

OULUN KAUPUNGIN MAASTOMALLIPROSESSI

Oulun Infra -liikelaitos

Heikkinen Riikka

Opinnäytetyö

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Riikka Heikkinen	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Timo Karppinen		
Toimeksiantaja	Oulun Infra -liikelaitos		
Työn nimi	Oulun kaupungin maastomalliproessi		
Sivumäärä	56		

Opinnäytetyö käsittelee Oulun kaupungin maastomalliproessia kokonaisuutena oikean työelämän esimerkin kautta. Oulun kaupungin Linnanmaan kaupungin-osan liikennejärjestelyiden parantamisen hanketta varten Oulun Infra -liikelaitoksen Mittaus ja geotekniikalta tilattiin maastomalli syksyllä 2022. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Oulun Infra -liikelaitos ja sen tarkoituksena oli kuvata maastomallin perusasioita ja mallin tuottamisen prosessia opiksi alan opiskelijoille sekä vertailukohdaksi Suomen muille kunnille.

Opinnäytetyö kuvaa Linnanmaan maastomallin tuottamisen vaiheet ja esiin nousevat prosessin ongelmat. Opinnäytetyö tarjoaa perustavanlaatuaista tietoa maastomallista, maastomallin mittauksesta maastossa sekä aineiston käsittelystä ennen sen luovuttamista tilaajalle. Opinnäytetyössä kerrotaan, kuinka maastomallin tuottaminen eroaa normaalista kartoitusmittauksesta ja nostaa esille maastomallin keskeiset asiat: Z-koordinaatin tärkeyden sekä maaston taiteviivan ja hajapisteiden merkityksen.

Linnanmaan maastomallikartoituksissa käytetty mittauskalusto oli Trimble GNSS-järjestelmä, robottitakymetri ja maastotietokone. Maastomallialueelle kartoitettiin staattisena GNSS-mittauksena lähtöpisteinä käytettävät apupisteet, joiden Z-koordinaatti sidottiin korkeuskiintopisteeltä tuotuun korkeustasoon. Maastomalli kartoitettiin robottitakymetrimittauksena vapailta asemapisteiltä ja maastomallin mittauksessa noudatettiin Väyläviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohjetta 18/2017. Maastomallin mittausaineisto käsiteltiin 3D-Win-ohjelmistolla ja aineiston tilaajalle toimittamisen lisäksi se vietiin Oulun kaupungin käyttämän Tekla Civil -järjestelmän maastomallien tietokantaan.

Tuotettu Linnanmaan maastomalli on kooltaan erittäin iso sekä kartoituskohteiltaan monipuolinen ja tarjoaa hyvän tietopohjan maastomallin perusasioista ja joistakin sen erikoisuuksista takymetrimittauksien osalta. Maastomallialueen suuren koon vuoksi maastotyöt olivat työläitä ja vastaavien mallien tuottamista voitaisiin harkita tehtävän osittain ilmalaserkeilauksella. Väyläviraston mittausohjeen tarkkuusvaatimusten vuoksi täydennyskartoituksia olisi tuolloin kuitenkin täytynyt suorittaa paljon takymetrimittauksina. Oulun kaupungin suunnittelijoiden Tekla Civil -tietokannan maastomallien vapaata käyttöä täytyy valvoa, jotta suunnittelutyöhön käytettävä maastomalliaineisto on varmasti ajantasainen ja täyttää tarkkuusvaatimukset.

Avainsanat

maastomalli, kartoitus, takymetrimittaus

Degree Programme in Land Surveying Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Riikka Heikkinen	Year	2023
Supervisor(s)	Timo Karppinen		
Commissioned by	Oulu Infra Public Utility		
Title	Terrain Model Process of the City of Oulu		
Number of pages	56		

The aim of this thesis was to describe the terrain model process of the city of Oulu. The terrain model of Linnanmaa district in the city of Oulu was done by Oulu Infra Public Utility's Survey and Geotechnics unit in the autumn of 2022. This thesis aims to describe the basics of a terrain model and the process of producing one in order to educate students and to be a reference for other municipalities in Finland.

The surveying field work was done by using Trimble robotic tachymeter and GNSS-system and the work followed the Finnish Transport Infrastructure Agency's Road and Railway Project's Terrain Data Measurement Guideline 18/2017. The terrain model data was edited by using 3D-Win software and the finished terrain model data was submitted to the client. The data was also uploaded to the Tekla Civil system's terrain model database.

The terrain model of Linnanmaa was very big in size and very diverse. That is why the thesis includes comprehensive information about the basics and the specialities of a terrain model produced by tachymetric surveying. Because the surveying field work was so laborious other methods like aerial laser scanning could be used to produce the terrain model. Because of the Finnish Transport Infrastructure Agency's measurement guideline, the accuracy of aerial laser scanning data would have been inadequate on some respects. The usage of Tekla Civil terrain model database material by Oulu city planners should be regulated to make sure that the used data is up-to-date and meets accuracy requirements.

Keywords

terrain model, surveying, tachymetric survey

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	OULUN KAUPUNKI	9
2.1	Oulun Infra -liikelaitoksen Mittaus ja geotekniikka	9
2.2	Tilaajat	9
3	MAASTOMALLI	11
3.1	Maastomallin perusteet	11
3.2	Väyläviraston mittausohje	12
3.2.1	Tarkan maastomallin tietosisältö ja laatuvaatimukset	13
3.2.2	Maastomalliaineiston toimittajan laadunvarmistus	14
3.3	Pintavaaitus	14
3.4	Digitointi	15
3.5	Ilmakuvakartoitus	15
3.6	Ilmalaserkeilaus	16
3.7	Takymetrimittaus	17
3.7.1	Kohteen ominaisuustiedot	18
3.7.2	Hajapiste ja taiteviiva	19
3.8	Maastomallien käyttö	21
4	KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT	22
4.1	3D-Win	22
4.2	Trimble Locus Cloud	22
4.3	Tekla Civil	22
5	OULUN LINNANMAAN MAASTOMALLIKOHDE	24
5.1	Oulun Linnanmaa	24
5.2	Hanke ja maastomallitilaus	24
6	MAASTOMALLIN TUOTTAMINEN	26
6.1	Mittauskalusto ja koordinaattijärjestelmä	26
6.2	Maastotöiden esivalmistelu	27
6.3	Maastomallimittaukset maastossa	29
6.3.1	Katselmointi	29
6.3.2	Apupisteet	29
6.3.3	Korkeuden tuonti	31

6.3.4	Vapaa asemapistete ja sen laaduntarkkailu	34
6.3.5	Viivamaiset kohteet	35
6.3.6	Reunakivet	38
6.3.7	Pistemäiset kohteet	39
6.3.8	Alikulkukäytävät ja sillan rakenteet	41
6.4	Maastomalliaineiston käsittely	43
6.4.1	Aineiston uloskirjoitus ja tallentaminen	43
6.4.2	3D-Win editointi	44
6.4.3	Laadunvarmistus	48
6.5	Valmiin maastomalliaineiston luovutus tilaajalle	49
7	MAASTOMALLIN VIEMINEN TEKLA CIVIL -TIETOKANTAAN	51
8	MAASTOMALLIPROSESSIN ONGELMAKOHDAT	52
9	POHDINTA	53
	LÄHTEET	55

KÄYTETYT LYHENTEET JA KÄSITTEET

Asemapiste	piste johon koje, kuten takymetri, on keskitetty eli pystytetty (Trimble Access 2023c)
DR-mittaus	direct reflex -etäisyydenmittaustapa, jolla mitataan heijastamattomia kohteita (Trimble Access 2023c)
DWG-formaatti	AutoCAD-ohjelmiston alkuperäinen tiedostomuoto, joka voi käsittää malleja, geometrisia tietoja, karttoja ja kuvia ja se on yleisimmin käytettyjä suunnittelutietomuotoja (Autodesk 2023)
DXF-formaatti	vektorimuotoinen graafikkatiedostoformaatti, jota käyttävät CAD-ohjelmistot kuten AutoDesk (Trimble Access 2023c)
ETRS-GK26	Oulun kaupungin käyttämä koordinaattijärjestelmä
GNSS	global navigation satellite system, maailmalaajuinen satelliittijärjestelmä
GT-formaatti	nimitys samalle Geonic-tiedonsiirtoformaatille
Korkeuskiintopiste	kiintopiste maastossa, jonka tarkka Z-korkeuskoordinaatti tunnetaan
N2000	Oulun kaupungin käyttämä korkeusjärjestelmä
Orientointi	kojeen sijainnin määrittäminen käytetyssä koordinaatistossa liitospisteiden avulla

Ortokuva	yksittäisistä ilmakuvista yhdistämällä muodostettu kuva, joka vastaa geometrialtaan karttaa (Maanmittauslaitos 2023b)
Robottitakymetri	kolmiulotteisia koordinaatteja mittaava maastomittauslaite, johon maastotietokoneen maastomittausohjelma muodostaa yhteyden radion kautta niin, että takymetria voidaan ohjata robottina maastomittausohjelman avulla (Trimble Access 2023c)
Trimble	yhdysvaltalainen yritys, joka valmistaa maanmittauskojeita, GNSS-järjestelmiä sekä ohjelmistoja

1 JOHDANTO

Maastomalli on maanpinnan muotoja ja rakennettua ympäristöä kuvaava kolmiulotteinen, numeerisesta aineistosta koostuva malli (Laurila 2012, 265). Maastomalleja voidaan tuottaa usealla eri tavalla, mutta tarkimmat maastomallit tuotetaan takymetrimittauksilla maastossa. Rakentamisen suunnittelu nojaa vahvasti maastomallien käyttöön ja maastomallin tuottaminen eroaa osittain huomattavasti normaalista kartoitusmittauksesta. (Rantanen 2021, 250.)

Oulun kaupungin Infra -liikelaitoksen Mittaus ja geotekniikka tuottaa maastomalleja kunnallisteknistä suunnittelua ja rakentamista varten Oulun kaupungin alueella. Maastomallit tuotetaan pääasiassa takymetrimittauksina ja niiden maastomittaukset vaativat melko laajaa tietämystä siitä, kuinka asioita maastossa kartoitetaan.

Olen suorittanut maastomallimittauksia pääasiallisesti takymetrillä Mittaus ja geotekniikassa melkein 15 vuoden ajan ja tästä ajasta suurimman osan kartoittajan nimikkeellä. Tuona aikana olen opastanut useita kausityöntekijöitä takymetrillä tapahtuvaan maastomallimittaukseen ja havainnut, että alan opiskelijoilla on melko heikko ymmärrys siitä, mikä maastomalli on ja kuinka niiden maastomittauksia tehdään.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on avata maastomallin perusajatusta sekä valottaa Oulun Infra -liikelaitoksen maastomallien tuottamisen prosessia oikean työelämän esimerkin kautta Mittaus ja geotekniikan tuottamana. Tarkoituksena on kuvata Mittaus ja geotekniikan maastomalliprosessi yleiseksi opiksi alan opiskelijoille sekä myös vertailukohdaksi Suomen muille kunnille. Tarkoituksena ei ole syventyä maanmittausalan ohjelmistojen käyttöön vaan kuvata maastomallikartoitustyötä ja maastomalliprosessia kokonaisuutena.

2 OULUN KAUPUNKI

2.1 Oulun Infra -liikelaitoksen Mittaus ja geotekniikka

Oulun Infra -liikelaitos tuottaa maarakennuspalveluita, ympäristöpalveluita sekä kunnossapitopalveluita Oulun kaupungin hallinnoimalle infrastruktuurille. Oulun Infran Maarakennuspalveluiden tehtäviin kuuluu katujen, ulkoilureittien ja liikuntapaikkojen sekä vesi- ja viemäriverkostojen rakentaminen ja peruskorjaaminen. Oulun Infra työllisti vuonna 2021 noin 200 vakinaisessa palvelusuhteessa olevaa työntekijää. (Oulun kaupunki 2022, 295, 298.)

Maarakennuspalvelut tuottaa myös erilaisia mittauspalveluja Oulun kaupungin eri organisaatioiden tarpeisiin (Oulun kaupunki 2022, 295). Näistä mittauspalveluista vastaa pääasiassa Mittaus ja geotekniikka yksikkö.

Mittaus ja geotekniikka tuottaa maastomittauksia ja pohjatutkimuspalveluita, joita hyödynnetään Oulun kaupungin yhdyskuntasuunnittelussa, rakentamisessa, rakennusvalvonnassa ja karttahuollossa (Oulun kaupunki 2022, 295). Mittauspalveluihin kuuluvat työmaa- ja kartoitusmittaukset, rakennusvalvontamittaukset sekä tonttimittaukset ja tonttien pyykitykset. Geotekniikka puolestaan tuottaa pohjatutkimuksia, pohjavesihavaintoja ja suunnittelua palvelevia mittauksia eli pääasiallisesti maastomalleja.

Mittaus ja geotekniikka työllistää noin 20 vakituista työntekijää ja kesä kautena noin viisi kesäharjoittelijaa. Yksikön liikevaihto oli vuonna 2022 noin 1,2 miljoonaa euroa. (Työryhmäraportti 2022, 9.)

2.2 Tilaajat

Mittaus ja geotekniikan palveluiden tilaajana toimivat Oulun kaupungin eri organisaatiot, mutta pääasiallisia tilaajia ovat yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut, kadut ja liikenne, liikuntapalvelut ja Oulun Vesi (Työryhmäraportti 2022, 9).

Mittaus ja geotekniikalta tilatuissa suunnittelua palvelevissa maastomallimittauksissa, tilaajaorganisaatio käyttää pääasiallisesti suunnittelutyössä yksityisen puo-

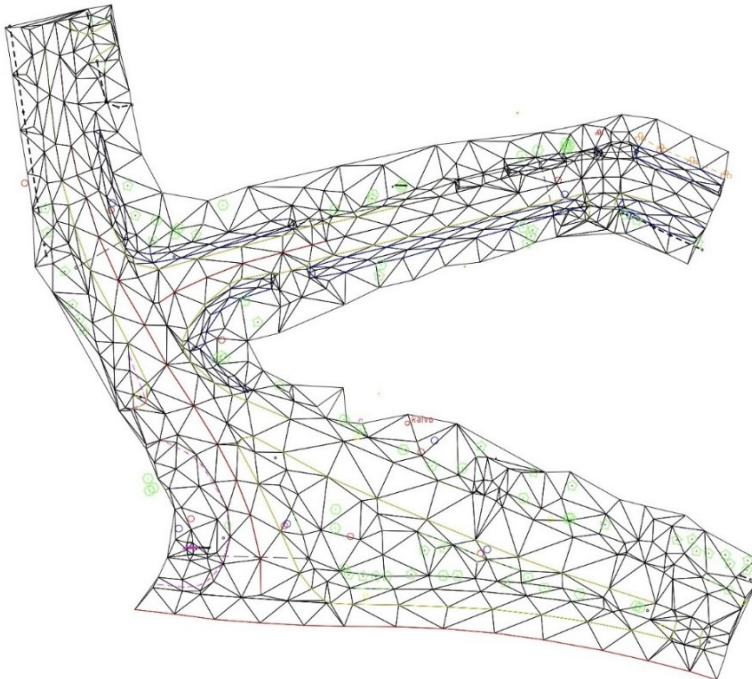
len suunnittelijoita. Tilaukset tulevat siis kaupungin organisaatiolta, mutta tilauksen sisällön määrittää usein yksityinen suunnittelu- ja konsultointiyritys. Oulun kaupungin suunnittelun tarpeisiin Mittaus ja geotekniikalta maastomalleja tilaavia suunnittelu- ja konsulttiyrityksiä ovat muun muassa Ramboll Finland Oy, Sitowise, WSP ja Sweco.

3 MAASTOMALLI

3.1 Maastomallin perusteet

Maastomalli on kolmiulotteinen malli, jolla pyritään kuvaamaan rakennettua ympäristöä ja maapinnan muotoja (Laurila 2012, 265). Yleisesti ottaen maastomallilla tarkoitetaan maastosta hankittua numeerista aineistoa, jolla erilaisten ohjelmien avulla, voidaan visualisoida ja hahmottaa kohteen maaston muotoja. Maastomalleja hyödynnetään nykyään hyvin paljon erilaisissa rakentamisen suunnittelutöissä. (Rantanen 2021, 250.)

Maastomallimittaukset poikkeavat normaalista kaksiulotteisen kartan tuottamisen kartoitusmittauksista niin, että kohteen sijainnin kertovien X- ja Y-koordinaattien lisäksi mitataan myös kohteen korkeussijainti eli Z-koordinaatti (Rantanen 2021, 250). Jotta maastomalli voidaan muodostaa kartoitetun aineiston pohjalta, täytyy maastosta siis kartoittaa kohteiden muoto ja sijainti koordinaatteina ja korkeuksina. Maastomalliohjelmien avulla kartoitetun aineiston pisteiden välille voidaan muodostaa kolmioverkkomalli (kuvio 1), joka kuvastaa yhtenäistä maanpinnan mallia. (Laurila 2012, 265.)



Kuvio 1. Kartoitetusta maastomalliaineistosta muodostettu kolmioverkkomalli

Kolmioverkkomalli muodostetaan niin, että maastomalliohjelma yhdistää lähimmät kartoitusaineiston pisteet toisiinsa avaruusvektoreilla ja näin saadaan kolmion muotoisia kolmiulotteisia pintoja. Nämä kolmiot kattavat koko maanpinnan alueen ja muodostavat näin yhtenäisen, maanpintaa edustavan kolmioverkkomallin (Rantanen 2021, 259). Kolmioverkkomalli voidaan ajatella ikään kuin isona kalaverkkona, jonka verkonsilmät ovat kolmion mallisia. Kun tämä verkko heitetään maastoon, se laskeutuu noudattamaan muodossaan kaikkia maanpinnan kohoumia ja painaumuksia.

Maastomallissa pyritään kuvaamaan ennen kaikkea kohdealueen maastonmuodot ja maanpäälliset rakenteet kuten tiet ja sillat, mutta myös maanalaisia kohteita mallinnetaan maastomalleilla (Laurila 2012, 265). Lähtökohtaisesti maastomalliin kartoitetaan aivan kaikki maastonmuodot ja rakennetut kohteet maastomallin kohdealueelta, ellei maastomallin tilaaja ole toisin määritellyt.

Maastomallimittaus on suhteellisen tuore maastomittauksen alue, joka on muuttunut huomattavasti viimeisen 15 vuoden aikana mittaustekniikan mennessä eteenpäin. GNSS-vastaanottimien, takymetrioiden ja tallentimien kehittyminen on mahdollistanut maastotietojen keräämisen maastosta monipuolisessa numeerisessa muodossa ja samalla alan ohjelmistojen kehittyminen on mahdollistanut mittausaineistojen paremman hyödyntämisen ja jalostamisen. (Rantanen 2021, 250, 252.)

Lisäksi erilaisten lennokkien ja dronejen yleistyttyä, ilmasta käsin tapahtuva maaston mittaaminen ja kuvaaminen on tullut helpommaksi. Kolmiulotteisia maastomalleja voidaan tuottaa pintavaaikutuksella, digitoinnilla, ilmakuvakartoituksella, ilmalaserkeilauksella ja ennen kaikkea takymetrimittauksella (Laurila 2012, 266; Rantanen 2021, 252).

3.2 Väyläviraston mittausohje

Maastomallimittauksissa noudatetaan Väyläviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohjetta 18/2017. Mittausohjeen noudattamista vaativat usein jo suunnittelijat maastomallitilauksessa. Ohjeessa mainitaan, että maastomalli on väyläsuunnittelussa käytettävistä maastotietoaineistoista tarkin (Väylävirasto 2017, 9).

Mittausohjeessa määritellään tarkan maastomallin koodausohjeeksi Infran maastomalli -formaatti, joka on laajasti käytössä kuntasektorilla. Ohjeessa kuvataan tie- ja ratahankkeiden suunnittelussa tarvittavat maastomittaukset ja näiden mitausten yleiset ja yksityiskohtaiset ohjeet. Lisäksi mittausohjeessa kerrotaan mitausten laatuvaatimukset ja laaduntarkastusmenettelyt. (Väylävirasto 2017, 4, 8.)

3.2.1 Tarkan maastomallin tietosisältö ja laatuvaatimukset

Väyläviraston mittausohjeessa tarkan maastomallin kappaleessa on määritelty tarkat maastomallin kohteiden koodit, joita on noin 250 peruskoodia, ja pintatunnukset näille koodeille. Käytettäviä pintatunnuksia ovat 1, 2 ja 9. Näistä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 3.7.1 Kohteen ominaisuustiedot. Oulun Infra -liikelaitoksen Mittaus ja geotekniikka käyttää maastomallien koodauksessa näitä Väyläviraston mittausohjeen koodeja, mutta vuosien saatossa mittauksissa maastossa on tullut vastaan jonkin verran kartoituskohteita, joille ei mittausohjeessa ole määritelty koodia. Tämän vuoksi Mittaus ja geotekniikka on luonut itse lisäkoodeja täydentämään koodauslistaa käyttämällä mittausohjeen vapaita koodinumeroita.

Mittausohjeessa määritellään kohteiden jaottelu viivamaisiin taiteviivoihin ja pistemäisiin kohteisiin kuten maanpinnan hajapisteisiin ja kartoituskohteisiin. Yksittäisten kohteiden tarkkuuden keskivirheeksi määritellään enintään 50 mm X- ja Y-koordinaateissa ja tämä koskee niin pistemäisiä kohteita kuin myös viivamaisien kohteiden taitepisteitä. Kohteiden korkeuden eli Z-koordinaatin keskivirhekovilla pinnoilla kuten päällysteellä on enintään sama 50 mm ja rakentamattomassa maastossa otetaan huomioon korkeuden tulkinnan epävarmuus. (Väylävirasto 2017, 20.)

Siltarakenteissa maastomallin tarkkuusvaatimukset ovat hieman kireämmät ja näissä mittauksen keskivirhe X-, Y- ja Z-koordinaateissa saa olla enintään 25 mm. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sillan maatuet sekä sillan reunapalkin yläreuna. (Väylävirasto 2017, 20.)

Väyläviraston mittausohjeen mukaan maastomallin hajapisteiden ja taiteviivojen pisteiden pisteväli saa olla korkeintaan 10 m jos kyseessä ei ole raiteen kartoitus

(Väylävirasto 2017, 21). Ihanteellinen kohteiden kartoituspisteiden väli maastomallissa olisi 3–5 m (Väylävirasto 2017, 27).

Muodostettaessa maastomallin pintamalli saa korkeuden interpoloinnin keski-
virhe olla korkeintaan 100 mm. Tämän vuoksi maastomallin hajapisteiden ja taiteviivojen pisteiden pistetiheys ei saa olla liian harvaa sillä se voi johtaa liian kärkeään pinnan korkeuden yleistyksen maastomallissa. (Väylävirasto 2017, 20.)

3.2.2 Maastomalliaineiston toimittajan laadunvarmistus

Väyläviraston mittausohjeen mukaisesti tarkan maastomalliaineiston toimittajan vastuulla on tehdä aineistolle tietyt laadulliset tarkastukset. Näillä tarkastuksilla pyritään varmistamaan maastomalliaineiston toimivuus sekä sen muodolliset vaatimukset. (Väylävirasto 2017, 29.)

Maastomallista tarkistetaan, että siinä ei esiinny pintatunnuksen 1- ja 2- pinnalla toisiaan leikkaavia taiteviivoja ja että kaikki koodit ovat koodilistauksen mukaisia ja ne esiintyvät oikein niille määrätyillä pinnoilla. Lisäksi täytyy tarkistaa, että aineistossa ei esiinny muita selviä virheitä kuten 0-korkeuksia tai negatiivisia korkeuksia. Aineistosta täytyy myös varmistaa, että maastomallin taiteviivoissa ei ole yli 10 m pistevälejä yli 10 % kaikista taiteviivoista. Lopuksi maastomalliohjelman avulla tarkistetaan, että maastomallista muodostuu kolmioverkko oikein ja tuo kolmioverkko on yhtenäinen. (Väylävirasto 2017, 21, 29.)

3.3 Pintavaaitus

Pintavaaituksella mitataan kohdealueen korkeuseroja ja sillä on pystytty mallintamaan pieniä alueita hyvinkin tarkasti käyttäen vaaituskojetta ja pintavaaituslaitta (Laurila 2012, 228). Pintavaaituksella hankitusta mittausdatasta voidaan muodostaa korkeuskäyriä sekä pituus- ja poikkileikkauksia. Pintavaaitusaineistoa käytetään myös massalaskennassa. (Rantanen 2021, 252.)

Mittauslaitteiden yleistyessä ja tekniikan sekä ohjelmistojen mennessä eteenpäin pintavaaituksen käyttö on yleisesti ottaen vähentynyt (Laurila 2012, 228). Lisäksi

suunnittelijoiden halutessa maastomallin alueelta tarkempaa mittausdataa numeerisessa muodossa, ei pintavaaitus enää ole riittävää täyttämään näitä tarpeita (Rantanen 2021, 252).

3.4 Digitointi

Maastomalli voidaan tuottaa digitoimalla tarkoista ja ajan tasalla olevista kartoista käyttämällä digitointipöytää ja orientoimalla kartta koordinaattiristien avulla. Prosessissa osoitetaan kartalta kohteen koordinaatit ja ne tallennetaan kohteen syötettyjen koodien kanssa yhdeksi tiedostoriviksi. (Rantanen 2021, 253.)

Jotta saadaan digitoimalla maastomallikelpoinen kolmiulotteinen aineisto, täytyy jokaiselle digitoitavalle pisteelle saada Z-koordinaatti. Korkeustiedon saamiseksi täytyy Z-koordinaatti arvioida kohteelle lähimmistä korkeuskäyristä ja syöttää korkeusarvo tietokoneella jokaiselle pisteelle erikseen. (Rantanen 2021, 254.)

Digitoinnilla voidaan siis saada aikaiseksi maastomalleihin soveltuva kolmiulotteinen kartta-aineisto. Koska digitointi tehdään mahdollisesti piirtovirheitä ja yleistyksiä sisältävältä kartalta sen tarkkuus ei ole yhtä hyvä kuin esimerkiksi maastomittaukset. (Rantanen 2021, 254.) Tämä yhdistettynä kohteiden korkeuden kärkeään arviointiin korkeuskäyrien avulla johtaa siihen, että digitoimalla aikaan saadut maastomalliaineistot eivät ole kovin tarkkoja ja soveltuvat huonosti nykypäivän vaativan rakentamisen suunnittelussa käytettäviksi.

Maastomalleja digitoidaan nykyään harvemmin käyttäen paperikarttoja. Sen sijaan digitointi tehdään numeerisesti käyttäen digitointityön pohjana esimerkiksi ortokuvia.

3.5 Ilmakuvakartoitus

Ilmakuvat ovat lentokoneesta tai dronesta otettuja pystykuvia maastosta, joista valmistetaan mittatarkkoja ortokuvia sekä stereomalleja ja niitä hyödynnetään kartoituksessa (Maanmittauslaitos 2023a). Ilmakuvakartoituksia tehdään yleensä suurilta alueilta (Rantanen 2021, 252).

Ennen ilmakekuvaukseen alueelle rakennetaan maastoon signaloituja kiintopisteitä, joiden tarkat koordinaatit mitataan. Tämän jälkeen alueella suoritetaan ilmakekuvaukseen, jossa lentokoneella lennetään vierekkäisiä lentojonoja myöten kohdealueen yllä ja alue kuvataan peräkkäisinä ilmakekuvina. Peräkkäiset ilmakekuvat asetetaan stereokojeeseen, jonka avulla saadaan muodostettu stereomalli. Saadut ilmakekuvat orientoidaan koordinaatistoon käyttäen maastoon signaloituja kiintopisteitä, jotka erottuvat kuvilla. Ilmakekuvista voidaan digitoida halutut kohteet kuten tiet ja rakennukset, käyttäen kohteen koodia ja näin saadaan selville kohteiden sijainti sekä Z-koordinaatti. Näin muodostetaan ilmakekuvilta koodattua kolmiulotteista mittaustietoa kohdealueen maastosta. (Rantanen 2021, 252.)

Ilmakekuvauksen avulla tuotettuihin maaston mittaustietoihin jää kuitenkin usein katvealueita, joita peittää esimerkiksi puusto tai mahdollisia maanalaisia kohteita kuten alikulkutunneleita. Nämä alueet täytyy käydä täydentämässä yleensä maastomallimittauksilla kohteessa (Rantanen 2021, 253). Ilmakekuvauksella tuotetut maastomallit soveltuvat suuripiirteisempään suunnitteluun isoilla alueilla, mutta yleensä eivät sovellu nykyään kovin hyvin tarkan rakentamisen suunnitteluun juuri tarkkuusvaatimusten vuoksi.

3.6 Ilmalaserkeilaus

Ilmalaserkeilauksessa mitataan etäisyyksiä ja mittauksen mittaussuunnat on orientoitu tarkasti. Laserkeilain kiinnitetään lentokoneeseen, helikopteriin tai droneen, joka lentää kohdealueen yläpuolella vierekkäisiä lentojonoja pitkin. Laserkeilain lähettää laserpulsseja alla olevaan maastoon ja nämä pulssit osuvat maanpintaan ja sen kohteisiin kimmoten niistä takaisin laserkeilaimen ilmaisinaan. (Laurila 2012, 269–270.)

Laserpulssin kulkemasta etäisyydestä saadaan ohjelmistojen laskennan avulla ratkaistua mittauspisteen koordinaatit, kun tunnetaan myös lasertykin tarkka paikka ja asento. Lasertykin paikka mitataan käyttäen satelliittipaikannusta (GNSS) ja tykin asento saadaan selville puolestaan inertiamittausjärjestelmällä (IMU). (Laurila 2012, 270.)

Ilmalaserkeilauksella mitattu aineisto muodostaa pistepilven, jonka jokaisen pisteen koordinaatit tunnetaan ja tämä pistepilvi muodostaa digitaalisen pintamallin.

Tästä pintamallista voidaan luokitella erikseen maapinta, kasvillisuus ja rakennukset käyttäen avulla laserkeilauksen yhteydessä otettua digitaalista kuvaa maastosta. (Laurila 2012, 270–271.)

Ilmalaserkeilaus soveltuu maastomallien tuottamiseen suurilla alueilla, joiden mittaaminen maastotyönä olisi työlästä ja aikaa vievää. Laserkeilauksella tuotettujen pintamallien korkeustarkkuus vaihtelee välillä 0,15–0,50 m ja tasosijainnin tarkkuus on välillä 0,15–0,75 m (Laurila 2012, 270). Mutta kuten ilmakuvauksessakin kohdealueelle jää katvealueita ja maanalaisia kohteita, jotka täytyy täydentää maastomallimittauksina maastossa. Lisäksi laserkeilauksella saadun aineiston tarkkuuden riittävyys suunnittelutyöhön riippuu hyvin paljon siitä, millaisesta kohdealueesta on kyse ja mihin muodostettua pintamallia tullaan käyttämään. Joskus ilmalaserkeilaamalla tuotettu maastomalli rakennetusta ympäristöstä ei ole riittävän tarkka palvelemaan tarkkaa rakennusteknistä suunnittelua.

3.7 Takymetrimittaus

Maastomallien mittaus maastossa GNSS-vastaanottimella, takymetrilla ja tallentimella on maastomallin tarkkuusvaatimuksen vuoksi pääasiallinen mittaustapa sillä maastossa tapahtuvalla fyysisellä mittauksella, saadaan yleensä tarkimmat aineistot (Rantanen 2021, 255).

Maastomallimittaus maastossa eroaa huomattavasti normaalista kartoitusmittauksesta muun muassa jatkuvat Z-koordinaatin mukana kulkemisen vuoksi (Rantanen 2021, 255) ja vaatii melko tarkkaa tietämystä siitä mitä ja miten asioita maastossa kartoitetaan nostoen näin kartoittajan roolin hyvin tärkeäksi. Maastomalli on aina sen mittaajansa näköinen eli kahden eri henkilön mittaamat maastomallit eivät ole koskaan täysin samanlaisia. Hyvä maastomalli koostuu kuitenkin aina riittävästä pistemääristä ja taiteviivoista maastomallialueella, mallin viivamaiset elementit eivät leikkaa toisiaan ja kartoitettavat kohteet on mitattu ja koodattu oikein (Rantanen 2021, 262).

Fyysinen maastomallin mittaus takymetrilla maastossa tuottaa tarkkaa aineistoa, mutta samalla se on suhteellisen hidasta, työlästä sekä kallista erityisesti suurilla mittausalueilla. Siksi maastomallimittaukset maastossa soveltuvat parhaiten pienille ja keskisuurille kohteille. (Rantanen 2021, 263.) Tästä huolimatta useat

suunnittelijat arvostavat tarkkaa, maastossa takymetrilla mitattua maastomalliaineistoa niin paljon, että usein kartoitetaan suhteellisen suuriakin alueita.

3.7.1 Kohteen ominaisuustiedot

Maastomallikartoituksessa takymetrilla kohteen X-, Y- ja Z-koordinaattien lisäksi kartoitusaineistoon tallennetaan myös kohteen ominaisuustiedot (Rantanen 2021, 251). Kohteen ominaisuustietoja Infra maastomalli -formaattissa (kuvio 2) ovat kohteen pintatunnus T1, kohteen taiteviivan numero T2 ja itse kohdetta kuvaava koodi T3. Infra maastomalli -formaatti on yhteneväinen yleisesti käytettävissä olevan Geonic-formaatin kanssa (Väylävirasto 2017, liite 1/1).

T1	T2	T3	tunnus/ pistenro	X	Y	Z
1	1	122	1	7217744.991	474507.278	12.972
1	1	122	2	7217743.334	474506.832	12.910
1	1	122	3	7217741.700	474506.211	12.842
1	1	122	4	7217739.421	474505.107	12.724
1	1	122	5	7217735.777	474502.989	12.488

Kuvio 2. Kartoitustiedosto Infra maastomalli -formaattissa

Pintatunnus T1 kuvastaa kartoitettavan kohteen sijaintia maastomallin eri pinnoilla. Pintatunnus 1 edustaa maanpintaa ja tällä pinnalla olevat kohteet tulevat mukaan numeeriseen maastomalliin kolmioverkkoa muodostettaessa. Pintatunnus 2 edustaa kalliopintaa ja se kuvastaa kalliopinnan kohteita. Viimeinen pintatunnus on 9 ja tämä pinta edustaa kartoituspintaa. Kartoituspinnan kohteet eivät edusta varsinaista maanpintaa vaan ovat maanpinnalla sijaitsevia kohteita kuten kaivonkansia ja valaisinpylväitä. Näitä kohteita ei haluta mukaan numeeriseen maastomalliin, mutta niiden sijainti halutaan tietää. (Väylävirasto 2017, liite 1/1.)

Kartoitettavan kohteen taiteviivalla tarkoitetaan sitä, onko kohde muodoltaan yksittäinen piste vai useasta pisteestä muodostuva viiva. Yksittäisiä pisteitä ovat esimerkiksi maanpinnan hajapisteet, yksittäiset lehtipuut ja valaisinpylväät ja tällöin T2 eli taiteviivan numero on 0, viivaa ei siis ole. Viivamainen kohde voi puolestaan olla esimerkiksi päällysteenreuna, reunakivi tai maanpinnan taiteviiva ja

näin ollen taiteviivan numero T2 on juokseva numero maastomallissa. (Väylävirasto 2017, liite 1/1.)

Kohteen koodi T3 kuvaa puolestaan konkreettisesti mikä kartoitettava kohde on ja nämä lajikoodit on määritelty Väyläviraston ohjeessa Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohje. Mittausohjeessa on määritelty kohdekoodit pääasiassa kaikille maastossa yleisesti esiintyville kohteille. Esimerkiksi kartoitettaessa päällysteen reunaa viivamaisena kohteen käytettävä koodi on mittausohjeen mukaan 122. (Väylävirasto 2017, liite 1/1.)

3.7.2 Hajapiste ja taiteviiva

Maastomalleissa, olennaisen tärkeän korkeuskoordinaatin lisäksi, nousevat esille myös käsitteet hajapiste ja maaston taiteviiva, joita ei niinkään esiinny normaaleissa kartoitusmittauksissa. Jotta muodostettava maastomalli olisi mahdollisimman laadukas täytyy maastoon mitata kartoituspisteitä riittävän tiheästi ja kattavasti, jotta malliin ei jäisi tyhjiä alueita sekä käyttää taiteviivaa maastonmuotojen paremman mallintamisen takaamiseksi (Rantanen 2021, 255–256, 259).

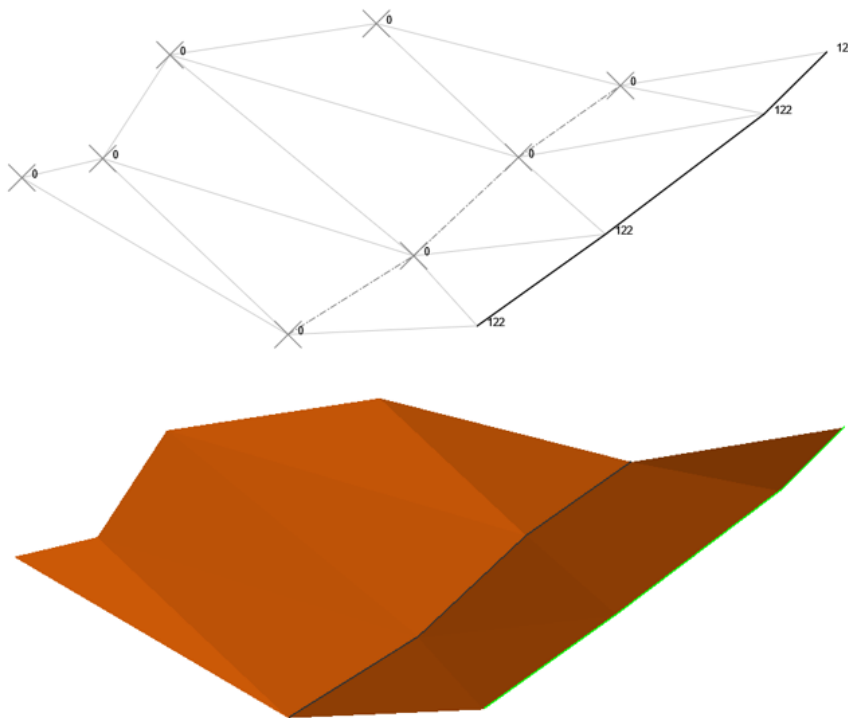
Maastomalliin on helppo kartoittaa ensimmäisenä selvät kohteet kuten tiet ja rakennusten rakenteet, mutta näiden lisäksi täytyy malliin mitata hajapisteitä eli maanpintaa edustavia yksittäisiä pisteitä. Hajapisteissä niiden kartoitusaineiston ominaisuustieto T2 eli taiteviivan numero on 0. Nämä maanpinnan pisteet eivät niinkään edusta mitään tiettyä kohdetta vaan tuovat malliin hyvin tärkeää korkeustietoa. Hajapisteillä pyritään kattamaan niin sanotut ”tyhjät” maastomallin alueet ja näin saadaan tärkeää korkeustietoa, jonka avulla maanpinnan muodot mallintuvat maastomalliin paremmin. Maastomallissa hajapisteillä katetaan esimerkiksi suhteellisen tasainen nurmikenttä puistoalueella ja pisteiden sijainnin voi päättää kartoittaja itse. Tärkeää on kuitenkin pitää hajapisteverkko riittävän tiheänä, jotta maastomallin kolmioverkkolaskennasta tulisi laadukas. (Rantanen 2021, 256–258).

Puhuttaessa maastomallin taiteviivasta tarkoitetaan mittaustiedossa samalla viivanumerolla kartoitettua kohdetta. Tällöin kartoitetun kohteen ominaisuustieto T2 eli taiteviivan numero on juokseva numero ja samalla taiteviivanumerolla kartoi-

tetut kohteet kuvautuvat kartalla viivamaisena elementtinä. Maastomallin viivamaisia kohteita ovat esimerkiksi päällysteen reunat ja reunakivet. (Rantanen 2021, 259.)

Normaalia tienreunaa edustavia taiteviivojen lisäksi maastomalliin mitataan myös maanpinnan taiteviivoja. Maanpinnan taiteviivat ovat ikään kuin maanpinnan hajapisteitä, mutta viivamaisena elementtinä ne edustavat huomattavia painaumia ja maaston pinnanmuotojen taitekohtia. (Rantanen 2021, 259.) Tällaisissa taitekohdissa maanpinnan kaltevuus muuttuu huomattavasti ja tällaisia taitteita ovat esimerkiksi tieluiskien ylä- ja alareuna (Laurila 2012, 266).

Taiteviivat ovat erittäin tärkeitä maastomalleissa sillä ne parantavat huomattavasti maastomallin tarkkuutta (Laurila 2012, 266). Muodostettaessa kolmioverkkoja verkon kolmioiden kannat asettuvat aina taiteviivoille kuten kuviossa 3 on havainnollistettu ja maastomalliohjelmat eivät muodosta näitä kolmioita taiteviivojen yli (Laurila 2012, 266; Rantanen 2021, 260). Jos maanpinnan taiteviivoja ei käytetä, maastomallista on riskinä tulla liian voimakkaasti maanpinnan muotoja yleistävä (Rantanen 2021, 261).



Kuvio 3. Kolmioverkkomallissa kolmioiden kannat asettuvat aina taiteviivoille

3.8 Maastomallien käyttö

Maastomalleja tuotetaan hyvin paljon rakentamisen suunnittelua varten, jossa tarvitaan tarkkaa numeerista maastotietoa suunnittelukohteessa vallitsevasta fyysisestä ympäristöstä (Rantanen 2021, 251). Suunnitelmat voivat koskea esimerkiksi uutta tietä ja leikkipuistoa tai tarkoituksena voi olla peruskorjata ja parantaa jo olemassa olevaa kohdetta. Maastomallimittaus voi siis kohdistua täysin luonnontilaiseen ympäristöön tai jo rakennettuun kohteeseen. Ennen suunnittelun alkamista suunnittelijat tahtovat tietää vallitsevat maaston ja rakennetun ympäristön olosuhteet suunnittelukohteessa yleensä sillä tarkkuudella, että suunnittelijoiden ei ole tarpeen itse missään vaiheessa edes käydä suunnittelualueella (Rantanen 2021, 251).

Rakennusteknisen suunnittelun lisäksi maastomalleja hyödynnetään myös erilaisissa tilavuuslaskelmissa, kun halutaan maastomalleja käsittelevien ohjelmistojen avulla suorittaa kohteiden massalaskelmia (Laurila 2012, 125–126). Tällainen kohde voi olla esimerkiksi maaläjitysalue, jossa halutaan tarkistaa kuinka paljon läjitysalueella on maamassoja.

4 KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT

4.1 3D-Win

3D-Win on suomalainen mittaus- ja suunnitteluaineiston tuottamiseen ja käsitteilyyn tarkoitettu Windows-ohjelmisto. Ohjelma tarjoaa monipuolisia tarkastus-, editointi- ja laskentaominaisuuksia sekä sisältää kattavan formaattimuunninvalikoiman aineistojen sisään lukuun ja uloskirjoitukseen. Tuettuja formaatteja ovat muun muassa yleisimmät maastomittausformaatit ja CAD- ja paikkatietojärjestelmien siirtotiedostomuodot. (3D-Win 2023a, 3.)

Ohjelmistolla pystytään käsittelemään yhtä aikaa päällekkäisiä vektori- ja rasteritiedostoja ja näiden lisäksi ohjelmistolla onnistuu eri formaateissa olevien maastomallien, tiegeometrioiden ja pohjatutkimusten kairaustiedostojen käsittely. Aineistojen editointi tehdään graafisesti ja vektoriaineistojen laaduntarkastuksen voi suorittaa käyttäjän määrittelemien parametrien mukaan. Laaduntarkastuksia voidaan suorittaa esimerkiksi lähtötiedoiksi laadituille maastomalleille. (3D-Win 2023a, 3.)

4.2 Trimble Locus Cloud

Trimble Locus Cloud on selainpohjaisella järjestelmällä toimiva kuntatietojen hallintatyökalu. Järjestelmällä voidaan hallita kunnan keskeisiä prosesseja kuten kantakartan ylläpitoa, rakennusvalvontaa ja johtokarttoja. (Trimble 2023.)

Koska järjestelmä toimii selainpohjaisesti, sen käyttö on joustavaa ja yhdessä käyttöliittymässä olevaa tietoa voidaan ylläpitää ja jakaa tehokkaasti. Käyttäjän käyttöoikeuksista riippuen, Trimble Locus Cloudin aineistoja voidaan joko selata tai muokata. (Trimble 2023.)

4.3 Tekla Civil

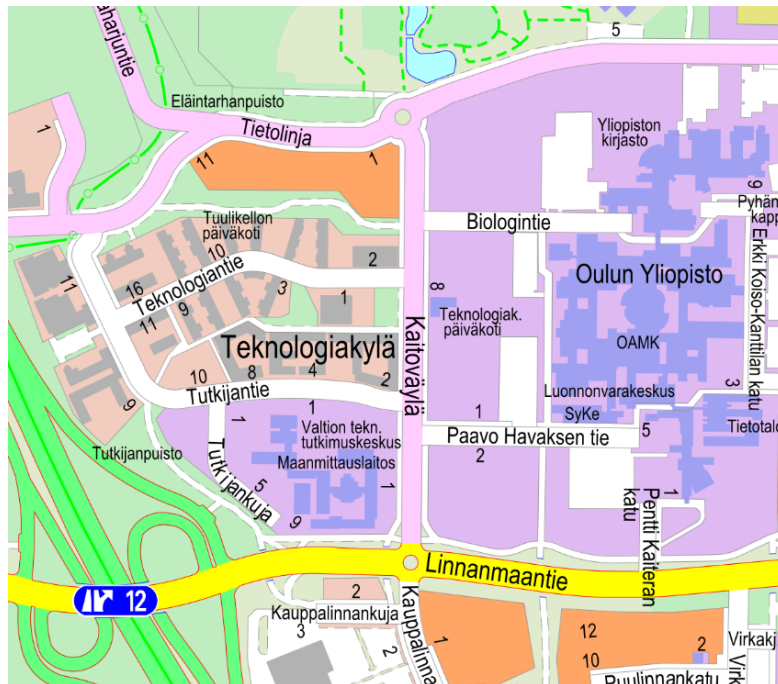
Tekla Civil on Trimblen erityisesti Suomen markkinoille kehittämä tietokantapohjainen infrarakentamisen työkalu. Ohjelmistolla voidaan tehdä ja ylläpitää tietomalleja sekä tarkastella ja visualisoida infrahankkeita. (Arkance Systems 2023.)

Ohjelmisto koostuu erilaisista sovelluksista, joita ovat muun muassa Infrahankkeiden suunnittelu, maastomalli ja pohjatutkimukset (Arkance Systems 2023). Mittaus ja geotekniikka käyttää Tekla Civil -ohjelmistoa muun muassa Oulun kaupungin tekemien pohjatutkimusten ja kuukausittaisen pohjavesiseurannan työkaluna sekä vie tietokantaan kartoitetut maastomallit.

5 OULUN LINNANMAAN MAASTOMALLIKOHDE

5.1 Oulun Linnanmaa

Oulun kaupungin Linnanmaan kaupunginosa sijaitsee noin viiden kilometrin etäisyydellä Oulun keskustasta pohjoiseen (kuvio 4). Alueella sijaitsee muun muassa Oulun yliopisto.



Kuvio 4. Oulun Linnanmaan opaskartta (Oulun kaupunki 2023c)

Alueella on todella vilkas ajoneuvo- ja joukkoliikenne sekä kevyt liikenne: alueella sijaitsee Oulun yliopisto, paljon työllistävä Teknologiakylä ja Linnanmaan Prisma. Lisäksi Linnanmaan kohdalla sijaitsee Pohjantien moottoritien etelän suunnasta nouseva ramppi. Vuoden 2022 syksyllä Linnanmaan pohjoispuolelle on rakennettu uudet liikennejärjestelyt, sillä alueelle parhaillaan rakennetaan Nokian uusia toimitiloja.

5.2 Hanke ja maastomallitilaus

Oulun Linnanmaalla on tarkoitus käynnistää Oulun kaupungin yhdyskunta- ja ympäristöpalveluiden tilauksesta liikennejärjestelyiden parantaminen. Suunnittelu-

työ kohdistuu sekä tiealueisiin ja jalankulkuväyliin kattaen Linnanmaantien, Kaitoväylän ja Tietolinjan sekä kevyenliikenteenväylät. Alueelle suunnitellaan muun muassa pyörätiebaanoja sekä Pohjantien moottoritietä, etelän suunnasta tulevalle rampille sekundääriliittymä. Hankkeen tarkoituksena on parantaa alueen katujen liikenteenvälityskykyä niin autoilun, joukkoliikenteen kuin myös pyöräilyn osalta. Hankkeella valmistaudutaan lisääntyvään liikenteeseen alueella tapahtuvan uuden toimitilarakentamisen myötä. (Oulun kaupunki 2023a.)

Linnanmaan hankealueelle tehdään katujen rakennussuunnitelmat ja kunnallistekniset suunnitelmat. Näihin kuuluvat vesijohdot, jäte- ja hulevesiviemäröinti sekä alueen kuivatuksen parantaminen ja katuvalaistuksen uusiminen. Myös viherympäristöä parannetaan ja alueen suuria puita pyritään säilyttämään. (Oulun kaupunki 2023a).

Oulun Infra -liikelaitoksen Mittaus ja geotekniikka vastaanotti Oulun Linnanmaan liikennejärjestelyiden parantamissuunnitelmien pohjaksi tarvittavan maastomallin mittausohjelman tilauksen kesäkuussa 2022. Varsinaiset maastotyöt suoritettiin vuoden 2022 syys-lokakuun aikana. Tilauksen teki ruotsalaislähtöinen ja kansainvälisesti toimiva rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantutijayritys Sweco (Sweco 2023). Yrityksen suomalaishaaran Sweco Finland Oy:n Sweco Infra & Rail Oy Oulu toimi suunnittelijana hankkeen alussa, mutta myöhemmin kun maastomalliaineisto oli jo toimitettu tilaajalle eteenpäin, hankkeen suunnittelijaksi vaihtui suunnittelu- ja konsultointiyritys WSP. Suunnittelijan vaihtuminen kesken maastomallimittauksen tai aineiston toimittamisen jälkeen, tapahtuu joskus.

Swecon tilauksessa toimitettiin maastomallialueen karkea aluerajaus opaskartalla sekä tarkempi rajaus dwg-tiedostona. Tilaaja määritteli maastomallin koordinaattijärjestelmäksi ETRS-GK26:n ja korkeusjärjestelmäksi N2000 sekä linjasi, että maastomallissa noudatetaan Väyläviraston Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohjetta 18/2017.

6 MAASTOMALLIN TUOTTAMINEN

6.1 Mittauskalusto ja koordinaattijärjestelmä

Mittaus ja geotekniikalta tilatut maastomallit, jotka sijoittuvat pääasiassa rakennettuun ympäristöön, mitataan yleensä aina takymetrimittauksina niiden tarkkuusvaatimusten vuoksi. Jos maastomallialue sijoittuu rakentamattomalle alueelle kuten pellolle tai metsään, joissa kartoitettavat asiat ovat lähinnä maapinnan korkoja, ovat GNSS-vastaanottimella suoritettavat mittaukset riittäviä.

Linnanmaan maastomallin mittaukset suoritettiin pääasiallisesti robottitakymetrimittauksina ja täydennysmittauksia tehtiin GNSS-vastaanottimella. Robottitakymetrillä pyrittiin mittamaan maastomallin alueelta kaikki tarvittava, mutta GNSS-mittauksiin jouduttiin turvautumaan pariin otteeseen, kun huono näkyvyys alueen metsäisillä osuuksilla esti takymetrimittaukset. GNSS-mittauksilla kartoitettiin tuolloin lähinnä maanpinnan hajapisteitä.

Maastomallin mittaamisessa käytettävä kalusto oli Trimble R10 GNSS -järjestelmä, Trimble S6 robottitakymetri, Trimble TSC7 maastotietokone ja sen Trimble Access -maastomittausohjelmisto ja Trimble AT360 aktiiviprisma (kuvio 5). Lisäksi käytössä oli apupisteillä käytettävät merkintämittausprisma. Käytettävä koordinaattijärjestelmä oli ETRS-GK26 ja korkeusjärjestelmä N2000, jotka ovat käytössä melkein kaikessa Oulun kaupungin mittaustoiminnassa.



Kuvio 5. Trimble S6 robottitakymetri, Trimble TSC7 maastotietokone ja Trimble AT360 aktiiviprisma

6.2 Maastotöiden esivalmistelu

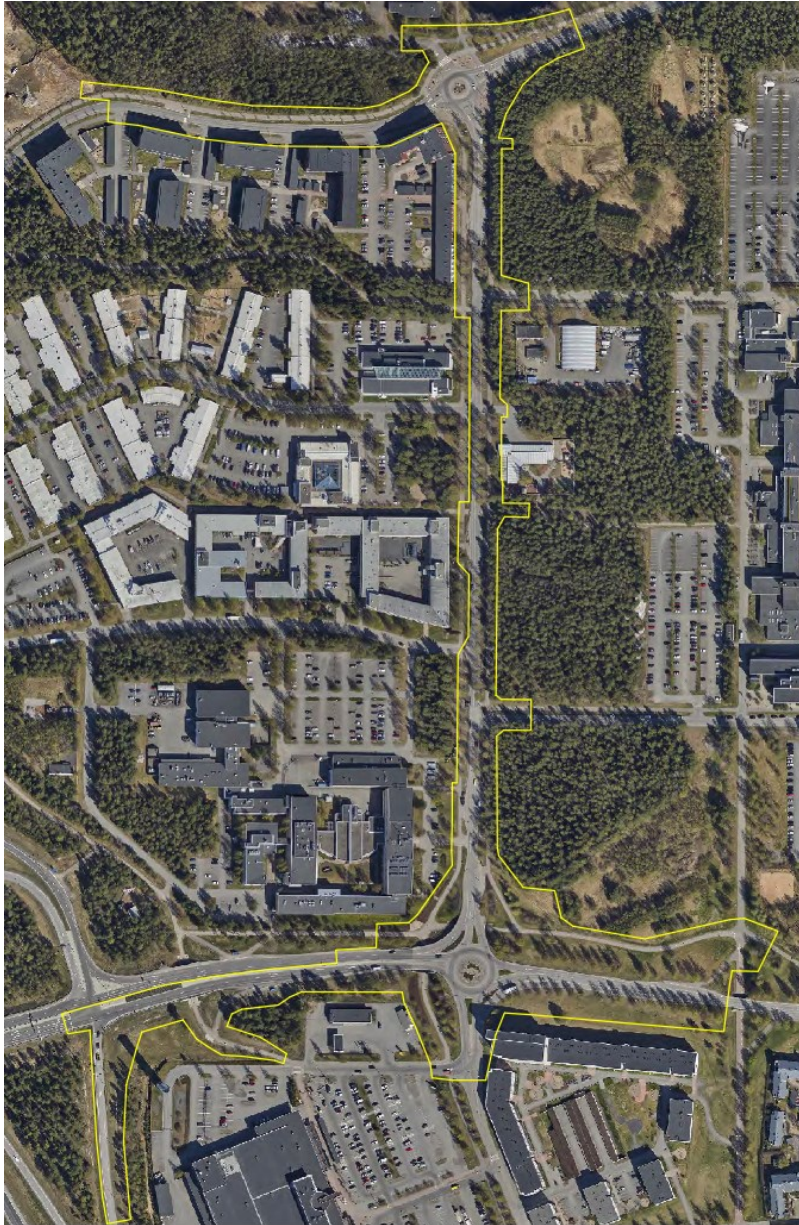
Ennen varsinaisten maastotöiden aloittamista tehdään tiettyjä maastomallin valmistelutöitä. Saapunut maastomallitilaus käydään tarkkaan läpi ja huomioidaan tilaajan mahdolliset vaatimukset ja erityispyynnöt koskien hankkeen maastomallia. Tarvittaessa tilaajalta kysytään epäselvissä tilanteissa täydentäviä kysymyksiä ja näin pyritään välttämään väärinymmärryksiä ja niin sanottua turhaa työtä.

Mittaus ja geotekniikan käyttämästä Trimble Locus Cloudista tulostettiin maastomallialueen kantakartta. Kantakarttaan valittiin näkymään myös alueen jäte- ja hulevesiverkosto, kaukolämpökaivot sekä vesijohtoverkostojen venttiilit ja palopostit. Näiden tarkoitus on helpottaa maastossa kohteiden löytymistä sekä auttaa tunnistamaan kohteita, jolloin ne voidaan koodata maastossa oikein heti mittaus-tilanteessa. Usein maastossa olevasta umpikannesta ei voi tietää onko kyseessä esimerkiksi jäte- vai hulevesikaivon kansi tai kohteet ovat voineet peittyä maakerroksen tai lehtien alle, jolloin niitä ei heti maastossa edes havaita. Tulostettavaan paperiseen kantakarttaan voidaan myös tehdä tarvittavia merkintöjä ja muistiinpanoja maastomittausten edetessä.

Mittaus ja geotekniikan tuottamissa maastomalleissa käytetään aina mittauksen lähtöpisteillä korkeuskiintopisteeltä tuotua virallista korkeutta eli Z-koordinaattia jos sellainen on saatavilla. Näin pyritään takaamaan, että tuotettu maastomalli täyttämään Väyläviraston mittausohjeen vaatimat tarkkuusluokat erityisesti rakennetuissa kohteissa. Tekla Locus Cloudista löytyvät Oulun kaupungin alueen korkeuskiintopisteet ja sieltä haettiin Linnanmaan alueella sijaitsevat korkeuskiintopisteet, joita löytyi kaksi kappaletta. Korkeuskiintopisteiden sijainnit ja niiden Z-koordinaatit tulostettiin kartalle.

Usein tilaajalta saadaan vain melko karkea maastomallin aluerajaus opaskartalla. Karkea aluerajaus on pääasiallisesti riittävä erityisesti pienillä maastomallialueilla, mutta nykyään tilaajat ovat alkaneet automaationa lähettämään aluerajauksen myös dwg-tiedostona. Tämä helpottaa alueen hahmottamista huomattavasti maastossa liikuttaessa. Linnanmaan maastomallin tilaaja Sweco toimitti maastomallialueen rajauksen dwg-formaatissa (kuvio 6). Käyttäen 3D-Win-ohjelman tie-

doston formaatin uloskirjoitustoimintoa dwg-aluerajaustiedosto muutettiin dxf-formaatiksi, joka on helppo lukea sisään maastotietokoneeseen. TSC7-maastotietokoneen Trimble Access -mittausohjelmistossa perustettiin uusi maastomallityö nimeltä Linnanmaa liikenneverkon YS ja aluerajaustiedosto linkitettiin työhön työn ominaisuuksien kautta. Näin maastomallin aluerajaus saatiin näkymään maastotietokoneella työn karttakuvanäkymässä.



Kuvio 6. Linnanmaan maastomallialueen rajaus

6.3 Maastomallimittaukset maastossa

6.3.1 Katselmointi

Ennen varsinaisten maastokartoitusten aloittamista suoritettiin Linnanmaan maastomallialueella yleinen katselmointi. Katselmoinnin tarkoituksena on saada parempi käsitys maastomallialueesta kokonaisuutena: kuinka paljon maastomallin mittaamiseen arviolta menee aikaa, löytyykö alueelta haasteellisia ja erikoisjärjestelyjä vaativia mittauskohteita, hahmotella mahdollisia takymetrin koneasemapaiikkoja, joista on hyvä näkyvyys kartoitusalueelle ja tarkastaa löytyvätkö alueen korkeuskiintopisteet maastosta.

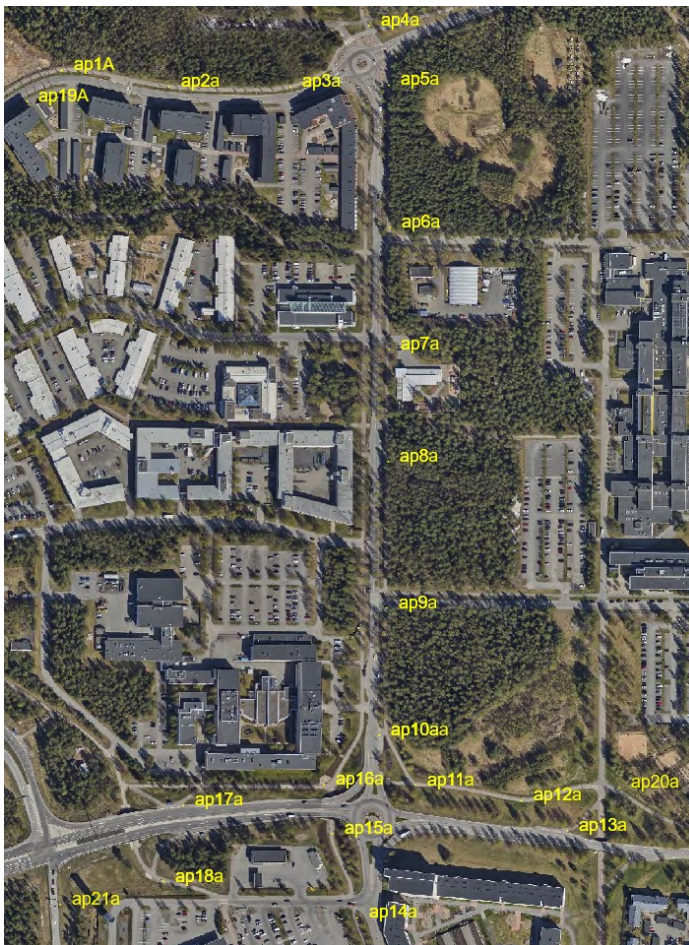
Linnanmaan maastomallialue oli suuren kokoluokan malli eli kartoituspisteitä arvioitiin malliin tulevan useita tuhansia. Alueella sijaitsee paljon päällysteellisiä ajoiteita ja kevyenliikenteenväyliä sekä näiden molempien risteysalueita ja suojaiteita. Maastomallialueella on myös hyvin paljon reunakiviä. Erikoisimmat rakenteet alueella ovat kolme alikulkutunnelia ja niiden siltarakenteet sekä kaksi kiertoliittymää. Alueen maastomallin mittaus oli myös haasteellinen, sillä mittauksissa jouduttaisiin liikkumaan paljon liikenteen seassa ajoväylillä.

6.3.2 Apupisteet

Apupisteet ovat maastomallin mittauksen aikaisi pisteitä, joiden ei ole tarkoitus säilyä maastossa pitkään maastomallin mittaamisen jälkeen (Väylävirasto 2017, 11). Niitä käytetään takymetrin orientoinnissa maastokartoituksissa. Takymetrin orientoinnissa käytettävät maastomallin apupisteet on helpompi sijoitella alueelle, kun on jonkinlainen käsitys missä kaikkialla takymetria tulee käyttää, jotta kohdealue saadaan kokonaisuudessaan kartoitettua. Apupisteet sijoitellaan mittausalueelle niin, että apupisteet kattavat koko mittausalueen ja ne mahdollistavat takymetrin laadukkaan orientoinnin. Apupisteet voivat olla apupistenauloja päällysteellä, puupaaluja nurmialueilla tai apupistetarroja erilaisissa rakenteissa kuten talon seinissä tai valopylväissä.

Linnanmaan maastomallissa alueelle mitattiin Trimble R10 staattisella GNSS-mittauksella aluksi 18 apupistettä (kuvio 7). Myöhemmin mitattiin takymetrilla

kolme apupistettä lisää. Apupiste paikat valittiin hahmottelemalla mahdolliset taakymetrin asemapistepaikat ja päällysteelle iskettiin sopiviin paikkoihin apupistenaulat. R10 GNSS -vastaanotin pystytettiin apupistenaulalle kolmijalan avulla pystysuoraan. Kartoitusmetodiksi valittiin kartoituspiste, jonka vaakataarkkuudeksi oli asetettu 20 mm ja pystytarkkuudeksi 30 mm. Kun GNSS-mittaus oli alustettu eli saanut fix-ratkaisun, joka on tarkin mahdollinen laskettu sijainti, mitattiin apupisteelle havaintoja kartoituspistemittauksena yhden minuutin ajan. Tämän jälkeen havainto tallennettiin käyttäen ensimmäisellä pisteellä pistenumeroa ap1 ja jatkaen seuraavilla apupisteillä juoksevalla numerolla ap2, ap3 ja niin edelleen. Jokaiselle apupisteelle mitattiin edellä kuvatulla tavalla kolme tallennettua sijaintikoordinaattia ja jokaisen mittauksen välissä mittaus alustettiin uudestaan nollaamalla satelliittiseuranta ja aloittamalla sijainnin laskenta uudestaan. Nämä kolme kartoitettua sijaintia kullakin apupisteellä keskiarvotettiin laskennalla ja näin saatiin riittävän tarkka vaakataarkkuus kullekin apupisteelle maastomallimitauksia varten.

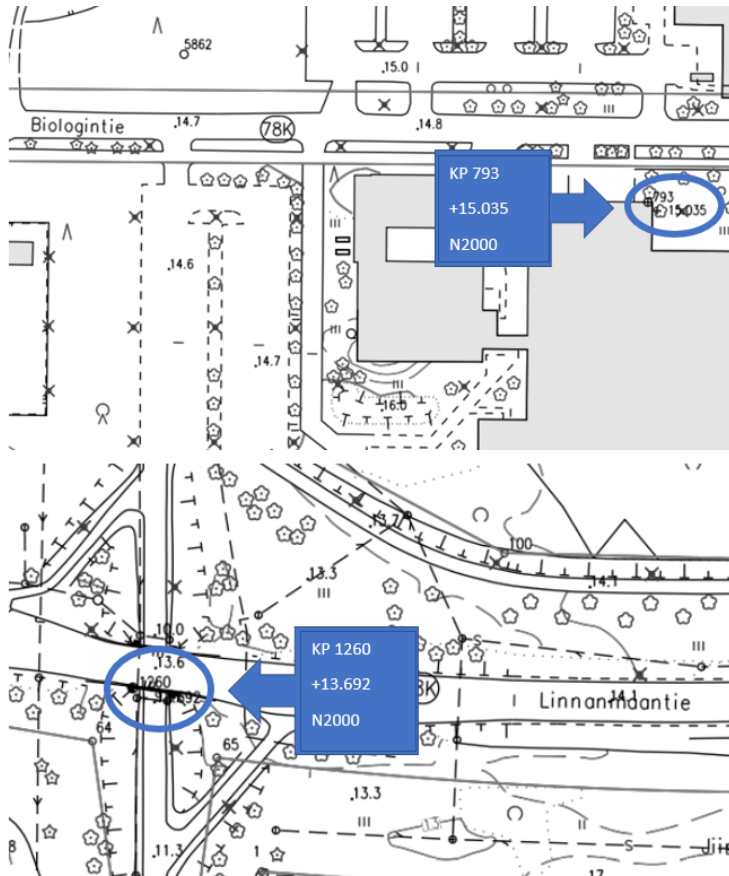


Kuvio 7. Linnanmaan maastomallin apupisteet

Mittaus ja geotekniikka mittaa maastomalliensa apupisteet aina GNSS-vastaanottimella staattisena mittauksena, jotta jokainen apupiste on oma kokonaisuutensa eivätkä apupisteet ole sidottuja toisiinsa tai muihin pisteisiin. Takymetrilla voidaan mitata tarpeen vaatiessa maastomallimittauksen lomassa lisää apupisteitä muutamia kappaleita sillä kaikkia mittauksen mahdollistavia apupisteitä ei aina pystytä ennakoimaan maastomallimittauksen alkuvaiheessa. Apupisteiden ketjutusta pyritään kuitenkin välttämään. Apupisteiden ketjutuksessa mitataan aina edelliseltä takymetrin asemapisteeltä seuraavan asemapisteen orientointiin tarvittavat apupisteet. Tässä metodissa on kuitenkin suuri riski kasvavalle tarkkuusvirheelle apupisteiden arvoissa sekä takymetrin orientonnissa, sillä jos ensimmäisenä käytettävissä apupisteissä ja tätä kautta takymetrin orientoinnissa on tarkkuusvirhettä, kertautuu tämä virhe takymetrilla mitattaville seuraaville apupisteille. Jos tätä apupisteiden ketjutusta jatketaan usean asemapisteen ajan virhe kasvaa maastomallin edetessä ja voi aiheuttaa mallin siirtymistä ja vääntymistä sen todellisesta sijainnista. Tämä sijaintivirhe yleensä paljastuu vasta kun maastomallia verrataan esimerkiksi ilmakehuun.

6.3.3 Korkeuden tuonti

Yleensä maastomallialueella tai sen läheisyydessä sijaitsee ainakin yksi korkeuskiintopiste. Korkeuskiintopisteet ovat Oulun kaupungin alueella yleensä pultteja rakennusten sokkeleissa ja alikulkukäytävien siltarakenteissa tai pultteja suurissa maakivissä. Jos korkeuskiintopiste on järkevästi saavutettavissa suhteessa maastomallialueeseen, ”tuodaan” siltä yleensä oikea korkeus eli Z-koordinaatti maastomallissa käytettäville apupisteille. Linnanmaan maastomallialueella sijaitsee kaksi korkeuskiintopistettä: korkeuskiintopiste 793 Biologintiellä ja korkeuskiintopiste 1260 Linnanmaantiellä (kuvio 8). Näitä korkeuskiintopisteitä käytettiin mitattujen apupisteiden Z-koordinaattien lähtöpisteinä.



Kuvio 8. Korkeuskiintopisteet Biologin- ja Linnanmaantiellä (muokattu Oulun kaupunki 2023b)

Apupisteille ap5, ap6 ja ap7 pystytettiin apupisteprismat (kuvio 9) ja takymetri pystytettiin niin, että siltä oli näkyvyys Biologintien päässä olevalle yliopiston rakennuksen sokkelissa olevalle korkeuskiintopisteelle 793 sekä apupisteiden prismoihin. Maastotietokoneen Trimble Access -ohjelmiston perusmittaustoiminnon asetusten kautta syötettiin prismakorkeudeksi käytetty AT360 aktiiviprisman korkeus prisma-auvassa sekä havaintopisteen korkeudeksi korkeuskiintopisteen 793 N2000 korkeus +15.035. Tämän jälkeen aktiiviprisma asetettiin korkeuskiintopisteen pultin päälle ja takymetrillä mitattiin havainto prismaan. Näin saatiin takymetrin sidottua tunnettuun korkeuteen, jonka jälkeen pystyttiin mittamaan havainnot apupisteille pystytettyihin apupisteprismoihin, kun ensin muutettiin prismakorkeus vastaamaan apupisteprismojen tähyskorkeuksia prisma-auvoissa. Mittaamalla havainnot kolmeen näkyvillä oleviin apupisteprismoihin ja kirjaamalla mitatut Z-koordinaatit ylös saatiin selville apupisteiden tarkka, korkeuskiintopisteeseen sidottu korkeus.



Kuvio 9. Apupisteelle pystytetty apupisteprisma

Apupisteelle saatu uusi korkeuskiintopisteeseen sidottu Z-koordinaatti syötettiin Trimble Access -ohjelmiston karttanäkymän kautta GNSS-mitatuille apupisteille ap5, ap6 ja ap7. Pisteiden GNSS-mitattu Z-koordinaatti korvattiin korkeuskiintopisteeltä saadulla Z-arvolla ja jotta myös alkuperäiset mitatut apupisteet säilyisivät tallessa, muutettiin apupisteiden pistenumeroiksi ap5a, ap6a ja ap7a. A-kirjain apupistenumeroiden perässä kertoo siis, että niiden Z-koordinaatit ovat niin sanottuja oikeita, korkeuskiintopisteeseen sidottuja arvoja GNSS-mitattujen arvojen sijaan.

Edellä kuvatulla tavalla tarkempi korkeus siirrettiin aina maastomallin mittauksen edetessä apupisteeltä apupisteelle. Maastomalli mittauksen siirtyessä lähemmäs alueen toista korkeuskiintopistettä 1260 Linnanmaantien alikulkukäytävän silta-rakenteessa, Z-koordinaatti siirrettiin myös tuolta korkeuskiintopisteeltä sen lähellä sijaitseville apupisteille. Kahdelta eri korkeuskiintopisteeltä poimittujen Z-koordinaattien ero apupisteellä ap10a oli noin 1,50 cm luokkaa, joka pysyi Väyläviraston mittausohjeen 5,0 cm hyväksyttävän virheen alapuolella. Käyttämällä kahta eri korkeuskiintopistettä varmistettiin, että korkeustaso pysyi suhteellisen virheettömänä koko maastomallin alueella, vaikka Z-koordinaattia kuljetettiin apupisteeltä apupisteelle.

Korkeuskiintopisteeseen sidottu korkeus poikkeaa Oulun alueella staattisella GNSS-mittauksella mitattuihin korkeusarvoihin yleensä noin 2–3 cm. Mittaus ja geotekniikka käyttää takymetrimittauksissa maastomalleissa pääasiallisesti korkeuskiintopisteisiin sidottua korkeustasoa, mutta tämä ei aina ole mahdollista korkeuskiintopisteiden puuttumisen vuoksi tietyillä alueilla. Tällöin käytetään mittauksissa staattisen GNSS-mittauksen keskiarvotettua Z-koordinaattia.

6.3.4 Vapaa asemapistete ja sen laaduntarkkailu

Mittaus ja geotekniikan maastomallien takymetrimittauksissa käytetään aina vapaata asemapistettä. Vapaata asemapistettä käytettäessä takymetri voidaan pystyttää sijainniltaan tuntemattomaan paikkaan, joka on mittauksen suorittamisen kannalta tarkoituksenmukainen (Laurila 2012, 259–260).

Takymetrin pystytyspaikat eli maastomallin mittauksessa käytettävät vapaat asemapisteteet valitaan niin, että asemapisteteeltä on hyvä näkyvyys mitattavalle alueelle ja kohteet näkyvät mahdollisimman esteettömästi. Vapaat asemapisteteet numeroidaan juoksevalla numerolla alkaen Asp1, Asp2 jne. Takymetrin orientoinnissa vapaalle asemapisteteelle tulee käyttää vähintään kahta apupistettä eli liitospistettä, mutta kolmannen apupisteteen käyttö on suositeltavaa, jos se on mahdollista (Rantanen 2021, 157).

Asemapisteteen paikkaa valittaessa kiinnitetään erityistä huomiota asemapisteteen sijaintiin suhteessa takymetrin orientoinnissa käytettäviin apupisteteisiin. Käytettäessä liitospisteteinä kahta apupistettä täytyy takymetri sijoittaa apupisteteiden väliin niin, että havaintojen leikkaus tapahtuisi silmämääräisesti arvioiden kohtisuoraan toisiaan vastaan. Apupisteteet eivät saa sijaita asemapisteteeltä katsottaessa samalla suunnalla eivätkä samalla linjalla niin, että takymetri sijoitetaan suoraan apupisteteiden väliin. Takymetrin huono sijoittaminen suhteessa apupisteteisiin voi johtaa epätarkkoihin vapaan asemapisteteen koordinaatteihin. (Rantanen 2021, 157.)

Linnanmaan maastomallissa takymetri pystytettiin aina vapaalle asemapisteteelle käyttäen pääasiassa kahta apupistettä liitospisteteenä. Kolmatta liitospistettä käytettiin aina kun siihen oli mahdollisuus, mutta usein huono näkyvyys maastomal-

lialueella esti tämän. Vapaan asemapisteen laaduntarkkailun apuvälineenä käytettiin mittauksissa merkintämittausta. Kun takymetri oli pystytetty ja orientoitu vähintään kahden apupisteen avulla, suoritettiin molemmille apupisteille merkintämittausta. Näin saatiin selville vapaan asemapisteen koordinaattien laatu, kun nähtiin kuinka paljon asemapisteeltä takymetrillä merkintämitatut koordinaatit erosivat staattisella GNSS-mittauksella saaduista apupisteiden koordinaateista. Nämä merkintämittauserot pysyivät koko maastomalliproessin aikana pääasiassa vaakatarvkuudessa 0,000–0,025 m välillä ja korkeustarkkuuden erot olivat pääasiassa alle 0,005 m eli vapaat asemapisteen olivat koordinaateiltaan laadukkaita.

Vapaan asemapisteen laaduntarkistamiseksi apupisteiden merkintämittausta tehtiin aina vapaan asemapisteen orientoinnin jälkeen sekä lopetettaessa mittauksia kyseiseltä asemapisteeltä, jotta voitiin sulkea pois myös mittauksen aikana mahdollisesti takymetrin liikkumisesta aiheutuvat virheet. Näistä merkintämittauksista kirjoitettiin mittausaineiston purkuvaiheessa maastotietokoneelta merkintäraportit.

6.3.5 Viivamaiset kohteet

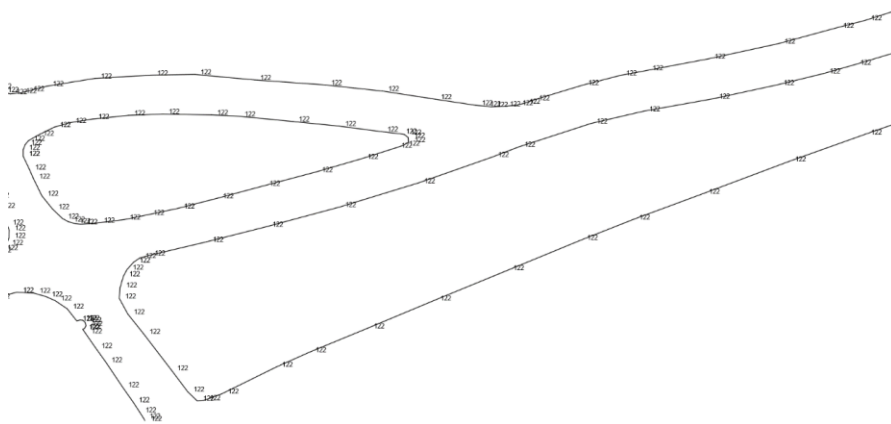
Kun laadukas vapaa asemapiste oli perustettu käyttäen oikeaan N2000 korkeustasoon sidottuja apupisteitä voitiin aloittaa varsinaisen maastomallin mittaus. Maastomallin mittauksissa on kartoitustyö usein parasta aloittaa viivamaisista kohteista, jolloin mittausalue hahmottuu paremmin ja näin toimittiin myös Linnanmaan maastomallissa.

Linnanmaan maastomallissa esiintyi melkein kaikki mahdolliset viivamaiset kohteet, joita yleensä Oulun alueen maastomalleissa käytetään. Viivamaisten kohteiden kartoituksessa käytettiin aina Väyläviraston mittausohjeessa määrittelemää kohteen pintatunnusta (T1 = 1 tai 9), juoksevaa viivanumeroa (T2) ja kartoitettavan kohdetta kuvaavaa koodia (T3). Tärkeää oli myös muistaa kirjata mittausohjelmaan käytettävän aktiiviprisman prisma-auvan korkeus.

Mitattaessa mitä tahansa viivamaista kohdetta maastomalliin täytyy kartoitus suorittaa hieman eri tavalla kuin tehtäessä normaalia kartoitusmittausta. Kartoitusmittauksessa kohdetta tarkastellaan yleensä vain suoraan ylhäältä päin, kun

maastomallissa täytyy aina muistaa kohteen kolmiulotteisuus. Esimerkiksi kartoitettaessa suoraa kevyen liikenteen päällysteen reunaa riittää kartoitusmittauksessa, että päällysteen reuna kartoitetaan noin 20 m välein. Maastomallissa vastaava päällysteen reuna täytyy kartoittaa aina noin 5 m tai maksimissaan 10 m välein, vaikka päällysteen reuna kulkisi suoraan vaakatasossa. Kartoitettavien pisteiden välimatka ei saa kasvaa liian suureksi, vaikka päällysteen reuna silmä määräisesti kulkisi suoraan maastossa koska maastomallikartoituksessa täytyy muistaa aina Z-koordinaatin olemassaolo: päällysteen reunan korkeussijainti saattaa muuttua huomattavasti 10 m matkalla.

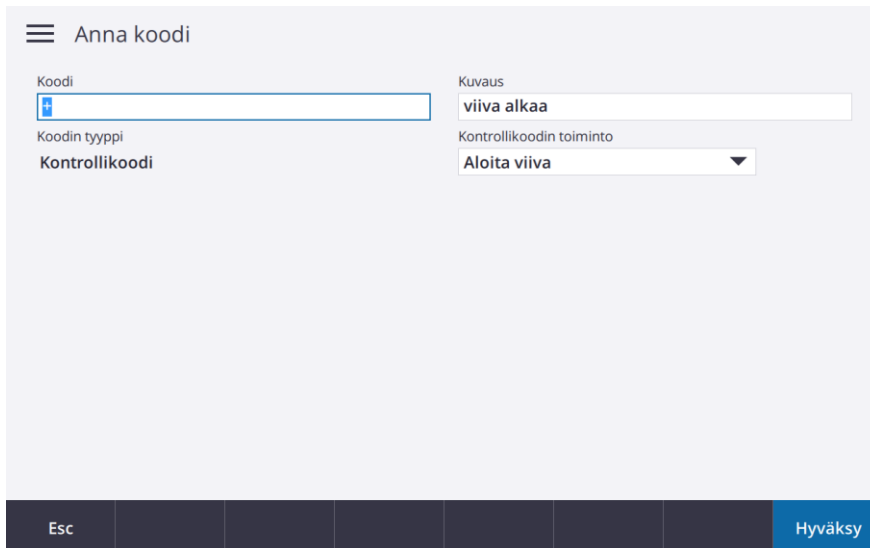
Kartoitettaessa maastomalliin mitä tahansa maanpintaa kuvastavaa viivamaista kohdetta, jonka pintatunnus $T1=1$ täytyy aina huomioida, että kartoituspisteitä täytyy olla riittävän tiheästi, että kohteen muoto tulee parhaiten esille ja kohteen korkeustaso kuvautuu malliin riittävän tarkasti (kuvio 10). Viivamaisen kohteen mutkissa kartoituspisteiden tiheyttä kasvatetaan ja kohde kartoitetaan 20–30 cm pistevälillä ja suoremmilla osuuksilla noin 5 m tai korkeintaan 10 m pistevälillä. Lisäksi kohde kartoitetaan niin, että aina kun kohteen korkeustaso muuttuu selvästi, tihennetään kartoituspisteiden määrää. Pintatunnus $T1=1$ kartoitettavat yleisimmät viivamaiset kohteet Linnanmaan maastomallissa olivat päällysteen reunat, reunakivet, ajotien keskilinjat, tien ajokaistojen maaliviivat, suojateiden reunat, ojan reunat ja pohjat, rakennusten seinälinjat, pihalaattojen ja kivetysten reunat, niin kutsut valereunat, polut, sora- ja hiekkatiet ja ennen kaikkea maanpinnan taiteviivat. Maanpinnan taiteviivojen merkitystä käsiteltiin kappaleessa 3.7.2 Hajapiste ja taiteviiva.



Kuvio 10. Maastomallin päällysteen reunojen kartoituspisteet

Maastomallin kartoituspinnalle eli pintatunnus T1=9 kartoitettavat viivamaiset kohteet eivät edusta maapintaa ja näitä olivat Linnanmaan maastomallissa muun muassa erilaiset aidat ja kaiteet, ojarummut, puuston reunat ja suuret pensasalueet. Ojarummut kartoitettiin aina viivana mitaten havainto molemmista rummun päistä vesijuoksun tasolta käyttäen rummun materiaalia (muovi/betoni/teräs) ja rummun halkaisijaa kuvaavaa koodia. Aidat, kaiteet ja metsikön puuston reunat kartoitettiin riittävällä pistevälillä, jotta niiden muoto ja sijainti kuvautui mahdollisimman todellisuutta edustavalla tavalla.

Koska Linnanmaan maastomalli oli kooltaan niin iso ja vapaita asemapisteitä muodostui alueelle useita kymmeniä, käytettiin maastotietokoneen Trimble Access -mittausohjelmistossa apuna viivoissa +-kontrollikoodia, jonka avulla viivamaiset kohteet saatiin piirtymään näkyviin maastotietokoneen karttanäkymään maastossa. Luomalla kontrollikoodi maastotietokoneen koodikirjastoon (kuvio 11) ja laittamalla aina viivan alkaessa koodin perään kyseinen viivan piirtämisen aloittava kontrollikoodi (esim. päällysteen reuna 122 +) saatiin kohteet piirtymään karttanäkymään viivoina. Tämä helpotti huomattavasti maastomallin mittauksen hahmottamista heti maastossa kartoituksen edetessä.



Anna koodi

Koodi

Koodin tyyppi
Kontrollikoodi

Kuvaus
viiva alkaa

Kontrollikoodin toiminto
Aloita viiva

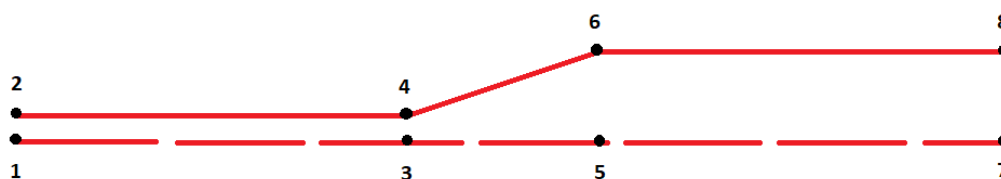
Esc Hyväksy

Kuvio 11. Kontrollikoodin lisäys Trimble Access -mittausohjelman näkymässä (Trimble Access 2023a)

6.3.6 Reunakivet

Reunakivistä mitataan maastomalliin aina reunakiven ylä- sekä alareuna. Tässäkin maastomalli siis poikkeaa normaalista kartoitusmittauksesta, jossa yleensä riittää reunakiven alareunan kartoitus. Mittaus ja geotekniikka hyödyntää reunakivien kartoituksessa 3D-Win-ohjelman ryhmämittaustoimintoa. Ryhmämittauksen avulla saadaan mitattua maastossa kohteita taiteviivoina ja tulkittua maastomittauksista 3D-Win-ohjelmalla useita eri viivoja käyttäen ohjaustiedostoa (3D-Win 2023b).

Reunakiven ala- sekä yläreuna mitattiin Linnanmaalla yhtä aikaa. Reunakiven ala- ja yläreuna on mahdollista kartoittaa kahtena erillisenä viivana mittaamalla ne erikseen, mutta tässä usein muodostuu ongelmaksi ala- ja yläreunojen viivojen leikkaaminen erityisesti reunakiven kaarteissa ja reunakivellisissä liikenteen jakajissa. Linnanmaalla reunakivet kartoitettiin käyttäen reunakiven alareunan koodia 130 sekä juoksevaa viivanumeroa ja kartoitus suoritettiin niin, että ensin takymetrillä kartoitettiin reunakiven alareunan piste ja tämän jälkeen prisma nostettiin samassa kohdassa reunakiven yläreunan korkeimmalle kohdalle ja otettiin uusi havainto (kuvio 12). Koodi eikä viivanumeroa muutettu vaan ne pysyivät samana, vaikka prismaa liikutettiin reunakiven ala- sekä yläreunalla. Mittausta jatkettiin samaan tapaan, tasaisin 5 m välein, kun reunakiven kulkusuunnassa ja muodossa ei ollut huomattavia muutoksia. Aina kun reunakiven kulkusuunta tai korkeus muuttuivat, otettiin havaintoja tiheämmin. Esimerkiksi reunakivellisissä liikenteen jakajissa ala- ja yläreunan havainnot otettiin vaakasuunnassa 20 cm välein ja tonttiliittymien viistetyissä reunakivissä reunakiven korkeuden muuttuessa kartoitettiin ala- ja yläreunan niiden muutoskohdissa. Reunakiven mittaus lopetettiin aina kartoittamalla viimeisenä reunakiven ala- ja yläreuna.



Kuvio 12. Reunakiven ala- ja yläreunan yhtäaikainen kartoitusjärjestys

Suorittamalla reunakivien mittaus edellä kuvatulla tavalla saatiin havainnot reunakiven ala- sekä yläreunasta aina samalta kohdalta ja näin estettiin viivojen mahdollinen leikkautuminen toistensa kanssa. Myöhemmin reunakivien reunat saatiin piirtymään erillisinä viivoina, kun maastomalliaineistoa editoitiin 3D-Win-ohjelmalla.

6.3.7 Pistemäiset kohteet

Maastomalleissa yleisesti viivamaisten kohteiden lisäksi esiintyy paljon kartoitettavia asioita, joiden mittauksessa viivanumerotunnus T2 on nolla. Tällöin kohde kuvautuu maastomalliin pistemäisenä ja se koodataan Väyläviraston mittausohjeen mukaan oikealla lajikoodilla (T3) ja pintatunnuksella (T1).

Linnanmaan maastomallin mittauksessa, kun vapaalta asemapisteeltä oli kartoitettu takymetrillä viivamaiset kohteet, keskityttiin seuraavaksi pistemäisten kohteiden mittauksiin. Tärkeimpiä pistemäisiä kohteita Linnanmaan maastomallissa olivat maanpinnan hajapisteet, joiden merkitystä ja tärkeyttä käsiteltiin kappaleessa 3.7.2 Hajapiste ja taiteviiva. Maanpinnan hajapisteet ovat melkein pä ainoita maastomallin pistemäisiä kohteita, joiden pintatunnus T1=1 eli ne edustavat maanpintaa. Linnanmaan maastomallin alueelta kartoitettuja pistemäisiä kohteita olivat puut, pensaat, liikennemerkkit, valaisin- ja liikennevalopylväät, portaalit, auton lämmitystolpat, rakennusten sokkelit ja portaat, erilaisten kaivojen kannet, venttiilit, palopostit sekä sähkökaapit. Nämä kaikki kartoitettiin pintatunnuksella T1=9 kartoituspinnalle sillä ne eivät edustaneet maanpintaa.

Mittaus ja geotekniikka kartoittaa maastomalliin yleensä kaikki yksittäiset maastomallialueen puut joko havu- tai lehtipuina. Puiden lajikohtaista koodausta tehdään ainoastaan, jos tilaaja sitä erikseen pyytää. Linnanmaan maastomallissa kartoitettiin katualueille selvästi istutetut havu- ja lehtipuut, mutta alueella sijaitsevista metsiköistä yksittäisiä puita ei kartoitettu vaan metsiköt rajattiin katualueelle puuston reunana. Yksittäiset puut kartoitettiin pääasiassa takymetrin prismattomalla mittauksella eli Trimblen DR-toiminnolla puiden rungosta noin 0,50 cm korkeudelta maasta. Tämä nopeutti kartoitusta sillä jokaista puuta ei tarvinnut käydä kävelemässä aktiiviprisman kanssa läpi. Jos kartoitettavan puun rungon halkaisija oli noin 30 cm tai enemmän käytettiin prismattomassa kartoituksessa

kartoitusmetodina vaakakulma offset -menetelmää. Vaakakulma offset -mittauksessa otetaan kohteesta kaksi havaintoa: ensimmäinen havainto säilyttää kohteen vaakaeäisyyden ja vaakakulman ja yhdistää nämä toisen havainnon pystykulmaan ja laskee kohteelle epäkeskisen pisteen (Trimble Access 2023b). Käytännössä ensimmäinen havainto otettiin puun rungon reunaan prismattomalla mittauksella, jonka jälkeen takymetrin tähtäin kohdennettiin silmämääräisesti keskelle saman puun runkoa ja tähän mitattiin havainto. Maastomittausohjelma laskee näistä havainnoista epäkeskisen pisteen puun rungon sisälle ja näin rungon halkaisijaltaan isommalle puulle saatiin tarkempi sijainti verrattuna, jos puu kartoitettiin suoraan sen rungon ulkopinnasta. Puiden lisäksi yksittäiset pensaat kartoitettiin maastomallialueelta pistemäisinä pensaon silmämääräisestä keskipisteestä aktiiviprismalla.

Linnanmaan maastomallin liikennemerkit, valaisin- ja liikennevalopylväät, portaalit ja auton lämmitystolpat kartoitettiin pääasiassa myös prismattomalla mittauksella läheltä kohteiden maakontaktikohtaa. Paksummissa portaaleissa käytettiin vaakakulma offset -menetelmää. Joissakin valopylväissä oli vaijeriharuksia ja nämä kartoitettiin pistemäisenä niiden maakontaktikohdasta aktiiviprismalla.

Maastomallialueen pohjoispäässä sijaitsevat asuinrakennuksia aivan mittaus alueen rajalla. Näistä rakennuksista kartoitettiin sokkelin korkeuksia sekä muutamien portaiden korkeuksia pistemäisinä kohteina. Portaiden ja sokkeleiden kartoitus on hyvin tärkeää, jos tuleva hankealue sijaitsee lähellä rakennusta sillä rakennuksen sokkelin ja portaiden korkeusasema vaikuttaa suoraan mille korkeustasolle esimerkiksi alueen kadut suunnitelmassa sijoitetaan. Tämä vuoksi myös tonttiliittymien päällysteen reunat ovat tärkeitä kartoittaa tontin puolelle. Itse rakennusten nurkkapisteitä Mittaus ja geotekniikka ei kartoita maastomalleihin, ellei tilaaja sitä pyydä erikseen sillä rakennusten tarkat sijainnit löytyvät Oulun kaupungin kantakartasta. Mutta rakennusten seinälinjojen taiteviivat kartoitetaan, jos rakennukset sijaitsevat maastomallialueella.

Koko Linnanmaan maastomallin alueelta kartoitettiin kaikki jäte- ja hulevesikäivon kannet, sekä vesijohtoventtiilit ja palopostit pistemäisinä kohteina. Trimble Locus Cloudista tulostettujen kaivo- ja vesijohtokarttojen avulla pyrittiin löytä-

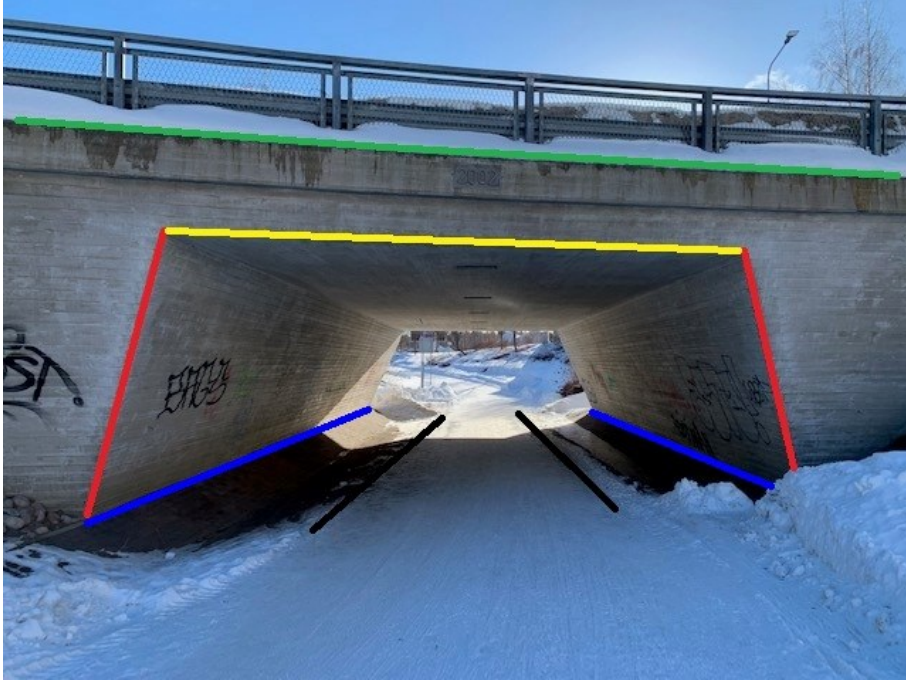
mää kaikki alueen kaivojen kannet sekä koodaamaan ne heti maastossa mittaus-tilanteessa oikein sillä usein umpinaisesta kaivon kannesta ei voi maastossa sanoa onko kyseessä jäte-, hulevesi- tai kaukolämpökaivon kansi. Jäte-, hulevesi- ja kaukolämpökaivojen umpikannet eroteltiin siis omina koodeinaan kuten myös hulevesikaivojen ritiläkannet, sekä venttiilit ja palopostit. Nämä kohteet kartoitettiin aktiiviprismalla kansien silmämääräisestä keskipisteestä.

Maastomallialueella oli myös joitakin jakokaappeja, jotka kartoitettiin malliin. Jakokaappien koot yleensä vaihtelevat, mutta niiden kartoituksessa on riittävää, kun malliin kartoitetaan jakokaapin keskipiste. Suuremmat muuntamot yleensä kartoitetaan maanpinnan taiteviivana muuntamon seinälinjoja myöten.

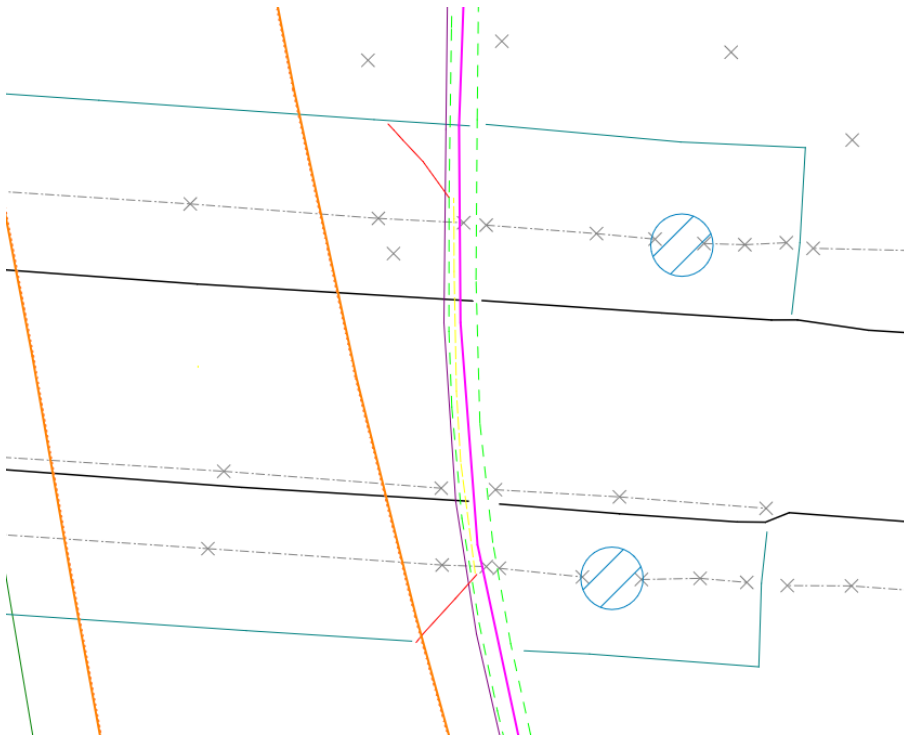
6.3.8 Alikulkukäytävät ja sillan rakenteet

Linnanmaan maastomallialueella on kolme alikulkukäytävää, jotka ovat maastomallien mittauksessa eräänlaisia erikoismittauksia. Maastomalliin halutaan kartoittaa alikulkukäytävän kevyen liikenteenväylä sekä sen yläpuolella siltarakenteena kulkeva tie. Maastomallin perussääntöjä on, että mallin taiteviivat pintatunnuksella $T1=1$ eivät saa leikata toisiaan. Jos alikulkukäytävä kartoitettaisiin yhdessä ylhäällä kulkevan ajotien kanssa normaaliin tapaan, johtaisi tämä kohteiden viivojen leikkaamiseen keskenään. Tämän vuoksi täytyy alikulkukäytävissä noudattaa poikkeavaa mittaustyyliä.

Kaikissa kolmessa Linnanmaan alikulkukäytävässä maastomalli mittaukset suoritettiin niin, että yli kulkevat ajotiet kartoitettiin normaaliin tapaan Väyläviraston mittausohjeen mukaisesti. Alituksena kulkevat kevyen liikenteenväylät kartoitettiin niin, että kaikki kohteen mitattiin poikkeuksellisesti $T1=9$ kartoituspinnalle niiltä osin, kun rakenteet kulkivat yllä kulkevan ajotien alla. Myös alikulkukäytävän siltarakenteet kuten maatuet ja sillan kannen alapinta kartoitettiin $T1=9$ pinnalle (kuvio 13). Lisäksi kaikkien alitusten viivamaisten kohteiden viivanumerot vaihtuivat seuraavaan numeroon, kun kohteet siirtyvät kulkemaan yllä kulkevan ajotien alla alkaen ja päättyen ajotiesillan reunapalkkien yläreunojen tasolle (kuvio 14).



Kuvio 13. Aikukukäytävän päällysteen reunat ja sillan rakenteet kartoitetaan T1=9 kartoituspinnalle



Kuvio 14. 3D-Win-ohjelmassa sillan rakenteet ja kevyen liikenteen väylä kulkevat sillan alla pintatunnus T1=9:llä ja sillan reunapalkin ulkopuolella pintatunnus T1=1 erillisinä viivoina

Alikulkukäytävän sillan rakenteen kuten maatuet ja sillan kannen alapinta kartoitettiin pääasiassa prismattomalla DR-mittauksella. Tässä piti muistaa muuttaa tähyskorkeudeksi 0,000 sillä kohteen korkeustasoksi haluttiin juuri se kartoituskohta johon takymetrin tähys tähdättiin.

Yleensä suunnittelijoille riittää tieto sillan reunapalkin yläreunan, maatukien ja sillan kannen alapinnan sijainnista ja korkeustasosta ja nämä ovat minimivaatimukset mitä siltarakenteista kartoitetaan maastomalliin. Näitä kuitenkin yleensä täydennetään suunnittelijoiden pyynnöstä esimerkiksi sillan mahdollisten pilareiden ja reunapalkin alareunan kartoituksilla.

6.4 Maastomalliaineiston käsittely

6.4.1 Aineiston uloskirjoitus ja tallentaminen

Linnanmaan maastomallissa kartoitettiin kokonaisuudessaan 14 482 pistettä. Maastomallimittaukset kuitenkin purettiin eli kirjoitettiin ulos tiedostoksi maastotallentimesta viidessä osassa mittauksen edetessä. Tällä helpotettiin aineiston käsittelyä ja varmistettiin, että mahdollisten teknisten ongelmien vuoksi ei koko mittausaineisto tuhoutuisi.

Maastomalliaineisto kirjoitettiin ulos maastotietokoneesta käyttäen tiedostomuotona GT-formaattia, joka on sama tiedonsiirtoformaatti kuin Geonic-formaatti. Samalla maastotietokoneesta purettiin ulos myös vapaiden asemapisteen laadunvarmistamiseksi tehdyt apupisteiden merkintämittausraportit. Merkintäraportit tallennettiin tulevaisuutta varten, jos myöhemmin hankkeen suunnittelu- tai rakennusvaiheessa nousisi esiin joitakin ongelmia tai virheitä ja haluttaisiin tarkistaa, että ongelmat eivät johdu suunnitteluun käytetystä maastomallista.

Koska maastomittauksissa oli käytetty viivamaisissa kohteissa +-kontrollikoodia jotta kohteet piirtyivät maastotietokoneen karttanäkymään, täytyi nämä +-koodit poistaa aineistosta, sillä 3D-Win-ohjelman koodikirjasto ei näitä koodeja tulisi tunnistamaan. Maastomallin GT-tiedostosta poistettiin +-kontrollikoodit muistiohjelman avulla. Muutoin maastomalliaineiston GT-tiedostoa ei editoitu vaan se tallennettiin raaka-aineistona poistamatta siitä mitattuja apupisteitä ja asemapisteen koordinaatteja. Näin jälleen varmistettiin se, että jos ongelmia nousisi esiin

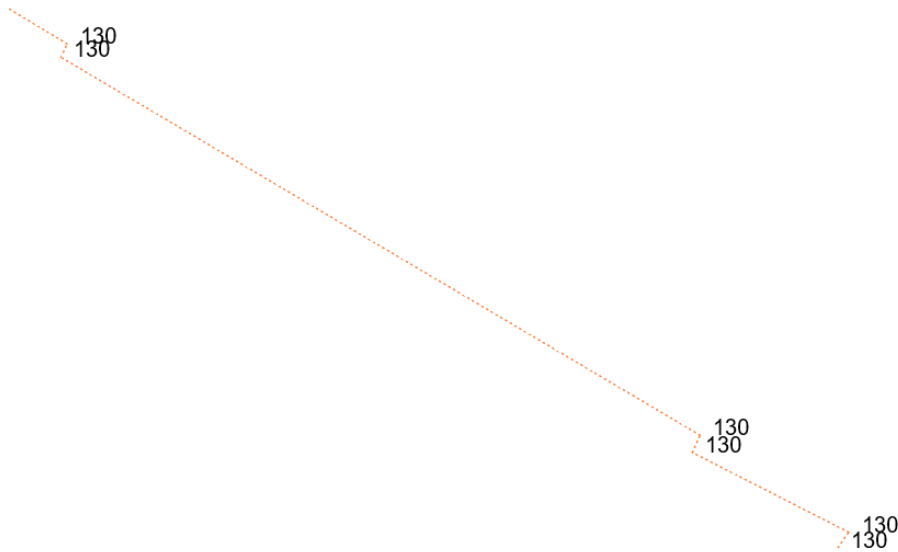
hankkeen edetessä, voitaisiin aina palata tarkastelemaan täysin editoimatonta maastomittausaineistoa.

6.4.2 3D-Win editointi

Linnanmaan maastomalliaineisto avattiin 3D-Win-ohjelmassa tuomalla aineisto ohjelmaan Geonic-vektoritiedostona. Koska maastomalliaineistossa oli säilytetty maastomittauksissa käytetyt vapaat asemapistet ja apupisteet täytyi nämä ensin poistaa maastomallista sillä niitä eivät suunnittelijat tarvinneet. Asemapistet oli helppo poimia samaan ryhmään Koodit ja ominaisuudet -toiminnolla kun niille oli maastossa asetettu koodiksi kirjain A. Hakemalla aineistosta kaikki kohteet koodilla A saatiin vapaat asemapistet samaan ryhmään ja nämä voitiin poistaa ryhmänä.

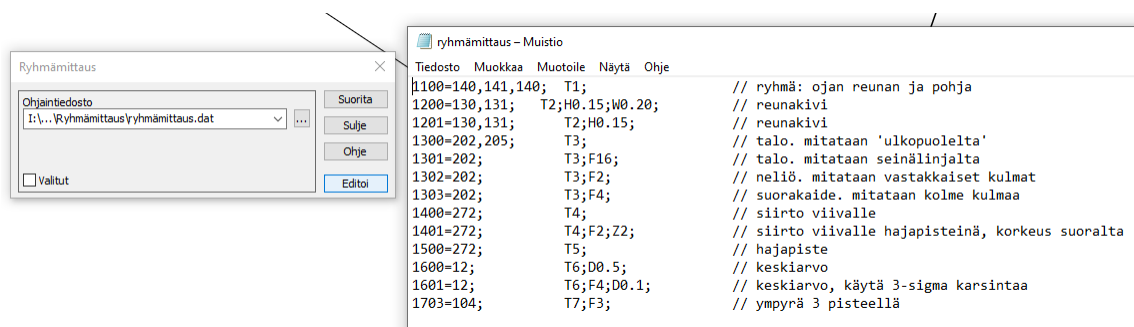
Samalla koodit ja ominaisuudet toiminnolla poimittiin ryhmään mittauksessa lähtöpisteinä käytetyt apupisteet. Ennen apupisteiden poistamista ne kuitenkin kirjoitettiin omaan tiedostoon ja tallennettiin. Näin maastomalleihin käytetyt lähtöpisteet pysyvät tallessa ja ne toimivat laaduntarkkailun välineenä, jos tarvetta ilmeni myöhemmin. Maastomallin lähtöpisteitä on alettu myös toimittamaan suunnittelijoille, sillä nykyisin inframallien vaatimuksien mukaisesti nämä tiedot tarvitaan rakentamisen tietomallinnusta varten.

Kun maastomallista oli poistettu asemapistet ja apupisteet aloitettiin aineiston varsinainen editointi. Maastossa alueen reunakivien ala- ja yläreunat oli kartoitettu maastomalliin samalla viivalla hyödyntäen 3D-Win-ohjelman ryhmämittaustoimintoa. Ennen reunakivien käsittelyä aineistossa reunakiven ala- sekä yläreuna kulkivat samalla reunakiven alareunan koodilla yhtenäisenä mutkittelevana viivana (kuvio 15).



Kuvio 15. Reunakiven piirtyminen 3D-Win-ohjelmassa ennen ryhmämittauskäsittelyä

3D-Win-ohjelmassa oli tehty ryhmämittauksen ohjaustiedosto, jossa oli määritelty koodi 1200 jonka ohjelma purki kahdeksi koodiksi: 130 reunakiven alareuna ja 131 reunakiven yläreuna (kuvio 16). Mittausaineistosta poimittiin samaan ryhmään kaikki reunakiven alareunan 130 koodit ja ryhmässä ne kaikki muutettiin koodiksi 1200. Tämän jälkeen suorittamalla ohjaustiedoston ajon piirsi 3D-Win reunakiven ylä- ja alareunat oikeilla koodeilla itsenäisinä viivoina (kuvio 17).



Kuvio 16. Reunakiven ohjaustiedosto ryhmämittauksessa 3D-Win-ohjelmassa



Kuvio 17. Reunakiven ala- ja yläreunojen piirtyminen 3D-Win-ohjelmassa

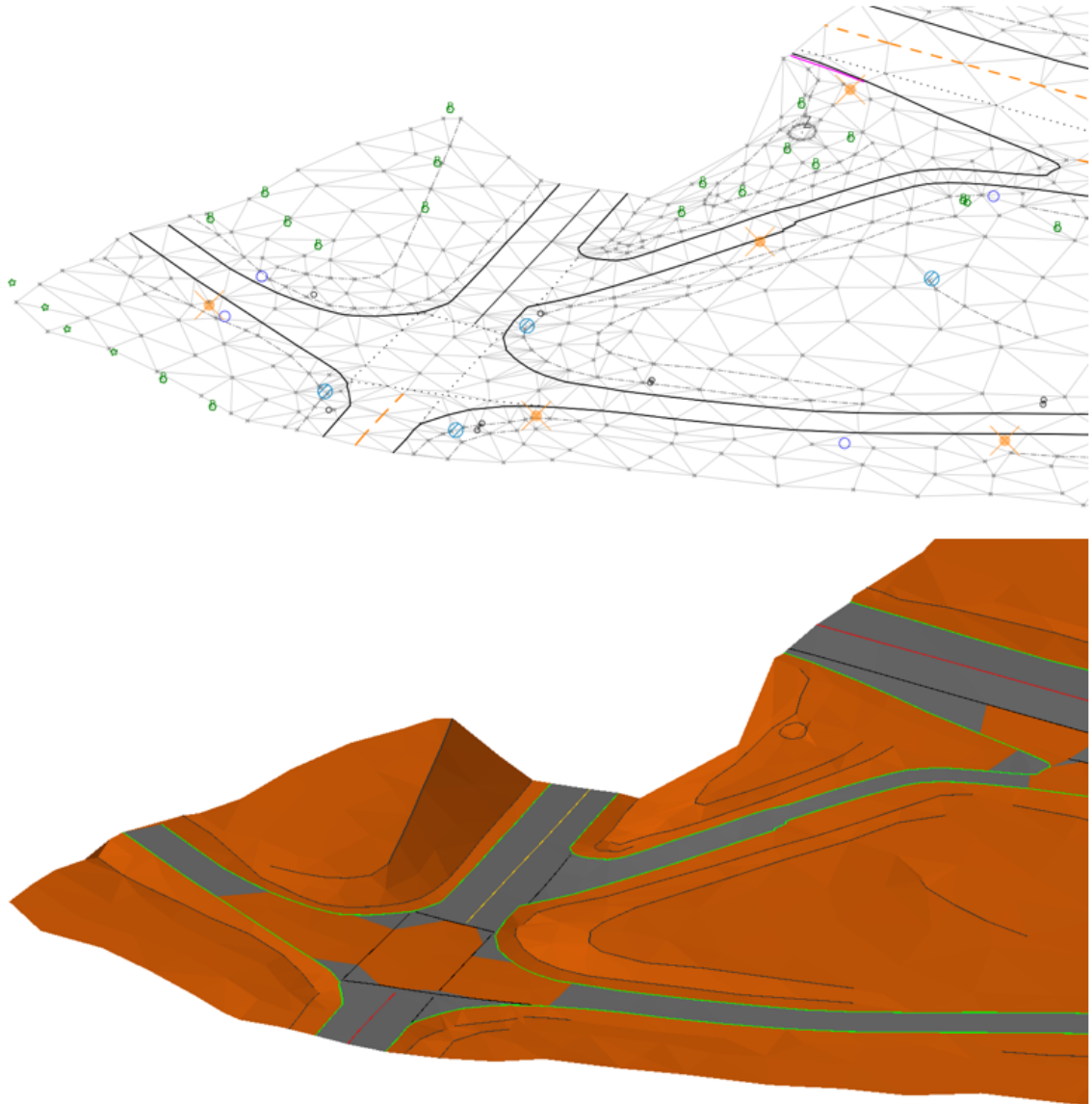
Koska mallia oli kartoitettu maastossa usealta asemapisteltä, esiintyi aineistossa viivamaisissa kohteissa katkoksia. Näitä katkoksia maastomallissa ei saa esiintyä, jotta aineisto muodostaa yhtenäisen kolmioverkkomallin. Kaikki maastossa yhtenäisesti kulkevat viivamaiset kohteet, jotka edustivat samaa koodia kuten päällysteen reunat, reunakivet ja tien keskilinjat täytyi siis yhdistää 3D-Win-ohjelman viivaeditorin liitä-toiminnolla. Eri koodilla kartoitettuja viivamaisia kohteita ei kuitenkaan yhdistetty keskenään.

Edellä kuvattujen vaiheiden jälkeen maastomalliaineistoon luotiin silmämääräisesti yleiskatsaus, jolla pyrittiin tarkistamaan muita mahdollisia virheitä kuten väärällä koodilla kartoitettuja kohteita, muita mahdollisesti havaintovirheistä johtuvia poikkeamia tai yksinkertaisesti kartoittamatta jääneitä kohteita. Tämän vuoksi onkin tärkeää, että takymetrillä kartoitetun maastomallin editoimisen suorittaisi aina maastomittaukset tehnyt henkilö sillä näin mahdolliset poikkeamat ja virheet huomataan aineistosta helpommin.

Maastomallin silmämääräisen tarkistuksen jälkeen suoritettiin 3D-Win-ohjelmalla automaattinen tiedoston tarkistus. Tarkistuksessa ohjelma tarkisti maastomalliaineiston asetuksissa ennalta määritellyllä tavalla ja listasi mahdolliset löytyneet

virheet. Maastomallin tiedoston tarkastuksessa varmistettiin muun muassa kohteiden oikeinkoodaus ja niiden esiintymisen oikealla pinnalla sekä varmistetaan, että viivamaiset kohteet eivät leikanneet toisiaan. Myös kartoituspisteiden liian läheinen sijainti toisiinsa nähden tarkistettiin, jotta nämä niin kutsutut tuplapisteet pystyttiin poistamaan. Lisäksi tarkistettiin, että maastomallissa ei esiinny kohteita 0-korkeudella tai negatiivisella korkeudella. Näin aineistosta löydettiin virheitä, joita ei silmämääräisesti välttämättä huomattu ja ne oli helppo paikallistaa virheen zoomaus-toiminolla ja tehdä tarvittavat korjaukset. Näitä virheitä löytyy maastomalliaineistoista aina jonkin verran ja ne johtuvat yleensä aina inhimillisestä virheestä.

3D-Win-ohjelman Maastomalli-työkalun avulla mittausaineistolle muodostettiin seuraavaksi kolmioverkko. Vaikka kolmioverkkomallia Mittaus ja geotekniikka ei toimittanut suunnittelijalle täytyi kuitenkin varmistaa, että aineiston kolmiointi onnistui ongelmitta. Pintatunnus T1=1 eli maanpintaa edustavien kohteiden välille muodostettiin tietyin asetuksin kolmioverkko sekä 3D-näkymä. Näin maastomalliaineistoa pystyttiin pyörittelemään 3D-Win-ohjelmassa eri katselukulmista ja nähtiin hyvin nopeasti, muodostuiko hankealueen pintamalli virheettömästi ja havaittiin esimerkiksi, että aineistoissa ei esiintynyt poikkeavia korkeuspiikkejä (kuvio 18).



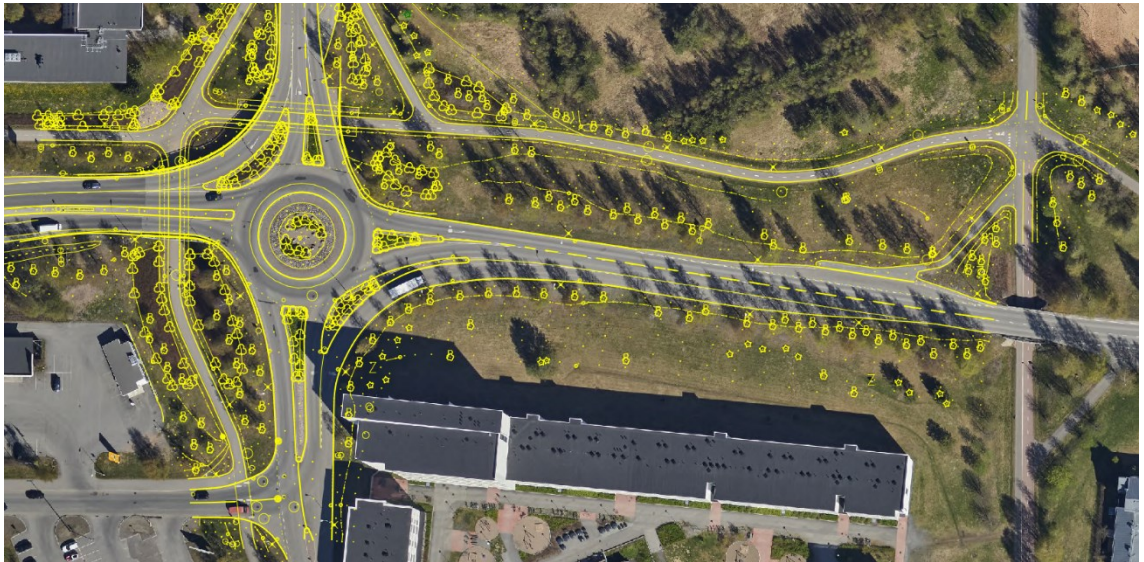
Kuvio 18. Linnanmaan maastomallin itäisen alueen kolmioverkkomalli sekä 3D-näkymä

6.4.3 Laadunvarmistus

Maastomallin toimittajana Mittaus ja geotekniikan täytyy suorittaa tiettyjä laadunvarmistustoimenpiteitä maastomalliprosessissa. Maastomittausvaiheessa näitä olivat vapaan asemapisteen laaduntarkkailu merkintämittauksilla kuten kappalessa 6.3.4 Vapaa asemapiste ja sen laaduntarkkailu kerrottiin sekä korkeuden kontrollointi käyttämällä kahteen eri korkeuskiintopisteeseen sidottuja korkeuksia. Lisäksi vaaditaan maastomallin vapaiden asemapisteiden ja lähtöpisteiden eli apupisteiden tietojen säilyttämistä.

3D-Win-ohjelmalla suoritettujen laadunvarmistuksen toimissa varmistetaan, että mallin taiteviivat pintatunnuksella T1=1 eivät leikkaa toisiaan, koodit täsmäävät oikeisiin pintatunnuksiin, mallissa ei esiinny nollakorkeita tai negatiivisia korkeuksia sekä maastomallin kolmioituminen oikein tarkistetaan. Nämä kaikki toimet suoritettiin Linnanmaan maastomalliaineistolle kuten kappaleessa 6.4.2 3D-Win editointi esitettiin.

Linnanmaan maastomalliaineiston sijainnin istuvuus tarkistettiin myös hakemalla 3D-Win-ohjelmalla maastomalliaineiston alle verkkopalvelusta WMS-haulla vuoden 2022 Oulun keskustan ilmakekuva. Näin toimimalla pystyttiin varmistamaan aineiston sijaintitarkkuuden hyvä laatu ja sulkemaan pois mallin mahdolliset sijaintivirheet ja mallin vääntymisen (kuvio 19).



Kuvio 19. Linnanmaan eteläisen osan maastomalli Oulun kaupungin vuoden 2022 ilmakekuvan päällä

6.5 Valmiin maastomalliaineiston luovutus tilaajalle

Linnanmaan valmiin maastomallin tuottaminen kesti noin reilun kuukauden ajan syksyllä 2022. Aineisto toimitettiin tilaajalle viidessä osassa mallin suuren koon vuoksi ja näin mahdollistettiin myös kiireellisen suunnittelutyön aloittaminen alueen pohjoispäässä sitä mukaan, kun maastomallialueita valmistui.

Valmiista maastomalliaineistosta kirjoitettiin 3D-Win-ohjelmalla ulos DWG- ja GT-tiedostot. Lisäksi aineiston koodilistan kautta kirjoitettiin ulos käytettyjen koodien

listaus, jossa määriteltiin jokaisen koodin selite. Tilaajalle toimitettiin myös PDF-kuva valmiista mallialueesta ilmakuvan päällä, jonka tarkoitus oli helpottaa suunnittelijaa hahmottamaan minkä hankealueen kohdan toimitettu malli käsitti.

Maastomallin DWG-, GT- ja PDF-tiedostot sekä koodilistaukset toimitettiin tilaajalle sähköpostitse 2022 syys-lokakuun aikana. Kokonaisuudessaan valmis maastomalli koko Linnanmaan hankealueesta on nähtävissä kuviossa 20.



Kuvio 20. Valmis Linnanmaan hankealueen maastomalli 3D-Win-ohjelmassa

7 MAASTOMALLIN VIEMINEN TEKLA CIVIL -TIETOKANTAAN

Oulun kaupunki käyttää Tekla Civil -maastomallisovellusta kaupungin maastomallien tietokantana. Mittaus ja geotekniikan tekemien maastomallien vieminen Tekla Civil -järjestelmään on tullut yksikön tehtäväksi viimeisen vuoden aikana. Tietokannalla pyritään helpottamaan ja nopeuttamaan Oulun kaupungin hanke-toimintaa sekä hallitsemaan keskitetysti tarjolla olevaa maastomalliaineistoa.

Ennen kuin vastakartoitettu ja valmis Linnanmaan maastomalli voitiin viedä tietokantaan, täytyi Tekla Civil -maastomallisovelluksesta tarkistaa, sijaitseeko uuden maastomallin alueella vanhempaa maastomalliaineistoa, joka ei ole enää ajan tasalla ja ei näin kuvaa hankealueen maaston ja ympäristön olosuhteita. Tällaista aineistoa voi olla esimerkiksi ilmalaseraineistoista tulkattu maastomalli vai useita vuosia sitten tietokantaan viety takymetrimittattu maastomalli. Tekla Civil -järjestelmään vietävän uuden maastomallin alla ei saa esiintyä vanhaa maastomalliaineistoa, joten se täytyi siistiä tietokannasta pois. Tämä tehtiin muodostaen ensin 3D-Win-ohjelmalla vapaamuotoinen alue uudesta maastomallista ja viemällä tämä aluerajaus Tekla Civil -maastomallisovellukseen GT-tiedostona. Näin pystyttiin hahmottamaan helposti mitä aineistoa alueella mahdollisesti ennestään oli jo olemassa ja poistamaan tämä vanhentunut aineisto uuden tieltä. Tämän jälkeen voitiin uusi maastomalli ladata tietokantaan GT-tiedostona.

Kun Linnanmaan maastomalli vietiin Tekla Civil -järjestelmään siihen merkattiin tietoihin aineiston käsittelijä ja aineiston laatu eli millä kartoitustekniikalla maastomalliaineisto oli tuotettu. Linnanmaan maastomallissa aineiston laaduksi merkittiin takymetrimittaus. Seuraavaksi täytyi tarkistaa aineiston koodaantumisen oikein, sillä kaikki koodit eivät vielä tunnistu järjestelmässä tai se tulkitsee joitakin koodeja väärin. Myös joitakin aineiston taiteviivoja sulkeutui toisiinsa väärin ja nämä täytyi korjata piirtymään oikein. Nämä ongelmat liittyvät lähinnä Tekla Civil -järjestelmän suhteellisen uuteen käyttöön Mittaus ja geotekniikassa maastomallien tietokantana.

8 MAASTOMALLIPROSESSIN ONGELMAKOHDAT

Teknisesti Linnanmaan maastomallin tuottamisessa alkaen tilauksen saapumisesta ja päättyen aineiston luovuttamiseen tilaajalle ei esiintynyt huomattavia ongelmakohtia. Tämä johtuu pääasiassa maastomallin tekijän suhteellisen pitkästä kokemuksesta maastomalliaineiston tuottamisen parissa. Juuri tästä syystä on erittäin tärkeää, että maastomallin tekijä osaa hahmottaa jo maastomittausvaiheessa hyvän suunnittelua palvelevan maastomallin vaatimukset ja maastomittauksen järjestämisen laadukkaasti. Näin vältettiin mahdolliset ongelmakohdat maastotöissä ja maastomalliaineistossa.

Vaikka maastomallin kartoitustöissä ei varsinaisia ongelmakohdita noussut esiin voidaan kuitenkin todeta haasteeksi Linnanmaan maastomallin suuri koko ja sen sijoittuminen vilkkaasti liikennöidylle alueelle. Maastomalli oli Mittaus ja geotekniikan mittakaavassa erittäin suuri täysin takymetrimittauksena tuotettu malli. Maastomittaukset kestivät yli kuukauden ja tämä oli maastomallin tekijälle hyvin työlästä ja ajoittain myös uuvuttavaa. Lisäksi vilkkaan liikenteen seassa liikkuminen mittauskaluston kanssa lisäsi työskentelyn rasittavuutta huomattavasti sekä altisti mahdollisille tapaturmille. Tapaturmia ja läheltä piti -tilanteita ei kuitenkaan päässyt syntymään varovaisten työskentelytapojen ja maastomallin mittaajan kokemuksen ansiosta.

Maastomallien kerääminen Tekla Civil -järjestelmään ei ole täysin ongelmaton ja sen suurin ongelma kohta liittyy maastomalliaineiston käytönhallintaan. Koska Oulun Infra -liikelaitoksen uuden suunnitteluhankkeen suunnittelijat pääsevät selaamaan maastomalliaineistoja tietokannasta voi tämä johtaa tilanteeseen, jossa suunnittelija tulkitsee tulevalla suunnittelualueella olevan jo olemassa valmis maastomalli. Todellisuudessa järjestelmästä löytyvä maastomalliaineisto voi kuitenkin olla jo vuosia vanhaa eikä ajantasainen, kun alueella on jo tehty esimerkiksi muutoksia uudisrakentamisen tai peruskorjauksen yhteydessä. Tämä ongelma voidaan toki osittain välttää tarkastelemalla aineiston järjestelmään latausajankohtaa tai vertaamalla maastomallia tuoreeseen ilmakehuun, mutta nämä eivät ole täysin ongelmia poistavia toimia.

9 POHDINTA

Maastomallin tuottaminen maastossa takymetrimittauksina on monivaiheinen prosessi, joka vaatii tietämystä maastomallin vaatimuksista ja tavoista kartoittaa maaston kohteita erityisesti rakennetussa ympäristössä. Maastomittausten hyvä suunnittelu ja alkuvalmistelu ovat tärkeä lähtökohta onnistuneiden maastomittausten mahdollistamiseksi. Maastomallin tekijän kokemus ja osaaminen vaikuttavat pitkälti kartoitettavan maastomallin laatuun ja tarkkuuteen. Lisäksi maastomallin tilaajalta saadut tarkat ohjeistukset ja aluerajaukset auttavat itse työn suorittamisessa.

Koska Oulun Linnanmaan maastomallialue oli suuri ja se sijaitsi pitkälle rakennetussa ympäristössä, tekivät nämä maastomallista sisällöltään hyvin monipuolisen ja opetusmielessä hyvän kohteen käsitellä maastomallin vaiheita ja kartoitustyön perusasioita. Linnanmaan maastomalli käsitti suuren osan Oulun alueella esiintyvistä maastomalliin mitattavista kohteista.

Tuotetun maastomallin suuri koko voidaan myös ajatella maastomalliprosessin yhdeksi ongelmakohtaksi. Mallin tuottaminen kesti pitkään ja maastomittaukset olivat ajoittain haasteellisia alueen vilkkaan liikenteen vuoksi. Suuren maastomallin tuottaminen puhtaasti takymetrimittauksena ei välttämättä ole kaikkein kustannustehokkain tapa ja sitoo työvoimaa yhteen kohteeseen pitkäksi aikaa. Vaihtoehtoisesti suuret maastomallit voitaisiin tuottaa osittain esimerkiksi dronella ilmalaserkeilauksena ja aineistoa täydennettäisiin maastokartoituksilla peitteisien ja näkymättömien kohteiden osalta.

Ilmalaserkeilauksella tuotetun aineiston tarkkuus ei kuitenkaan useassa Linnanmaan kohteessa, kuten reunakivissä ja siltarakenteissa, olisi riittänyt täyttämään kohteen tarkkuusvaatimuksia, jotka Väyläviraston mittausohjeessa määritellään. Lisäksi alueen kaikki alikulkutunnelit jäisivät näkymättömiksi ilmalaseraineistossa, joten nekin olisi täytynyt täydennyskartoittaa takymetrimittauksina. Näin ollen Linnanmaan maastomallialueella olisi tullut suhteellisen paljon takymetrillä suoritettavaa täydennyskartoitusta ilmalaserkeilauksen lisäksi. Voidaan myös todeta, että Mittaus ja geotekniikalta maastomalleja tilaavat suunnittelijat selvästi

arvostavat takymetrimittattuja maastomalleja niiden tarkkuuden ja heti käyttövalmiin ja yhtenäisen aineiston vuoksi.

Tekla Civil -järjestelmän käyttöä maastomallien tietokantana vaatii vielä hieman kehitystä. Ajatuksena Oulun alueen kaikkien maastomallien löytyminen yhdestä järjestelmästä on kaunis, mutta käytännössä tähän liittyy ongelmia. Suunnittelijoiden omatoiminen maastomallien käyttöönotto hankkeiden suunnittelussa, ilman aineiston ajantasaisuuden ja tarkkuuden varmistamista, voi johtaa huomattaviin ongelmiin. Tämän vuoksi Oulun Tekla Civil -tietokannan maastomallien ajantasaisuus ja tarkkuus olisi hyvä tarkistuttaa esimerkiksi Mittaus ja geotekniikka yksiköltä ennen aineiston käyttöönottoa suunnittelutyössä.

LÄHTEET

3D-Win 2023a. Ladattavat tiedostot. 3D-Win perusohje versio 6.7. Viitattu 10.2.2023 <https://3dwin.fi/ladattavat-tiedostot/>.

–2023b. 3D-Win Extranet. Ryhmämittaus. Viitattu 7.3.2023 <https://confluence.novatron.fi/pages/viewpage.action?pageId=34674853>.

Arkance Systems 2023. Tekla Civil. Viitattu 10.2.2023 <https://arkance-systems.fi/ohjelmistot/trimble/tekla-civil/>.

Autodesk 2023. Mikä on DWG? Viitattu 16.3.2023 <https://www.autodesk.fi/viewers>.

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

Maanmittauslaitos 2023a. Maanmittauslaitoksen ilmakuva. Viitattu 3.2.2023 <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/ilmakuva>.

–2023b. Maanmittauslaitoksen ortokuva. Viitattu 23.3.2023 <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/ortokuva>.

Oulun kaupunki 2022. Toimintakertomus ja tilinpäätös 2021. Viitattu 25.1.2023 https://www.ouka.fi/documents/52058/15255193/tilinp%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s_2021.pdf/00cf4cd9-5575-45e6-929e-cb7f67075831.

Oulun kaupunki 2023a. Suunnitelmat ja hankkeet. Linnanmaantie, Kaitoväylä ja Tietolinja katu- ja ympäristösuunnitelmat, vaihe 1. Viitattu 10.2.2023 https://www.oukapalvelut.fi/tekninen/Suunnitelmat/Projektikortti_2019.asp?ID=1470.

–2023b. Trimble Locus Cloud. Kantakartta.

–2023c. Trimble Locus Cloud. Opaskartta.

Rantanen, P. 2021. Maastomittauksen perusteet. 4. painos. Turenki: Opetushallitus.

Sweco 2023. Viitattu 14.2.2023 <https://www.sweco.fi/>.

Trimble 2023. Trimble Locus. Viitattu 10.2.2023 <https://upa.trimble.com/fi-fi/tuotteet/trimble-locus-cloud>.

Trimble Access 2023a. Maasto-ohjelma.

–2023b. Tukiportaali. Mittauksen suorittaminen kulman siirtymää käyttäen. Viitattu 8.3.2023 <https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/latest/fi/Topo-point-angle-offset.htm>.

–2023c. Tukiportaali. Sanasto. Viitattu 15.3.2023

<https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/latest/fi/Glossary.htm>.

Työryhmäraportti Oulun kaupunki 2022. Oulun Infra -liikelaitoksen omistajapoliittinen selvitys. Oulun kaupunki: Konsernihallinto.

Väylävirasto 2017. Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot -mittausohje.

Liikenneviraston ohjeita 18/2017. Helsinki: Liikennevirasto. Viitattu 1.2.2023

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