasoittaa kaariviivalle. Tämä taiteviivojen tasoittaminen voidaan tehdä 3D-Win-ohjelmassa korkeuden

interpolointi -toiminnolla (Editointi > Viivat > Työkalut > Interpoloi korkeus) tai vaihtoehtoisesti AutoCAD 3D Civil -ohjelmalla "Feature Line" -toiminnolla (Feature Line > Create Feature Lines from Objects > Elevation Editor > Flatten Grade > Flatten: Constant Grade). AutoCADin toiminto eroaa 3D-Winistä niin, että viivan taitepisteillä (alku- ja loppupään pisteillä) voi olla muitakin korkeuksia kuin vain 0-korkeus. Kun taiteviivojen korot on tasoitettu viivoille, voidaan taiteviivat yhdistää, jolloin taiteviivat ovat valmiit mallintamista varten.

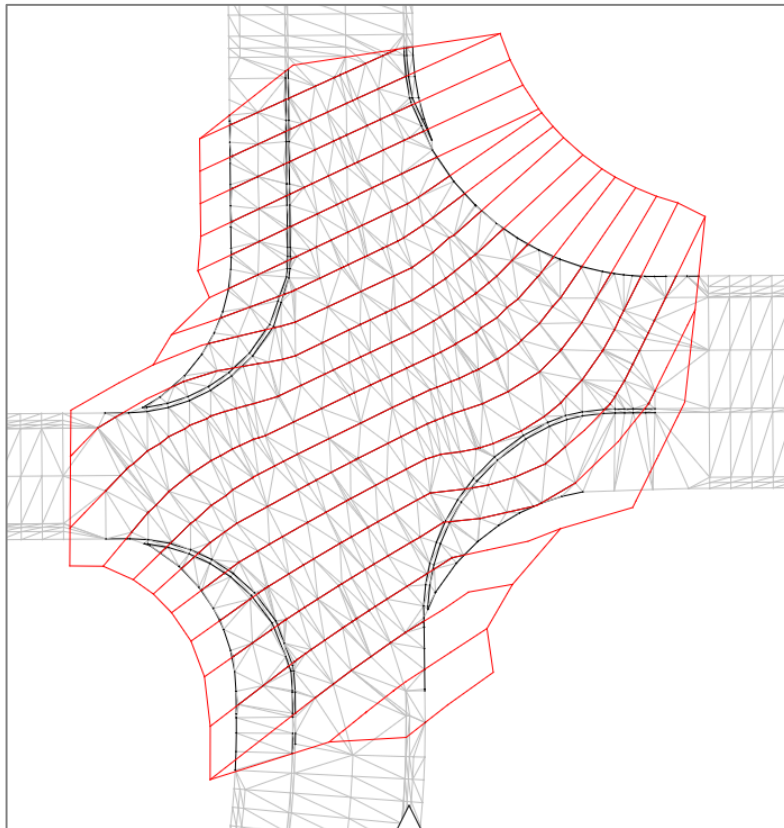
6.6.2 Risteyksen tasauskäyrät

Jos tiesuunnitelman risteysaluetta ei ole mallinnettu, se mallinnetaan tasauskäyristä eli korkeuskäyristä. Kuvassa 36 näkyvät risteysalueen tasauskäyrät. Kun jokaisesta suunnasta tulevilla teillä on omat sivukaltevuudet, risteyksen keskialueen korkeuden eli tasauksen kaltevuuksien mallintaminen toteutetaan tasauskäyrien avulla.



Kuva 36. Risteysalueen tasauskäyrillä voidaan saada risteyksen keskialue mallinnettua.

Kun tasauskäyrät levennetään yli risteuksen, niin kuin kuvassa 37 on tehty, saadaan risteuksen reunakaarien taiteviivoille tällöin korkeus. Tämän jälkeen tehdään kolmioverkkomalli risteyksestä ja annetaan (esimerkiksi 3D-Win-ohjelmassa) risteuksen reunakaarien taiteviivoille korot. Samoin voidaan tehdä kaikista suunnista risteykseen päättyville tien tasausviivoille, joille annetaan korot. Näin on saatu risteysalueelle korot sekä risteuksen kaikille taiteviivoille. Jokaisen tien kolmioverkon kolmioiden suunnista näkyy (kuva 37), että tie on katkaistu risteysalueeseen ja risteysalue on mallinnettu erikseen ja yhdistetty myöhemmin jokaiseen tiehen erikseen.



Kuva 37. Risteysalueen mallintaminen tasauskäyristä.

6.7 Mallinnuksen periaatteet

Urakoitsijan muokatessa koneohjausmalleja voidaan törmätä haasteisiin, joiden ratkaisua ei suoraan löydy suunnittelukuvista (pituus- ja poikkileikkauksista tai tielinjojen tasokuvasta). Tällöin ei ole ehkä tarpeen mukaista (pienien yksityiskohtien selvittäminen) pyytää suunnittelijalta lausuntoa, miten esimerkiksi risteuksen yhtymäkohta, kuuluisi

toteuttaa. Suunnittelija voi olla myös jättänyt asioita tarkentamatta, jos suunnitelmien tilaaja ei ole vaatinut riittävän tarkkaa tasoa suunnitelmilta. Tällöin tie rakennetaan olemassa olevien kirjallisten (esimerkiksi työsuunnitelmien) kuvausten mukaan. Urakassa voi olla sovittu, että kaikki yhteydet suunnittelijaan kulkevat tilaajan kautta. Yksittäisen tiedon saaminen voi tällöin kestää kauan, esimerkiksi monta päivää tai viikkoa. Näin ollen monet pienet yksittäiset mallinnustilanteet pitää urakoitsijan tai mittauskonsultin mallintajan pystyä ratkaisemaan itse.

Seuraavassa on kuvattu "etenemisjärjestys" kohdattaessa haasteita mallinnustyössä, jolloin suunnittelukuvista ei voi suoraan päätellä, miten jokin kohta toteutetaan.

1. Suunnittelijan "tahtotilan" selvittäminen

- Mitä pituus- ja poikkileikkauksessa on kohteesta kuvattu?
- Jos mallin toteuttamiseen on yksiselitteinen ratkaisu, voidaan se ratkaista, mutta jos vaihtoehtoja enemmän, tarvitaan suunnittelijan päätös.
- Tierakentamisen "perusteiden" miettiminen, esimerkiksi veden valumista rakenteissa ja pinnalla, vesi ei saa jäädä seisomaan kuoppaan jne.
- Miten alueen muut vastaavat kohdat suunnittelija on suunnitellut?
- Miten aikaisemmissa projekteissa on tehty malleja samanlaisista kohdista?

2. Mallintamisen yleisten ohjeiden noudattaminen

- Mallin pitää olla toteutuskelpoinen (esimerkiksi ei pystysuoria siirtymiä).
- Vastaako malli yleisiä ohjeita, kuten Yleiset Inframallivaatimukset, Infra-RYL:n nimikkeistö ja määrämittaushje?
- Hyvän mallinnustavan noudattaminen, esimerkiksi koneohjausjärjestelmien valmistajien mallipohjaisen tuotannon ohjeita [Palviainen 2017].

3. Asennoituminen koneohjausta käyttävän kaivinkoneen kuljettajan asemaan

- Millainen mallin pitäisi olla, jotta kuljettaja ymmärtää sen?
- Pystyykö kuljettaja toteuttamaan mallin mukaisen tien?

4. Mikä on tarkoituksenmukainen tarkkuustaso?

- Kun koneohjaus toimii satelliittipaikannuksella, on kyse monien senttimetrien tarkkuuksista.
- Koneohjauksen tarkkuus on myös riippuvainen käytännöstä työmaalla. Miten tarkkaan kaivinkoneen kuljettaja ”jaksaa hieroa pintaa” tai kuinka taitava hän on?
- Pisteitä malliin ei ole perusteltua tehdä 5–10 senttimetrien välein esimerkiksi kaareen, jos kaivinkoneen kuljettaja tekee sen kuitenkin puolen metrin tarkkuudella (suunnitelmien rajoissa).
- Rakennekerrosten vaihtuessa ei luiskan sijainti ole senttimetreistä kiinni, jos sillä ei ole tierakentamisen kannalta merkitystä.
- Mikä on kohteessa tarkkuustaso, onko kaupunkialuetta vai maaseutua tai ovatko esimerkiksi tontin rajat hyvin lähellä?

Edellä esitellyssä etenemisjärjestyksessä mallintaja ei voi ottaa suunnittelijan roolia eikä saa muuttaa suunnitelmia ilman suunnittelijan tai tilaajan lupaa. Vaikeissa asioissa mallintaja voi pyytää päätöstä maanrakennuskohteen työnjohtajalta tai työmaapäälliköltä, jotta vastuu ei jää mallintajalle.

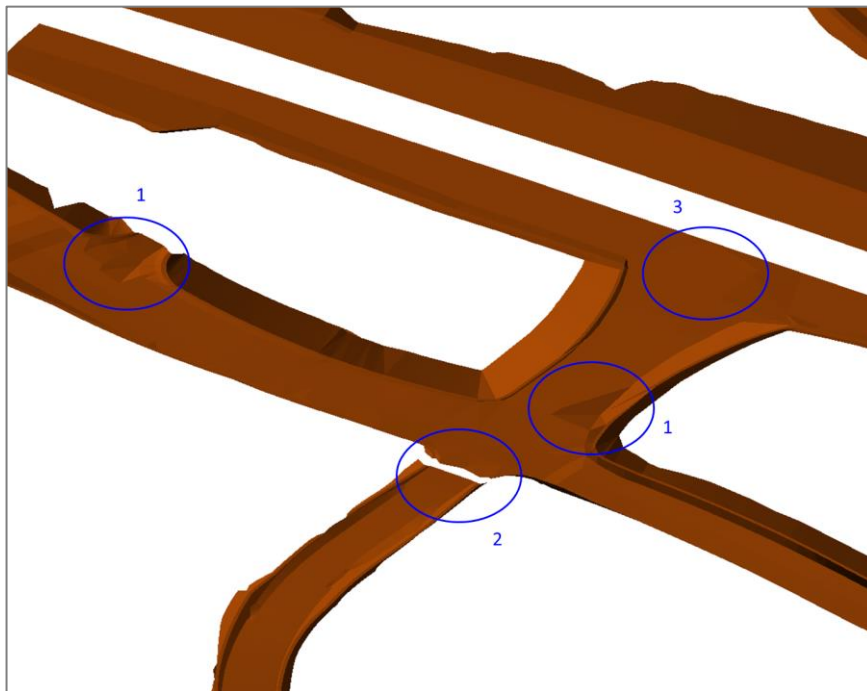
7 Mallien laaduntarkistus

Koneohjausmallin laadun tarkastaminen on mallintajan työtä. Suunnittelijalta tulleet valmiit mallit pitää aina tarkistaa, koska muutoin ei tiedetä, täsmäävätkö mallit rakennussuunnitelmiin. Mallien oikeellisuuden tarkistus on tärkeää, koska juuri mallien mukaan tie rakennetaan ja mitä myöhemmin virheet huomataan työmaalla, sitä kalliimmaksi niiden korjaaminen voi koitua. Seuraavissa luvuissa tutkitaan mallintajan mahdollisuuksia tarkistaa suunnittelijalta tulleet mallit tai mallintajan itse tekemät mallit.

7.1 Visuaalinen tarkastelu

Mallia tarkastellaan visuaalisesti 3D-näkymässä. Mallia käännetään niin, että siitä voidaan havaita kolmioiden tasaisuus. Kuvassa 38 on 3D-Winin 3D-katselutoiminnolla tuotettu visuaalinen näkymä. Mallista voidaan havaita ainakin seuraavat asiat:

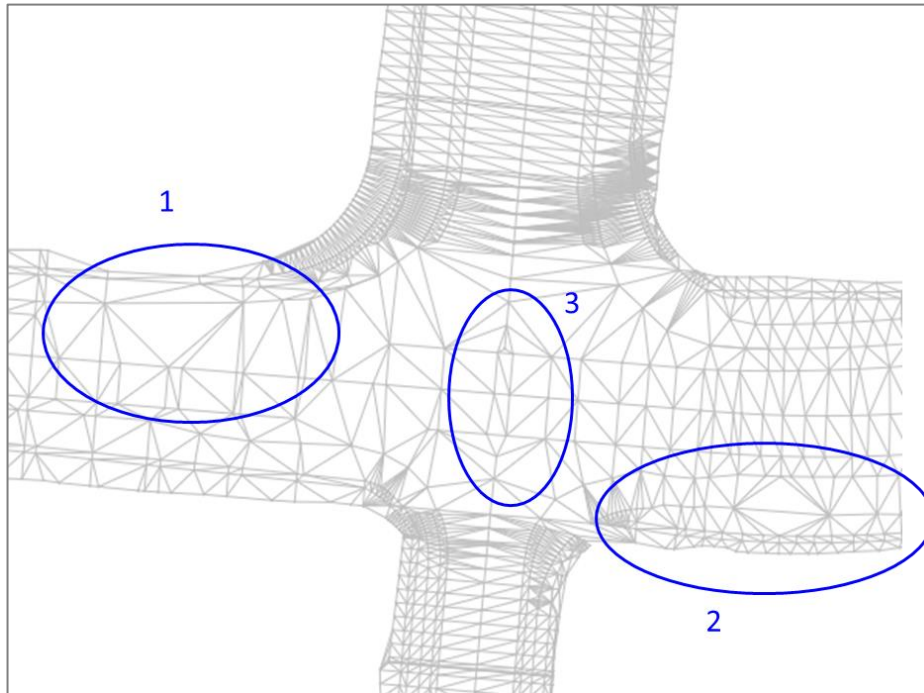
- Kohtien 1 alueilla on kohoumia kolmioinnissa.
- Kohdan 2 alueella on koko tien leveyden kokoinen reikä mallissa.
- Kohdan 3 risteysalueen pitää olla tasainen.



Kuva 38. 3D-näkymässä mallin visuaalisen tarkastelun havaintoja.

Visuaalista havainnointia on myös mallin kolmioverkon tarkastelu, joka näkyy kuvassa 39. Siitä havaitaan, että

- kohdan 1 alueella kolmiot eivät ole tasaisia kolmioita. Onko tähän jokin syy?
- samoin kohdan 2 alueella on joku erikoisuus kolmioverkossa. Pitää katsoa 3D-tarkastelussa, onko alue tasainen.
- risteysalueen kohta 3 ei todennäköisesti ole kolmioitunut oikein. Pitää tarkistaa, onko tie tasainen kummankin risteuksen suunnasta.



Kuva 39. Kolmioverkon kolmiointin oikeellisuuden tarkastelua tasokuvassa.

7.2 Poikkileikkaustarkastelu

Visuaalisten tarkastelujen lisäksi koko tieväylä käydään läpi poikkileikkausten avulla silmämääräisesti. Kun tien eri rakennekerrokset on määritelty 3D-Winissä omilla koodeilla, 3D-Win näyttää jokaisen rakennekerroksen omalla värillä. 3D-winissä avataan kaikki rakennekerrokset ja tiegeometria yhdessä samalla kertaa. Tällöin taiteviivapoikkileikkaustyökalulla tai tielinjan tiegeometriatiedoston mittalinjan mukaisesti pystytään ”ajamaan” koko tieväylän läpi poikkileikkausikkunassa. Samalla voidaan poikkileikkausikkunaan asettaa päälle tien kaltevuus- ja paksuusarvot näkyviin. Näin nähdään silmämääräisesti, onko tieväylän poikkileikkausnäkyvässä virheitä kaltevuuksissa tai paksuuksissa. Tämä

tarkastelu tehdään aina sen jälkeen, kun rakennekerrosten malleja on muutettu, koska poikkileikkaustarkastelu on mallintajan yksi tärkeimmistä työkaluista mallien oikeellisuuden toteamiseen.

7.3 Tien pystygeometria

Tien pystygeometrian tarkastaminen tapahtuu vertaamalla tieväylän ylimmän pinnan mallia suunnittelijan tekemään pituusleikkaukseen. Tällöin pystytään todentamaan, että malli on rakennettu pystygeometrialtaan oikein. 3D-Win-ohjelmalla tehdään ylimmästä eli valmiin pinnan tien keskilinjasta tielinjan mukainen tiegeometriatiedosto, josta generoidaan pituusleikkaus. Pituusleikkaus tallennetaan DWG-muotoiseksi pituusleikkaukseksi (3D-Win > Tulosta kuvaformaattissa). Pituusleikkauksen vertailu tapahtuu AutoCADissa, jossa suunnittelijan pituusleikkauksen päälle kopioidaan itse generoitu DWG-muotoinen pituusleikkaus. Näin tien valmiin pinnan (ylin pinta) pitäisi muotoilla tarkasti suunnittelijan tuottaman pituusleikkauksen mukaista linjaa. Jos pituusleikkauksen viivat eivät kohtaa, todennäköisesti tien yksittäisessä kohdassa ei ole vain vikaa, vaan koko tielinjan korkeus on yleensä silloin virheellinen, eli kaikkien muidenkin rakennekerrosten korkeudet ovat väärin.

7.4 Rakenteiden leveys, paksuus ja kaltevuus

Samalla tavalla kuin tien pystygeometriaa verrattiin pituusleikkaukseen, voidaan mallien paalukohtaisia poikkileikkauksia verrata suunnittelijan paalukohtaisiin poikkileikkauksiin. Tällöin nähdään, ovatko mallin leveys, kerrosten paksuus ja kaltevuus jokaisen poikkileikkauksen kohdalla sama, kuin suunnittelijan tekemät poikkileikkaukset. Vertailua varten avataan 3D-Winissä kaikkien rakennekerrosten mallien paalukohtaiset poikkileikkaukset erilliseen poikkileikkaukseen. Tämä tapahtuu tekemällä tiegeometriatiedostosta mittalinja ja josta tuotetaan poikkileikkaukset 20 metrin välein, jos suunnittelijan paalukohtaiset poikkileikkaukset ovat myös 20 metrin välein. Erillisessä poikkileikkauksikunassa "sarjatulostetaan" poikkileikkaukset DWG-muotoon. Tulostuksessa pystytään asettamaan paalukohtaisten poikkileikkauksien välien etäisyys, joka asetetaan samaksi, kuin suunnittelijan paalukohtaisissa poikkileikkauksissa on etäisyys kuvien välillä. Tämän jälkeen AutoCADissa kopioidaan suunnittelijan paalukohtaisten

poikkileikkausten päälle itse tuottamat malleista generoidut poikkileikkaukset, joiden pitää asettua tasan poikkileikkausten päälle.

Näin voidaan verrata jokaisen paalukohtaisen poikkileikkauskuvan rakennekerrosten viivojen asettumista samalle kohtaan. Kun AutoCADissa kopioidaan omat poikkileikkaukset suunnittelijan kuvien päälle, ne liitetään objektina (blockina), jotta kuvia on helppo siirtää ja vertailla. Jos poikkileikkauksia on tieväylässä esimerkiksi kilometrin matka, saadaan tällä toiminolla tarkasteltua kaikki paalukohtaiset poikkileikkaukset (50 kuvaa) yhdellä kertaa. Ennen kopioimista suunnittelijan poikkileikkausten kuvien päälle, generoitujen poikkileikkausten kuvien rakennekerrosten viivojen värit pitää muuttaa eri väreille, jotta ne erottuvat kuvasta selkeästi.

7.5 Tien tasaus

Jos tieväylässä on risteyksiä, kiertoliittymiä ja varsinkin jos mallintaja on itse rakentanut tien sivukaltevuudet, on tärkeää verrata tekemänsä mallin valmista pintaa suunnittelijan tekemiin tien tasauskäyriin. Esimerkiksi risteyksen keskikohdan kaltevuudet voi olla vaikeaa tarkistaa millään muulla tavalla, kuin vertaamalla tasauskäyriin. Tämä vertailu tapahtuu tekemällä 3D-Winissä tien valmiille pinnalle (ylin pinta) korkeuskäyrät samalla korkeusjaolla kuin suunnittelijan tasauskartassa on korkeuskäyrät kuvattuna. Laittamalla suunnittelijan tasauskartan ja itse generoimat korkeuskäyrät 3D-Winissä yhtä aikaa näkyville saadaan verrattua, osuvatko korkeudet kohdalle. Tällä saadaan todettua, ovatko tien sivukaltevuudet valmiissa pinnassa oikein.

Tien pituusleikkauksen ja tasauskäyrien tarkastelutoimintojen avulla nähdään aina valmiin pinnan oikeellisuus, mutta se on suoraan verrannollinen myös alempiin kerroksiin, kuten kantavaan, jakavaan ja leikkauspohjaan. Usein kaikki alemmat kerrokset on generoitu tai kopioitu ylemmästä alaspäin, joten jos valmis pinta ei täsmää, kaikki muutkin kerrokset ovat virheelliset, varsinkin tien sivukaltevuudet.

8 Toteumamallin tarkistaminen

Mallipohjoisessa infrarakentamisessa toteutusmalli on urakoitsijan tarkastama ja hyväksymä rakennussuunnitelmamalli, jota käytetään tieväylän rakentamisessa. Toteumamalli taas kuvaa infrarakenteen sellaisena kuin se on rakennettu. Toteumamalli koostuu toteutusmallista päivittämällä toteutusmallia rakentamisvaiheessa tehdyillä toteumamittauksilla. Rakentamisen jälkeen toteumamalli lisätään tilaajalle luovutettavaan digitaaliseen luovutusaineistoon. [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 11–12.]

8.1 Toteumamittaus

YIV-vaatimukset ottavat kantaa toteumamittauksiin ja siihen, mistä mittauksia pitää ottaa. Alla on kuvattu vaatimuksissa määritellyt mallipohjaiseen tuotantoon kuuluvat mitaukset [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 10–12].

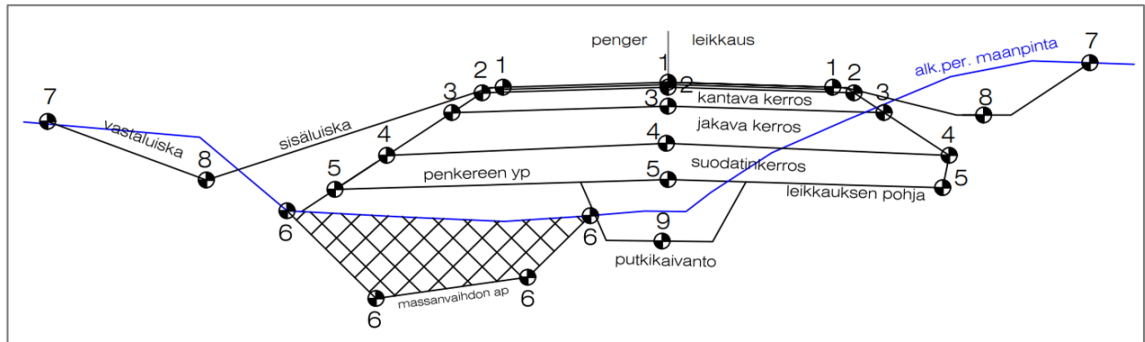
- **Toteumamittauksella** tarkoitetaan työkoneella tehtävän toteutuneen rakenteen laadunmittausta, jolla osoitetaan kelpoisuus suhteessa suunnitelmiin.
- **Tarkemittauksilla** tarkoitetaan erillisellä mittalaitteella, kuten takymetri, tuotannon rakenteen mittatarkkuuden todentavaa mittausta, jota ei voida mitata työkoneohjausjärjestelmällä.
- **Tarkastusmittauksilla** tarkoitetaan rakennusvaiheen mallipohjaiseen laadunvarmistukseen liittyviä tukiasemien ja työkoneautomaatiojärjestelmien säännöllisiä paikannustarkkuuden seurantaan liittyviä tarkastusmittauksia.
- **Kontrollimittauksella** tarkoitetaan mallipohjaisen laadunvalvonnan mittauksia, joilla todennetaan työmaaorganisaation tuottamien laadunvarmistusmittausten (tarkemittaukset ja toteumamittaukset) luotettavuutta.

Toteumamittauksia ei käsitellä tässä insinööriyössä eikä YIV-vaatimuksissa kuvattuja tarke-, tarkastus- ja kontrollimittauksia. Samoin ei myöskään käsitellä rakentamisen valmistumisen jälkeen tilaajalle luovutettavaa digitaalista luovutusaineistoa.

8.2 Mittavaatimukset

YIV-vaatimuksissa on esitetty maarakenteiden yleisiä mittavaatimuksia, joita mallipohjaisen rakentamisen laadunvalvonnassa ja toteumamittauksissa pitää noudattaa. Lisäksi

urakoitsijoilla on omia ohjeistuksia toteutamittausten suorittamiseen. GRK Infran työmaiden toteutamittausten ohjeet on esitetty kuvassa 40. Kuvan numerokoodit 1–5 on selitetty taulukossa 4, jotka perustuvat YIV-vaatimusten määrittämiseen. Ohjeen mukaan alustarakenteesta ja kerroksesta mitataan tieväylän pituussuunnassa 1 mittauspiste 20 metrin välein ja poikittaissuunnassa jokainen taite kuvan mukaisesti. Jyrkissä kaarteissa tien pituussuunnassa käytetään tiheämpää 5 metrin mittausväliä. [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 118–119.]



Kuva 40. Tieväylän toteutamittausten mittauspaikat.

Nämä toteutamittaukset voidaan tehdä koneohjausjärjestelmällä tai satelliittimittauksen kartoitussauvalla tai täkymetrillä. Muilla kuin koneohjausjärjestelmällä tehdyillä mittauksilla noudatetaan InfraRYL:n mittavaatimuksia taulukon 4 mukaisesti.

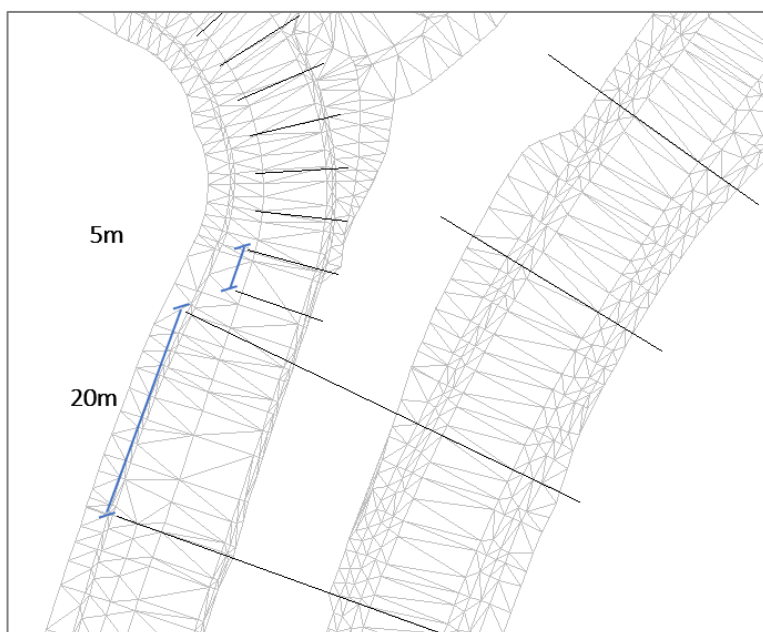
Taulukko 4. Toteutamittausten tarkkuuksia YIV-vaatimusten mukaan [Yleiset inframallivaatimukset 2019: 118–119].

Mittaustiheys 20 metrin välein väylän pituussuunnassa ja jyrkissä kaarteissa 5 metrin välein.					
Koodi	Tierakenne	InfraRYL mittavaatimukset		Työkonejärjestelmältä vaadittava tarkkuus	
		vaakatarkkuus [mm]	pystytarkkuus [mm]	vaakatarkkuus [mm]	pystytarkkuus [mm]
1	Valmis pinta yp				
2	Kantava kerros yp	-0 ... +150	+20 ... -20	+50 ... -50	+20 ... -20
3	Jakava kerros yp	-0 ... +150	+30 ... -30	+100 ... -100	+30 ... -30
4	Suodatinkerros yp	-0 ... +150	+40 ... -40	+100 ... -100	+30 ... -30
5	Väylän alapinta	-0 ... +200	+0 ... -100	+100 ... -100	+30 ... -30

Mallipohjaisen tuotannon toteumamittauksesta on olemassa koneohjausjärjestelmän valmistajalla Novatronilla ohjeita työn tekemiseen, kuten Topin [2020a] kuvaus ”Mallipohjaisen rakennustyömaan mittausohjeet”. Toppi [2020b] kuvaa dokumentissa ”Kuljettajien perehdytys mallipohjaiseen tuotantoon”, miten mittauksia työkoneella otetaan. Näiden ohjeiden ja YIV-vaatimusten sekä urakoitsijoiden työmaahjeiden, noudattamisella päästäisiin laadukkaisiin ja tasalaatuisiin toteumamittausten tuloksiin. Mallinnustyön haasteena kuitenkin on se, miten voitaisiin jo malleja tekemällä varautua toteumamittaukseen tai toteumien tarkastamiseen ja laadunvarmistukseen.

8.3 Toteumamittauksiin varautuminen mallinnuksessa ja mallien apuviivat

Jotta kaivinkoneen kuljettaja osaa varautua etukäteen ja ottaa tasavälein toteumamittauksia toteutuneista pinnoista, kuljettajalla pitää olla kuvattuna mittauskohdat. Tähän päästään rakentamalla mittauskohtien sijaintitiedostolle vektorimuotoinen taustakartta, kuten kuvassa 41 esitetään. Tieväylän paaluluvut ovat yleensä mittalinjassa 20 metrin välein, joten rakennetaan poikittaisista viivoista taustakartta, jossa on 20 metrin välein apuviivat ja tielinjan kaarissa tiheämmin 5 metrin välein. Kuljettaja voi asettaa koneohjausjärjestelmän näytöllä tämän kartan taustalle, joka helpottaa toteumamittausten mittaamista tasavälein.



Kuva 41. Mallin toteumamittausten avuksi apuviivat 20 metrin ja 5 metrin välein.

8.4 Toteumien tarkastaminen laadunvarmistuksessa

Työmaan urakoitsija mittaa itse toteumat ja myös valvoo mittausten laatua, ennen kuin luovuttaa digitaalisen luovutusaineiston tilaajalle. Tämä ei välttämättä ole hyvä tapa, koska urakoitsija tarkistaa itse rakentamansa tien eikä urakoitsijan rakentamaa tien rakenteita valvo kukaan muu kuin urakoitsija itse. Tämä toteumien mittaus on kuitenkin olennainen osa urakoitsijan tekemää sisäistä laadunvarmistusta. Toteumamittausten tulokset luovutetaan kuitenkin aina tilaajalle, jolla tilaaja pystyy kontrolloimaan rakentamisen laatua.

Samalla kun tieväylää rakennetaan, mittaavat urakoitsijan kaivinkoneiden kuljettajat koneohjauksella toteutuneen rakenteen toteumapisteitä. Koneohjausta käyttävien koneiden kuljettajat eivät ole mittaustalon asiantuntijoita, jolloin kuljettajilla ei ole osaamista tai tietämystä siitä, miten mittaukset pitäisi ottaa tai mihin mittauksia käytetään tai miten niille tehdään laaduntarkistuksia. Lisäksi koneen kuljettaja voi vahingossa mitata väärästä kohdasta. Siksi koneohjauksen kuljettajien mittaamat aineistot eivät ole laadukkaita suoraan sellaisenaan toteumamallin toteumapisteiksi. Kuljettajia kouluttamalla ja ohjeistamalla pyritään minimoimaan kaikki väärät ja turhat mittauspisteet. Kuljettajien mittaamat pisteet pitää käydä läpi mallintajan tai tietomallikoordinaattorin toimesta. Siksi tilaajan edustaja ei pitäisi suoraan vastaanottaa toteumamittausten tuloksia esimerkiksi Infrakit-pilvipalvelun avulla, jolloin tilaajan edustajalle voi näkyä virheellisiä mittaustuloksia. Infrakit on palvelu, joka mahdollistaa toteumatiedon automaattisen seuraamisen ja antaa kaikille mahdollisuuden tarkastella työmaan etenemistä ja laatua läpinäkyvästi [Infrakit tuote-esittely 2020].

Toteumamittausten tarkastaminen etenee niin, että toteumapisteiden mittauksen jälkeen työkoneen kuljettaja lataa mittaukset koneohjauspalvelimelle. Tämän jälkeen mallintaja lataa mittaukset omalle tietokoneelle ja ottaa ne 3D-Win-ohjelmassa käsittelyyn. Tässä operaatiossa mallintaja käy läpi kaikki mitatut toteumapisteet malleja vasten ja poistaa virheelliset ja kaikki muut mittaukset, jotka ovat syntyneet kuljettajalta vahingossa tai mitattu väärää kohtaa. Kun tieväylän toteumamittauksen pisteet on käyty läpi, tuotetaan niistä toteumamalli tilaajan digitaaliseen luovutusaineistoon.

9 Yhteenveto

Rakentamisessa koneohjaus on vakiintunut monille infratyömaille, jolloin tarvitaan koneohjausmallit työkoneiden käyttöön. Infrasuunnittelijoiden tekemät mallit eivät kuitenkaan sellaisenaan sovellu suoraan koneohjausjärjestelmiin, vaan mallit pitää aina tarkistaa ja teiden risteykset yhdistää yhdeksi malliksi. Monesti maanrakennusurakoitsija tai sen käyttämä mittauskonsultti joutuu rakentamaan mallit alusta asti itse tai muokkaamaan valmiita malleja. Tällöin mallintamisen osaamista pitää olla juuri näissä yrityksissä. Koneohjausaineistojen mallintaminen on kuitenkin haastavaa työtä. Vaikka henkilöllä olisi infrasuunnittelun tai mittausalan kokemusta, koulutusta tai osaamista erilaisista ohjelmista, ei se tuo osaamista mallintamiseen, vaan se opitaan kokemuksen kautta. Mallinnuksessa koetaan monia haasteita ja joudutaan pohtimaan erilaisia ratkaisuja tai vaihtoehtoja siihen, miten jokin mallin ongelmakohta toteutetaan tai mikä on olisi paras tapa rakentaa malli.

Tässä insinööriyössä tartuttiin tierakentamisen mallinnuksen haasteisiin maarakennusurakoitsijan näkökulmasta. Tarkoitus oli tuottaa kattava kuvaus mallintamiseen liittyvistä vaatimuksista, koneohjauksen perusteista ja tierakentamisen suunnitelmista, sekä mallinnusaineistoista. Työssä käsiteltiin mallintamisen haasteita ja erikoistilanteita ja miten niitä ratkotaan käytännössä. Lisäksi tutkittiin mallintamista toteutumamittausten näkökulmasta. Samoin käytiin läpi mallien laaduntarkistamista. Työn tavoitteena oli käydä mallinnusasiat perusteellisesti läpi sellaisen henkilön kannalta, jolla ei ole aikaisempaa kokemusta mallintamisesta. Käsitellyt asiat perustuvat työn tekijän omaan kokemukseen mittaus- ja mallinnustyössä havaittuihin haasteisiin.

Työssä käytiin läpi laadukkaan mallin edellytyksiä Yleisten inframallivaatimusten kannalta katsottuna. Haasteita tuottaa ratkaista yksittäisiä kohtia, joita suunnittelija ei ole selkeästi piirtänyt ja jotka pitää kokemuksen myötä ymmärtää miten ne kannattaa tehdä. Samoin käytiin läpi mallien rakentamista tieparametreilla ja kopioimalla sekä pystykuvien kääntämistä. Olennaisena asiana koettiin taiteviivojen merkitys. Jos taiteviivat on tehty alusta asti hyvin, on mallin kolmiointi helpompaa ja syntyy laadukkaita malleja. Siksi suunnittelijalta tulleiden mallien taiteviivat ovat juuri ne, joita kannattaa muokata eikä mallien valmiita kolmioverkkoja. Pystykuvien kääntämisen haasteena koettiin kuvien ymmärtämisen kolmiulotteisesti ja ymmärtää tasokuvista x-, y- ja z-koordinaattien löytäminen. Louhintamalleissa kanaalilouhintamallien tuottamisessa ovat tärkeitä alimman

vesijuoksun korkeudet, jotka joudutaan usein kirjoittamaan käsin. Mallien tekemisen haastavimpana ja työläämpiä osioita on risteysten mallintaminen. Tässäkin juuri taiteviivojen tekeminen nousee tärkeimmäksi asiaksi. Mallintajan täytyy ymmärtää tien kaltevuudet niin kuin suunnittelija on ne poikki- ja pituusleikkauksiin kuvannut.

Mallin tarkistaminen on yksi tärkeimpiä tehtäviä. Kun malli on valmis tai kun se on suunnittelijalta tullut valmiina, pitää se aina tarkistaa tiesuunnitelmia vasten. Visuaalisella tarkistuksella löydetään mallien poikkeavuuksia ja pieniä virheitä, mutta tärkein asia on tien valmiin pinnan korkeus ja kaltevuus. Nämä pystytään tarkistamaan vain vertaamalla tehtyjä malleja pituus- ja poikkileikkauksia vasten. Toteumamittauksien oikeellisuuksien tarkistaminen mittausten jälkeen on myös mallintajan työtä. Työssä todettiin, ettei näihin voida paljon varsinaisessa mallien tekemisessä vaikuttaa.

Tämän työn tekemisen aikana nousi esille monissa aiheissa aina sama asia: suunnittelijoilta ei tule tai ole saatavilla valmiita malleja suoraan koneohjaukseen. Urakoitsijan rooliksi jää aina mallien tarkistaminen ja jopa rakentaminen alusta asti, koska urakoitsija vastaa niistä ja niiden mukaan tie juuri rakennetaan. Yleiset inframallivaatimukset ovat yhtenäistäneet ja tuoneet sujuvampia ja laadukkaampia malleja. Vaatimukset ovat mallien tekemisen yleisohjeita, jotka eivät kuitenkaan ole poistaneet urakoitsijoiden työtä koneohjausmallintamisessa. Tärkeintä on Yleiset inframallivaatimusten noudattaminen juuri mallinnusaineistojen siirtämisessä suunnittelijalta urakoitsijalle, jotta kaikki puhuvat ”samaa kieltä” mallien sisällöissä. Vaikka InfraBIM-yhteisö (YIV-vaatimukset) ja Väylävirasto esittäisivät malleille vaatimuksia ja nimekkeitä, käytäntö on työmaalla toinen, vaatimukset eivät aina sujuvoita kaivinkoneen kuljettajan työtä, koska kuljettaja ei ole mallinnuksen asiantuntija. Urakoitsijan mallintajien pitää ymmärtää myös tierakentamista käytännössä. Siksi mallien tekemisessä on tärkeää tuottaa yksikertaisia malleja, joiden nimikkeitä kuljettaja ymmärtää helposti eikä tule väärinkäsityksiä.

Tämä insinööriö antoi tekijälle paljon lisää näkemystä siitä, mistä mallinnustyön opastaminen pitää aloittaa ja mitä perusasioita siinä pitää käydä läpi. Lisäksi mallinnuksen perusteorioiden ja lähdeviitteiden läpikäyminen opetti tämän työn tekijälle monia uusia asioita. Mallinnustyö tulee tulevaisuudessa yhä yleistymään enemmän maanrakennusurakoitsijoilla ja niiden käyttämällä mittauskonsulteilla, ellei rakentamisen digitaalinen kehitys tuo mitään uutta mallintamisen saralle. Siksi tässä työssä esitetyt mallinnuksen haasteet tulevat olemaan tärkeitä mallinnustyötä tekeville ja aloittaville henkilöille.

Työn sisällössä olisi voinut käsitellä enemmänkin mallinnusaineistojen tauskarttoja ja muita aineistoja, mutta ne sivuutettiin ehkä liian vähällä käsittelyllä. Samoin koneohjausaineistojen LandXML-siirtoformaatti ja eri koneohjausjärjestelmien eroavaisuudet tiedostojen käytön suhteen. Lisäksi työhön olisi voinut ottaa mukaan paljon enemmän tilaajien tarjousvaiheessa urakoitsijoiden tekemää rakentamisen maa-aineisten määrälaskentaa. Samoin tässä työssä olisi voinut enemmänkin panostaa mallinnuksen ohjelmateknisiin asioihin, koska mallintaminen on nimenomaan tietokoneohjelmalla tehtävää työtä. Työssä pidettiin tärkeimpänä juuri mallien tekemistä ja niiden haasteita, koska ne ovat maarakentamisen tärkein osuus. Tieväylä rakennetaan oikeaan korkeustasoon aina 3D-mallien avulla.

Lähteet

3D-Win. 2019. Verkkoaineisto. 3D-system Oy. <<http://www.3d-system.fi/>>. 7.2.2019. Luettu 9.12.2019.

3D-Win aloitusohje. 2019. 3D-system Oy.

3D-Win maastomalliohje. 2019. 3D-system Oy.

AutoCAD. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>>. 7.9.2019. Luettu 18.2.2020.

EPSG. 2020. Verkkoaineisto. EPSG Dataset. <<http://www.epsg.org/>>. Luettu 21.4.2020.

ETRS89-koordinaattijärjestelmä käyttöön. 2010. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/ETRS89koordinaattijarjestelma_kayttoon.pdf>. Luettu 23.2.2020.

ETRS-GKn-tasokoordinaatisto ja EPSG-koodit. 2020. Verkkoaineisto. Latuviitta.org. <http://latuviitta.org/documents/ETRS-GKn_ja_EPSG-koodit.html>. Luettu 24.2.2020.

JHS 153. 2008. JHS 153 ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. Verkkoaineisto. JHS-suositukset. <<http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs>>. Luettu 23.2.2020.

JHS 197. 2016. JHS 197 EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmät, niihin liittyvät muunnokset ja karttalehtijako. Verkkoaineisto. JHS-suositukset. <<http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs>>. Luettu 24.2.2020.

InfraBIM-nimikkeistö. 2015. Verkkoaineisto. buildingSMART Finland. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>>. Luettu 31.10.2020.

Infrakit tuote-esittely. 2020. Verkkoaineisto. <<https://infrakit.com/fi/lue-lisaa/>>. Luettu 4.3.2020.

Inframodel-tiedonsiirtoformaatti. 2020. Verkkoaineisto. buildingSMART Finland. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/inframodel/>>. Luettu 16.2.2020.

Infrarakentaminen. 2019. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus RT ry. <<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Infrarakentaminen/>>. 10.12.2019. Luettu 12.2.2020.

Infrasuunnitteluohjelmistojen koulutus. 2019. Civilpoint Oy. 15.5.2019.

Ketola, Jarkko. 2018. Koneohjauksen käyttöönotto pk-maarakennusyrityksessä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampereen teknillinen yliopisto, diplomityötietokanta.

Koneohjausjärjestelmät. 2020. Verkkoaineisto. Novatron Oy. <<https://novatron.fi/koneohjaus/>>. Luettu 17.2.2020.

Konsernitiedot. 2020. Verkkoaineisto. GRK Infra Oy. <<https://www.grk.fi/konserni/>>. Luettu 11.2.2020.

Kylmälä Annukka. 2015. Verkkoaineisto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä: Tietomallien hyödyntäminen tienyleissuunnittelussa. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/paattotyot>>. Luettu 31.10.2020.

Ladattavat materiaalit. 2020. Novatron Oy. <<https://novatron.fi/tiedostot/>>. Luettu 18.2.2020.

Laulainen, Ville-Veikko. 2020. Puhelinhaastattelu 20.3.2020.

Laulainen, Ville-Veikko. 2015. Tietomallikoordinaattorin tehtävät 3D-koneohjatulla infra-työmaalla. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Leica Mallinnusohje MC1 Excavator. 2019. Leica Geosystems Oy.

Leppänen, Samu & Niskala, Samuli. 2016. Koneohjausmallin tuottamisen perusohje. Insinööriyö. Lapin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Lönnberg, Krister. 2018. Esitys koneohjauksesta. 25.9.2018. GRK Infra Oy.

Mallintaminen. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Mallintaminen>>. Luettu 9.12.2019.

Metsälä, Mirja. 2020. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Paikkatietotekniikan luentomateriaalit ja omat muistiinpanot luennolta.

Mikä on tietomalli. 2019. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli->>. 20.06.2019. Luettu 12.2.2020.

Mitä on koneohjaus. 2020. Verkkoaineisto. Novatron Oy. <<https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>>. Luettu 17.2.2020.

Niskanen, Jari. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015, osa 1: Tietomallipohjainen hanke. Verkkoaineisto. buildingSMART Finland. <https://buildingsmart.fi/infra-bim/yiv_2015/> Luettu 31.10.2020.

Niskanen, Matias. 2017. Koneohjauksen perusteet ja koneohjausmallin luominen. Insinööriyö. Savonia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Oksanen, Juha. 2020. Korkeusmallit. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit>>. Luettu 27.2.2020.

Palviainen; Kuusela; Hokkanen; Vesanen. 2019. Mallinnusohje 3D-Win - Xsite Pro v1.22. Verkkoaineisto. Novatron Oy. <<https://novatron.fi/tiedostot/>>. Luettu 19.2.2020.

Palviainen, Petteri 2017. Mallipohjainen tuotanto. Verkkoaineisto. Novatron Oy. <<https://novatron.fi/tiedostot/>>. 31.1.2017.

Partonen, Ilkka. 2020. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Käytännön mittaus ja kartoitustekniikan luentomonisteet ja omat muistiinpanot luennolta.

Rakennusosa- ja hankenimikkeistö, määrämittausohje. 2015. Infra nimikkeistö. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustietokauppa. 2020. Verkkoaineisto. Rakennustietokauppa. <<https://www.rakennustietokauppa.fi/>>. 17.2.2019. Luettu 17.2.2020.

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset RYL. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/RYL>>. 7.2.2019. Luettu 16.2.2020.

Tappola, Mikko. 2016. Koneohjauksen käyttäminen laadunosoitukseen. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. 2017. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/tietomalli-ohjeistus>>. Luettu 31.10.2020.

Tietomallikoordinaattori, infra. 2020. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://www.metropolia.fi/fi/opiskelu-metropoliassa/osaamisen-taydentaminen/taydenkoulutus/tietomallikoordinaattori-infra>>. Luettu 31.1.2020.

Toppi, Pasi. 2020a. Mallipohjaisen rakennustyömaan mittausohje. Verkkoaineisto. Novatron Oy. <<https://novatron.fi/tiedostot/mallipohjaisen-rakennustyomaan-mittausohje/>>. Luettu 4.3.2020.

Toppi, Pasi. 2020b. Kuljettajien perehdytys mallipohjaiseen tuotantoon. Verkkoaineisto. Novatron Oy. <<https://novatron.fi/tiedostot/kuljettajien-perehdytys-mallipohjaiseen-tuotantoon/>>. Luettu 4.3.2020.

Toivonen, Tuomas & Ylikoski, Juho. 2013. Verkko-RTK-mittaus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Trimble Business Center. 2020. Verkkoaineisto. CivilPoint Oy. <<https://civilpoint.fi/ohjelmistot/trimble/business-center/>>. Luettu 21.2.2020.

Trimnet MC Infra VRS. 2020. Verkkoaineisto. GEOTRIM Oy. <<https://geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs/trimnet-mc-infra-vrs/>>. Luettu 22.2.2020.

Uusi-Kouvo, Timo. 2018. Koneohjauksen käyttö ja haasteet työmaalla ja suunnittelussa. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Väylävirasto. 2020. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/>>. Luettu 12.2.2020.

Väylävirasto. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Väylävirasto>>. 21.10.2019. Luettu 12.2.2020.

Yleiset inframallivaatimukset. 2019. Verkkoaineisto. buildingSMART Finland. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>>. 2.5.2019. Luettu 31.10.2020.

Yleistä paikannuspalveluista. 2020. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/paikannuspalvelu>>. Luettu 9.4.2020.

Ylioja, Mikko. 2019. Koneohjausmallien tuottaminen Novapoint-ohjelmiston väylämallista. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.