



Ville Laakkonen

Maastomallimittausten tarkastaminen Ramboll Finland Oy:ssä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

22.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Ville Laakkonen
Otsikko:	Maastomallimittausten tarkastaminen Ramboll Finland Oy:ssä
Sivumäärä:	42 sivua + 2 liitettä
Aika:	22.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Maanmittaustekniikka
Ohjaajat:	Ryhmänjohtaja Lauri Turunen Lehtori Matias Ingman

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli maastomallimittausten tarkistusohjeen ja maastomallimittausten tarkastuslomakkeen laadinta Ramboll Finland Oy:lle. Ohjeen ja tarkastuslomakkeen tarkoituksena oli parantaa maastomallimittausten laatua ja sisäistä laadunvalvontaa sekä yhdenmukaistaa mittausaineistoja. Työssä keskityttiin infrapuolelle sijoittuvien ja takymetrillä mitattujen maastomallimittausaineistoiden tarkistamiseen.

Työssä käytiin läpi maastomallimittausprosessi ja toimintatavat. Lisäksi selvitettiin yleisesti käytössä olevat infrapuolen mittausten toimintatavat, virherajat ja laatuvaatimukset. Pääsääntöisenä oppaana käytettiin Väyläviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohjetta, joka on yleisesti käytössä infrapuolen mittauksissa. Mittauksissa esiintyvien virheiden laatua arvioitiin Ramboll Finland Oy:ssä vuosien 2021–2023 välisenä aikana suoritetuista maastomallimittauksista. Mittausten virheet koostuivat pääsääntöisesti virheistä, joita on vaikea havainnoida aineistosta visuaalisella tarkistuksella, minkä vuoksi ohjelmistojen avulla suoritettavat tarkistukset koettiin tarpeelliseksi.

Mittaustiedoston tarkistaminen tehtiin 3D-Win-ohjelmalla, jolla suoritettiin erilaisia tarkistuksia mitatuista pisteistä ja taiteviivoista. Tarkistukset jaoteltiin visuaalisesti suoritettaviin ja ohjelmistoilla tehtäviin tarkistuksiin, minkä jälkeen aineistosta pystyttiin korjaamaan virheet ja suorittamaan aineiston kolmiointi. Läpikäynnin jälkeen mittausaineiston tulisi olla topologisesti eheä ja vastata Väyläviraston mittausohjeen vaatimuksia.

Lopullisena tuotoksena insinööriyössä oli Ramboll Finland Oy:lle maastomallimittausten tarkistusohje, jonka lisäksi laadittiin maastomallimittausten tarkastuslomake sisäistä laadunvalvontaa varten. Ohjeen ja lomakkeen toimivuus testattiin ja ne todettiin toimiviksi. Työssä ei tarkkailtu ohjeen tai tarkastuslomakkeen käytön vaikutuksia maastomallimittaus aineistojen laatuun.

Avainsanat: maastomalli, 3D-Win, mittausohje

Abstract

Author: Ville Laakkonen
Title: Inspection Terrain Model Measurements in Ramboll Finland Oy
Number of Pages: 42 pages + 2 appendices
Date: 22 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Land Surveying
Supervisors: Lauri Turunen, Team Leader
Matias Ingman, Senior Lecturer

The purpose of this bachelor's thesis was to produce an inspection guide for terrain model measurements and a document for internal quality control. The main goals were to improve the quality of the company's terrain model measurement, and homogenize the data. The instruction guide was to be based on infrastructure measurements performed with a total station.

To improve quality, the prevailing quality requirements and accuracy requirements in the field were defined. In addition, common errors in the company's terrain model measurements were investigated. The errors in the measurements mainly consisted of errors that were difficult to observe with a visual check. Based on the quality of the errors, a guide was created for the inspection of terrain models with software. The software was used to review measured points, lines, and triangulation of the model.

The final year project resulted in the guide for the inspection of terrain model measurements and the document for internal quality control. The guide helps the company to produce high quality and homogeneous measurement data by improving the possibility of an individual measurer to inspect terrain model measurements. The internal quality control document is used to prove the quality of the measurements to the subscriber.

Keywords: terrain model, 3D-Win, measurement instruction

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Maastomalli	3
2.1	Prosessin kulku ja aloitus	5
2.2	Maastomallimittaukset	6
2.2.1	Fotogrammetrinen mittaus	6
2.2.2	Laserkeilainmittaukset	8
2.2.3	Takymetrimittaus	9
2.2.4	Mittausaineistojen käsittely	12
2.3	Lopullinen raportointi ja aineiston käyttökohteet	13
3	Maastomallin mittausohje	14
3.1	Maastomallin koodausohje	14
3.2	Maastomallikohteiden mittaustapaohje	15
3.3	Maastomallimittauksen laatuvaatimukset ja virherajat	18
3.4	Laadunvarmistus maastomallimittauksissa	19
4	Tarkistusohjeen tarpeen kartoitus	20
4.1	Tarkistusohjeen tarpeellisuus ja laatiminen	20
4.2	Mittauksissa esiintyneiden virheiden tarkastelu	20
4.3	Tarkistuksen ohjelmistot	21
5	Maastomallimittausten tarkistusohje	22
5.1	Ohjeen toteutus	22
5.2	Ohjeen tarkistusten sisältö	22
5.2.1	Visuaalinen tarkistus	22
5.2.2	Tiedoston tarkistus	24
5.2.3	Tiedoston korjaaminen	26
5.2.4	Kolmiointi	30
5.3	Ohjeen toimivuuden tarkastaminen	32
6	Maastomallimittausten tarkastuslomake	34
6.1	Lomakkeen tarpeellisuuden selvitys	34

6.2	Lomakkeen sisältö ja laatiminen	34
6.3	Lomakkeen toimivuuden tarkastus	36
7	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1: Maastomallimittausten tarkistusohje	
	Liite 2: Maastomallimittausten tarkastuslomake	

Lyhenteet

- 3D-Win: Kotimainen Novatron Oy:n omistama ohjelmisto, jolla voidaan käsitellä mittauksia, suorittaa tarkistuksia ja geodeettisia laskentoja.
- Excel: Microsoft Officeen kuuluva taulukkolaskentaohjelma, jonka toiminta perustuu solujen käyttöön.
- GNSS: *Global Navigation Satellite System*. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä, johon kuuluu useita eri satelliittikonstellaatioita.
- Notepad: Microsoft Windowsin yksinkertainen tekstinkäsittely ohjelmisto.
- PDF: *Portable Document Format*. Pääasiallisesti sähköiseen julkaisemiseen, tulostamiseen ja painamiseen tarkoitettu siirrettävä tiedostomuoto, joka on ohjelmistoriippumaton.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on laatia Ramboll Finland Oy:lle maastomallimitausten tarkistamisen ohje ja maastomallimitausten tarkastuslomake. Ohjeen tarkoituksena on parantaa mittauksia suorittavan henkilön valmiutta mittausaineistojen itsenäiseen tarkistamiseen, mikä johtaa maastomalliaineistojen tasa-laatuisuuteen ja yhdenmukaistaa aineistoja. Mahdollisimman aikaisessa vaiheessa mittauksien jälkeen havaitut virheet ovat helpommin korjattavissa, mikä helpottaa mittauksista vastuussa olevien esihenkilöiden työtä. Tarkastuslomake pohjautuu tarkistusohjeen vaiheisiin, ja sitä voidaan käyttää tarkistuksen aikana tehtyjen vaiheiden tallentamiseen. Tarkastuslomake toimii sisäisen laadunvalvonnan dokumenttina ja sen avulla pystytään toteamaan tilaajalle mittausaineistojen laadunvarmistustoimenpiteet suoritetuiksi.

Insinööriyö pohjautuu takymetrimittauksilla suoritettavien maastomallimitausaineistojen käsittelyyn, jossa ohjeistuksena toimii infra-alalla yleisesti käytettävä Väyläviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohje. Väyläviraston ohje määrittelee laatu- ja tarkkuusvaatimukset maastomallimitauksille sekä mittauksien tarkastamiselle. Insinööriyössä käsitellään Väyläviraston ohje perusteellisesti maastomallimitausten vaatimusten osalta. Maastomallin tuotantoprosessi käydään läpi yleisellä tasolla, mikä kattaa prosessin kulun lisäksi mittauksissa käytettävät laitteiston, mittauksen periaatteen sekä mallin tuottamisen.

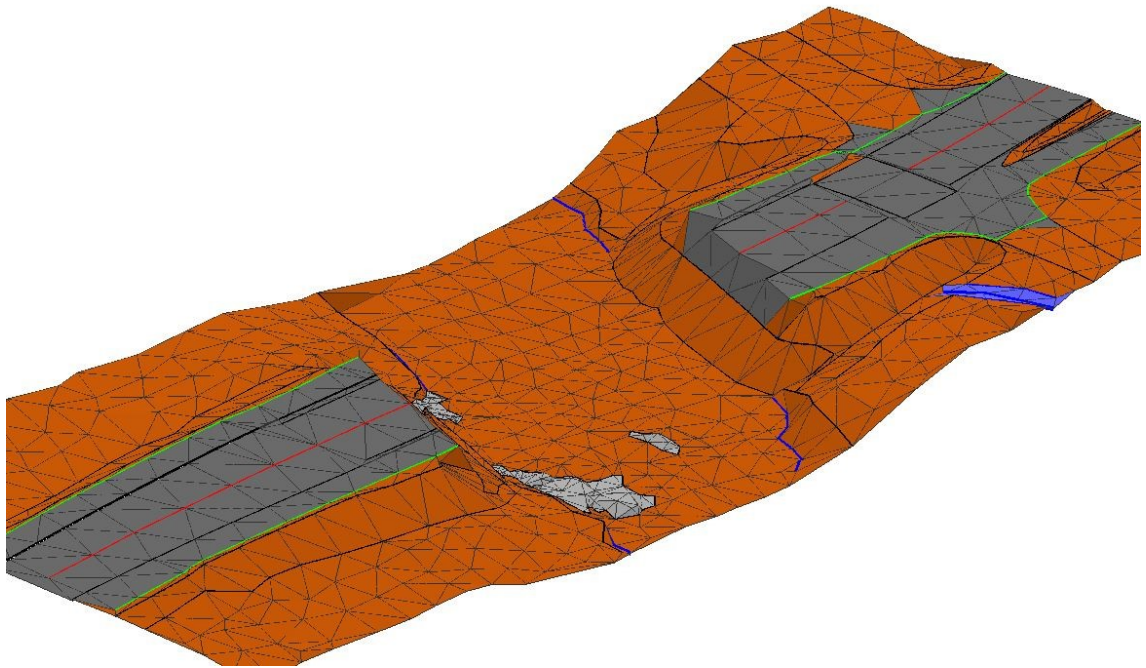
Työssä kartoitetaan mittauksissa yleisimmin esiintyviä virheitä maastomallimitauksista, joita on mitattu Ramboll Finland Oy:ssä vuosien 2021–2023 välisenä aikana. Virheiden laatu toimii pohjana tarkistukselle ja virheiden laadun perusteella painotetaan olennaisia asioita maastomallimitausten tarkistamisen ohjeessa. Mittausaineistojen tarkistamisessa käytetään 3D-Win-ohjelmistoa, joka on yrityksessä yleisesti käytössä mitausten käsittely työkaluna.

Lopuksi käsitellään maastomallimitausten tarkistusohjetta (liite 1) ja tarkastuslomaketta (liite 2), joiden laatiminen oli insinööriyön varsinainen tarkoitus.

Ohjeesta ja lomakkeesta esitetään valmistusvaiheita, sisältöä ja toimivuuden tarkastusta.

2 Maastomalli

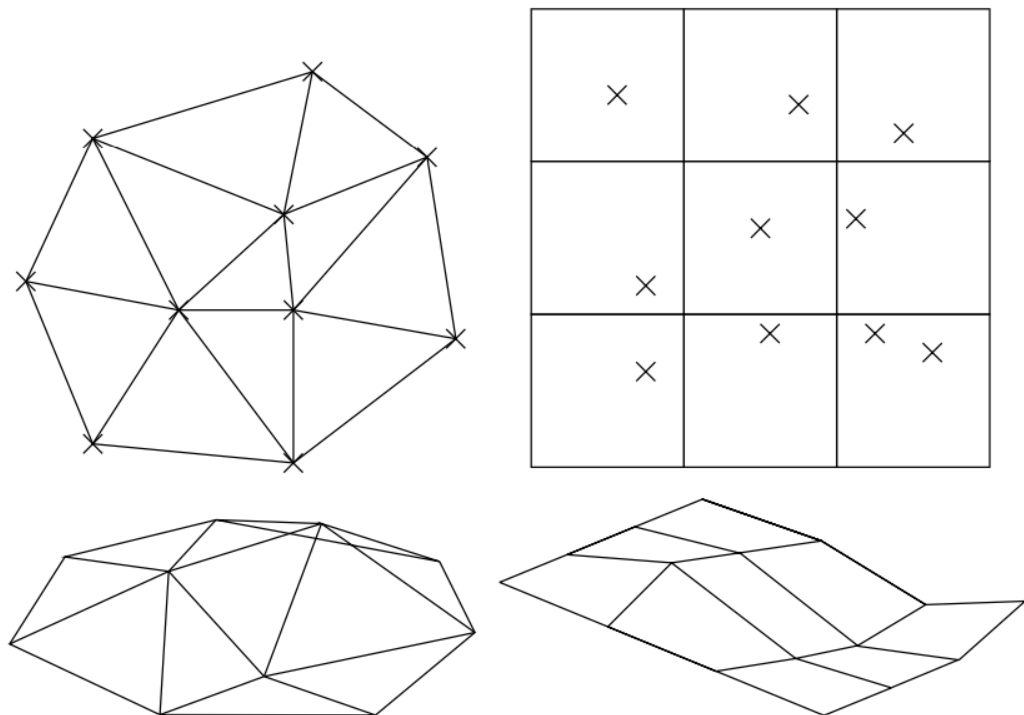
Maastomallit tuotetaan kokonaan yhden mittausmenetelmän aineistosta tai yhdistelemällä useammilla mittausmenetelmillä mitattuja ja kerättyjä aineistoja. Mittausaineistot editoidaan vastaamaan mahdollisimman hyvin todellista maastoa, mikä tapahtuu pääasiallisesti taiteviivojen yhdistämisellä ja käsittelyllä. Editoinnin yhteydessä toteutetaan aineiston laaduntarkkailua. [1, s. 19; 2, s. 24–28.] Lopullinen maastomalli on pisteistä, taiteviivoista sekä niihin liittyvistä ominaisuustiedoista koostuva digitaalinen aineisto, josta on mallinnettu maanpinnan korkeutta jatkuvana pintana kuvaava malli (kuva 1). Maanpinnan lisäksi maastomalli voi sisältää myös maalajipintoja, maanpäällisiä ja maanalaisia kohteita. [2, s. 9; 3, s. 265.]



Kuva 1. Maanpintaa kuvaava maastomalli, jossa eroteltu eri maalajipintoja.

Maastomalleja voidaan esittää pistehilana tai kolmiointina (kuva 2). Pistehila muodossa hilat ovat säännöllisen muotoisia ja kokoisia. Pistehiloissa maanpinnan korkeudet interpoloidaan verkon solmupisteisiin, mikä toteutetaan solmupisteiden läheltä valikoitujen mitattujen pisteiden avulla. Lähipisteiden

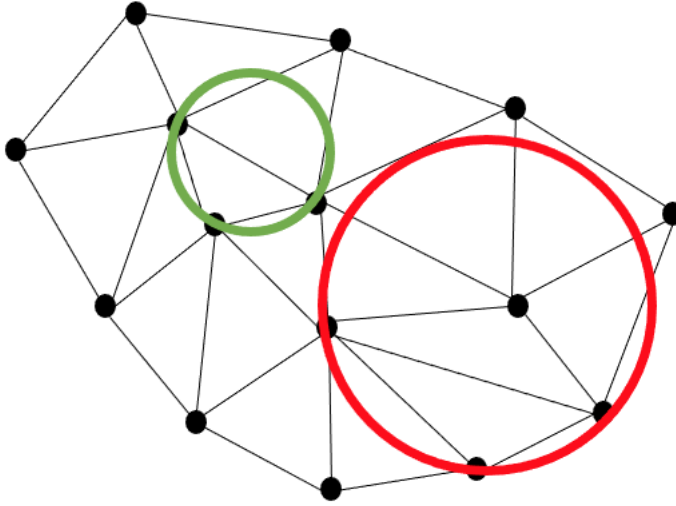
valintakriteereinä voidaan käyttää esimerkiksi lähimpien pisteiden lukumäärää tai alueellista rajausta solmupisteen läheltä. Kuvioina hiloissa voidaan käyttää kolmioita, neliöitä, nelikulmioita tai monimutkaisempia kuvioita, kuten kahdeksankulmiota. Hilakuvioinnilla saadaan käsiteltyä laajoja aineistoja helposti. Hilakuvioinnin ongelmana on vaikeiden maaston muotojen kuvautuminen, jota esiintyy etenkin teräväreunaisissa kohteissa. Kolmioinnissa pisteet kytketään yhteen väliviivojen avulla muodostaen kolmiointipeitteen. Kolmioinnin etuna on mallin tuottaminen pienemmällä tai vaihtelevalla pistemäärällä, mikä onnistuu kolmioiden koon muutoksella alueilla, joissa pistetiheys on tiheämpi tai harvempi. [4, s. 248–249; 5, s. 88–91.]



Kuva 2. Kuvassa vasemmalla esitetty kolmioitu maastomalli ja oikealla neliön muotoinen pistehilamaastomalli [4, s. 248].

Yksi tunnetuimmista kolmiointitavoista on Delaunay-kolmiointi. Delaunay-kolmioinnissa kolmioiden kärkien kautta piirretyssä ympyrässä ei saa esiintyä muita pisteitä. Tällä tavoin kolmioitaessa maksimoidaan kolmioiden pienimmät kulmat ja tuotokseksi saadaan mahdollisimman tasasivuinen kolmioverkko. Kuvassa 3

on vihreällä ympyrällä kuvattu Delaunay-kolmioinnin kriteerit täyttävä kolmiointi ja punaisella ympyrällä kolmio, joka ei täytä kolmioinnin kriteerejä. [6, s. 9–10.]



Kuva 3. Kuvassa oleva kolmiointi, jonka kärkien kautta vihreä ympyrä kulkee, on Delaunay-kolmiointi. Kolmioinnin kärkien kautta kulkeva punainen ympyrä sisältää muita kolmiointipisteitä, jolloin kolmiointi ei täytä Delaunay-kolmioinnin kriteerejä.

2.1 Prosessin kulku ja aloitus

Maastomalliprosessi voidaan jakaa neljään osaan, jotka koostuvat mittaus suunnitelman laadinnasta, mittauksien suorittamisesta, maastomallin tuottamisesta ja editoinnista sekä loppuaineiston tuottamisesta dokumentteineen. Tuotannon ensimmäinen vaihe alkaa mittaus suunnitelman laatimisesta. Suunnitelma pitää sisällään mittauksen suorittamista varten vaadittavat tekijät, jotka ovat mittausalue, mittausmenetelmät, mittauskalusto ja käytettävä ohjelmisto. Lisäksi

mittaussuunnitelmassa on esitettävä työhön osallistuvat henkilöt ja ajankohta sekä työnaikaiset laadunvarmistustoimenpiteet. [1, s. 18; 2, s. 21.]

2.2 Maastomallimittaukset

Maastomalleja varten tarvittava mittausaineisto voidaan tuottaa usealla eri menetelmällä. Mittauksissa käytettävä laitteisto määritellään hanketta varten tehdyssä mittaussuunnitelmassa, jossa mitattavien alueiden laajuus, kohteet ja tarkkuus määrittelevät tarvittavat menetelmät. Laajempien mitattavien alueiden mittauksiin voidaan käyttää ilmakuvia tai laserkeilaimia, joita sijoittamalla ilmaaluksiin tai ajoneuvoihin voidaan nopeuttaa mittauksien suorittamista. [1, s. 18; 2, s. 21–23; 7, s. 252–253.]

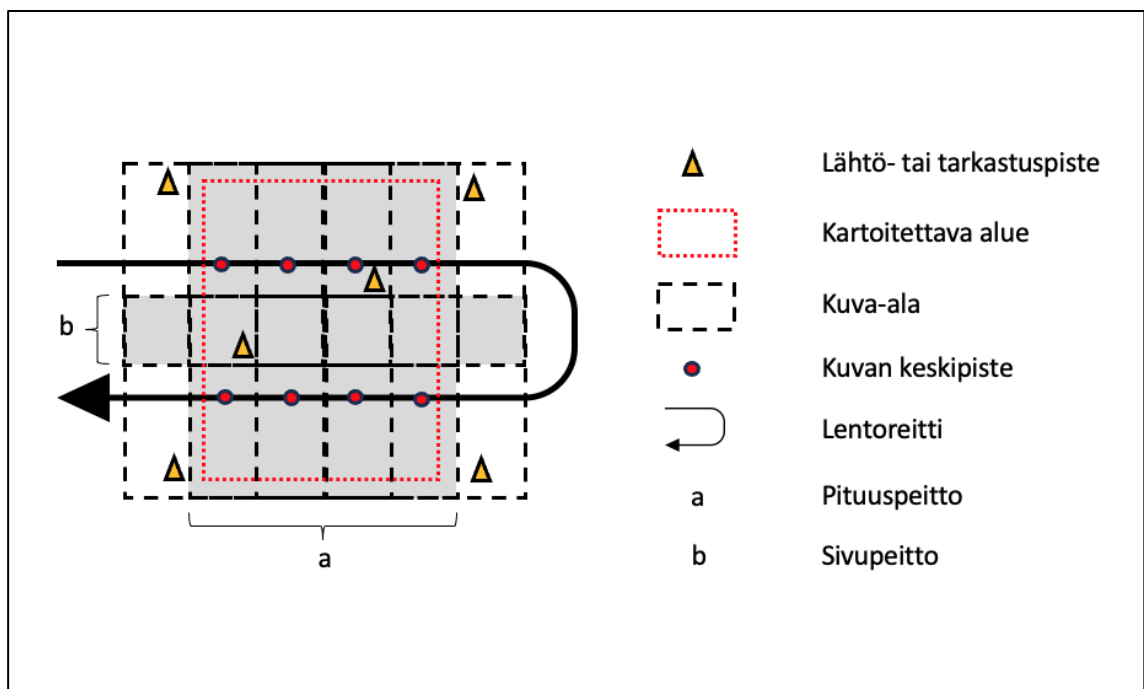
Takymetrillä suoritettavat mittaukset koostuvat usein laserkeilauksien täydennysmittauksista. Näihin kohteisiin lukeutuvat muun muassa siltarakenteet, kaivot, rummut ja johtopylväät, joita on laserkeilaamalla hankala mitata tai vaativat tarkempaa mittausta. Reaaliaikainen GNSS-satelliittimittaus soveltuu myös laserkeilauksen täydennysmittauksiin, mikäli mitattavan kohteen korkeus ei vaadi erityistä tarkkuutta tai kohde kuuluu kartoitettavaan kohteisiin. Takymetrillä voidaan mitata kaikki maastomalliin vaadittavat kohteet, mikä mahdollistaa kokonaisten maastomallien tuottamisen takymetrimittauksilla. [1, s. 18; 2, s. 21–25; 7, s. 255.]

2.2.1 Fotogrammetrinen mittaus

Fotogrammetrisella kartoitusmittauksella tuotetaan maastomalliaineistoa ilmakuvien avulla. Ilmakuvaukset voidaan suorittaa laajempien alueiden osalta lentokoneella ja pienemmiltä alueilta miehittämättömillä ilma-aluksilla. Tarkkuutta vaativissa kartoitusmittauksissa käytetään matalampaa kuvausetäisyyttä maanpinnasta, jolloin kohteiden sijainnit voidaan määrittää tarkemmin. Tarvittavat lentoreitit suunnitellaan kartoitettavan kohteen ominaisuuksien mukaan. Ilmakuvien tuottamisessa ongelmana ovat kasvillisuuden ja rakenteiden aiheuttamat

katveet sekä pilviset tai sateiset sääolosuhteet, jotka estävät näkyvyyden. [7, s. 252–254; 8, s. 279–284.]

Ilmakuvausprosessi aloitetaan lähtö- ja tarkastuspisteiden mittaamisella tai käyttämällä olemassa olevia kiintopisteitä, jotka signaloidaan esimerkiksi maalamalla kohteen päälle risti tai käyttämällä signaalikangasta. Signaloinnin jälkeen voidaan suorittaa ilmakuvaus. Lento suoritetaan ennalta suunnitellun reitin mukaisesti, jossa kuvaus toteutetaan vähintään 60 prosentin pituuspeitolla ja 30 prosentin sivuttaispeitolla. Automatisoiduissa mittausprosesseissa käytetään suurempia kuvien peittoalueita. Kuvassa 4 on esimerkki lentoreitistä ja ilmakuvausvauksista. [5, s. 72–77; 8, s. 280, s. 285–293.]



Kuva 4. Ilmakuvausvauksen esimerkki kuva, jossa esitetty kartoitettavan alueen ylikulkevat lentoreitit ja kuvauspaikat sekä kuvien pituus- ja sivupeitot.

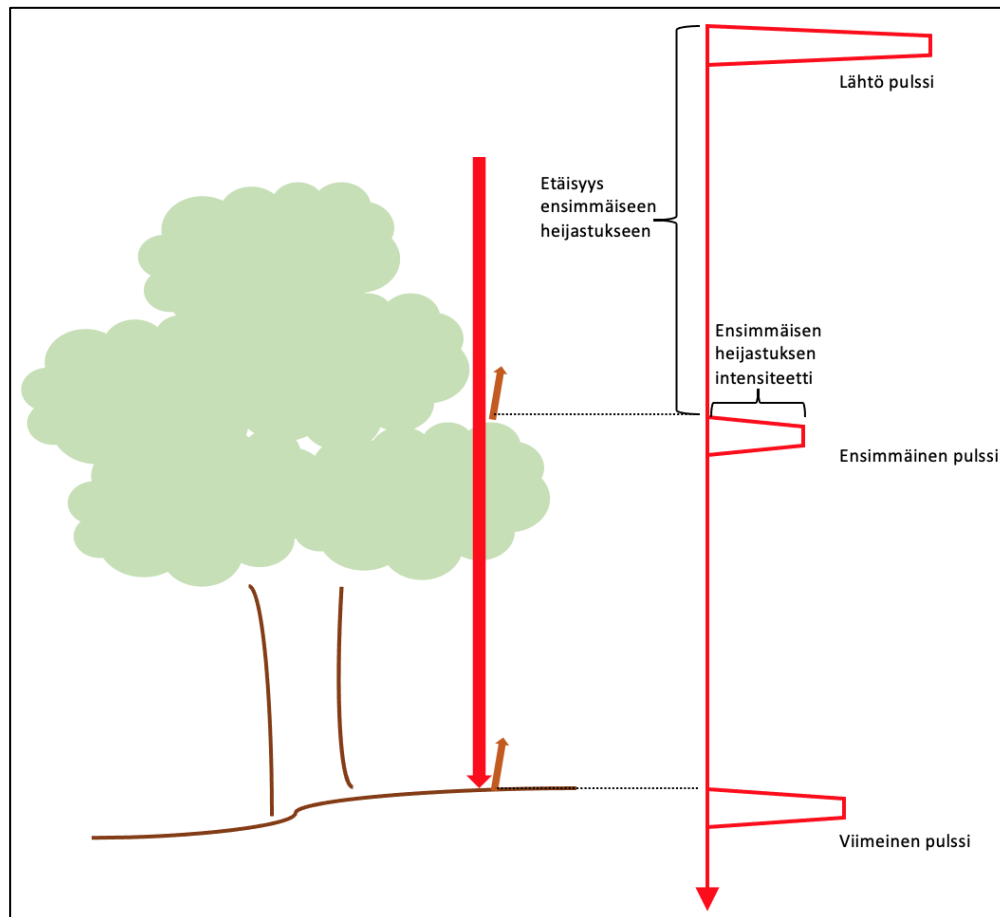
Varsinainen kartoitustekniikka perustuu kahden kuvan väliseen stereonäkymään, jonka avulla voidaan määrittää kuvassa näkyvien kohteiden sijainteja ja korkeuksia. Ennen kartoitusta kuvista on huomioitava sisäinen, keskinäinen ja absoluuttinen orientointi. Sisäisessä orientoinnissa korjataan kameran ja objektiivien virheet, jotka esiintyvät yksittäisessä kuvassa. Keskinäisessä

orientoinnissa muodostetaan stereomalli vähintään viiden vastinkuvapisteen mittauksella ja absoluuttisessa orientoinnissa liitetään kuvaparit kohdekoordinaatistoon. Kokonaiset kuvablokit orientoidaan pistetihennyksillä, jotka tuotetaan automaattisilla kuvamittausprosesseilla. Prosessin avulla saadaan kuvat sisäisesti ja ulkoisesti orientoitua. Automaattiset kuvamittaukset tuottavat suuren määrän kolmiointipisteitä laskentaa varten, jonka avulla saadaan tuotettua pistepilviä. Kuvien avulla tuotetuista pistepilvistä pystytään kartoittamaan maaston kohteita. [5, s. 77–80; 8, s. 280–284, s. 298–301, s. 307–309.]

2.2.2 Laserkeilainmittaukset

Ilmakuvauksen ohella laserkeilauksella voidaan mitata laajoja alueita nopeasti. Laserkeilaimet tuottavat mitattavasta alueesta pistepilven. Laajojen alueiden mittaamisessa laserkeilaimia käytetään ilma-aluksissa tai ajoneuvoissa. Maalaserkeilaimilla voidaan mitata alueet, joihin ilmasta käsin tai ajoneuvolla ei päästä. Maastomallimittauksissa on yleensä tarve tiheämpään pisteverkkoon, joka erottelee maaston kohteet tarkemmin. Tiheämpää pisteverkkoa pystytään toteuttamaan käyttämällä lyhyempää mittausetäisyyttä. [3, s. 269–271; 5, s. 80–81; 9, s. 34–39.]

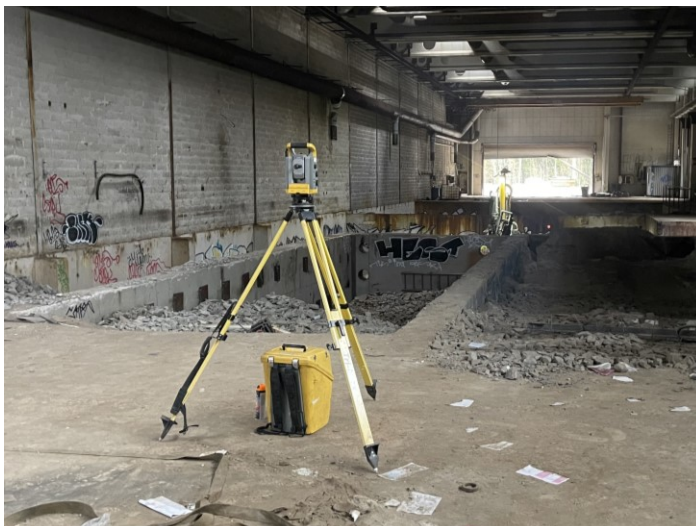
Laserkeilaintekniikka perustuu lähetettyyn laserpulssiin, joka osuessaan kohteeseen heijastuu takaisin päin. Heijastunut pulssi luetaan keilaimella, joka laskee kuluneen ajan perusteella kohteen etäisyyden. Etäisyyden mittauksen avulla pystytään ratkaisemaan mitatun pisteen koordinaatit, mikäli keilaimen paikka ja asento tunnetaan. Yksittäisestä pulssista pystytään mittaamaan useampia heijastuksia. Välissä tulevat heijastukset johtuvat yleensä kasvillisuudesta ja pulssin viimeinen heijastus tulee maanpinnasta. Mitattavia kohteita voidaan määritellä myös heijastuksen voimakkuuden eli intensiteetin mittauksella. Ilmakuvaukseen verrattuna laserkeilaus ei ole riippuvainen säätilasta, vuorokauden ajasta tai kasvillisuudesta. Kasvillisuuden määrä vaikuttaa keilauksen tarkkuuteen, jolloin tiheämmässä kasvillisuudessa keilauksen tarkkuus laskee. Kuvassa 5 on esitetty keilauspulssin kulku ja heijastukset. [3, s. 269–270, s. 273; 9, s. 28–29, s. 35.]



Kuva 5. Havainnekuva laserkeilaimen pulssin etenemisestä ja takaisinheijastuksista.

2.2.3 Takymetrimittaus

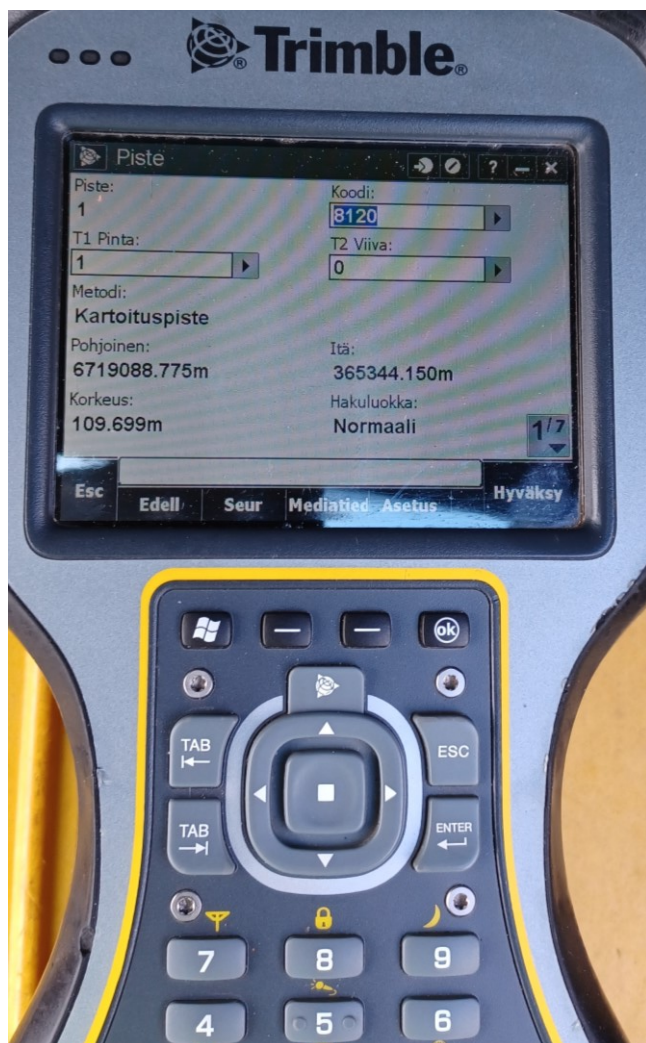
Takymetrimittaukset perustuvat suuntien eli pysty- ja vaakakulmien sekä etäisyyksien mittaamiseen. Ennen mittauksen aloittamista takymetri on asennettava ja tasattava kolmijalalle. Tasaaminen tapahtuu kolmijalan ja takymetrin välissä olevan tasausalustan sekä takymetrin sisäisen elektronisen tasaimen avulla. Tasausalustan rasiatasaimella suoritetaan karkeatasaus ja kojeen elektronisen tasaimen avulla tarkempi tasaaminen. Kuvassa 6 on takymetri tasattuna kolmijalan päälle. [3, s. 16–21, s. 252–256; 7, s. 28–33.]



Kuva 6. Takymetri työmaalla tasattuna kolmijalanpäälle.

Takymetri on mittausslaite, joka ei automaattisesti tiedä sijaintiaan tai korkeustasoaan. Sijainnin ja korkeustason määrittely tapahtuu orientoinnilla tunnetulle pisteelle tai vapaalle asemapisteele. Orientoinnin apuna käytetään vähintään kahta tunnettua lähtöpistettä. Tunnetulle asemapisteele orientoinnissa takymetri tasataan toisen lähtöpisteen päälle, jonka jälkeen mitataan liitossuunta vähintään yhdeltä lähtöpisteeltä. Vapaan asemapisteen orientoinnissa sijoitetaan takymetri haluttuun paikkaan, jonka jälkeen mitataan liitossuunnat vähintään kahdelta lähtöpisteeltä. Orientoinnin jälkeen takymetrillä voidaan suorittaa maastomallimittauksia. [3, s. 257–260; 7, s. 154–157.]

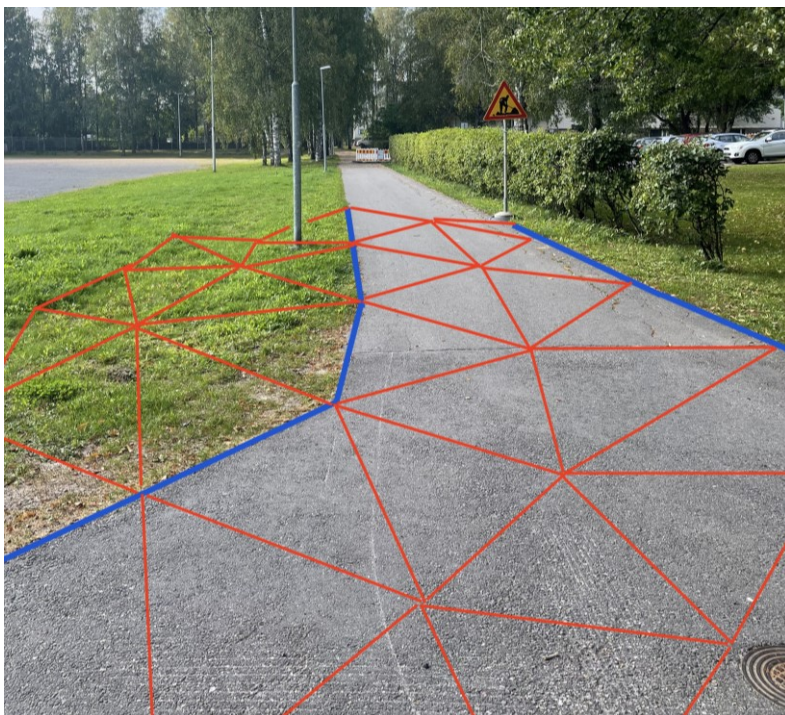
Maastomalliin mitattavien kohteiden mittaaminen tapahtuu pääasiallisesti kartoitussauvalla, jonka päähän on kiinnitetty prisma. Takymetri mittaa kulmahavainnot ja etäisyyden prismaan, jolloin kohteen sijainti ja korkeus tiedetään. Mittauksien tallentamisen apuna käytetään maastotallenninta, jolla voidaan tallentaa mitatut kohteet ja määrittellä niille tarkempi koodaus. Mittauksien tallentamisen lisäksi maastotallennin (kuva 7) toimii myös takymetrin ohjauksen välineenä. [3, s. 243–246; 7, s. 160–161.]



Kuva 7. Näkymä maastotallentimen näytöstä, jossa on tietoa mitatusta pisteestä.

Maastomallimittauksissa mitataan maaston ominaisuuksien ja pinnanmuotojen muutoksia. Mitattavat pisteiden paikat sijoittuvat epäsäännöllisesti maaston pinnanmuotojen mukaan, jolloin vaihtelevassa maastossa pistetiheys on suurempi kuin tasaisessa maastossa. Mittauksessa tallennetaan kohteiden tasokoordinaatteja, korkeuksia sekä ominaistietoja. Kohteiden ominaisuuksien tai pinnanmuotojen mukaan, voidaan kohteet mitata taiteviivoina tai pistemäisinä kohteina. Taiteviivoilla kuvataan jyrkät pinnanmuutokset, kuten ojanreunan ja ojanpohjan väliset kaltevuuden muutokset tai maaston ominaisuuden muutokset, kuten kuvassa 8 esitetty asfaltin ja nurmialueen raja. Taiteviivat parantavat

mittauksen tarkkuutta ja luotettavuutta, koska kolmioiden kannat sijoittuvat aina taiteviivoille kolmioinnissa. [3, s. 265–267; 7, s. 256–261.]



Kuva 8. Sinisellä taiteviivalla mitattu päällysteen ja nurmialueen välinen maaston ominaisuuden muutos. Punaiset viivat kuvastavat kolmioverkkoa, jossa kolmioiden kannat sijoittuvat aina taiteviivoille.

2.2.4 Mittausaineistojen käsittely

Takymetrillä suoritettavissa maastomallimittauksista mitataan vain mallinkannalta tarpeelliset kohteet, jotka koodataan mittausvaiheessa kohteen mukaisesti. Tuloksena saadaan hyvin valmista aineistoa maastomallin tuottamiseen, jolloin mittauksien käsittely on nopeaa. Käsittelyssä yhdistetään taiteviivoja, jotta maanpinnan kohteet kuvautuvat oikein, sekä poistetaan tai korjataan virheellisesti koodattuja tai mitattuja kohteita. [2, s. 29.]

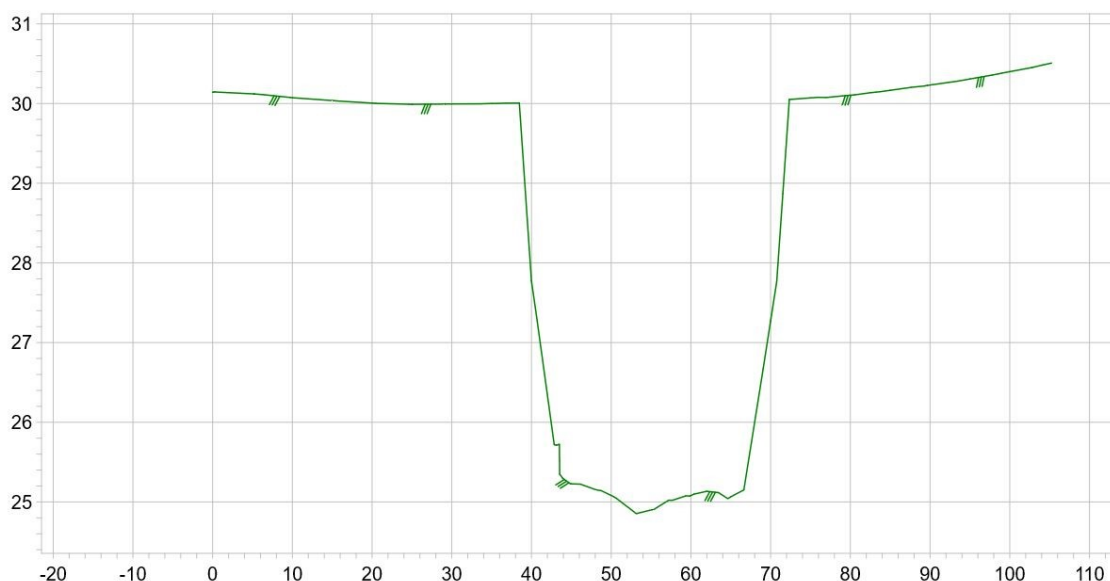
Pistepilviaineistot käsittävät suuren määrän pisteitä ja sisältävät usein maanpinnan kannalta tarpeettomia kohteita kuten rakennuksia, puita tai ajoneuvoja. Maanpinnan määrittelemiseksi aineisto on luokiteltava maanpinnan ja maanpintaan kuulumattomiksi kohteiksi. Kohteiden luokittelu tapahtuu suurimmaksi

osaksi automatisoidusti käsittelyohjelmistojen avulla. Luokittelu toteutetaan matemaattisesti perustuen pisteiden välisiin eroihin. Matalimmat pisteet kuuluvat maanpinnaksi, pois lukien monitieheijastuksista tulleet virheet, jotka voivat esiintyä todellisen maanpinnan alapuolella. Maanpinnalle kuulumattomat kohteet havaitaan usein alimpien eli maanpinnan pisteiden ja korkeammalla olevien pisteiden välisestä korkeuserosta. Maanpinta kulkee suhteellisen tasaisena, jolloin nopeat korkeusvaihtelut ovat yleensä maanpinnalle kuulumattomia kohteita. Maanpinnassa esiintyvät jyrkät korkeuserot saattavat johtaa virheelliseen maanpinnan määrittelyyn automatisoiduilla käsittelyllä. Tarkimman maanpinnan määrittelyä vaaditaan yleensä myös manuaalista aineiston käsittelyä. Maanpinnan määrittely pistepilviaineistosta vaatii huomattavasti enemmän käsittelyaikaa kuin takymetrimittauksilla tuotettu aineisto. [10, s. 221–224.]

2.3 Lopullinen raportointi ja aineiston käyttökohteet

Lopullinen dokumentaatio ja loppuaineisto vastaavat pitkälti mittaussuunnitelman sisältöä, jossa on työn aikaiset suoritukset ja tulokset kirjattuna. Lopullinen aineisto pitää sisällään työn suorittamiseen vaaditut tekijät, mittausalueen, käytetyt koordinaatistot, ajankohdan, mittaukset ja mallinnukset sekä työn aikaiset laadunvarmistustoimenpiteet. [2, s. 28–29.]

Maastomalleja käytetään kolmiulotteiseen maaston ja rakennetun ympäristön visualiseen esittämiseen ja suunnittelun lähtötietoaineistona. Maastomallit mahdollistavat vaativien laskentojen ja visualisointien suorittamisen. Mallinnuksesta voidaan muun muassa poimia erilaisia pituus- ja poikkileikkauksia tai suorittaa korkeuskäyrien laskentaa. Kuvassa 9 on esitetty maastomallin maastomalliaineistosta muodostettu poikkileikkaus. [3, s. 265; 5, s. 91–93.]



Kuva 9. Maastomalliaineiston pohjalta tuotettu poikkileikkaus, jossa maanpinnan korkeus laskee poikkileikkauksen keskiosassa.

3 Maastomallin mittausohje

Ramboll Finland Oy:ssä pääasiallisena maastomallien mittausohjeistuksena toimii Väyläviraston ohje 18/2017 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohje. Väyläviraston mittausohje on laajalti käytössä liikenne ja infrastruktuuri -vastualueen maastomittauksissa. Väyläviraston mittausohje kattaa tarvittavat yksityiskohtaiset ohjeet mittausten suorittamisesta, dokumentoinnista, laatuvaatimuksista sekä laadun tarkastamisesta. [2, s. 3.]

3.1 Maastomallin koodausohje

Väyläviraston mittausohjeen mukaisesti, maastomallit koodataan Infra maastomalli -formaattiin, joka vastaa laajemmin tunnettua Geonic-formaattia. Formaatti muodostetaan numeerisena seuraavista tiedoista:

- T1: Pintatunnukset, joita voidaan kuvata koodeilla 1, 2 ja 9. Pinta 1 kuvastaa maanpintaa, 2 kallion pintaa ja 9 kartoituspintaa, jota ei käytetä pintamallin muodostamisessa.

- T2: Taiteviivan numerointi, joka on juokseva taiteviivojen määrän mukaisesti. Mitattaessa taiteviivattomia kohteita, käytetään numeroa 0.
- T3: Kohdekoodi, joka löytyy selitteineen liitteenä Väyläviraston mittausohjeesta.
- T4: Pistenumero
- Tasosijainnin koordinaatit X ja Y sekä korkeus Z. [2.]

Korkeustiedon jälkeen voidaan antaa lisämääre, jolloin lisätiedon syöttö aloitetaan huutomerkillä. Kuvassa 10 on esimerkki Infra maastomalli -formaattista, jossa ylemmillä riveillä on kerrottu tietojen järjestys ja alemmilla riveillä siinä mahdollisesti esiintyvistä tiedoista. [2.]

```

T1  T2  T3   T4  X           Y           Z
! Lisämääre

Esimerkiksi:
9   0   743  150  6976414.819  2448227.650  42.242
! K431

```

Kuva 10. Infra maastomalli -formaatin koodauksen esimerkki, jossa ylemmillä riveillä esitetty koodauksen järjestys ja alemmilla riveillä esimerkki mahdollisesti esiintyvistä tiedoista [2].

3.2 Maastomallikohteiden mittaustapaohje

Väyläviraston mittausohjeen liitteessä 1 oleva tarkkan maastomallin koodiluettelo (kuva 11) antaa tarkat ohjeet eri kohteiden mittaamisesta. Taulukkoon on koottu selitteellä kohteen nimike, jolle on annettu oma kohdekoodinsa sekä mittaustapa, pintatunnus sekä topologia. Lisäksi kohteille on annettu erilliset keskivirherajat tasosijainneille ja korkeuksille. Mittaustapa kertoo kohteen mittaukseen sallitut mittalaitteet, pintatunnus kertoo millä pintatunnuksella kohde mitataan ja topologiasta selviää, mitataanko kohde pistemäisenä kohteena vai viivamaisena. [2.]

KOODI T3	SELITE	MITTAUSTAPA stgnss=staat.GNSS v=vaaitus t=takymetri als=laser (lento) fot=fototgr.mitt. mls=ajon.laser tls=maalaser rgnss=reaali- aikainen GNSS	Pintatunnus T1	KESKIVIRHE XYZ	KESKIVIRHE XY	KESKIVIRHE Z	YLÄRAJA (AQL 4)	TOPOLOGIAT piste=p viiva=v sulkeutuva viiva =sv 3D-viiva = 3dv
132	Tukimuurin alareuna	mls/tls/t	1		50	100	100/200	v
133	Tukimuurin yläreuna (rakenteen muoto tarvittaessa 3D - viivoina)	mls/tls/t	1/9		50	100	100/200	v/3dv
140	Ojan reuna	als/fot/mls/tls/t/rgnss	1		50	100 (200)	100/200 (400)	v
141	Ojanpohja	als/mls/tls/t/rgnss	1		50	100	100/200	v
144	Lähde	als/fot/mls/tls/t/rgnss	9		50	100	100/200	p/sv
146	Joen reuna (törmän yläreuna)	als/fot/mls/tls/t/rgnss	1		50	100 (200)	100/200 (400)	v
147	Rantaviiva	als/fot/mls/tls/t/rgnss	9			100	200	v
148	Vesipinta	als/fot/mls/tls/t/rgnss	9			100	200	p

Kuva 11. Väyläviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohjeen liitteen 1 mittaustapaohjetaulukko, jossa esitetty mittausta varten tarvittavat koodit ja virherajat. [2.]

Mittausohjeiden liitteessä 1 osasta kohteista on myös kuvalliset tarkentavat ohjeet, joista ilmenee mitattavat kohdat. Kuvassa 12 on osoitettu maastomalliin mitattavan suojatien kartoitettavat kohdat. Mikäli mittausohjeen liitteen 1 mittausohjekuvissa ei ole erikseen esitetty muuta mittauskohtaa, kohteet mitataan pääsääntöisesti maanpinnasta, vaikka niitä ei käytetä maastomallissa maanpinnan kohteina [2, s. 25].



Kuva 12. Kuvassa esitetty suojatien mittausohjekuva, jossa osoitettu suojatien kartoitusta varten mitattavat kohdat [2].

Mitattavilla kohteilla, joilla on kokoon tai laatuun vaikuttavia ominaisuuksia, tarvitaan tarkentavat kohdekoodit. Kyseisiä kohteita ovat rummut, maakaapelit, ilma- johdot, kaivot ja putket. Kuvassa 13 on esitetty rumpujen mittaamiseen käytettävät koodit, joilla voidaan tarkentaa rumpun materiaali- tai halkaisijätietoja. [2.]

RUMMUT					
3	x	xxx	rummut	cm	tarkkuudella
			halkaisija:	0	ei mitattu
				10	10 cm
				20	20 cm
				30	30 cm
				35	35 cm
				jne.	
			materiaali:	0	ei selvitetty
				1	betoni
				2	teräsaaltolevy
				3	teräs
				4	muovi
				5	luonnonkivi
				6	Puu
				7	Nelikulmainen betoni

Esimerkki: 34030 = Ø 300 mm, muovirumpu
31180 = Ø 1800 mm, betonirumpu

Kuva 13. Rumpujen mittauksen tarkentavat ominaisuustiedot ja niiden koodit [2].

3.3 Maastomallimittauksen laatuvaatimukset ja virherajat

Maastomallimittauksen laatuvaatimuksena on sen suorittaminen tavalla, jolla maanpinnan ja rakenteiden muodot kuvautuvat oikein kolmioinnissa. Erityistä huomiota on kiinnitettävä piste ja viivageometrioihin, joilla on suuri merkitys kolmioinnin muodostumisessa sekä maanpinnan ja kartoitettavien kohteiden oikeaan luokitteluun. [2, s. 20.]

Mittausten keskivirhe saa olla enintään 50 mm:ä pistemäisissä kohteissa tai viivamaisten kohteiden taitepisteissä, jotka voidaan mitata selkeästi yhdestä kohdasta. Korkeuden mittauksessa vaatimus ei koske pehmeitä rakentamattomia kohteita vaan niitä, jotka sijaitsevat kovilla pinnoilla, joiden korkeus voidaan määrittellä yksiselitteisesti. Interpoloitu korkeus maastomallin pinnasta ei saa ylittää 100 mm:n keskivirhettä. Erityistä tarkkuutta vaativien kohteiden, kuten siltojen rakenteiden, keskivirhe ei saa ylittää 25 mm:ä. Raiteiden kartoituksessa käytetään tarkempia RATO2 vaatimusten mukaisia virherajoja, jossa keskivirhe ei saa ylittää 20 mm:ä. [2, s. 20.]

Mittaukset on suoritettava niin, että kolmioverkko kattaa koko mittausalueen. Hajapisteiden ja taiteviivoille mitattujen pisteiden etäisyys viereisiin pisteisiin ei saa ylittää 10:tä metriä. Taiteviivojen pisteväleissä sallitaan kuitenkin enintään 11 metrin pistevälit, mikäli yli 10 metrin pistevälejä on enintään 10 % kaikista taiteviivoista ja mikäli maastomallin interpoloinnin 100 mm:n tarkkuusvaatimus täyttyy. Kolmioitumisen kannalta taiteviivoille on myös määritelty 20 mm:n minimietäisyys. [2, s. 20–21.]

3.4 Laadunvarmistus maastomallimittauksissa

Tilajalle luovutettavan tuotteen toimivuuden ja vaatimusten mukaisuuden varmistamiseksi on mittauksen laatua tarkkailtava mittauksista suorittavassa yrityksessä. Sisäisellä valvonnalla pienennetään oleellisesti aineiston hylkäämisriskiä tilaajan suorittamassa vastaanottotarkastuksessa. [2, s. 27.]

Mittauksen aikainen laaduntarkkailu toteutetaan takymetrin orientoinnin jälkeen kontrollimittauksilla, jotka tehdään mittaamalla takymetrillä tunnettuun kiintopisteeseen ennen ja jälkeen varsinaisen kartoitustyön. Laadunvalvonta perustuu kontrollimittauksen ja tunnetun pisteen välisiin koordinaattieroihin. Heti orientoinnin jälkeen suoritettulla kontrollimittauksella pystytään toteamaan orientoinnin onnistuminen, mikäli mitatun tunnetun pisteen koordinaatit ovat yhteneväiset kontrollimittauksen kanssa. Kartoitustyön aikaisella tai jälkeisellä kontrollimittauksilla havaitaan mahdollinen kojeen liikkuminen kartoituksen aikana. Eroavat koordinaatit kontrollimittauksen ja tunnetun pisteen välillä kertovat kojeen liikkumisesta. Niitä asemapisteiltä kartoitukset uusitaan, joilla on havaittu kojeen liikkuminen. Tämän vuoksi kontrollimittauksia on hyvä tehdä myös kartoitustyön välissä, mikä mahdollistaa virheiden havaitsemisen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. [2, s. 26; 6, s. 158.]

Valmiiden aineistojen laadunvalvonta toteutetaan maastomallin poikkileikkauksilla, joita käytetään maastossa suoritettavaan tarkastusmittauksiin. Tarkastusmittauksen tuloksia verrataan maastomallimittauksiin, minkä perusteella arvioidaan mittauksen laatua sekä huomataan mahdolliset systemaattiset virheet.

Systemaattiset virheet havaitaan helpoiten tierakenteiden kohdalla. Saatuja tuloksia voidaan esittää osana laadunvarmistustoimenpidettä. [2, s. 28–29.]

4 Tarkistusohjeen tarpeen kartoitus

4.1 Tarkistusohjeen tarpeellisuus ja laatiminen

Maastomallimittausten tarkistuksenohje koettiin Rambollissa tarpeelliseksi, mikä johtui mittaajien luovuttamissa aineistoissa esiintyneistä virheistä. Aineistot eivät kokonaisuudessaan vastanneet vaatimuksiltaan Väyläviraston ohjetta. Virheiden myöhäinen huomaaminen vaikeuttaa aineistojen korjaamista ja aiheuttavat lisätöitä mittauksista vastuussa oleville esihenkilöille. Havaittuun ongelmaan koettiin ratkaisuksi maastomallimittausten tarkistusohje, jonka avulla mittaukset suorittanut henkilö pystyisi itsenäisesti tarkistamaan suoritettut mittaukset. Mittausohjeen koetaan edistävän aineistojen laatua sekä yhdenmukaistavan aineistoja. [11.]

Maastomallimittausten tarkistusohjeen laatiminen aloitettiin aiemmissa mittauksissa esiintyvien virheiden kartoittamisella, jotta tunnistettaisiin tarkistusta vaativat kohteet ohjetta varten. Ohjeen haluttiin olevan helppokäyttöinen ja havainnollinen, jotta ohjeen käyttö olisi vaivatonta ja luontevaa. Tarkistusohjeen helppokäyttöisyyden ansiosta tarkistuksen suorittamista ei koettaisi haasteeksi, vaan tavaksi helpottaa aineiston käsittelyä. [11.]

4.2 Mittauksissa esiintyneiden virheiden tarkastelu

Mittausaineistoissa esiintyviä virheitä tarkasteltiin Rambollissa vuosien 2021–2023 välillä mitatuista maastomalleista. Aineistona käytettiin mittaajien itse tarkistamia maastomallimitauksia, joiden valinta toteutettiin satunnaisotannalla. Valitut aineistot tarkastettiin ja arvioitiin niiden sisältämiä virheitä. [12.]

Aineistoissa yleisimpiä virheitä olivat koodaukseen liittyvät väärät pintatunnukset, topologiat sekä liian lähekkäiset taiteviivat. Siltojen ja tunneleiden kohdalla

tehtyjen mittauksien pintatunnukset olivat usein väärin. Mittauksista löytyi useita yksittäisiä pisteitä väärällä topologialla tai pintatunnuksella. Virheellinen topologia johtui yleensä pisteistä, joita ei ollut liitetty viivoihin. Poikkeavat pintatunnukset johtuivat mittaajien erehdyksistä. Reunakivien ylä- ja alareunojen mitatut viivat olivat yleisin syy liian lähekkäisiin viivoihin. Aineistojen viivanumeroinneista löytyi kirjaimia, joita ei ollut muutettu numeeriseen muotoon. [12.]

Tiedoston tarkistuksen puute erottui selkeästi aineistosta, mikä osoittautui tarkasteltavien aineistojen virheiden laadusta. Pelkällä visuaalisella tarkistamisella aineistot olivat yleiseltä laadultaan hyviä. Kaikissa aineistoissa maanpinnan pisteiden väliset etäisyydet olivat vaatimusten mukaisia sekä kaikki mitattavat kohteet olivat mitattu. [12.]

4.3 Tarkistuksen ohjelmistot

Maastomallit ovat usein laajempia kokonaisuuksia, joiden käsittely hoidetaan tietokoneohjelmistojen avulla. 3D-Win-ohjelmisto toimii ensisijaisena mittausten ja maastomallien käsittelytyökaluna Ramboll Finland Oy:ssä, minkä takia ohjelma valikoitui luontevasti maastomallimittausten tarkistamiseen. Kotimainen 3D-Win on Novatron Oy:n omistama ohjelmisto, joka soveltuu mittaus-, kartta-, suunnittelu- ja paikkatietotarpeisiin. Ohjelmisto tarjoaa kattavat ominaisuudet mittausten käsittelyyn, tarkastamiseen, geodeettisiin laskentoihin sekä eri formaattien sisään lukemiseen ja uloskirjoittamiseen. [13.]

Tarkistuksia voidaan suorittaa pistelistauksista, joissa listaamisen apuna voidaan käyttää esimerkiksi Notepad-ohjelmistoa, joka on Microsoft Windowsin mukana tuleva tekstieditori [14]. Listauksista on kuitenkin vaikea havainnoida pisteiden ja taiteviivojen todellista sijoittumista, minkä takia ne soveltuvat useimmiten vain koodauksien tarkistukseen.

5 Maastomallimittausten tarkistusohje

5.1 Ohjeen toteutus

Käytännöntyö ohjeen laadinnassa toteutettiin tutkimalla mittausaineistojen tarkistamista 3D-Win-ohjelmalla. Tarkistuksilla mittausaineistot yritettiin saada vastaamaan täydellisesti Väyläviraston vaatimuksia, mikä vaati kaikkien virheiden paikantamista ja korjaamista aineistoista. Virheiden paikantaminen vaati lukuisia tarkistuksen toistoja ja mittausaineistojen muokkauksia, mikä lopulta mahdollisti järjestelmällisen ja toimivan ohjeen tuottamisen.

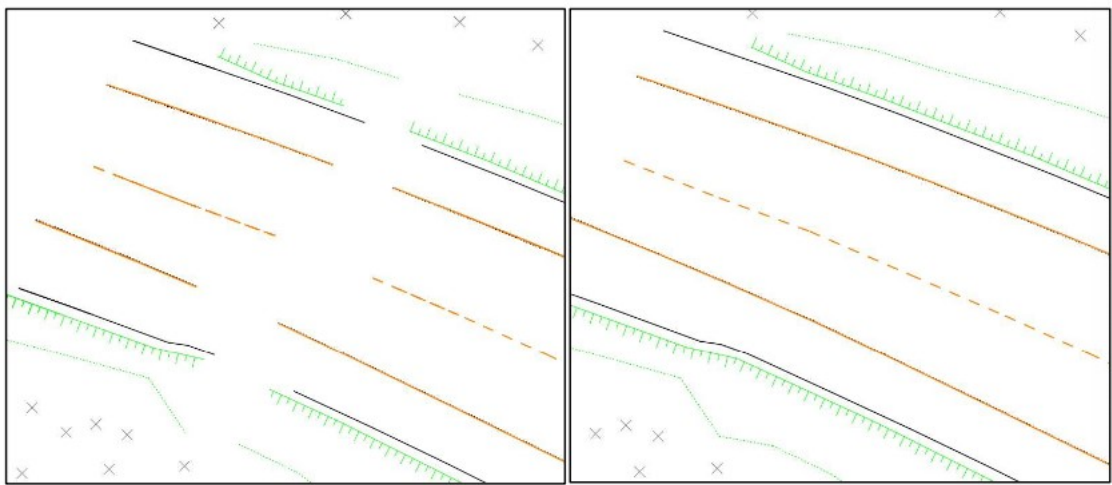
Maastomallimittausten tarkistusohjeen alussa on esitetty laatuvaatimukset ja virherajat mittauksien suorittamisesta, jotka koostuvat Väyläviraston ohjeen mukaisista vaatimuksista. Mittauksissa tarpeelliset raja-arvot ja mittauksien suoritustavat on havainnollistettu tekstin lisäksi myös kuvien avulla, joka selkeyttää asian tulkitsemista. Ohje on jaettu tarkistuksien osalta neljään eri osa-alueeseen, jotka ovat visuaalinen tarkistaminen, ohjelmiston avulla suoritettava tarkistaminen, tiedoston korjaaminen sekä aineiston kolmiointi. Jäsentely vastaa järjestykseltään tarkastuksen kulkua, jonka vuoksi sitä on helppo käyttää apuna tarkistamisessa. Kokeneemmalle tarkastajalle on ohjeen loppuun lisätty lyhyt tarkistuksen pikaohje. Maastomallimittausten tarkistusohje on kokonaisuudessaan esitetty insinööriyön liitteessä 1.

5.2 Ohjeen tarkistusten sisältö

5.2.1 Visuaalinen tarkistus

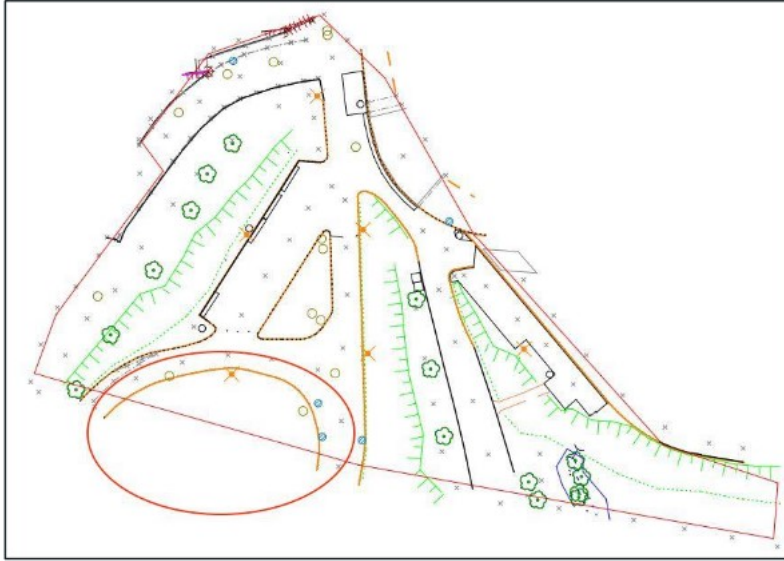
Ohjeessa esitetyssä visuaalisessa tarkistuksessa muokataan mittausaineisto vastaamaan maaston muotoja ja kartoitettavia kohteita sekä korjataan mittauksien karkeat virheet. Tarkistus on parasta toteuttaa mahdollisimman pian mittauksen jälkeen, jolloin mittausalueen maanpinnan muodot, kartoitettavat kohdet ja mittauksen aikana syntyneet virheet ovat tuoreessa muistissa.

Visuaalisen tarkastuksen yhteydessä aineistosta editoidaan pois ylimääräiset pisteet, sekä tiedossa olevat virheelliset mittaukset. Ylimääräiset pisteet voivat koostua takymetrin orientointiin käytettävistä lähtöpisteistä tai takymetrin asemapisteistä. Aineistosta yhdistetään taiteviivat, jotta mitatut kohteet vastaisivat todellista maastoa. Maastossa toisiinsa liittyvissä kohteissa taiteviivat yhdistetään samoilla koordinaateilla erikseen kunkin taiteviivan koodilla. Pyrkimyksenä on kuvata mahdollisimman pitkiä osuuksia taiteviivoilla, mikä korostuu etenkin tierakenteiden kohdalla. Kuvassa 14 on liitteen 1 ohjeesta poimittu havainnekuva taiteviivojen yhdistämisestä. [2, s. 27.]



Kuva 14. Maastomallimittausten tarkistusohjeessa (liite 1) esitetty havainnekuva maastomalliaineiston taiteviivojen yhdistämisestä. Vasemmalla puolella kuvaa aineisto, jossa taiteviivoja ei ole yhdistetty ja oikealla puolella kuvaa aineiston taiteviivat ovat yhdistettyinä.

Ohjeessa esitettyyn visuaaliseen tarkastukseen kuuluu aineiston tarkastelu eri kuvakulmista. Ylhäältäpäin katsottaessa erottuu selkeästi aineiston alueellinen kattavuus. Vaakatasosta suoritettava aineiston tarkastelu paljastaa helpommin korkeusvirheitä. Lisäksi apuna voidaan käyttää ilmakuvia, joiden avulla pystytään tarkastelemaan mittauksien sijoittumista todelliseen ympäristöön ja havainnoimaan mahdollisia puutteita mittauksissa. Kuvassa 15 on ylhäältä päin tarkasteltu mittausaineisto, jossa punaisella soikiolla on havainnollistettu puutteellisuus maastomallin alueellisessa kattavuudessa.



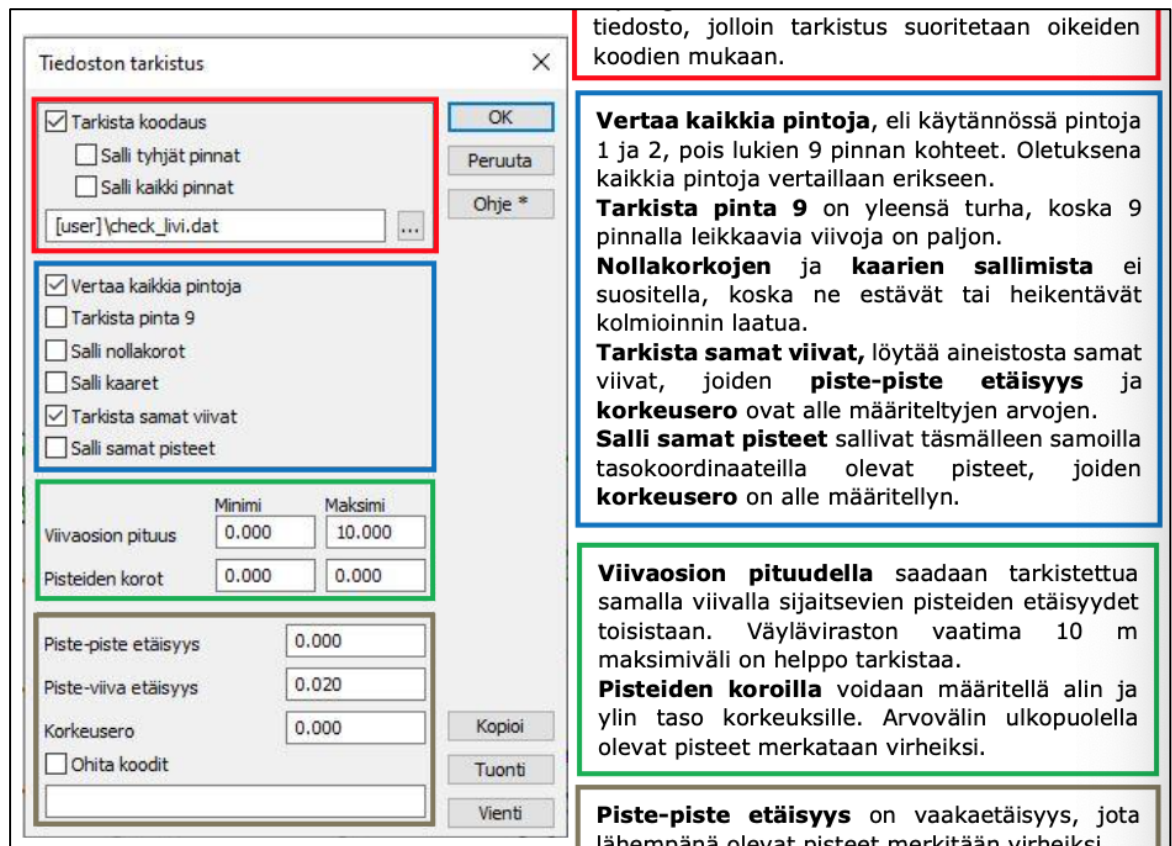
Kuva 15. Maastomallimittausten tarkistusohjeessa (liite 1) oleva maastomalliaineiston alueellisen kattavuuden tarkastelu, josta havaitaan punaisella soikiolla merkityllä alueella mittausten puutteellisuus.

5.2.2 Tiedoston tarkistus

Visuaalisen tarkistuksen jäljiltä aineistoon on usein jäänyt inhimillisistä syistä virheitä. Mahdollisimman todenmukaisen ja virheettömän lopputuloksen saavuttamiseksi, on tiedosto tarkistettava ennen kolmiointia. Ohjeessa esitetty tiedoston tarkistus on 3D-Win-ohjelmalla suoritettava tarkistus. 3D-Win-ohjelmiston sisäisellä automatisoidulla tarkistuksella löydetään aineistosta samat pisteet ja nollakorkoiset pisteet. Taiteviivoista löydetään leikkaavat viivat ja samat viivat, sekä etäisyyksiin perustuvalla tarkistuksella löydetään liian pitkät viivaosiot ja viivojen läheisyydessä olevat pisteet. Lisäksi tarkistuksen yhteydessä voidaan tarkistaa aineiston koodauksen oikeellisuus. [15, s. 5–6.]

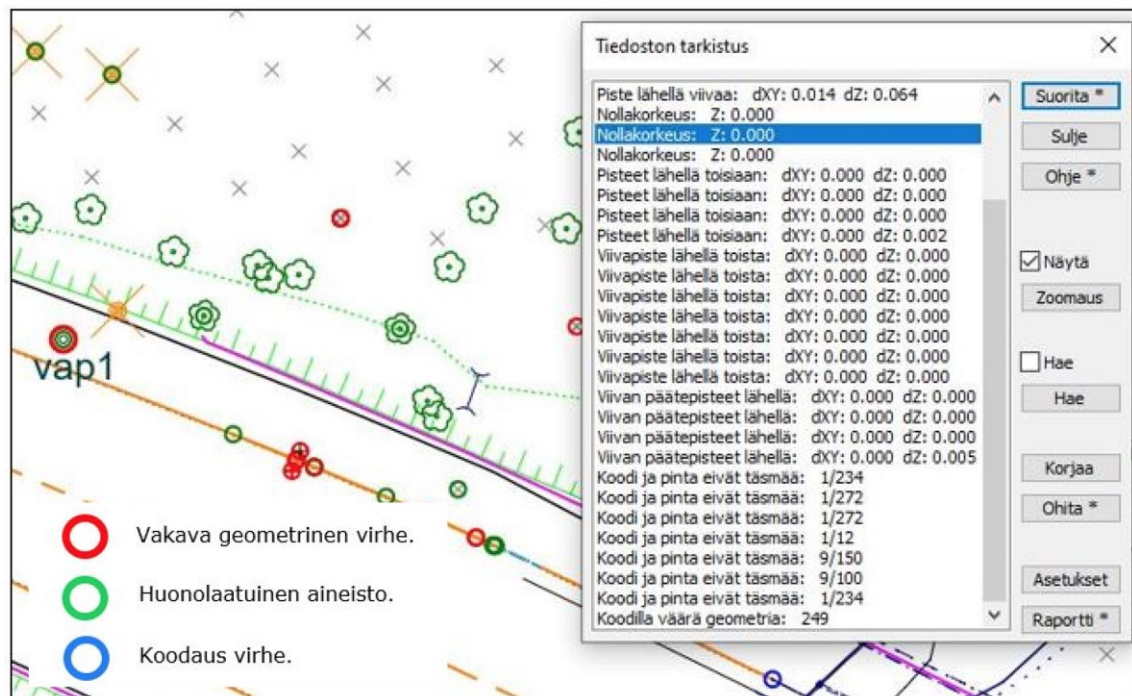
Tiedoston tarkistuksen asetuksista määritellään tarkastuksen kohteita ja etäisyyksien raja-arvoja, joiden perusteella aineiston tarkistus suoritetaan. Valittujen asetusten jälkeen voidaan hyväksyä asetukset ja suorittaa tarkistus. [15, s. 5–6.] Kuvassa 16 on esitetty liitteen 1 ohjeen opastus tarkistuksen asetuksista. Tarkistus ei pysty havainnoimaan todellisen maaston ja mittausaineiston välisiä virheitä, jonka vuoksi visuaalisessa tarkistuksessa on kiinnitettävä erityistä

huomiota taiteviivojen suuntiin ja järjestykseen, sekä todellisen maaston ja mitausaineiston yhdenmukaiseksi editointiin.



Kuva 16. Maastomallimitausten tarkistusohjeessa (liitte 1) oleva opas tiedoston tarkistuksen asetusten valinnoista sekä kuvaukset toiminnoista.

Tiedoston tarkistus listaa kaikki havaitut virheet tarkistus valikon ikkunaan. Virheellisten kohteiden sijainnit esitetään karttanäkymässä punaisina, vihreinä tai sinisinä ympyröinä. Punaiset ympyrät ovat vakavia geometrisiä virheitä, vihreät kertovat aineiston huonolaatuisuudesta ja siniset virheellisestä koodauksesta [15, s. 5]. Virheiden tarkastelu listauksesta sujuu helpoiten kaksoisklikkaamalla hiiren vasemmalla näppäimellä haluttu virhettä, jolloin karttanäkymä keskittyy virheeseen. Kuvassa 17 on esitetty aineiston virheet tarkastuksen jälkeen listauksena sekä virheiden sijainti karttanäkymässä.



Kuva 17. Tiedoston tarkistuksen valikko ja karttanäkymä, jossa virheet listattuna ja esitetty virheiden sijainti sekä laatu.

5.2.3 Tiedoston korjaaminen

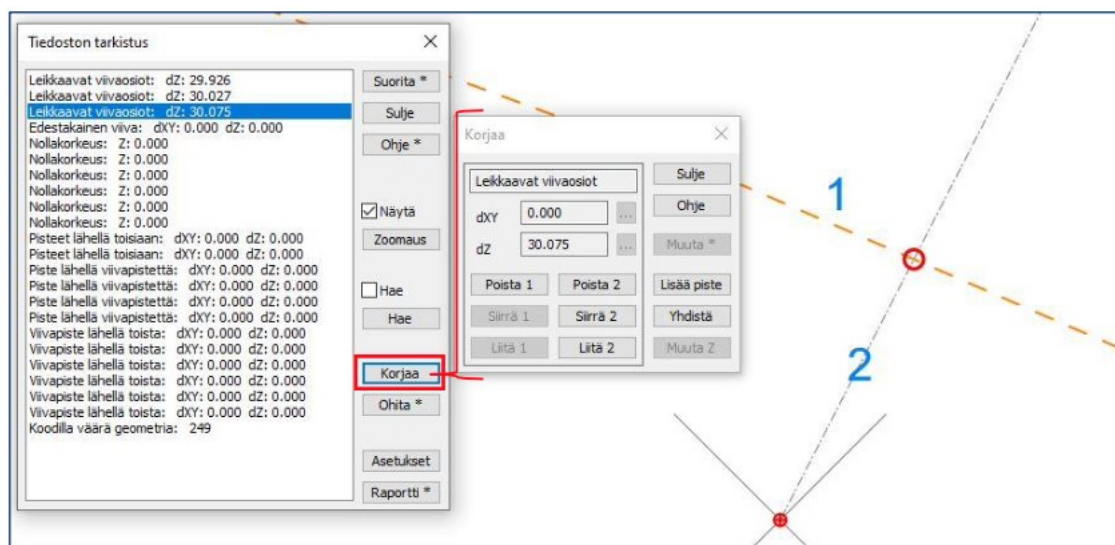
Tiedoston korjaamista varten on ohjeessa esitetty useita apuvälineitä ja automatisoituja ratkaisuja, joita 3D-Win-ohjelmisto tarjoaa. Yleensä turvallisoin tapa on aineiston korjaaminen normaalilla pisteiden ja viivojen muokkauksella, jolloin kerralla käsiteltävien kohteiden määrä pysyy pienenä, eikä tahattomia aineiston editointeja tapahdu.

Kohteita muokattaessa on huomioitava tietyt sääntöjä, jotka Väyläviraston ohje määrittelee:

- Nollakorkoiset pisteet on poistettava tai muutettava pinnan 9 kohteiksi.
- Samoilla tasokoordinaateilla sekä korkeuksilla olevat ylimääräiset pisteet on poistettava.
- Leikkaavat viivat pinnoilla 1 ja 2 on korjattava.

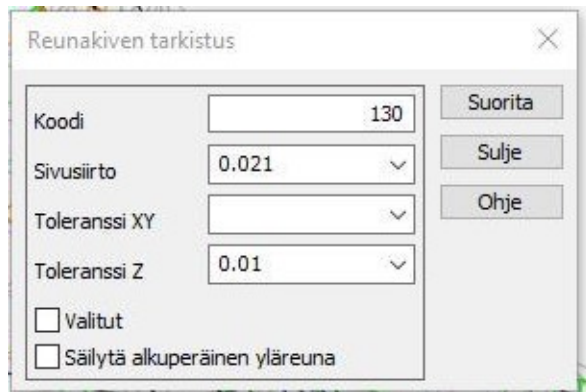
- Liian lähekkäisissä taiteviivoissa on siirrettävä vähemmän merkityksellistä viiva, joka on esimerkiksi reunakivien tapauksessa reunakiven yläreuna.
- Koodauksista on korjattava pisteiden pinnat tai topologiat oikeiksi. [2, s.27–29.]

Tiedoston tarkistuksen korjaa-toiminnon käytöllä virheiden korjaus onnistuu suoraan virhelistauksesta. Korjaa-toiminto (kuva 18) antaa virhetyyppien mukaisen korjaus toiminnon, jolla voidaan esimerkiksi siirtää tai liittää kohteita, sekä muokata kohteiden ominaisuuksia. [15, s. 7.]



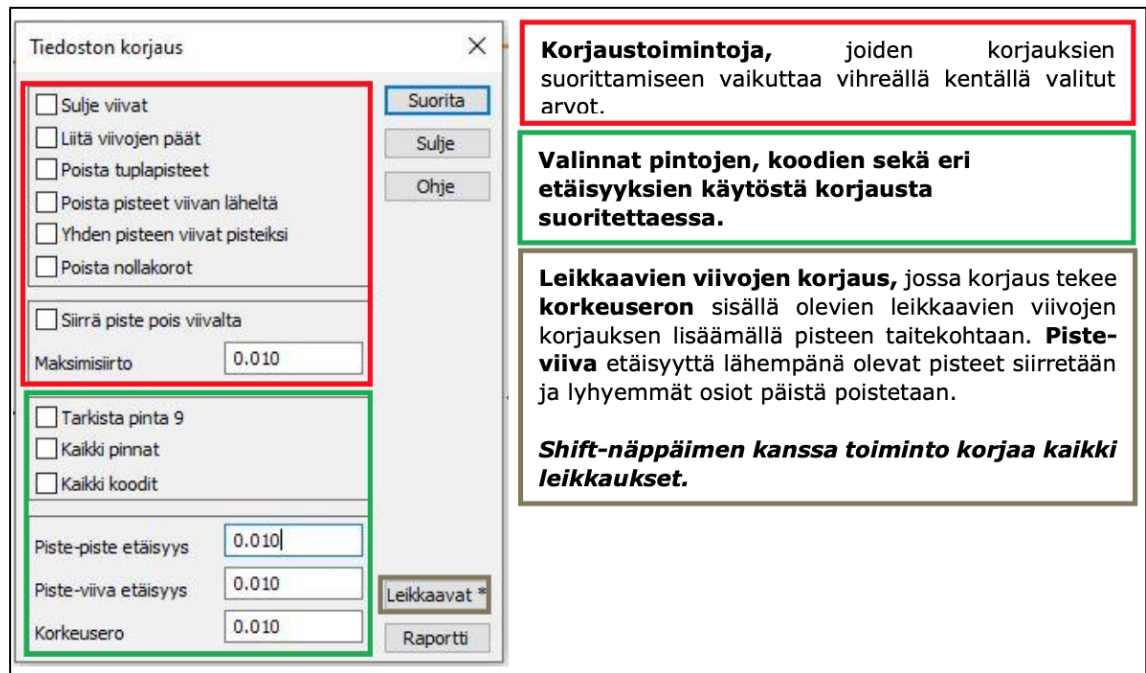
Kuva 18. 3D-Win-ohjelmiston tiedoston tarkistuksen korjaustoiminnon valikko ja leikkaavien viivaosioden korjaustoiminnot.

Liian lähekkäisten reunakivien viivojen korjaus onnistuu reunakiven tarkistuksella (kuva 19). Tarkistus siirtää reunakiven yläreunaa reunakiven alareunan suhteen sivusiirron verran ja sillä pystytään käsittelemään koko aineisto kerralla tai vaihtoehtoisesti vain valittuja kohteita. [15, s. 10.] Tarkistuksessa on huomioitava sen vaikutukset myös reunakiven yläreunan tarpeettomaan siirtymiseen, jolloin reunakiven yläreuna voi siirtyä todellista lähemmäksi reunakiven alareunaan.



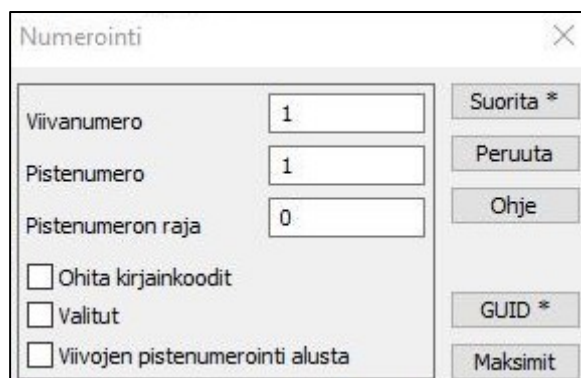
Kuva 19. Reunakiven tarkistuksen valikko 3D-Win-ohjelmasta. Reunakiven tarkistuksen avulla voidaan siirtää reunakivien taiteviivoja.

Ohjeessa esitetyllä tiedoston korjaustoiminnolla voidaan suorittaa automaattisesti aineistoon tehtäviä korjauksia. Korjaustoiminnon kätevimät ominaisuudet ovat nollakorkoisten pisteiden sekä tuplapisteiden poistaminen, joka poistaa myös tuplana esiintyvät taiteviivat. Korjauksella voidaan liittää ja sulkea taiteviivoja. [15, s. 8.] Liittämisen toimintoa käytettäessä on tarkistettava taiteviivojen oikeanlainen yhdistyminen. Toimintoa käytettäessä on yhdistyvien taiteviivojen päät mitattava mahdollisimman lähelle toisiaan, jolloin vältetään taiteviivojen vääränlaiselta yhdistymiseltä. Kuvassa 20 on esitetty tarkistusohjeen (liite 1) tiedoston korjauksen toimintoja.



Kuva 20. Maastomallimittausten tarkistusohjeessa (liite 1) opastettu 3D-Win-ohjelman tiedoston korjauksen valikko ja toimintojen kuvaukset.

Numeroinnin avulla aineiston piste- ja viivanumeroinnit pystytään käsittelemään koko aineiston osalta. Numeroinnilla saadaan taiteviivojen ja taiteviiva pisteiden numerot loogiseen järjestykseen Väyläviraston mittausohjeen mukaisesti. Kuvassa 21 on esitetty 3D-Win-ohjelman numeroinnin valikko. [2.]



Kuva 21. Kuvassa 3D-Win-ohjelmasta numeroinnin valikko, jonka avulla voidaan numeroida aineiston pisteitä ja viivoja uudelleen.

5.2.4 Kolmiointi

Virheiden korjauksen jälkeen voidaan aineisto kolmioida. Kolmioidessa 3D-win-ohjelmalla tarkistetaan aineiston ennen kolmiointia. Tässä vaiheessa suoritettava tarkistuksessa selviää virheiden määrä, mutta ei niiden sijaintia, jonka takia perusteellinen tiedoston tarkistaminen on suoritettava ennen kolmiointia. Aineistossa esiintyvät virheet eivät estä kolmiointia, vaan heikentävät kolmioinnin laatua. Poikkeuksena ovat kaaria sisältävät aineistot, joissa kolmioinnin suorittaminen ei onnistu ollenkaan. [15, s. 4.] Väyläviraston vaatimusten mukaisesti mitaukset kolmioidaan niin sanottuna Delaunay-kolmioverkkona, jossa kolmiointi tapahtuu mahdollisimman tasasivuisena epäsäännöllisenä kolmioverkkona. Kolmioinnin ohjaavana tekijänä, käytetään taiteviivoille sijoittuvia kolmioiden sivuja, minkä takia kolmiointi ei koskaan ylitä taiteviivaa. [2, s. 20.] Kuvassa 22 on maastomallimitausten tarkistusohjeen (liite 1) kolmiointivalikon toimintojen selostettuna.

Tulospinta, mukaan ja poista valintoja voidaan käyttää, mikäli halutaan kolmioida erikseen eri pintoja, kuten esimerkiksi pinta 1 ja 2 omiksi pinnoiksi. **Valitut** komennolla saadaan kolmioidua vain valitut pisteet.

Ohita tiedoston tarkistus ohittaa tiedoston tarkistuksen, mutta ei maksimisivujen tarkistusta. **Hajapisteinä** muuttaa kaikki taiteviivat hajapisteiksi. **Poista lähtötiedosto** poistaa tiedoston, josta kolmiointi suoritetaan. **Jaa viivat osiin** jakaa taiteviivat määritellyn mittaisiin osiin. Asetus parantaa kolmioinnin laatua, mikäli hajapisteitä on lähellä taiteviivoja, joiden pisteväli on suuri.

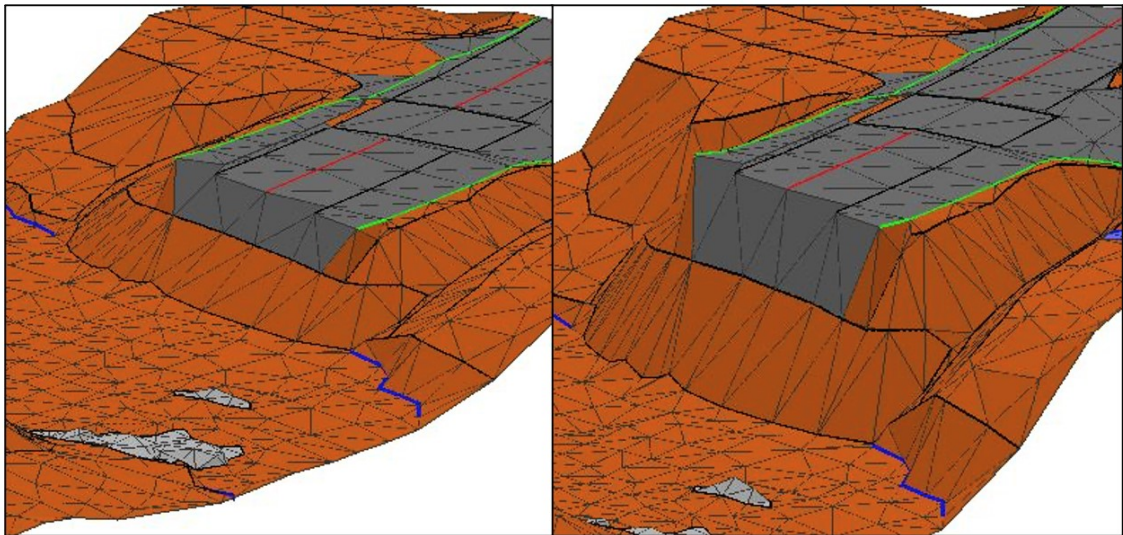
Maksimisivu määrittelee kolmioiden sivujen maksimipituuden. **Tällä voidaan tarkistaa pisteiden välinen maksimietäisyys.** Väyläviraston ohjeen mukaan kolmiointi voidaan suorittaa pisteiden kaksinkertaisella välimatkalla eli 20 m. **Muotosuhteen** on oltava arvo nolla, mikä määrittelee kolmioinnin suoritettavaksi Väyläviraston mittausohjeen mukaisesti. *Ns. Delaunayn* kolmioverkoksi. **Minimikulma** määrittelee reunakolmioiden minimikulman. Kaikki kolmiot piilotetaan, missä esiintyy määriteltyä arvoa pienempi kulma.

Asetukset valikosta aukeaa tiedoston tarkistuksen asetukset.

Kuva 22. Maastomallimitausten tarkistusohjeessa (liite 1) esitetty 3D-Win-ohjelmiston kolmioinnin valikko ja toimintojen kuvaukset.

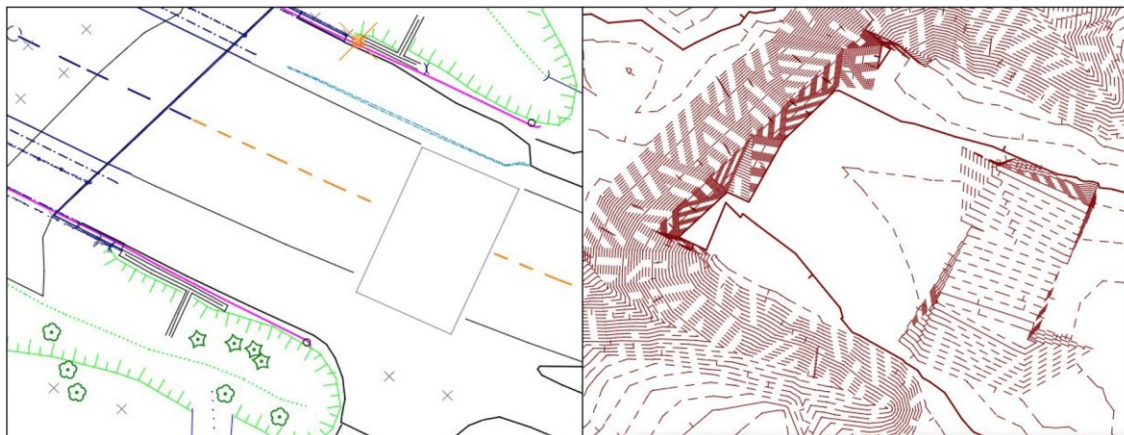
Muodostetun maastomallin on katettava koko mittausalue, minkä takia maastossa tehtävien mittauksien on ulottauduttava myös mittausalueen ulkopuolelle. Maastomallin taustalle voidaan asettaa mittausalueen rajaus, jolla alueen kattavuuden tarkastaminen on helppoa.

Mallin tarkastelu 3D-näkymässä eri katselukulmista auttaa havainnoimaan poikkeavia korkeuksia maastomallista. Mahdolliset korkeusvirheet esiintyvät yleensä yksittäisinä laskevinä tai kohoavina pyramideina kolmioverkossa. Parhaiten korkeuserot saadaan näkyville eri kuvakulmista katsottaessa ja muuttamalla Z-arvoa, jolla tehostetaan mallin korkeusien erottelua. Kuvassa 23 on vasemmalla puolella normaali maastomalli ja oikealla sama maastomalli, jossa Z-arvo kaksinkertaistettuna.



Kuva 23. Maastomallin tarkastelu eri Z-arvoilla, joka korostaa mallin korkeusarvoja. Korostuksen avulla korkeudessa esiintyvät virheet löytyvät helpommin (liite 1).

Mittauksissa tapahtuneet karkeat korkeusvirheet voidaan havaita helpoiten maastomallista tai sen pohjalta tuotetuista korkeuskäyristä. Korkeuskäyrät on tehtävä tiheällä käyrävälillä, jotta poikkeavat korkeudet voidaan huomata. Kuvassa 24 on havainnollistettu tiellä olevan kohteen jyrkkä nousu, joka on vaikea huomata kuvan vasemmanpuoleisesta 2D-kuvasta, mikä kuitenkin erottuu helposti korkeuskäyristä. [2, s. 27.]



Kuva 24. Korkeuden havainnointi ylhäältäpäin kuvatun mittauksen ja maastomallista luotujen korkeuskäyrien välillä (liite 1). Korkeuskäyristä pystytään helpommin tarkastelemaan aineistossa esiintyviä korkeuseroja.

5.3 Ohjeen toimivuuden tarkastaminen

Ohjeen käyttöä tarkasteltiin mittausaineistolla, joka oli tehty aineiston testausta varten. Aineisto koostui kolmesta eri mittautiedostosta, joihin oli luotu mahdollisimman paljon erilaisia virhevariaatioita. Mittautiedostojen tarkistuksessa edettiin johdonmukaisesti ohjetta noudattaen. Aluksi aineistoille suoritettiin visuaalinen tarkistus, jossa erilliset mittausaineistot yhdistettiin sekä huomattavissa olevat virheet korjattiin. Visuaalisen tarkistuksen jälkeen aineisto tarkistettiin 3D-Win-ohjelmistolla ja tarkistuksessa esiintyneet virheet korjattiin. Lopuksi tarkistettu aineisto kolmioitiin.

Tarkistuksen ohje oli toimiva, ja sillä löydettiin suurin osa aineiston virheistä. Koodauksen tarkistuksessa havaittiin ongelma, joka esiintyi mitattavissa kohteissa, joiden koodauksessa käytettiin tarkentavia ominaisuustietoja. Ongelmana oli oikein koodattujen pisteiden esiintyminen virheellisenä. Kyseisiä kohteita olivat esimerkiksi aineistossa esiintyneet rummut. Korjausten osalta ohje ei opastanut yksittäisten pisteiden siirtoja tai yksinkertaisia korjaustoimia. Oletuksena on kuitenkin ohjeen käyttäjän aiempi kokemus 3D-Win-ohjelman käytöstä. Virheiden korjauksia voidaan suorittaa myös ohjeessa opastetuilla tiedostonkorjauksen apuvälineillä.

6 Maastomallimittausten tarkastuslomake

6.1 Lomakkeen tarpeellisuuden selvitys

Maastomallimittausten osalta yritykseltä puuttui tarkastuslomake, jonka vuoksi yrityksen sisäinen laadunvalvonta koettiin puutteelliseksi. Tarkastuslomake koettiin tarpeelliseksi esittää myös tilaajaorganisaatioille osana maastomallimittausten laadunvarmistustoimenpidettä. Tarkastuslomake pohjautuu maastomallimittausten tarkistusohjeeseen (liite 1), jonka vuoksi lomakkeeseen pyrittiin koamaan kaikki tarkistuksien kohteet. Lomakkeen käytöstä haluttiin mahdollisimman monipuolinen, käytännöllinen ja helposti muokattava. [11.]

6.2 Lomakkeen sisältö ja laatiminen

Monipuolisten käyttöominaisuuksien ja toimintojen vuoksi lomake päädyttiin valmistamaan Excel-ohjelmistolla toimivaksi. Excel-ohjelmisto on Microsoft Officen taulukkolaskentaohjelmisto, jonka käyttö onnistuu tietokoneen lisäksi puhelimella tai tablettilaitteistolla [16]. Ohjelmistolla lomake voidaan tallentaa keskenäisenä ja sen täyttöä voidaan jatkaa myöhemmin. Tyhjä tai täytetty lomake voidaan tulostaa paperisena ja tallentaa PDF-formaatissa, mikä tekee lomakkeen käyttämisestä monipuolista. Tulevaisuudessa mahdollisesti tarvittavat lisäykset ja muutokset tarkastuskohteisiin tai lomakkeen toimintaan voidaan toteuttaa helposti Excel-ohjelmistossa.

Lomakkeelle valikoitiin Väyläviraston mittausohjeen maastomallimittausten raja-arvoja ja laadullisia vaatimuksia maastomalli aineiston koodauksen osalta. Edellä mainittuja raja-arvoja ovat esimerkiksi pisteiden ja taiteviivojen suurimmat ja pienimmät sallitut välimatkat, sekä aineiston koodauksen osalta muun muassa pintatunnusten, geometrioiden ja käytettävien koodien tarkistus. Lomakkeeseen listattiin liitteen 1 maastomallimittausten tarkistusohjeessa käytyjen tarkistus ja laadunvalvonta kriteerien kohteita, jotka pääsääntöisesti olivat visuaalisella tarkistuksella avulla toteutettavia tarkistuksia. Lisäksi tarkistuksen kohteita kartoitettiin BuildingSmartin yleisten inframallivaatimusten inframallin

tarkastuslomakkeesta sekä Väyläviraston mittausohjeen sisäisen laaduntarkastuksen tarkastuslistasta. [17; 2.]

Valmistusprosessin aikana lomakkeita valmistettiin kaksi erilaista versioita. Ensimmäisessä lomakkeessa oli viisi tarkastuskohdetta, jotka pitivät sisällään useampia tarkastuskohteita. Kuvassa 26 on esitetty osa ensimmäisen lomakkeen tarkastuksista.

	Tarkastettu	Pvm	Tarkastaja
Visuaalinen tarkistus:	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	/ <input type="text"/>
Pisteet ja viivat: Pisteiden nollakorot ja ylimääräisten pisteiden poisto. Leikkaavat viivat pinnoilla 1 ja 2.	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	/ <input type="text"/>
Pistevälit: Pisteväli ei yli sallitun rajan, joka koskee myös viivalle mitattuja pisteitä.	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	/ <input type="text"/>

Kuva 26. Lomakkeen laatimisprosessin aikainen otos, jossa esitetty osa ensimmäisen lomakkeen tarkastuksen kohteista.

Erottelemattomat tarkastuskohteet osoittautuivat hankalaksi käyttää ja lomakkeesta tehtiin toinen versio, joka tarjosi yksityiskohtaiset tarkastuskohteet. Lopulliseen lomakkeeseen tarkastuskohteita valikoitui 22 kappaletta. Tarkastuskohteet järjestettiin neljään eri kategoriaan visuaaliseen tarkistukseen, koodaukseen, kolmiointiin sekä pisteisiin ja taiteviivoihin. Lopullinen lomake on tämän insinööriyön liitteenä 2 oleva maastomallimittausten tarkastuslomake, joka pohjautuu Insinööriyön liitteen 1 mukaisen maastomallimittausten tarkistusohjeen tarkistuksiin ja tarkistuksen kohteisiin.

6.3 Lomakkeen toimivuuden tarkastus

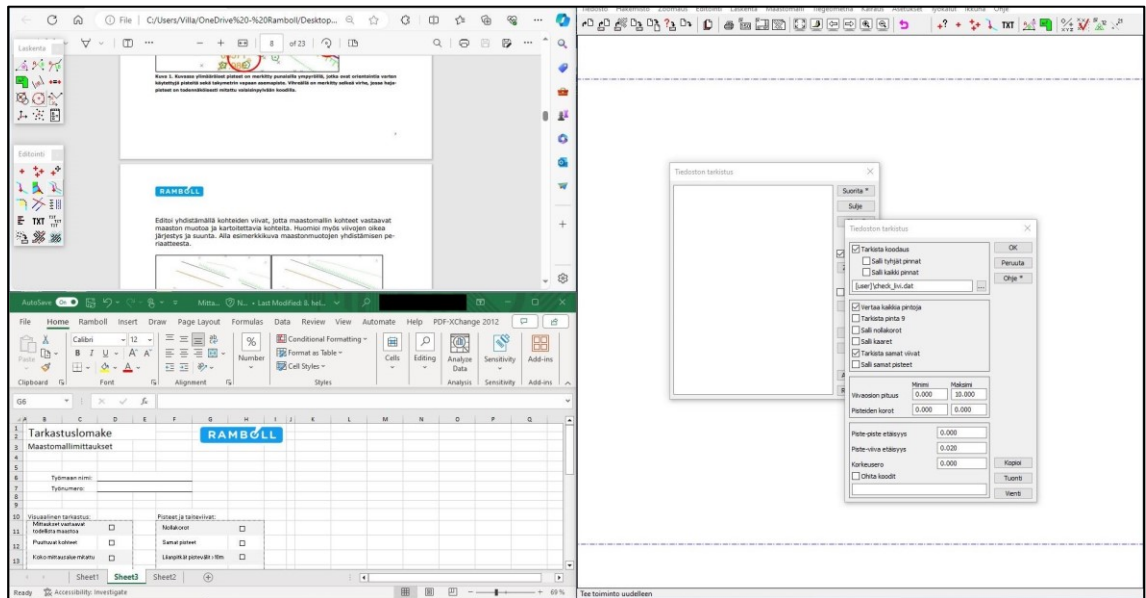
Tarkastuslomakkeen toiminta testattiin maastomallimittausten tarkistamisen ohjeen tarkastuksen yhteydessä. Testissä tarkistettiin mittausaineistot, jotka sisälsivät mahdollisimman paljon eri virhevariaatioita. Tarkistusohjeen mukaisen aineiston tarkastuksien ja korjauksien edetessä lomakkeeseen ruksattiin suoritettut tarkastukset. Testiaineiston pohjalta ei saatu koko aineistoa hyväksytysti tarkistettua, mikä johtui aineistossa olevista liian pitkistä viivaosioista ja pisteväleistä. Puutteelliset mittaukset heijastuvat myös kolmiointiin, jossa ne esiintyivät verkon aukkoina ja mittausalueen kattavuuden puutteena (kuva 27).

Pisteet ja taiteviivat:		Kolmiointi:	
Nollakorot	<input checked="" type="checkbox"/>	Kolmioituvuus	<input checked="" type="checkbox"/>
Samat pisteet	<input checked="" type="checkbox"/>	Verkon aukot	<input type="checkbox"/>
Liianpitkät pistevälit >10m	<input type="checkbox"/>	Kolmiointi kattaa koko mittausalueen	<input type="checkbox"/>
Taiteviivojen jatkuvuus	<input checked="" type="checkbox"/>	3D-tarkastelu	<input checked="" type="checkbox"/>
Taiteviivojen oikea järjestys ja suunta	<input checked="" type="checkbox"/>		
Leikkaavat viivat pinnalla 1 ja 2	<input checked="" type="checkbox"/>		
Päällekkäiset tai edestakaiset viivat	<input checked="" type="checkbox"/>		
Taiteviivojen pistevälit <10m	<input type="checkbox"/>		
Taiteviivojen etäisyys 0-0,2-10m	<input checked="" type="checkbox"/>		

Kuva 27. Tarkastuksen lomakkeen testauksessa puutteelliseksi jääneet osiot. Puutteet johtuivat tarkistettavasta mittausaineistosta, jossa pistevälit olivat liian suuria ja aiheuttivat aukkoja kolmiointiin.

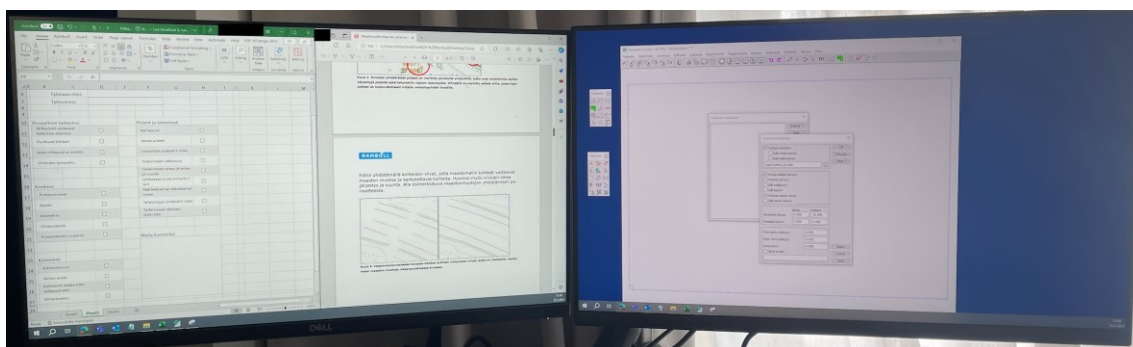
Lomakkeen testaus suoritettiin Excel-ohjelmistoa käyttäen tietokoneella ja tabletilaitteistolla. Tietokoneella ja tabletilaitteistolla lomakkeen käsittely oli vaivatonta. Lomakkeessa ei havaittu puutteita tarkistuksen osalta. Rasti ruutuun - kentät nopeuttivat lomakkeen täyttämistä. Ainoa havaittu ongelma oli lomakkeen käyttöön liittyvä. Ongelma johtui tarkistusohjeen, tarkastuslomakkeen ja

3D-Win-ohjelman samanaikaisesta käytöstä vain yhdellä tietokoneen näytöllä (kuva 28). Usean avonaisen ohjelmaikkunan käyttäminen yhdeltä näytöltä rajoitti ohjelmaikkunoiden kokoa, mikä vaikeutti lomakkeen kokonaisvaltaista tarkastelua.



Kuva 28. Kuvassa on esitetty maastomallimittausten tarkistusohjeen, lomakkeen ja 3D-Win-ohjelmiston käyttö yhdellä tietokoneen näytöllä. Yhdellä näytöllä käytettäessä tarkastuslomake näkyy vain osittain, jolloin sen käyttö hankaloituu.

Havaittu ongelma oli kuitenkin käyttöön liittyvä tekninen ongelma, joka voidaan korjata käyttämällä useampaa näyttöä, tablettilaitteistoa tai tulostettua lomaketta. Yleisesti maastomallimittausaineistojen tarkistus suoritetaan toimisto-olosuhteissa, joissa on mahdollistaa käyttää useampaa näyttöä tai tulostaa lomake. Lomakkeen tulostamisessa tai tallentamisessa ei havaittu ongelmia, mikä testattiin valmiin täytetyn lomakkeen tulostamisella ja tallentamisella PDF-muodossa. Kuvassa 29 on esitetty maastomallimittausten tarkistusohjeen, tarkastuslomakkeen ja 3D-Win-ohjelmalla suoritettavan tarkistuksen käyttö kahdella tietokoneen näytöllä.



Kuva 29. Kuvassa on esitetty maastomallimittausten tarkistusohjeen, tarkastuslomakkeen ja 3D-Win-ohjelmiston käyttö kahdella tietokoneen näytöllä. Useamman näytön käytöllä saadaan tarkastuslomake kokonaisuudessa näkyviin, jolloin sen käyttö helpottuu.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä laadittiin Ramboll Finland Oy:lle maastomallimittausten tarkistusohje (liite 1) sekä laadunvalvontaa varten tarpeellinen maastomallimittauksien tarkastuslomake (liite 2). Tulevaisuudessa ohjeiden mukaisella tarkistamisella ja tarkastuslomaketta käyttämällä tarkoituksena on tuottaa parempilaatuista ja tasalaatuista aineistoa, jonka laatu pystytään todistamaan dokumentoinnin avulla tilaajalle.

Pohjustuksena ohjeen laadinnalle tutkittiin vuosien 2021–2023 aikana mitattuja maastomalliaineistoja, joiden yleisimmät virheet osoittautuivat laadultaan vaikeasti huomattaviksi visuaalisella tarkastamisella. Virheiden laatuun perustuen, tarkistusohje painottui 3D-Win-ohjelmiston avulla tehtäviin tarkistuksiin. Tarkistuksen vaiheista laadittiin ohje, jota noudattamalla aineisto saadaan vastamaan Väyläviraston vaatimuksia.

Tarkistusohjeen ja tarkastuslomakkeen toimivuudet testattiin käyttämällä virheelliseksi laadittua mittausaineistoa, jonka avulla tarkistuksessa oli mahdollista havaita laadultaan erilaisia virheitä. Ohjeen avulla suoritettulla tarkistuksella löydettiin virheet aineistosta. Kaikkien virheiden osalta korjaus ei onnistunut pelkällä tiedoston käsittelyllä, minkä vuoksi puutteelliset mittaukset olisi korjattava lisämittauksilla. Tarkastuslomakkeen toimivuus testattiin käytön, tulostamisen ja tallentamisen osalta. Lomake todettiin toimivaksi lukuun ottamatta mittausaineiston tarkistuksen ja lomakkeen yhteiskäyttöä, joka osoittautui hankalaksi yhden tietokoneen näytön avulla tehtäväksi. Mittausten käsittely toteutetaan yleisesti toimisto-olosuhteissa, ja toimistossa on mahdollisuus käyttää useampaa näyttöä tai tulostaa lomake.

Työssä ei tutkittu ohjeistuksen tai tarkastuslomakkeen käytöstä saavutettavia vaikutuksia mittausaineistojen laatuun, mikä pääasiallisesti johtui talviaikaan tehtävien maastomallimittausten puutteesta sekä insinööriyön valmistumisen aikataulusta. Vaikutusten arviointi voidaan kuitenkin toteuttaa myöhemmin. Mittausten tarkastaminen on vain yksi osatekijä laadukkaana maastomalliaineiston

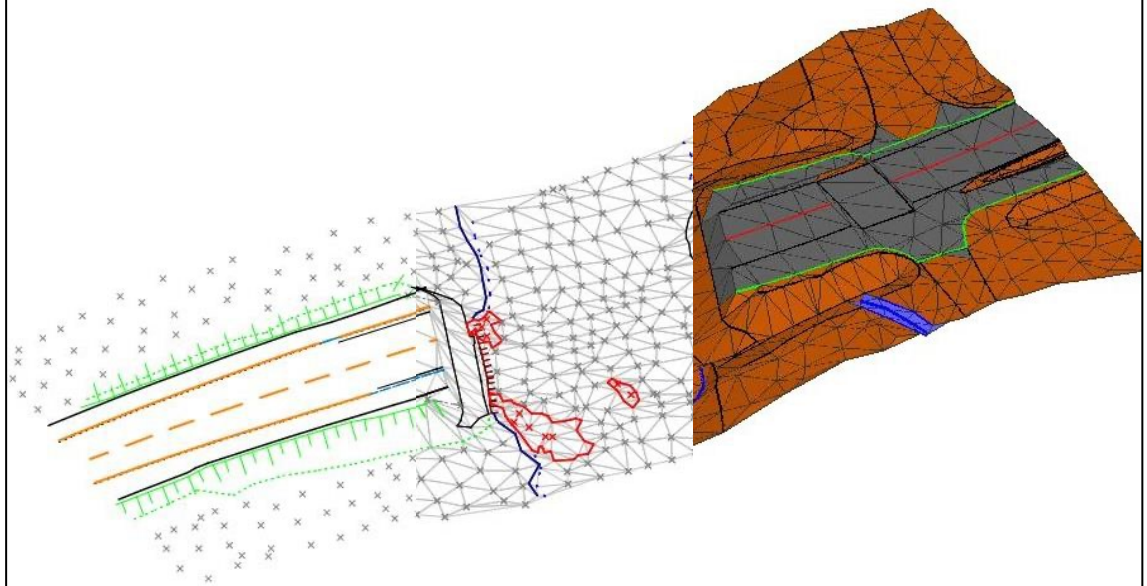
tuottamisessa, ja suurin merkitys tuotteen laatuun on maastossa suoritettavilla mittauksilla. Tulevaisuudessa tarkistuksessa löytyviä virheitä voidaan tilastoida, ja tilastojen avulla pystytään ohjeistamaan maastossa mittauksia suorittavia ja mahdollisesti näin välttämään virheitä.

Lähteet

- 1 Maastotietojen hankinta. Toimintaohjeet. 2017. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-19_maastotietojen_hankinta_web.pdf>. Luettu 4.4.2017.
- 2 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot. Mittausohje. 2017. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf>. 4.4.2017.
- 3 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4., uudistettu painos. Rovaniemi: Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.
- 4 Vermeer, Martin. 2019. Geodesia: Kaiken perusta. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/d8199c0e-b119-463a-860b-effdf1f243a8/content>>. Luettu 10.9.2023.
- 5 Salmenperä, Hannu. 1998. Runko- ja kartoitusmittaukset. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- 6 Herva, Ville. 2009. Faculty of Information and Natural Sciences and Engineering. Master's Thesis. Helsinki University of Technology, Faculty Information and Natural Sciences. Aaltodoc-tietokanta.
- 7 Rantanen, Pasi. 2001. Maastomittauksen perusteet. 1.–3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 8 Laurila, Pasi. 2020. Maan mittauksia. Helsinki: Books on Demand.
- 9 Vosselman, George & Maas, Hans-Gerd. 2010. Airborne and terrestrial laser scanning. Dunbeath: Whittles Publishing.
- 10 Lemmens, Mathias. 2023. Introduction to Pointcloudmetry. Dunbeath: Whittles Publishing Ltd.
- 11 Turunen, Lauri. 2023. Projektipäällikkö, Ramboll Finland Oy, Vantaa. Keskustelu 26.5.2023.
- 12 Mittausaineistot. 2021–2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Ramboll Finland Oy.
- 13 3D-Win-ohjelmisto. Verkkoaineisto. 3D-Win. <<https://3dwin.fi>>. Luettu 10.9.2023

- 14 Windows Muistio. 2023. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Windows_Muistio>. 22.1.2023.
- 15 3D-Win maastomalli. 2023. Verkkoaineisto. Novatron Oy. <<https://3dwin.fi/download/156>>. Luettu 8.6.2023.
- 16 Microsoft Excel. 2023. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel#Historia>. Luettu 11.9.2023.
- 17 Inframallin tarkastuslomake (YIV 2019). Verkkoaineisto. BuildingSmart. <<https://drive.buildingsmart.fi/s/j7m4yaw4R7y7AsE>>. Luettu 19.12.2023.

Maastomallimitausten tarkistusohje



Maastomallitausten tarkistusohje

20.1.2024

Sisällysluettelo

Johdanto	3
Maastomallimittausten laatuvaatimukset ja virherajat	4
Visuaalinen tarkastaminen	7
Editointi	7
Tarkastaminen	9
Aineiston tarkastelu eri kuvakulmista	9
Ilmakuvat	10
Tiedoston tarkistus	11
Tarkistuksen valikko	11
Tarkistuksen asetukset	12
Tarkistuksen suorittaminen	13
Tiedoston korjaaminen	14
Vaaditut korjaukset	14
Tiedostonkorjauksen apuvälineet	14
Tiedoston tarkistuksen korjaa toiminto	14
Reunakiven tarkistus	15
Tiedoston korjaustoiminto	16
Piste- ja viivanumerot	17
Kolmiointi	18
Kolmioinnin valikko ja asetukset	18
Kolmiointi	19
Kolmioinnin tarkastelu	20
Kolmioinnin kattavuus	20
Mittausvirheiden havainnointi	20
Korkeuskäyrien käyttö	21
Tiedoston tallentaminen	22
Maastomallimittausten tarkistuksen pikaohje	23

Johdanto

Tämän ohjeen tarkoituksena on maastomallimittaus aineiston tarkistaminen Väyläviraston ohjeen 18/2017 Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot - Mittausohjeen mukaiseksi. Tarkistus suoritetaan 3D-Win-ohjelmistolla, jolla aineisto tarkistetaan visuaalisesti sekä ohjelmiston tarkistuksen avulla. Erivaiheiden myötä opastetaan havainnoimaan ja tarkastelemaan mittauksissa esiintyviä karkeita virheitä. Ohjeen loppuun on lisätty maastomallimittauksien tarkistamisen pikaohje, johon yleisimmät tarkistuksen vaiheet ovat koostettuna tiiviisti yhdelle sivulle.

Tarkastuksia varten on luotu erillinen tarkistuslista, jonka avulla voidaan seurata suoritettuja tarkistuksia. Tarkistuslistaa voidaan käyttää Excel-ohjelmiston avulla tai se voidaan tarpeen mukaan tulostaa.

3D-Win-ohjelmiston käytön ja Väyläviraston mittausohjeen perusteet on hallittava ja ymmärrettävä, jotta tämän ohjeen mukaisia toimintoja voidaan hyödyntää. Ohje perustuu seuraaviin lähteisiin:

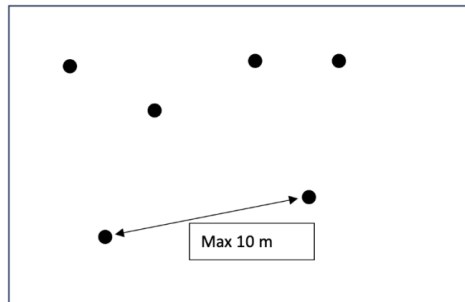
Väyläviraston ohje

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf

3D-Win maastomalli (Ladattava tiedosto)

<https://3dwin.fi/download/156>

Maastomallimitausten laatuvaatimukset ja virherajat



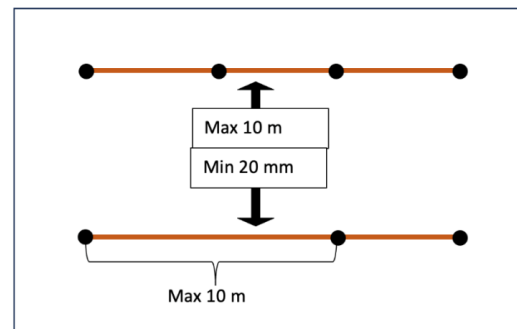
Hajapisteiden välinen suurin sallittu etäisyys on 10 m.

Taiteviivojen etäisyys toisistaan saa olla enintään 10 m ja minimissään 20 mm.

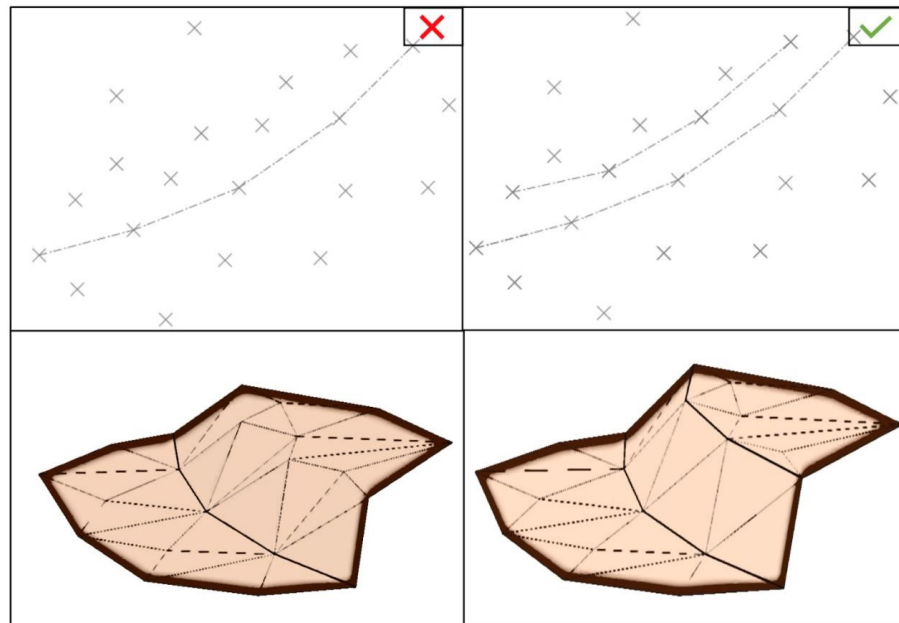
- Yli 10 m etäisyydellä olevien taiteviivojen väliin on mitattava hajapisteitä.
- Alle 20 mm etäisyydellä olevat taiteviivat korjataan siirtämällä vähemmän merkityksellistä viivaa.

Taiteviivan pisteiden maksimietäisyys saa olla enintään 10 m.

- Poikkeuksena sallitaan enintään 11 m pistevälit, mikäli 10 m ylittävien pistevälien osuuksia on alle 10 % kaikista taiteviivoista sekä pinnan korkeuden interpoloinnin 100 mm tarkkuusvaatimus täyttyy.



Erityistä huomiota on kiinnitettävä piste ja viivageometrioihin, joilla on suuri vaikutus kolmioinnin muodostumisessa.

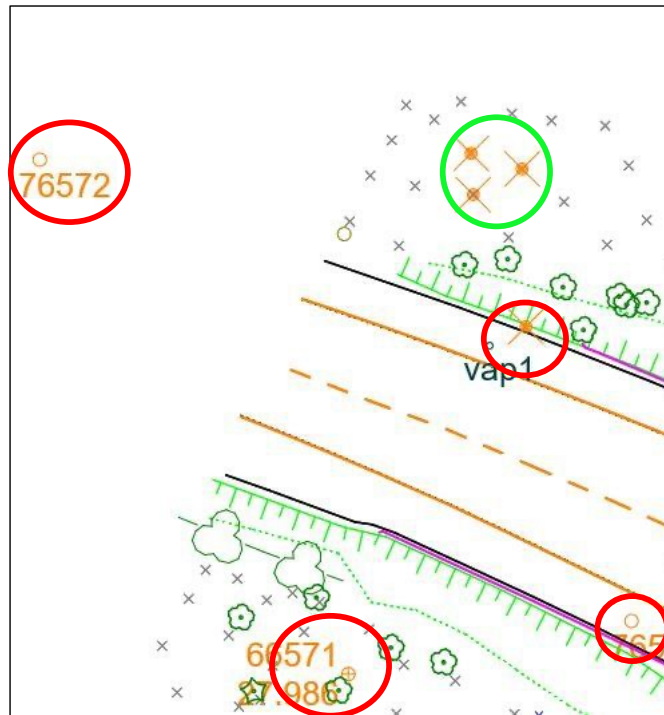


Visuaalinen tarkastaminen

Visuaalinen tarkastamisella mittausaineisto editoidaan vastaamaan maaston muotoja ja kartoitettavia kohteita, sekä korjataan mahdollisia mittauksen aikaisia virheitä. Tarkastaminen ja editointi on hyvä suorittaa mahdollisimman pian mittauksen jälkeen, jolloin maaston muodot ja kartoitettavat kohteet, sekä virheet ovat tuoreessa muistissa.

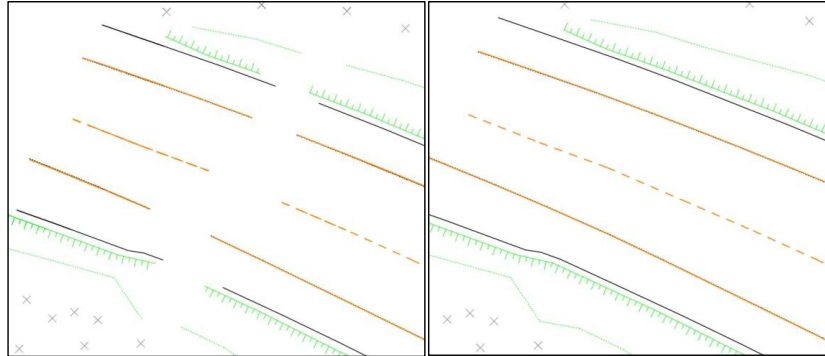
Editointi

Aluksi mittausaineistosta poistetaan ylimääräiset pisteet, jotka voivat koostua muun muassa orientointiin käytettävistä pisteistä tai takymetrin vapaista asemapisteistä. Lisäksi poistetaan virheelliset mittaukset, jotka selviävät aineistosta helposti tai ovat jo tiedossa mittausvaiheessa.



Kuva 1. Kuvassa ylimääräiset pisteet on merkitty punaisilla ympyröillä, jotka ovat orientointia varten käytettyjä pisteitä sekä takymetrin vapaan asemapiste. Vihreällä on merkitty selkeä virhe, jossa hajapisteet on todennäköisesti mitattu valaisinpylvään koodilla.

Editoi yhdistämällä kohteiden viivat, jotta maastomallin kohteet vastaavat maaston muotoa ja kartoitettavia kohteita. Huomioi myös viivojen oikea järjestys ja suunta. Alla esimerkkikuva maastonmuotojen yhdistämisen periaatteesta.

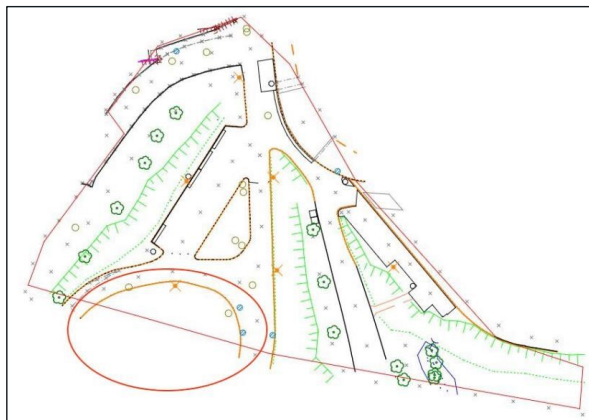


Kuva 2. Vasemmanpuoleisessa kuvassa kahden erillisen mittauksen viivat, jotka on yhdistetty vastaamaan maaston muotoja oikeanpuoleisessa kuvassa.

Tarkastaminen

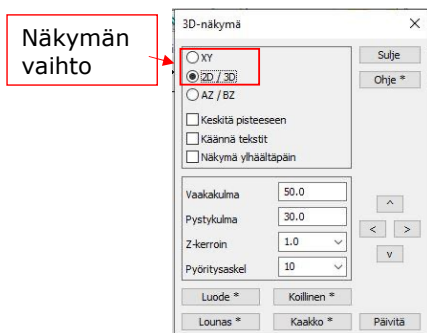
Aineiston tarkastelu eri kuvakulmista

Aineistoa on hyvä tarkastella eri kuvakulmista, jotta mahdolliset karkeat virheet ja mahdolliset puutteet mittauksissa havaitaan. Mittauksia voidaan verrata mittausalueeseen ja havainnoida mahdollisia puutteita mittauksissa. Alla olevassa kuvassa huomataan mittauksen olevan puutteellisia.

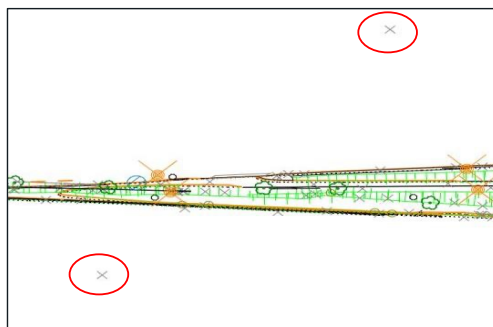


Kuva 3. Mittausalueen ja mittauksen vertaileminen.

Mittauksen tarkastelu vaakatasossa helpottaa korkeus virheiden havainnointia. Yläpalkin valikosta **zoomaus>3D-näkymä** saadaan valikko auki, mistä voidaan muuttaa katselutila kolmiulotteiseksi.



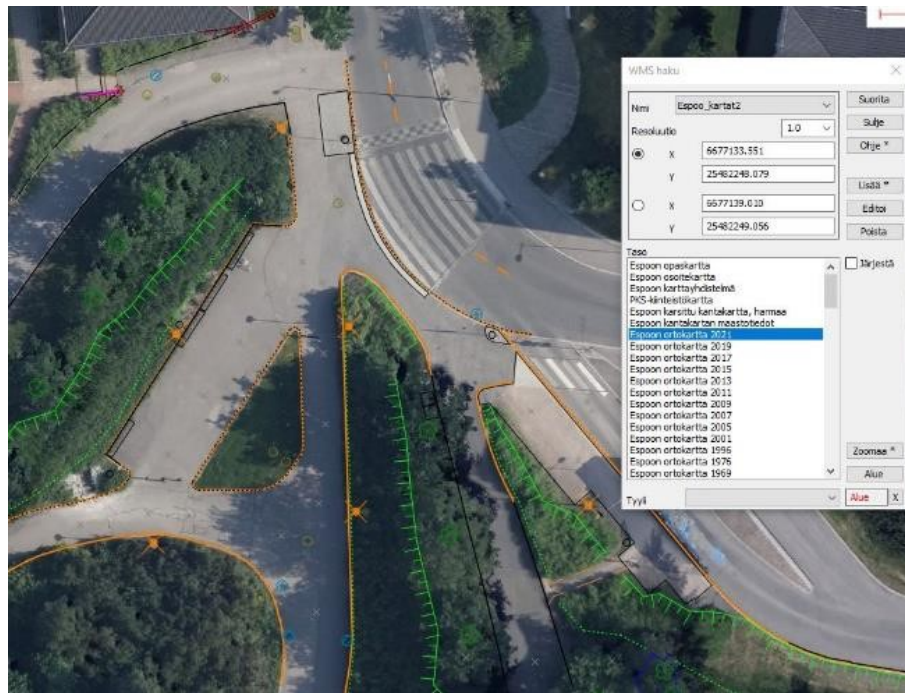
Kuva 5. Näkymänvaihto valikko.



Kuva 4. Mittausaineiston tarkastelu vaakatasosta.

Ilmakuvat

Ilmakuvien avulla voidaan tarkastella mitattujen kohteiden sijoittumista todelliseen ympäristöön ja havainnoida mahdollisia puutteellisia mittauksia. Ilmakuvat saadaan 3D-Win-ohjelmiston ylävalikosta valitsemalla **työkalut>verkkopalvelut>WMS haku**. Ilmakuvia käytettäessä on huomioitava ilmakuvien ajantasaisuus ja tarkkuus.



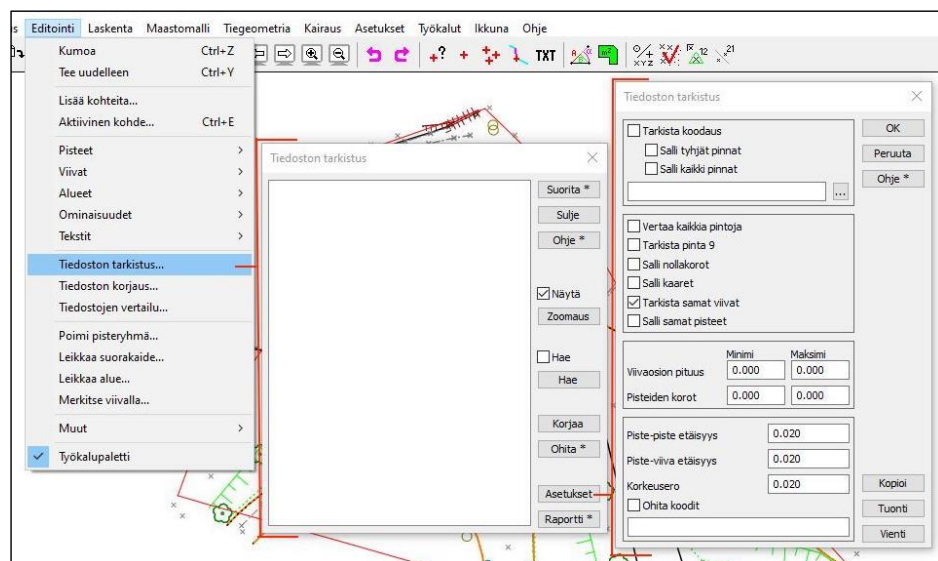
Kuva 6. Mittausaineiston pohjalle tuotu ilmakuva.

Tiedoston tarkistus

Tiedoston tarkistus on 3D-Win-ohjelmalla suoritettava tarkistus, jolla saadaan havaittua visuaalisessa tarkistuksessa huomaamatta jääneitä virheitä. Tarkistuksella voidaan tarkistaa aineistosta samojen pisteiden ja nolla korkoisten pisteiden sijainteja. Viivoista voidaan tarkistaa leikkaavat viivat ja samat viivat sekä aineiston koodaus. Pisteiden väliset maksimietäisyydet tarkastetaan vasta kolmioinnin yhteydessä. Tarkistus perustuu vain tietotekniseen aineiston tarkistukseen, eikä se yleisesti korjaa maaston todellisen muotojen ja aineiston välisiä vihreitä, mitkä johtuvat mittauksien tai editoinnin aikana tehdyistä virheitä.

Tarkistuksen valikko

Tiedoston tarkistus saadaan avattua 3D-Winin yläpalkista kohdasta **editointi>tiedoston tarkistus**, jonka jälkeen klikkaamalla **asetukset** kohtaa, mistä avautuu valikko tiedoston tarkistuksen asetusten määrittelyä varten.



Kuva 7. Tiedoston tarkistuksen ja sen asetusten avaaminen.

Tarkistuksen asetukset

Tarkistuksen asetuksista annetaan arvot viivaosion pituuksille (10 m) ja Piste-viiva etäisyyksien arvo (20 mm) sekä koodauksen tarkistus ja tarvittava tiedosto tarkistusta varten. Asetukset hyväksytään valitsemalla oikeasta yläreunasta OK. Esimerkki täytetyistä asetuksista ja tarkemmat kuvaukset asetuksista on esitetty seuraavaksi alla:

Tiedoston tarkistus

Tarkista koodaus
 Salli tyhjät pinnat
 Salli kaikki pinnat

Vertaa kaikkia pintoja
 Tarkista pinta 9
 Salli nollakorot
 Salli kaaret
 Tarkista samat viivat
 Salli samat pisteet

	Minimi	Maksimi
Viivaosion pituus	0.000	10.000
Pisteiden korot	0.000	0.000

Piste-piste etäisyys
 Piste-viiva etäisyys
 Korkeusero
 Ohita koodit

Kuva 8. Tarkistuksen asetukset, jossa tärkeimmät arvot laitettu paikoilleen tarkastusta varten.

Koodauksen tarkistus oikean pintatunnusta ja topologiaa varten. Valitaan check_livi.dat tiedosto, jolloin tarkistus suoritetaan oikeiden koodien mukaan.

Vertaa kaikkia pintoja, eli käytännössä pintoja 1 ja 2, pois lukien 9 pinnan kohteet. Oletuksena kaikkia pintoja vertaillaan erikseen.

Tarkista pinta 9 on yleensä turha, koska 9 pinnalla leikkaavia viivoja on paljon.

Nollakorokojen ja kaarien sallimista ei suositella, koska ne estävät tai heikentävät kolmioinnin laatua.

Tarkista samat viivat, löytää aineistosta samat viivat, joiden **piste-piste etäisyys** ja **korkeusero** ovat alle määriteltujen arvojen.

Salli samat pisteet sallivat täsmälleen samoilla tasokoordinaateilla olevat pisteet, joiden **korkeusero** on alle määritellyn.

Viivaosion pituudella saadaan tarkistettua samalla viivalla sijaitsevien pisteiden etäisyydet toisistaan. Väyläviraston vaatima 10 m maksimiväli on helppo tarkistaa.

Pisteiden koroilla voidaan määrittellä alin ja ylin taso korkeuksille. Arvovälin ulkopuolella olevat pisteet merkataan virheiksi.

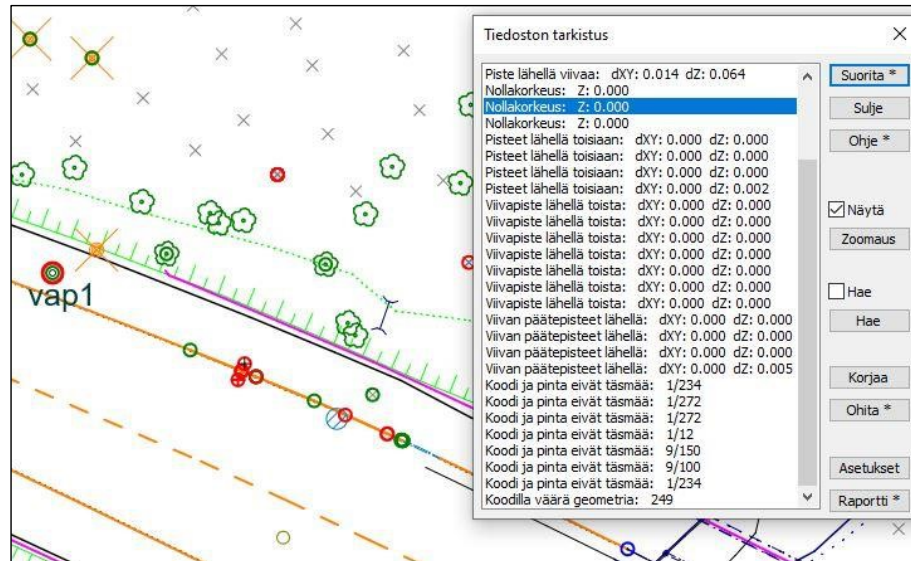
Piste-piste etäisyys on vaakasetäisyys, jota lähempänä ovat pisteet merkitään virheiksi.

Piste-viiva etäisyys vertailee viivan ja hajapisteiden tai viivapisteiden vaakasetäisyyttä, jota lähempänä ovat pisteet merkitään virheiksi. Tällä voidaan selvittää Väyläviraston vaatima viivojen 20 mm minimi etäisyys.

Korkeusero on hyväksyttävä korkeusero tasokoordinaateiltaan samoissa pisteissä.

Tarkistuksen suorittaminen

Oikeiden asetusten valinnan jälkeen voidaan suorittaa tarkistus. Tarkistus listaa kaikki löydetty virheet ja ympyröi ne karttanäkymään. Listalta saadaan valittua virhe kaksoisklikkaamalla virhettä, jolloin valittu virhe tarkentuu keskelle näyttöä.



Kuva 9. Tarkistus suoritettuna ja virheet listattuna sekä ympyröitynä aineistossa.

Virheiden laatua kuvaavat värilliset ympyrät ovat luokiteltu seuraavanlaisesti:

- Vakava geometrinen virhe.
- Huonolaatuinen aineisto.
- Koodaus virhe.

Koodauksen tarkistuksessa on huomioitava puutteellisuus erikokoisten rumpujen sekä puulajien osalta, jonka takia ne esiintyvät virheinä, vaikka eivät ole niitä.

Tiedoston korjaaminen

Vaaditut korjaukset

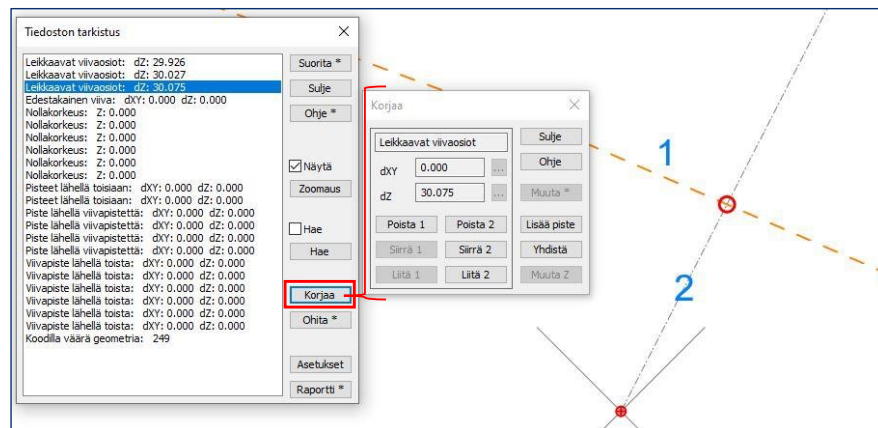
Virheet aineistosta voidaan korjata normaalilla pisteiden ja viivojen muokkauksella. Muokkauksissa on huomioitava seuraavaa:

- Ylimääräiset pisteet, joilla on samat tasokoordinaatit sekä korkeus poistetaan. Nämä eivät kuitenkaan vaikuta kolmiionnin laatuun.
- Nollakorkeiset pisteet on poistettava tai muutettava 9 pinnan kohteiksi.
- Pinnoilla 1 ja 2 leikkaavat sekä liian lähekkäiset viivat on korjattava. Liian lähekkäisissä viivoissa siirretään vähemmän merkityksellistä viivaa, joka esimerkiksi reunakivien tapauksessa on reunakiven yläreuna.
- Väärin koodatuista pisteistä korjataan pinta tai topologia oikeaksi.

Tiedostonkorjauksen apuvälineet

Tiedoston tarkistuksen korjaa toiminto

Tiedoston tarkistuksen valikon **korjaa** toiminnolla voidaan suoraan korjata virhelistauksen kohteita. Korjauksella saadaan valinnaisesti poistettua, siirrettyä, liitettyä tai muutettua kohteen ominaisuuksia. Eri virheet antavat erilaiset korjaustoiminnot.



Kuva 10. Tiedoston tarkistuksen kautta toimiva aineiston korjaaminen.

Reunakiven tarkistus

Liianlähekkäiset viivat esiintyvät yleensä reunakivien mittauksissa. Mikäli lähekkäisiä viivoja esiintyy runsaasti, on yläreunan siirto kätevintä tehdä reunakiven siirrolla. Reunakiven tarkistus saadaan yläpalkista **editointi>viivat>reunakiven tarkistus**.

Reunakiven tarkistus

Koodi 130

Sivusiirto 0.021

Toleranssi XY

Toleranssi Z 0.01

Valitut

Säilytä alkuperäinen yläreuna

Suorita

Sulje


Ohje

Sivusiirtona kannattaa pitää 21 mm, jotta hyväksyty 20 mm minimi etäisyys täyttyy.

Tarkistus voidaan kohdentaa vain valittuun reunakiveen, jolloin tarkistus ei koske muita reunakiviä.

Valinnalla voidaan säilyttää alkuperäinen yläreuna, jonka avulla voidaan vertailla muutosta.

Kuva 11. Reunakiven tarkistus

Tarkistuksen yhteydessä on kiinnitettävä huomiota reunakiven yläreunan siirtymiseen, joka saattaa siirtää yläreunaa paikoin lähemmäksi alareunaa kuin todellisuudessa on. Suotavaa olisi tarkastella siirtymää säilyttämällä alkuperäinen yläreuna tai käyttää kumoa ja tee uudelleen näppäimiä muutoksen  havainnoimiseksi.

Tiedoston korjaustoiminto

Tiedoston korjauksella voidaan automatisoida tiedostoon tehtäviä korjauksia. Käytännöllisin toiminto korjauksessa on tuplapisteiden ja nollakorkoisten pisteiden poistaminen. Tuplapisteiden poisto poistaa myös tuplaviivat, jos viivapisteiden koordinaatit ovat samat. Viivojen liittämässä ja sulkemisessa on huomioitava mahdollinen yhdistyminen väärin viivoihin. Viivojen oikeanlaista yhdistymistä edesauttaa mittaamalla yhdistyvien taiteviivojen päätepisteet lähelle toisiaan. Tiedoston korjaus saadaan avattua yläpalkista **editointi>tiedoston korjaus**.

Kuva 12. Tiedoston korjauksen valikko.

Korjaustoimintoja, joiden korjauksien suorittamiseen vaikuttaa vihreällä kentällä valitut arvot.

Valinnat pintojen, koodien sekä eri etäisyyksien käytöstä korjausta suoritettaessa.

Leikkaavien viivojen korjaus, jossa korjaus tekee korkeuseron sisällä olevien leikkaavien viivojen korjauksen lisäämällä pisteen taitekohtaan. **Piste-viiva** etäisyyttä lähempänä olevat pisteet siirretään ja lyhyemmät osiot päistä poistetaan.

Shift-näppäimen kanssa toiminto korjaa kaikki leikkaukset.



Piste- ja viivanumerot

Koodauksen tarkistaminen ei tarkista piste- eikä viivanumeroita. Numeroita voidaan tarkastella avaamalla tiedosto Notepad- tai Excel-ohjelmistolla. Yksinkertaisinta on kuitenkin suorittaa uudelleen numerointi 3D-Win-ohjelmalla. Numeroinnin valikko aukeaa yläpalkista **editointi>ominaisuudet>numerointi**. Uudelleen numeroinnilla saadaan saman taiteviivan pisteet peräkkäin loogiseen järjestykseen Väyläviraston ohjeen mukaisesti.

Numerointi

Viivanumero 1

Pistenumero 1

Pistenumeron raja 0

Ohita kirjainkoodit

Valitut

Viivojen pistenumerointi alusta

Suorita *

Peruuta

Ohje

GUID *

Maksimit

Viiva- ja pistenumeroiden arvot, joista numerointi aloitetaan. Mikäli käytetään nolla arvoa, niin numerointia ei suoriteta.

Kuva 13. Numeroinnin valikko.

Kolmiointi

Virheiden korjauksen jälkeen voidaan aineisto kolmioida. Kolmioinnin yhteydessä aineiston pisteiden maksimi etäisyys voidaan tarkistaa. Kolmiointi tarkistaa oletuksena kolmioitavan aineiston ja kertoo virheiden määrän. Tässä vaiheessa tapahtuva tarkistus ei kuitenkaan näytä virheiden sijaintia tai listausta, minkä takia perusteellinen tarkistus on syytä suorittaa ennen kolmiointia. Kolmiointi voidaan suorittaa virheistä huolimatta, mikä kuitenkin heikentää kolmioinnin laatua. Kolmiointi keskeytyy ainoastaan, jos tiedostossa esiintyy kaaria.

Kolmioinnin valikko ja asetukset

Kolmioinnin valikko saadaan avattua ylävalikosta **maastomalli>kolmiointi**.

Kuva 14. Kolmioinnin valikko.

Tulospinta, mukaan ja poista valintoja voidaan käyttää, mikäli halutaan kolmioida erikseen eri pintoja, kuten esimerkiksi pinta 1 ja 2 omiksi pinnoiksi. **Valitut** komennolla saadaan kolmioitua vain valitut pisteet.

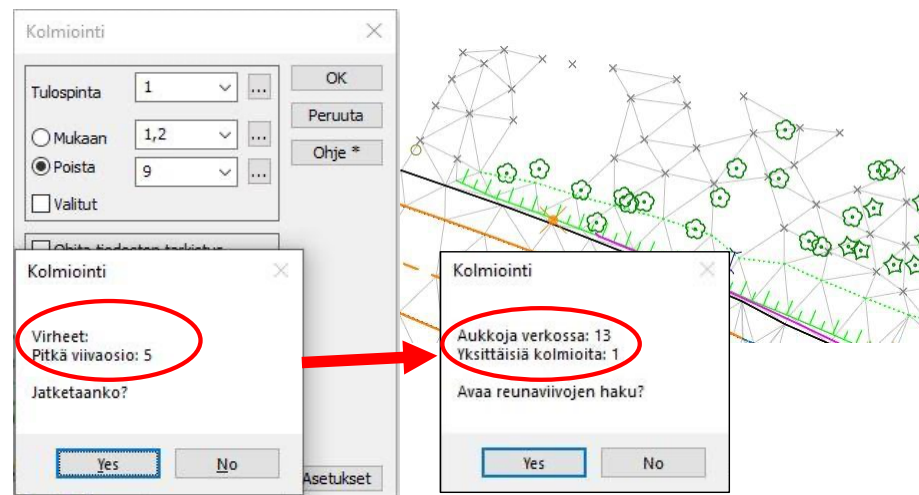
Ohita tiedoston tarkistus ohittaa tiedoston tarkistuksen, mutta ei maksimisivujen tarkistusta. **Hajapisteinä** muuttaa kaikki taiteviivat hajapisteiksi. **Poista lähtötiedosto** poistaa tiedoston, josta kolmiointi suoritetaan. **Jaa viivat osiin** jakaa taiteviivat määritellyn mittaisiin osiin. Asetus parantaa kolmioinnin laatua, mikäli hajapisteitä on lähellä taiteviivoja, joiden pisteväli on

Maksimisivu määrittelee kolmioiden sivujen maksimipituuden. **Tällä voidaan tarkistaa pisteiden välinen maksimietäisyys.** Väyläviraston ohjeen mukaan kolmiointi voidaan suorittaa pisteiden kaksinkertaisella välimatkalla eli 20 m. **Muotosuhteen** on oltava arvo nolla, mikä määrittelee kolmioinnin suoritettavaksi Väyläviraston mittausohjeen mukaisesti. Ns. Delaunayn kolmioverkoksi. **Minimikulma** määrittelee reunakolmioiden minimikulman. Kaikki kolmiot piilotetaan, missä esiintyy määriteltäviä arvoja pienempi kulma.

Asetukset valikosta aukeaa tiedoston tarkistuksen asetukset.

Kolmiointi

Asetusten määrittelyn jälkeen voidaan suorittaa kolmiointi. Kolmioinnin täytyy kattaa koko mittausalue, eikä siihen saa muodostua aukkoja. Kolmiointi antaa virheilmoitukset liian pitkistä viivaosioista tai kolmioverkossa esiintyvistä aukoista. Virheettömästä aineistosta tai kolmioverkosta ei tule erillistä ilmoitusta, vaan se tulostuu suoraan kolmioverkkona aiemman aineiston päälle.

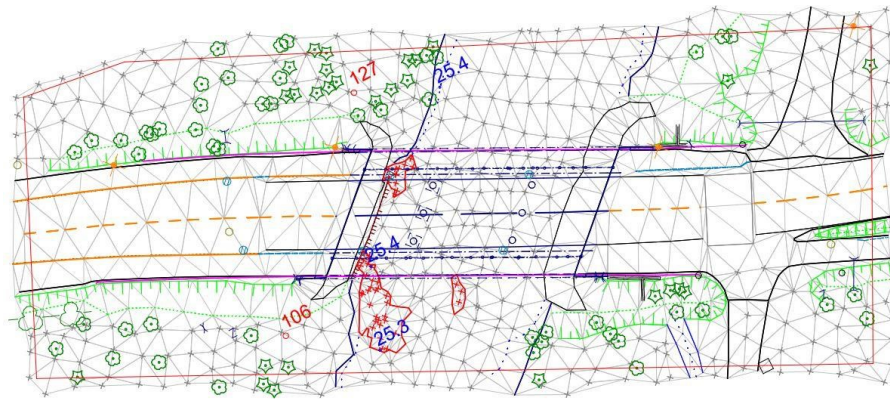


Kuva 15. Virheilmoitukset kolmioitaessa.

Kolmioinnin tarkastelu

Kolmioinnin kattavuus

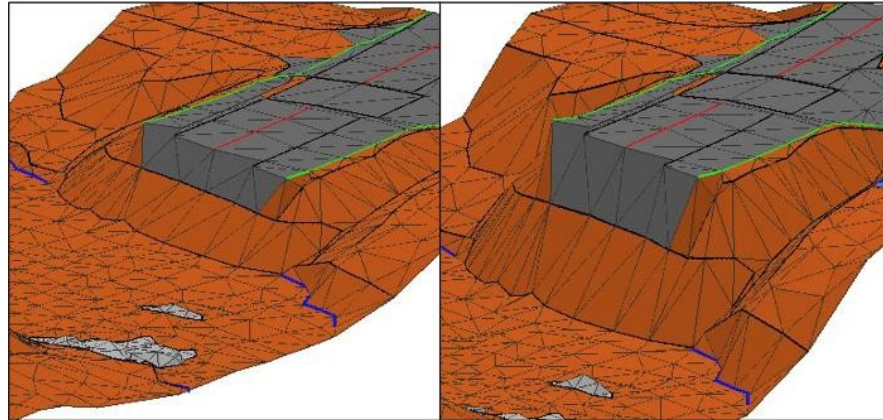
Kolmiointia tarkastelu kannattaa aloittaa vertaamalla kolmioitumista mittausalueeseen. Alla olevassa kuvassa on esitetty kolmioverkko, joka kattaa koko mittausalueen eikä siinä esiinny aukkoja.



Kuva 16. Kolmioverkko ja mittausalue.

Mittausvirheiden havainnointi

3D katselulla voidaan tarkastella kolmioitua aineistoa. Kolmioverkon tarkastelun avulla löytyy yleensä helpoiten mittausten karkeat korkeusvirheet. Virheet esiintyvät aineistossa nousevina tai laskevina pyramideina. 3D katselu saadaan auki ylävalikosta **ikkuna>3D katselu** ja katselu avautuu erilliseen ponnahdusikkunaan. Katselussa voidaan z-arvoa muuttamalla korostaa maanpinnan korkeutta, mikä helpottaa korkeusvirheiden löytämistä. Kolmioinnin keskellä esiintyvät valkoiset alueet ovat kolmioinnin aukkoja.



Kuva 17. Vasemmalla puolella normaali z-arvo ja oikealla puolella kuvaa z-arvoa kasvatettu.

Korkeuskäyrien käyttö

Maastomallista voidaan tuottaa korkeuskäyrät, minkä avulla poikkeavuudet korkeudesta on helpompi havaita. Korkeuskäyrät on tehtävä tiheällä käyrävälillä, jotta poikkeavuudet huomataan. Yläpalkista maastomalli>korkeuskäyrät>laske saadaan avattua korkeuskäyrien laskennan valikko.



Kuva 18.
Korkeuskäyrien
laskennan valikko.

Kuva 19. Korkeuskäyrien käyttö korkeuden tarkastamiseen.



Tiedoston tallentaminen

Valmis korjattu mittaustiedosto (.gt) tallennetaan työkansioon mittauksien alle. Tallennusmuoto on työnnumero, mittaus, tasokoordinaatisto, korkeusjärjestelmä, päivämäärä ja mittajaan tunnus.

Esimerkki:

1510090385_Maastomalli_GK25_N2000_20240131_MAJAVA.gt

Maastomallimitausten tarkistuksen pikaohje

1. Yhdistä taiteviivat ja korjaa mahdolliset virheet. Tarkastele aineiston vastaavuus todelliseen ympäristöön. Huomioi taiteviivojen järjestys ja suunta. Tarkasta mittauksien kattavan koko mittausalueen.

2. Tarkista aineisto tiedoston tarkistuksella ja korjaa virheet.

- Koodauksen tarkistus
- Vertaa kaikkia pintoja eli 1 ja 2 pinnan vertailu tarkistuksessa
- Samojen viivojen tarkistus
- Viivaosion pituudella viivapisteiden maksimi välimatkan tarkistaminen
- Piste-viiva etäisyydellä liianlähekkäisten viivojen tarkistus

3. Korjaa taiteviivojen ja pisteiden numeroinnit uudelleen numeroinnilla.

4. Kolmioi aineisto. Asetuksista voidaan määritellä tarkistuksen asetukset.

- Maksimisivuna on hyvä pitää 10 m, jolloin pisteiden välinen maksimi etäisyys tarkistetaan samalla.

5. Tarkastele kolmioitua aineistoa.

- Kolmioverkko kolmioituu loogisesti eikä siihen jää aukkoja.
- Kolmiointi kattaa koko

Maastomallimittausten tarkastuslomake

Tarkastuslomake Maastomallimittaukset



Työmaan nimi: _____

Työnumero: _____

Visuaalinen tarkastus:

Mittaukset vastaavat todellista maastoa	<input type="checkbox"/>
Puuttuvat kohteet	<input type="checkbox"/>
Koko mittausalue mitattu	<input type="checkbox"/>
Virheiden tarkastelu	<input type="checkbox"/>

Koodaus:

Pintatunnukset	<input type="checkbox"/>
Koodit	<input type="checkbox"/>
Geometria	<input type="checkbox"/>
Viivanumerot	<input type="checkbox"/>
Viivapisteiden numerot	<input type="checkbox"/>

Kolmiointi:

Kolmioituvuus	<input type="checkbox"/>
Verkon aukot	<input type="checkbox"/>
Kolmiointi kattaa koko mittausalueen	<input type="checkbox"/>
3D-tarkastelu	<input type="checkbox"/>

Pisteet ja taiteviivat:

Nollakorot	<input type="checkbox"/>
Samat pisteet	<input type="checkbox"/>
Liianpitkät pistevälit >10m	<input type="checkbox"/>
Taiteviivojen jatkuvuus	<input type="checkbox"/>
Taiteviivojen oikea järjestys ja suunta	<input type="checkbox"/>
Leikkaavat viivat pinnalla 1 ja 2	<input type="checkbox"/>
Päällekkäiset tai edestakaiset viivat	<input type="checkbox"/>
Taiteviivojen pistevälit <10m	<input type="checkbox"/>
Taiteviivojen etäisyys 0,02<10m	<input type="checkbox"/>

Muita huomioita:

Tarkastettu:

Pvm:

Tarkastaja: