

# LENTOLASERKEILAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN KASVILISUUSKARTOITUKSESSA

Kuopion kaupunki

Majuri Jussi

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Jussi Majuri	Vuosi	2018
<b>Ohjaaja(t)</b>	Pasi Laurila		
<b>Toimeksiantaja</b>	Kuopion kaupunki		
<b>Työn nimi</b>	Lentolaserkeilauksen hyödyntäminen kasvillisuus-		
	kartoituksessa		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	36 + 12		

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten lentolaserkeilausta hyödynnetään kasvillisuuskartoituksessa. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia puun rungon sijainnin tarkkuutta sekä vaikuttaako puun korkeus ja laji sijainnin tarkkuuteen. Aineistosta saatiin puun korkeus hyvin, mutta puun rungon sijainnissa ja lajitiedossa on vielä kehitettävää. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voiko Kuopion kaupunki alkaa systemaattisesti hyödyntämään aineistoa puistosuunnittelussa, infraomaisuuden hallinnassa sekä kaupunkimallinnuksessa.

Tämä opinnäytetyö koostui kahdesta osasta, teoriaosuudesta ja tutkimuksesta. Teoriaosuudessa käytiin läpi lentolaserkeilauksen tekniikkaa ja puiden mallintamista. Vertaileva tutkimus tehtiin lentolaserkeilausaineiston puustotulkinnan ja maastokartoituksen välillä. Tutkimuksen lähtöaineisto saatiin vuosina 2009 ja 2012 tehdyistä lentolaserkeilauksista. Vertailukohteita olivat puun rungon sijainnin, korkeuden ja lajin lisäksi puurivi ja yksittäinen puu. Aineistosta lasketun pisteen ja kartoitetun pisteen eromittojen laskentaan käytettiin 3D-Win -ohjelmaa. Eropintamalli tehtiin 3D-Win -ohjelman työkalujen avulla. Pisteiden koordinaatit ja muut tiedot kirjattiin Excel-taulukkoon, jossa tehtiin tarvittavat laskutoimitukset.

Tutkimustulokset osoittavat, että lentolaserkeilausaineiston sijaintitarkkuus riittää JHS 185 -suosituksen mittaussuokan 1 asettamiin vaatimuksiin. Puurivien sijaintitarkkuuden keskiarvo oli parhaimmillaan 0,5 metriä, mikä oli erittäin hyvä tulos. Puistojen yksittäisten puiden sijaintitarkkuus oli parhaimmillaan 1,5 metriä, mikä juuri riitti mittaussuokkaan 1. Sijaintitarkkuuteen vaikutti puiden korkeusero toisiinsa nähden. Kun puut olivat melko saman pituisia, päästiin erittäin hyvään sijaintitarkkuuteen. Puulajin tulkinta onnistui 35,7 prosentin tarkkuudella, mikä oli huono tulos. Aineistossa havaittiin olevan ylimääräisiä virhepisteitä, esimerkiksi virastotalon katolla. Näin ollen aineistoa joudutaan jälkikäsittelemään, jotta aineistoa voisi käyttää lähtötietona Kuopion kaupungin hankkeiden esittelyssä.

Avainsanat  
Muita tietoja

Lentolaserkeilaus, kunta, kasvillisuuskartoitus  
Työhön liittyvät eropintamalli ja tutkimustulokset

Technology, Communication and Transport  
Degree Programme in Land Surveying  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Jussi Majuri	Year	2018
<b>Supervisor</b>	Pasi Laurila		
<b>Commissioned by</b>	City of Kuopio		
<b>Subject of thesis</b>	Feasibility of Airborne Laser Scanning in Vegetation Measurement		
<b>Number of pages</b>	36 + 12		

---

The objective of the thesis was to study how the airborne laser scanning data can be exploited for vegetation surveys. The subject was chosen because airborne laser scanning data offers the possibility to detect, segment and model individual trees. The priority was to study what is the accuracy of the tree trunk location. It was known that the accuracy of height is good, but the accuracy of location and the tree species data needs more development.

The thesis was divided into two parts. The theory of airborne laser scanning was explained in the first part. In the second part the comparison research was done between the laser scanning data and the measurement data from the terrain. The comparison objects were the location, the height and the species of tree and tree row and individual tree. The calculations were done with the 3D-Win software and Excel. The research was based on the airborne laser scanning that were done in 2009 and 2012 for the city of Kuopio.

The research results indicated that the accuracy of the airborne laser scanning data is good for vegetation surveys. The accuracy of the location was at best 0,5 meters in the tree rows. The recognition of the tree species succeeded with the 35,7 percent accuracy which was the poor result. The error points were detected in the laser scanning data.

**Key words** Airborne laser scanning, municipality, vegetation  
**Special remarks** The thesis includes the research results and a canopy height model.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	LENTOLASERKEILAUS .....	8
2.1	Lentolaserkeilauksen tekniikka .....	8
2.2	Laserpulssin ja puuston vuorovaikutus .....	10
2.3	Kuopion ja Karttulan laserkeilaus vuonna 2009 .....	13
2.4	Kuopion, Siilinjärven ja Nilsiäen laserkeilaus vuonna 2012 .....	14
3	KASVILLISUUDEN MALLINTAMINEN .....	16
3.1	Kuopion kaupunki .....	16
3.2	Terrasolid Oy .....	17
3.3	Puukohteiden vektorointi.....	18
4	KASVILLISUUSKARTOITUS.....	20
4.1	Maastokatselmus .....	20
4.2	Mittaustavat .....	21
4.3	Mittauksen kulku .....	22
4.4	Mittausaineiston editointi.....	23
4.5	Tutkimusalue .....	23
5	VERTAILUTUTKIMUS .....	26
5.1	Tutkimuksen menettelytavat .....	26
5.2	Tutkimustulokset.....	27
5.3	Aineistossa havaitut virheet .....	30
6	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET .....	36

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Kuopion kaupunkia siitä, että sain tarvittavat mittauslaitteet ja laserkeilausaineiston opinnäytetyön tekemistä varten ja näkemyksen siitä, miten puita mallinnetaan ja havainnekuvia tehdään. Haluan kiittää erityisesti Marko Aholaa neuvoista ja kommentteista liittyen opinnäytetyön sisältöön. Kiitos Timo Karppinen avusta ja neuvoista koskien eropintamallin tekemistä. Kiitos Pasi Laurila ja muut opettajat opinnäytetyön tekemisen ohjauksesta.

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

ALS	Airborne Laser Scanning – lentolaserkeilaus
CHM	Canopy Height Model – latvuksen korkeusmalli
DSM	Digital Surface Model – pintamalli
DTM	Digital Terrain Model – maastomalli
GNSS	Global Navigation Satellite System – globaali paikannusjärjestelmä
GPS	Global Positioning System – Yhdysvaltain globaali paikannusjärjestelmä
IMU	Inertia Measurement Unit – mittausjärjestelmä, joka mittaa sensorin asentoa ja paikkaa
INS	Inertia Navigation Systems – inertia-paikannusjärjestelmä
kHz	kilohertsi
nDSM	normalized Digital Surface Model – normalisoitu pintamalli
ns	nanosekunti

## 1 JOHDANTO

Yleisten alueiden kasvillisuus on Kuopion kaupungin infraomaisuutta. Kuopion kaupunki kartoittaa katuverkoston puita niiden kunnossapidon vuoksi, koska asemakaavoitettu alue on tärkeä pitää viihtyisänä ja turvallisena paikkana liikkua. Kuopion kaupunki mallintaa kasvillisuutta uusien asemakaava alueiden suunnitteluun. Voimassa olevan asemakaava-alueen kasvillisuus pitää huomioida automaattisesti, kun asemakaavan muutosta aletaan laatia. Kuopion kaupunki onkin alkanut havainnollistaa asemakaava- ja katusuunnitelmia kolmiulotteisten havainnekuvien avulla. Havainnekuvien avulla asukkaat ja yritykset ymmärtävät, miten suunnittelu vaikuttaa heidän toimintaympäristöönsä.

Lentolaserkeilausaineistosta voidaan vektoroida kasvillisuutta, kuten yksittäisiä puita sekä puurivejä. Lentolaserkeilauksen puustotulkinnan tarkkuudessa on kuitenkin vielä paljon kehittämistä. Aineistosta saadaan puun korkeus hyvällä tarkkuudella, mutta puunrungon sijainnin tarkkuudessa ja lajitiedossa on vielä kehittämisen varaa. Kuopion kaupungille opinnäytetyön tutkimustulokset ovat hyödyksi, koska Kuopion kaupunki voisi alkaa systemaattisesti hyödyntää aineistoa enemmän puistosuunnittelussa, infraomaisuuden hallinnassa sekä kaupunkimallinuksen lähtötietona.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä vertaileva tutkimus lentolaserkeilausaineiston puun tulkinnan sekä maastokartoituksen välillä. Tutkimuksen vertailukohteita ovat puunrungon sijainti, puun korkeus ja puunlaji. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia puunrungon sijainnin tarkkuutta sekä vaikuttaako korkeus ja laji sijainnin tarkkuuteen. Myös puurivien ja yksittäisten puiden sijaintitarkkuutta tutkitaan erikseen. Lisäksi opinnäytetyössä tutkitaan, voidaanko puun lajin tunnistaa automaattisesti aineiston ja ilmakuvatulkinnan perusteella.

## 2 LENTOLASERKEILAUS

### 2.1 Lentolaserkeilauksen tekniikka

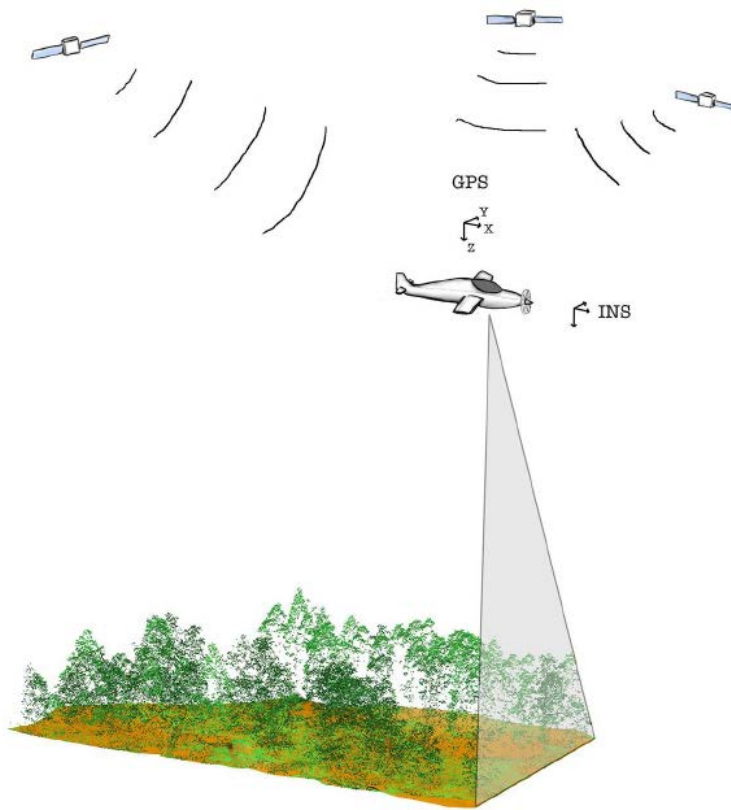
Tässä luvussa perehdytään lentolaserkeilauksen tekniikkaan. Lentolaserkeilaus (ALS) on kaukokartoitustekniikka, jota käytetään maanpinnanmuotojen, kasvillisuuden, asuinympäristöjen, rakennuksien, jään sekä infrastruktuurin mallintamiseen. Laserkeilaukseen on perehdytty 1990-luvulta lähtien, minkä ansiosta lentokoneinertiajärjestelmät, keilaustaaajuus, GPS-satelliittipaikannus ja lasertekniikka alkoivat ripeästi kehittyä. Laserkeilauksen menetelmien käyttö alkoi yleistyä myös ilma-aluksissa, kuten lentokoneissa ja helikoptereissa. Laserkeilaukseen perustuvalla menetelmällä pystytään mittaamaan laajempaa lentokaistaa yhdellä kertaa, mikä mullisti maanmittausalaa valtavasti. (Holopainen, Hyypä & Vastaranta 2013, 11.)

Laitetta, johon on yhdistetty lasertykki, keilain ja ilmaisim, kutsutaan laserkeilaimeksi. Laserkeilain tuottaa kohteesta kolmiulotteista kartoitustietoa, ja sen periaate on varsin yksinkertainen. Laserin ja kohteen välinen etäisyys mitataan laserpulssin kulkuajan perusteella, keilain pyyhkäisee laserpulsseja lentosuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa, ja kun laserkeilaimen asento ja paikka ovat tarkasti tunnetut, mitattu etäisyys voidaan muuttaa korkeudeksi. (Holopainen ym. 2013, 11–13.)

Lyhyet laserpulssit (esim. 4–10 ns) lähetään lasertykillä korkealla pulssintoistotaajuudella (esim. 50–400 kHz). Erilaisia keilausmekanismeja käyttämällä pulssit levittäytyvät laajemmalle alueelle lentosuunnan vastaisesti, jolloin lentokerrat vähenevät mitattavalla alueella. Ilmaisimella vastaanotetaan takaisinpäin heijastuva signaali, jonka avulla voidaan tulkita mitattua kohdetta. Tulkinnan lisäksi mitattavan kohteen etäisyys saadaan selville. INS-inertiajärjestelmän avulla voidaan määrittää tarkasti lasertutkan asento ja GNSS-mittauslaitteella voidaan paikantaa tarkasti lasertutkan sijainti. Laserkeilauksen ajaksi maastoon perustetaan myös RTK-tukipiste, mikä parantaa huomattavasti satelliittipaikannuksen tarkkuutta. Lasertutkan asennon ja sijainnin tarkan määrittämisen ansiosta jokaista laserpulssia vastaava etäisyys voidaan muuntaa x-, y-, ja z-koordinaateiksi. Näin



ollen laserkeilauksen tuloksena kohteesta syntyy maastopistetiedosto, jonka jo-  
kaista pistettä voidaan käsitellä omana pisteenä. Kuvio 1 havainnollistaa lentola-  
serkeilauksen periaatetta. (Lehtonen 2010b, 9.)

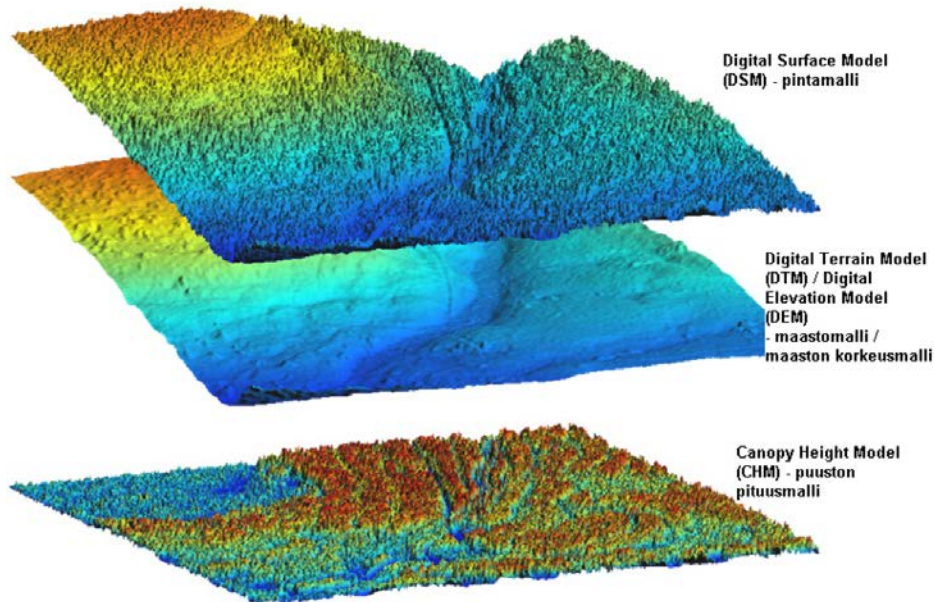


Kuvio 1. Lentolaserkeilauksen periaate (Holopainen ym. 2013, 11)

Laseraineistosta voidaan tuottaa korkeusmalleja, sillä pistepilvessä näkyvät  
kaikki ne kohteet, joihin laserpulssit ovat osuneet. Kuitenkin pistepilven pisteistä  
jää tuntemattomaksi kohteiden ominaisuustieto sekä tulosuunta. Siksi pistepilvi  
joudutaan luokittelemaan. Pistepilvi luokitellaan automatiikan avulla ja pistepilven  
tulkinnessa käytetään erilaisia pintamalleja. (Lehtonen 2010b, 7–9.)

Esimerkiksi puuston pituusmalli (CHM) saadaan laskettua yhdistämällä pintamalli  
(DSM) ja maanpinnan maastomalliin (DTM) eropinta-menetelmän avulla. Puus-  
ton pituusmalli kuvaa väriskaalan mukaisesti puuston korkeutta. Pintamalli muo-  
dostuu kasvillisuuden korkeimpien kohteiden mukaisesti ja maanpinnan maasto-  
malli maaston korkeuden mukaisesti. Normalisoiduksi pintamalliksi (nDSM, CHM

= nDSM = DSM–DTM) kutsutaan mallia, missä pintamallin korkeudesta on vähennetty maaston korkeus. Tällöin saadaan laserkaikujen korkeutta kuvaava pituusmalli. Kuvio 2 havainnollistaa näitä pintamalleja (Holopainen ym. 2013, 13.)



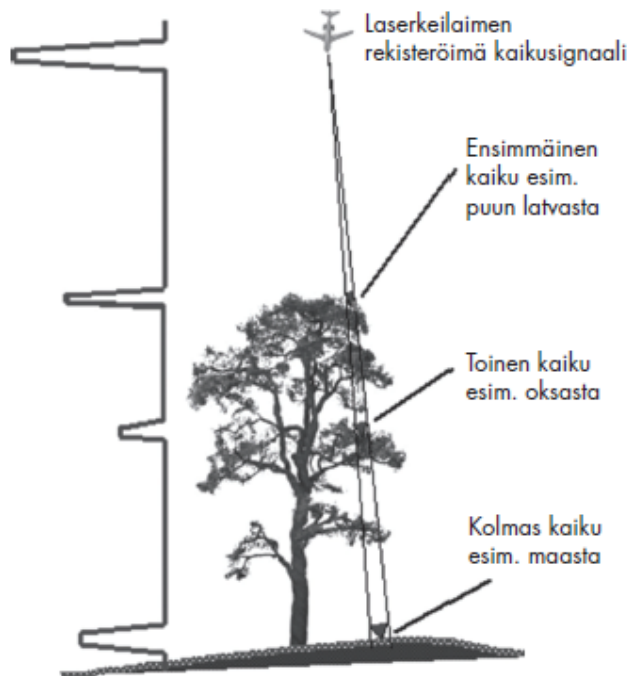
Kuvio 2. Esimerkkejä DSM-, DTM- ja CHM-malleista (Holopainen ym. 2013, 12)

Laseraineisto ja korkeusmalli tarjoavat tarkkaa sijainti- ja korkeustietoa, joten niistä on hyötyä yhteiskunnalle eri toimintojen suunnittelussa, tarkkailussa sekä odottamattomiin tilanteisiin varautumisessa. Esimerkiksi tulvakarttojen ansiosta voidaan reagoida nopeasti toimimaan suurien tulvien aiheuttamien tuhojen ehkäisimeksi. Myös metsiä inventoidaan laseraineiston avulla strategisen suunnittelun varalle, koska aineistossa päästään tutkimaan puita puukohtaisesti. Laseraineisto paljastaa jääkauden jälkiä ja niistä voidaan havaita maanpinnan pieniäkin yksityiskohtia. Kunnat taas hyödyntävät laseraineistoa ja korkeusmalleja kaavoituksessa, kartoituksessa sekä rakennetun ympäristön suunnittelussa ja hankkeiden esittelyssä. (Lehtonen 2010b, 8.)

## 2.2 Laserpulssin ja puuston vuorovaikutus

On tarpeen selvittää, miten laserpulssi ja puusto vuorovaikuttavat keskenään. Kun laserpulssi osuu puustoon, sen seurauksena saadaan aikaan yksi ja tai useampi paluukaiku. Jos paluukaiku on yksittäinen, laserpulssi on osunut esimerkiksi tiheään lehvästöön ja tuottaa yhden paluukaiun lehvästön pinnasta. Lehvästö ei ole kuitenkaan kuin muuri, joka peittää puunrungon, vaan laserpulssi tunkeutuu

lehvästön aukoista läpi. Laserpulssi tunkeutuu latvuksen ylimmän osan läpi ja osuu myös eri puolille puustoa, kuten puun runkoon, oksiin ja lehtiin saavuttaen viimeisenä maanpinnan. Tästä johtuen syntyy useita paluukaikuja. Yleensä laserkeilauksen aikana saadaan vain yksi paluukaiku, mistä oletetaan, että ensimmäiset paluukaiut tulevat latvuston huipulta ja viimeiset suurimmaksi osuudeksi maanpinnasta. Monen paluukaiun ansiosta voidaan arvioida maanpinnan tasoa ja metsän muotoa. Kuvio 3 havainnollistaa laserpulssin ja puusto vuorovaikutusta. Laserkeilaimen rekisteröimä kaikusignaali kuvaa vastaanotetun kaiun voimakkuutta ajan funktiona. (Hyyppä, Holopainen, Vastaranta & Puttonen 2009, 361–362.)

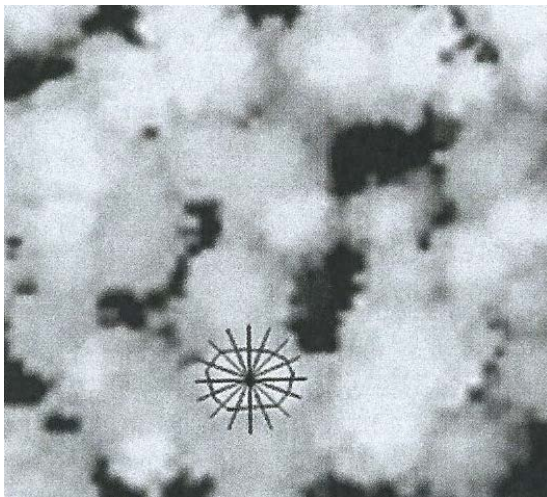


Kuvio 3. Laserpulssin ja puuston vuorovaikutus (Hyyppä ym. 2009, 362)

Laserkeilausaineistoa käytetään puulajitulkinnassa. Esimerkiksi laskemalla pistepilvestä latvuksen koko ja rakenne, voidaan lehtipuut tunnistaa havupuista. Ilmakuvista lasketaan sävy- ja tekstuuripiirteitä, mikä helpottaa puulajitulkintaa. Laserkeilaus tuottaa siis puun latvan geometrian. Näin ollen ilmakuvan ja laserkeilauksen yhdistelmämalli erottaa latvuksen valaistun osan varjossa olevasta osasta. Esimerkiksi mänty on leveälatvuksinen ja pitkärunkoinen puu, kun taas kuusi kapealatuksinen puu. Laserkeilaukseen pohjautuvaa tulkintaa on viime vuosina tutkittu useaan otteeseen ja se korvautuu ilmakuvat puulajitulkinnassa.

Parhaimmillaan korkeapulssisella (yli 10 pulssia / m<sup>2</sup>) aineistolla saadaan havu- metsäalueella 90–95 prosentin tarkkuus. Tällöin tulkittiin kolmea puulajia, jotka ovat lehtipuu, mänty ja kuusi. Käytännön pulssitiheyksillä monijaksoissa metsissä tarkkuus on 75–85 prosenttia. (Hyypä ym. 2009, 364.)

Laserkeilausaineistosta voidaan havaita, segmentoida ja mallintaa yksittäisiä puita. Yksittäisen puun tunnistaminen ja segmentointisuunnitelma perustuu laserkeilausaineiston rasteriesitysmuotoon. Rasteriaineisto saadaan interpoloimalla ensimmäisen pulssin laserkeilausaineisto. Ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan paikallisten maksimien haku. Paikallisten maksimien avulla voidaan suorittaa segmentointi jakamalla korkeusprofiilit kahdeksaan, 16 tai 32 osaan. Näiden profiilien korkeudet ovat analysoitu paikallisten minimien avulla. Häiritsevien vaikutuksien ehkäisemiseksi rasteriaineisto tai profiilit kannattaa suodattaa. Paikallisen maksimin sijainti määrittää myös puun sijainnin (Holopainen ym. 2013, 28). Yksittäisen puun tunnistaminen ja segmentointisuunnitelma on esitetty kuviossa 4. (Vosselman & Maas 2011, 219–220.)



Kuvio 4. Yksittäisen puun tunnistaminen ja segmentointisuunnitelma (Vosselman & Maas 2011, 220)

Menettelyn tuloksien laatu ja onnistuminen riippuvat laserkeilausaineiston piste- tiheydestä sekä puiden koosta, muodosta ja jakautumisesta. Yleensä pieniä tai aluskasvillisuuden puita ei kyetä havaitsemaan suurien puiden läheltä. Myös pui- den korkeus voi olla kymmeniä senttejä aliarvioitu, koska laserpulsssi tunkeutuu

puun korkeimmasta kohdasta niin paljon, jotta paluupulssin voimakkuus on tarpeeksi suuri (Holopainen ym. 2013, 21). Myös latvuston halkaisija voi olla aliarvoitu johtuen latvustojen päällekkäisyydestä. (Vosselman & Maas 2011, 221.)

### 2.3 Kuopion ja Karttulan laserkeilaus vuonna 2009

Kuopion kaupungin teknisen viraston kiinteistö- ja mittaus-toimi julkaisi 23. helmikuuta 2009 tarjouspyynnön, joka koskee Kuopion ja Karttulan laserkeilaus- ja ilmakuva-aineiston hankintaa. Kuopio suunnitteli käyttävän aineistoa kantakartan (1:1000) uudistamiseen, maastokohteiden ja korkeuskäyrien tuottamiseen sekä maankäytön suunnitteluun ja rakentamisen tarpeiden täyttämiseen. Tavoitteena oli vähintään kaavoitusmittausohjeen mittausluokan 1 mukainen kantakartan tarkkuus aineiston pohjalta tuotetulle kartta-aineistolle. Pistepilvestä tuotetun maastomallin korkeustarkkuus tuli olla vähintään 10 senttimetriä sekä laserpisteaineiston karsimaton pistetiheys tulee olla vähintään 10 pistettä / m<sup>2</sup>. Myös lentolinjoille tuli tehdä yhteensovitus. Luokitelluille pisteille tuli tehdä manuaalinen tarkastelu ja korjaus karkeiden virheiden osalta. Laserkeilaus ja ilmakuvauus tuli suorittaa toukokuussa 2009. Kartoitettavat alueet olivat Kuopion ja Karttulan alueella viitenä erillisenä alueena ja niiden yhteispinta-ala oli noin 99 km<sup>2</sup>. (Kuopion kaupunki 2009.)

BlomSweden Ab valittiin hankinnan tekijäksi Kuopion kaupungin toimesta. Laserkeilaus ja ilmakuvauus tehtiin 27.–28. toukokuuta 2009. Laserkeilaus suoritettiin helikopteriin asennetulla keilaimella 450 metrin korkeudelta. Koko alueen pistemääräksi tuli noin 2 987 937 000 pistettä ja pistetiheydeksi 25 pistettä / m<sup>2</sup>. Raakakuvien pikselikoko oli noin 5 senttimetriä ja kuvia oli yhteensä 2 512 kappaletta. Keilaimena käytettiin TopEye-järjestelmää ja ilmakuvat otettiin Rollei P45 -kameralla. Laserpisteaineiston kattavuuden tarkistus tehtiin TerraScanin kattavuusmäärityskalulla. Laserpisteaineisto kattaa koko kartoitettavan alueen lukuun ottamatta vesistöalueita. Pistetiheydessä päästiin tavoitteiden asettamiin vaatimustasoon. Tämä todettiin manuaalisilla näytteillä, jotka jakautuivat projektin alueella. (BlomSweden AB 2009.)

Seuraavaksi tehtiin ensisijainen tietojen käsittely. GPS-aineisto käsittely tehtiin erikseen, jotta saavutetaan eteen- ja taaksepäin suunnattu ratkaisu. Tällä menetelyllä osoitettiin, että kantoaaltovaiheen epäselvyydet oli määritetty olevan täsmälleen samat molemmissa käsittelysuunnissa. GPS-, INS- ja LRF-aineistot yhdistettiin TopEye TEPP -ohjelmistolla pistepilven muodostamiseksi. Lopuksi yksittäisten lentoratojen suhteellinen tarkkuus varmistettiin hankkeen aikana saatujen tietojen ja TerraMatch-ohjelmiston avulla. Sovitettu laserkeilausaineisto ja ortoilmakuvat toimitettiin asiakkaalle KKJ3-koordinaatistossa. (BlomSweden AB 2009.)

#### 2.4 Kuopion, Siilinjärven ja Nilsiän laserkeilaus vuonna 2012

Kuopion kaupungin kaupunkiympäristön palvelualueen maaomaisuuden hallintapalvelu julkaisi 24. helmikuuta 2012 tarjouspyynnön. Tarjouspyyntö koski hankintaa laserkeilaus- ja ilmakeilaus-aineistosta Kuopion ja Nilsiän alueelta. Tarjouspyyntö sisälsi myös optioita. Optioita olivat laserkeilaus ja ilmakeilaus sekä tosiortokuvien tuottaminen Siilinjärven alueelta, laserkeilausalueen laajentaminen Kuopion tai Nilsiän alueelta ja kaavan pohjakartan tuottaminen keilausaineistosta asiakkaan määrittämältä alueelta. Kartoitettavat alueet olivat Kuopion ja Nilsiän alueilla kolmena erillisenä alueena ja niiden yhteispinta-ala oli 100 km<sup>2</sup>. Keilausjonojen tuli olla suorina eikä luovutettavaan aineistoon saanut sisältyä kaarron aikana syntyneitä aineistoja. Edellinen aineisto oli vuodelta 2009, joten kantakartta (1:1000) uudistettiin vuoden 2012 aineistolla. Siksi vuoden 2012 laserkeilausella oli samat tavoitteet kuin vuoden 2009 laserkeilausella. (Kuopion kaupunki 2012.)

Kuopion kaupunki valitsi hankkeen tekijäksi Terratec Oy. Hankkeen aluksi konsultti mittasi tukipintoja ja -pisteitä pistetihennystä varten yhteensä 77 kappaletta, joista käytettiin 35 kappaletta. Laserkeilausta ja ilmakeilausta varten lentokoneeseen oli asennettu Leican ALS-70 keilain ja Leica RCD30 -kamera. Laserkeilaukset ja kuvaukset suoritettiin 22.–23.5.2012. Lentokorkeus oli noin 700 metriä ja nadiirissa vähintään 10 pistettä / m<sup>2</sup>. Sivupeitto oli 30 %, avauskulma oli 30 astetta ja suunniteltu taajuus 120 kHz. Keilausaineistossa todettiin prosessoinnin yhteydessä kaksi pientä reikää, jotka paikattiin elokuussa 2012. (Biström 2012.)

Laserkeilauksen raakadata prosessointiin georeferoiduksi pistepilveksi. Prosessoinnissa käytettiin laserkeilausaineistoa, GPS/IMU-aineistoa ja tukipintoja sekä -pintakohteita. GPS/IMU-laskenta laadittiin käyttämättä maasukiasemia Terra-POS PPP -ohjelmistolla, joka tuottaa 3–5 senttimetrin tarkkuuden. Pistedata soveltamiseen yhteen käytettiin jonojen peittoalueita. Laskenta tehtiin ETRS-GK27 -koordinaatistossa, mitä Kuopiossa, Nilsiässä ja Suonenjoella käytetään, ja ETRS-GK28 -koordinaatistossa, mitä Siilinjärvellä käytetään. Korkeudet olivat N2000-järjestelmän mukaiset. Pistetihennys tehtiin Inphon Mact AT -ohjelmistolla. Pistetihennyksen lähtöaineistona käytettiin digitaalisia kuvia, GPS/INS-dattaa sekä signaalien koordinaatteja. (Biström 2012.)

Ortokuvien prosessoinnin lähtöaineistoa käytettiin digitaalisia RGB-kuvia ja luokiteltua maanpintamallia. OrthoPro-ohjelmisto prosessoivat ortokuvat. Ortokuvat valmistettiin saumattomina ja sävykorjattuina värikuvina 10 senttimetrin pikselikoolla. Kuvien keskiosia käyttämällä tehtiin ortomosaiikki. Asiakas ei ollut alkuun tyytyväinen ortokuvien laatuun valotuksen osalta. Ongelma korjaantui, kun raakakuvat prosessointiin uudelleen. Orto-oikaistut maanpintaortokuvat sekä pistepilviaineisto luokiteltuna LAS-tiedostona toimitettiin asiakkaalle. (Biström 2012.)

### 3 KASVILLISUUDEN MALLINTAMINEN

#### 3.1 Kuopion kaupunki

Tässä luvussa perehdytään, miksi kasvillisuutta ja puustoa mallinnetaan, ja kuka aineistoa hyödyntää. Kuopion kaupunki omistaa pääosan asemakaavoitettujen alueiden tie- ja puistoalueita. Näin ollen yleisten alueiden kasvillisuus on osaltaan Kuopion kaupungin infraomaisuutta. Varsinkin katuverkostolla olevien puiden kunnossapito on tärkeää, jotta asemakaavoitettu alue pidetään viihtyisänä sekä turvallisena paikkana liikkua. Katuverkoston puiden kunnossapito on yksi näkökulma, miksi puustoa halutaan kartoittaa. (Ahola 2018a.)

Puita kartoitetaan juuri puiden kunnossapidon tarkkailua varten. Esimerkiksi puurivin kartoituksessa voi tulla eteen tilanne, missä puurivistä puuttuu välistä puu, joka kuuluisi oleellisesti puuriviin. Kun tilanne käydään katsomassa maastossa, huomataan, että puu on kaatunut.

Asemakaava- ja katusuunnitelmien havainnollistaminen sekä mallintaminen on yleistynyt viime vuosina valtavasti. Kuopion kaupunki hyödyntää kasvillisuuden mallintamista uuden asemakaava-alueen suunnittelussa. Varsinkin silloin, kun jo olemassa olevalle asemakaava-alueelle laaditaan asemakaavamuutosta, kasvillisuus on otettava huomioon. (Ahola 2018a.)

Kolmiulotteiset havainnekuvat ovat tärkeässä roolissa, jotta alueen asukkaat ja yritykset ymmärtävät, miten suunnittelu vaikuttaa heidän toimintaympäristöönsä (Ahola 2018a). Lentolaserkeilausaineisto vaikuttaa havainnekuvien visuaalisuuteen. Esimerkiksi ohjelma voi mallintaa puun keskelle tietä, vaikka todellisuudessa puu on vinossa ja puun latvusto kääntyy tien päälle. Lisäksi on tärkeää, että mallintamiseen käytetään puulajia, mikä havainnollistaa todellisuutta. Puulaji vaikuttaa myös alueen viihtyisyyteen, kuten esimerkiksi lehtipuuvit. Kuvio 5 havainnollistaa, minkälaisia 3D-mallia puuston mallinnuksesta voidaan tuottaa.





Kuvio 5. 3D-malli puustosta (Ahola 2018c)

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta on julkaissut JHS 185 -suosituksen asemakaavan pohjakartan laatimista varten, mitä Kuopion kaupunki noudattaa. Suositus sisältää pohjakartalla esitettävien kohteiden paikkatiedon laatuvaatimukset kohderyhmittäin. Taulukossa kasvillisuus on jaettu kolmeen mittausluokkaan, mittausluokka 1, 2 ja 3. Taulukon kohdeluokat ovat havupuu- ja lehtipuurivi, pensasaita, havu- ja lehtipuu sekä pensas. Mittausluokassa 1 kohteet tulee olla kartoitettu 1,5 metrin tarkkuudella, kun taas mittausluokassa 2 piste-keskivirhe on 2,0 metriä. Pensaiden piste-keskivirhe on 2,5 metriä. Mittausluokassa 3 kohteiden piste-keskivirhe on 4,0 metriä. (Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2014.)

### 3.2 Terrasolid Oy

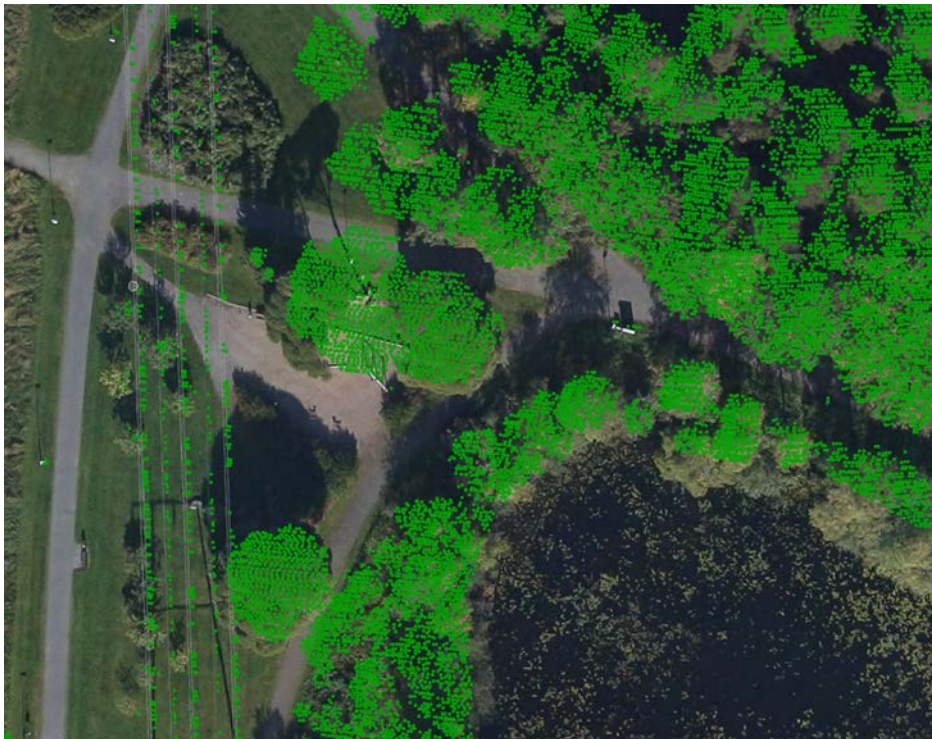
Terrasolid Oy on vuonna 1989 perustettu yhtiö, joka on toiminut pioneerinä alan tuotekehityksessä laserkeilaustekniikan alkuvaiheista lähtien. Terrasolidin kehitämiä ohjelmistoja ja tuottamia tuotteita arvostetaan ja niitä pidetään maailmanlaajuisesti alansa parhaimpiin kuuluvaksi. Suurin osa maailman maanmittausalan yrityksistä käyttävät Terrasolidin tuotteita tuotannossaan. Terrasolidilla on yli 80 prosentin markkinaosuus maailmalla. Terrasolidin henkilökunta koostuu kahdeksasta henkilöstä ja sillä on asiakkaita sadassa maassa. (Lehtonen 2010a.)

Terrasolidilla on tuotteita moneen eri käyttöön. TerraScan-ohjelmistolla käsitellään laseraineistoa, TerraModeler-ohjelmistoa käytetään maastomallinnukseen,

kuvien käsittelyyn ja ortokuvatuotantoon käytetään TerraPhoto-ohjelmistoa ja lentolinjoja sovitellaan TerraMatch-ohjelmistolla. Isoja laseraineistoja visualisoidaan TerraStereo-ohjelmistolla. Terrasolidilla on myös infrasuunnittelun tuotteita. Katujen sekä viemäreiden ja vesijohtojen suunnitteluun käytetään TerraStreet- ja TerraPipe-ohjelmistoja. Maakaasuputkia ja kaukolämpöputkia suunnitellaan TerraGas- ja TerraHeat-ohjelmistoilla. TerraBore-ohjelmistoa käytetään kairaustiedon rekisteröintiin ja visualisointiin. (Lehtonen 2010a.)

### 3.3 Puukohteiden vektorointi

Lentolaserkeilausaineistosta voidaan vektoroida kasvillisuutta etenkin yksittäisiä puita sekä puurivejä (Ahola 2017a). Aineiston editointiin käytettiin Microstation-ohjelmaa. Microstation toimii alustana, ja TerraScan on siihen koodattu ohjelmisto. Ennen puukohteiden vektorointia TerraScan-ohjelmistoon tuotiin dgn-formaattinen tutkimusalueen mukainen pistepilvi (kuvio 6). Dgn-tiedosto on Microstationin datatiedosto, jossa voidaan käsitellä laserpistepilviaineistoa. Laserkeilausaineisto on yleisesti LAS-tiedostomuodossa. (Ahola 2018b; Ahola 2017b.)



Kuvio 6. Pistepilvi

Kuopion kaupungin kantakartasta rajattiin pois kaikki muut kohteet paitsi puukohteet lähtöaineistoksi. TerraScanin detect trees -toiminnolla vektoroitiin kasvillisuus pistepilvestä. Kasvillisuus luokiteltiin taulukon 1 mukaisesti matalaksi, keskikorkeaksi ja korkeaksi kasvillisuudeksi. Puukohteista muodostui monesta eri pisteistä koostuvia Microstation-soluja (engl. cells), joiden ominaisuuksia pysytti tarkkailemaan (Ahola 2018b). Puukohteiden tarkkailussa olennaista on puun korkeus, joka saadaan laskemalla puun keskipisteen, centroid-pisteen, avulla. Kun maanpinnan korkeus vähennetään centroid-pisteen korkeudesta, saadaan korkeus keskipisteestä maanpintaan. Saatu korkeus on myös keskipisteestä puun latvaan. Kun molemmat korkeudet lisätään yhteen, saadaan koko puun korkeus. (Ahola 2017b.)

Taulukko 1. Kuopion kaupungin käyttämä laserpisteaineiston luokitus (Ahola 2017b)

Pisteluokka	Kuvaus
2 – Maanpinta	maanpinta
3 – Matala kasvillisuus	< 0.25 m maanpinnasta
4 – Keskik. kasvillisuus	0.25–2.00 m maanpinnasta
5 – Korkea kasvillisuus	> 2.00 m maanpinnasta
6 – Rakennus	rakennuksen kattopinta
7 – Virhepiste	piste maanpinnan alapuolelta
8 – Mallin avainpiste	tähän luokiteltiin puupisteet
10 – Silta	silta
11 – Vesi	järvi, lampi tai oja
12 – Reunapiste	piste lentolinjan reuna-alueelta
15 – Yksinäinen piste	piste, jonka lähetyksellä ei ole muita

Laserkeilausaineisto kirjoitettiin shape-formaattiin. Puunlaji on puun ominaisuustieto, jonka ohjelma kirjaa solun shape-pisteeseen. Shape-pisteet luokiteltiin taulukon 1 luokkaan 8. Tutkimusta varten puita on helpompi käsitellä pistemäisenä kohteena kuin pistepilvenä. Aineisto kirjoitettiin dwg-formaattiin tutkimuksia ja laskelmia varten. (Ahola 2017b.)

## 4 KASVILLISUUSKARTOITUS

### 4.1 Maastokatselmus

Kartoituksen tarkoituksena oli kartoittaa aineistoa kasvillisuudesta tutkimusta varten. Kartoitus kuului osaksi kartoitusta, jonka tilaajana Kuopion kaupunkiympäristön suunnittelupalvelut toimivat. Tutkimusalue oli Puijonlaakson Sammakkolammen ympäristö. Kartoituksen maastokatselmus suoritettiin yhdessä työnantajan ja tilaajan kanssa. Lammen ympäri kiertävän polun varrelta oli tarkoitus kartoittaa kaikki puukohteet ja rajata kuviorajoiksi pensaat ja ryteiköt. Koska kyseessä oli myös kantakartan päivittämisestä, myös rummut, valaisinpylväät, kaironkannet, penkit ja roskakorit kartoitettiin. Alueen tuli olla kartoitettuna kesäkuun 2017 loppuun mennessä.



Kuvio 7. TS15-robottikymetri, GS15-maastotallennin ja GNSS GS12 -antenni (MTS 2018; One Point Survey 2018)

Kuopin kaupunki tarjosi mittausvälineet tutkimusta varten. Kuopion kaupunki käytti Leica SmartWorx Vivan -laiteohjelmistoa (Leica Geosystems 2018). Kartoituksessa käytettiin TS15-robotitakymetria, GS15-maastotallenninta ja GNSS GS12 -antennia (kuvio 7). Lisäksi kartoituksessa käytettiin kolmijalkaa, prisma-sauvaa, 360 asteista prismaa, pikkuprismaa, mittanauhaa, apupistetarroja ja maalia

Maastokatselmuksen yhteydessä päätettiin työnjaosta ja mittaustavoista. Kartointus päätettiin aloittaa lammen pohjoispuolelta, koska tällöin takymetri saatiin orientoitua parhaiten. Alueella oli harvakseltaan puita ja hiekkakenttiä, mikä sopi oivallisesti GNSS-tarkkuuden löytämiseksi. Ensiksi takymetrin ensimmäisen asemapisteen paikka määriteltiin. Takymetri tasattiin tukevasti pystytetyn kolmijalan päälle orientointia varten.

#### 4.2 Mittaustavat

Takymetri orientoitiin apupisteiden avulla, jotka oli mitattu GNSS-laitteella. Kartoitusta varten GNSS-laitteen korkeustarkkuus oli riittävä, eikä korkoa tarvinnut tuoda korkopultilta, koska kartoituksessa ei otettu huomioon korkeutta. Puita ei myöskään tarvinnut kartoittaa maapinnasta, mikä oli sovittu tilaajan kanssa. GNSS-laitteen asetukset oli asetettu niin, että laite tallentaa pisteen, jos 3D-tarkkuus on alle 0,02 metriä. GNSS-laitteella mitattiin kolme apupistettä kolmesta suunnasta asemapisteen suhteen. Orientoinnissa oli otettava huomioon, että apupisteiden välinen kulma on vähintään 90 astetta. Apupisteet muodostavat asemapisteen ympärille kolmion, jolloin päästään parhaimpaan orientointitarkkuuteen. GNSS-antenni oli prisma-sauvan päässä, joten jokainen piste mitattiin ensin GNSS-laitteella ja sitten takymetrillä saman tien. Takymetri poimi kolmen apupisteen koordinaatit ja laski asemapisteen koordinaatit. Orientointitarkkuus saavutettiin ja kartoitus oli valmis alkamaan.

Puista mitattiin puunrungon sijainti laserin pintamittaus-menetelmällä. Menetelmää kutsutaan myös prismattomaksi mittaukseksi. Sijainnin lisäksi käytettiin lajikoodia jokaisen puun kohdalla, kuten havu- ja lehtipuu. Kartoituksessa käytettiin

kahta mittaustapaa ja tapaa vaihdettiin tilanteen mukaan. Ensimmäisessä mittaustavassa työpari arvioi puun keskikohdan puun sivulta ja piti siinä lappua. Lappu toimi tähyksenä, jonka avulla toinen työpari tiesi, mistä pitää mitata. Toinen työpari tähtäsi lapun reunaan, mittasi matkan lapun pinnasta, käänsi takymetrin ristikon puunrungon sivulta puun keskelle ja tallensi pisteen. Mittaustapa oli yksinkertainen, koska puun halkaisijaa ei tarvinnut määrittää erikseen, vaan puunrungon sijainti saatiin matkan ja kulman avulla.

Toisessa mittaustavassa puun halkaisija mitattiin mittanauhalla. Takymetrillä mitattiin piste puunrungosta ja offset-toiminnolla jatkettiin pisteen koordinaatteja puun säteen verran eteen puunrungon keskelle. Tässä mittaustavassa saattoi tulla herkemmin virheitä, koska eteenmitta nollaantui joka mittauksen jälkeen. Eteenmitta voitiin määrittää pysyväksi, mutta se piti aina muistaa nollata.

#### 4.3 Mittauksen kulku

Asemapisteeltä mitattiin niin paljon kasvillisuutta, kuin mahdollista. Näkyvyyteen vaikutti oksien peitteisyys, joten oksia jouduttiin siirtämään laserin tieltä. Osa puista jäi myös toisten puiden taakse, joten osa puista jouduttiin mittamaan seuraavalta asemapisteeltä. Mitatut puut merkattiin pienellä maalitäplällä, jotta puita ei mitattaisi enää toiseen kertaan. Pensaat, ryteiköt, rummut ja valaisinpylväät mitattiin prismsauvaa käyttäen, kun taas kaivonkannet ja penkit kartoitettiin pikkuprismalla. Ryteiköt, rummut ja penkit kartoitettiin viivakuviorajana.

Kun asemapisteeltä oli kartoitettu kaikki kohteet, tarroja liimattiin näkyville paikoille valaisinpylväisiin niin, että tarrat pystyttiin mittaamaan takymetrillä. Takymetri saatiin jatkossa orientoitua tarrojen avulla. Tarroja piti olla asemapisteen ympärillä aina vähintään kolme. Kahdella tarralla orientoitiin takymetri ja kolmanteen tarraan suljettiin mittaus. Tarrojen koordinaatit mitattiin valaisinpylvään pinnasta laserilla. Ensimmäinen asemapisteen mittaus suljettiin GNSS-laitteella mitatulla sulkupisteellä. Kun sulkupiste merkattiin maastoon takymetrin merkkaus-toiminnolla, sulkuvirhe todisti, että mittaus oli sulkeutunut. Tämän jälkeen GNSS-laitetta käytettiin aina vain päivän päätteeksi mittauksen tarkkuuden tarkistamista varten.

Toinen tapa orientoida takymetri oli käyttää tunnettua liitospistettä. Seuraavalle asemapisteelle pystytettiin kolmijalka ja sen päälle tasattiin prisma. Takymetri etsi liitospisteen prisman ja mittasi liitospisteen koordinaatit. Tämän jälkeen takymetrin ja prisman paikkaa vaihdettiin päikseen. Takymetrin tasattiin liitospisteelle, ja takymetri orientointiin käyttämällä edellisen asemapisteen koordinaatteja uuden asemapisteen laskemiseen. Koska GNSS-laitetta ei käytetty orientoinnissa, orientointitarkkuus pysyi samana ja myös kartoituksen tarkkuus pysyi samana aina uusien orientointien yhteydessä.

#### 4.4 Mittausaineiston editointi

Kun Sammakkolammen ympäristö oli kartoitettu tilaajan pyyntöjen mukaisesti, kartoitusaineisto oli valmis käytettäväksi tutkimusta varten. Aineisto tehtiin GT-muotoinen tiedosto, ja maastotallentimesta tehtiin tiedonsiirto tietokoneelle. Aineistoa editointiin 3D-Win -maastomittausohjelmalla. Tiedosto avattiin ohjelmaan lue vektoritiedosto -polkua pitkin. Ohjelma luki GT-muotoisia tiedostoja.

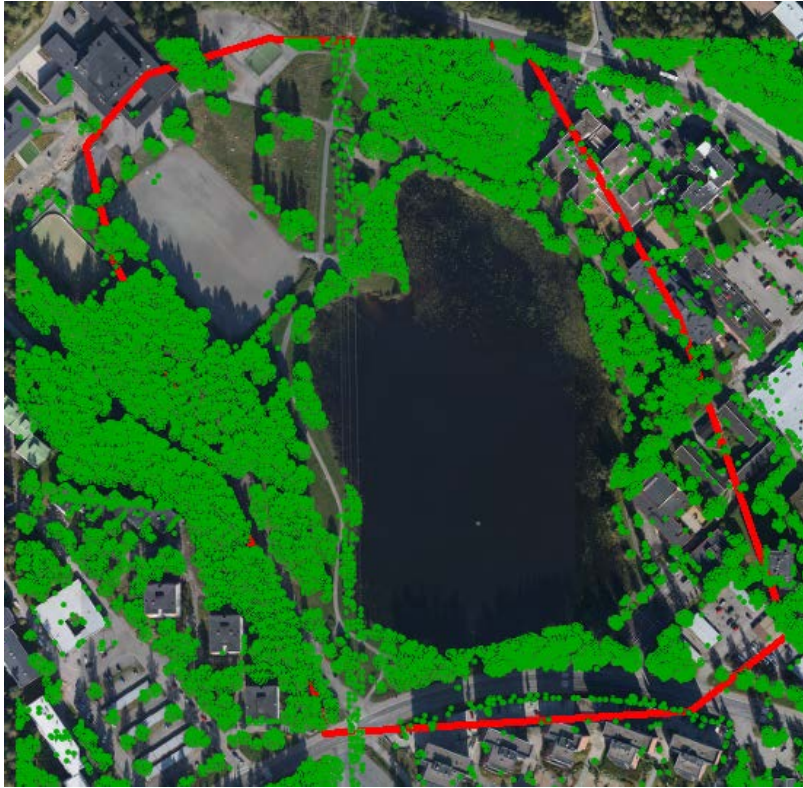
Aineistoa piti editoida tilaajan pyyntöjen mukaisesti sekä myös kaupungin ylläpitämään kantaan vientiä varten. Maastossa mitatut kuviorajat jäivät auki ensimmäisen ja viimeisen pisteen väliltä, joten kuvioraja suljettiin yhtenäisiksi kuviorajoiksi. Lisäksi asemapistet ja kaikki orientointiin käytetyt pisteet poistettiin. Aineiston editoinnin jälkeen syntyi valmis xy-tiedosto. Tiedostoa käytettiin niin kaupungin kantakartan päivittämiseen, kuin lentolaserkeilausaineiston vertailuun.

#### 4.5 Tutkimusalue

Ennen vertailututkimuksen aloittamista todettiin, että Sammakkolammen ympäristö osoittautui liian hankalaksi tutkimustuloksien saantiin. Sammakkolammen ympäristössä ei ollut lainkaan puurivejä ja alueella oli pääosin metsää. Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla puurivejä ja puistojen yksittäisiä puita, joten tutkimusalue päätettiin vaihtaa virastotalon ympäristöön. Virastotalon ympäristössä on Kuopion kansalaisopiston ja kasarmialueen puistot. Lisäksi Suokadun ja Puistokadun varrella on puurivejä. Virastotalon ympäristö osoittautui paremmaksi tutkimusalueeksi vertailututkimusta varten. Sammakkolammen ympäristö nimettiin

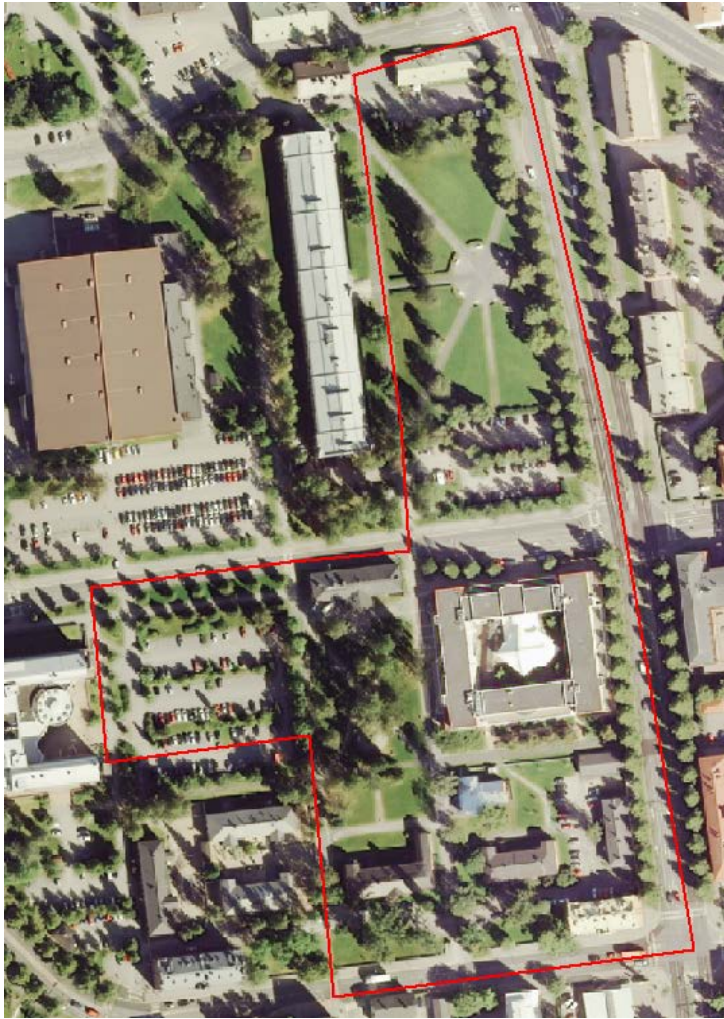


tutkimusalueeksi 1 (kuvio 8) ja virastotalo ympäristö nimettiin tutkimusalueeksi 2 (kuvio 9).



Kuvio 8. Ilmakuva tutkimusalueesta 1. Ilmakuva on Kuopion kaupungin aineistoa. Ilmakuvassa näkyvät Sammakkolammen ympäristö, tutkimusalueen rajaus ja kasvillisuus vihreänä pistepilvenä.





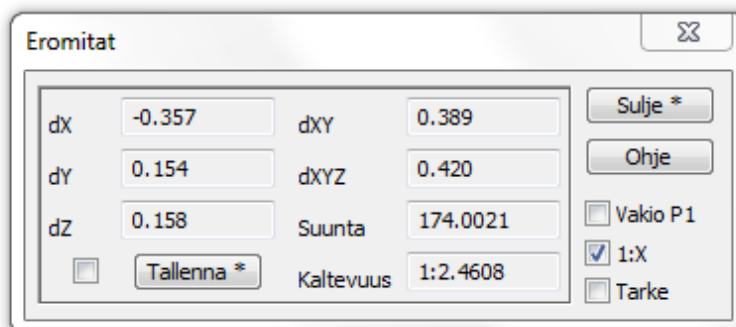
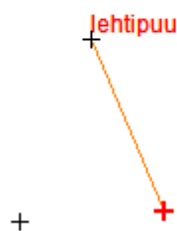
Kuvio 9. Ilmakuva tutkimusalueesta 2. Ilmakuva on Maanmittauslaitoksen aineistoa. Ilmakuvasa näkyvät virastotalon ympäristö ja tutkimusalueen rajaus

Tutkimusalueen 1 laserkeikausaineisto oli vuodelta 2009 ja tutkimusalueen 2 laserkeikausaineisto oli vuodelta 2012. Tutkimusalueen 2 puukohteet poimittiin kaupungin ylläpitämästä kantakartasta. Kartoitus oli vuodelta 2012 ja se suoritettiin JHS-185 -suosituksen mukaisesti.

## 5 VERTAILUTUTKIMUS

### 5.1 Tutkimuksen menettelytavat

Tässä luvussa perehdytään vertailututkimuksen menettelytapoihin ja tutkimustuloksiin. Vertailututkimuksen tekemiseen käytettiin 3D-Win -ohjelmaa ja Excel-laskentataulukkoa. Laseraineistosta saatiin puiden korkeudet ja koordinaatit sijaintitarkkuuden tutkimiseen vertailemalla niitä kartoitettujen puiden koordinaatteihin. Tutkimuksessa käytettiin puut.shp- sekä kantakartan\_puukohteet.dwg-tiedostoa. Tutkimusalue rajattiin viiteen alueeseen. Puistokatu ja Suokatu sekä puistokadun kevyen liikenteen väylä rajasivat puurivit omiksi alueiksi. Kasarmin puisto ja kansallisopiston puistot rajattiin myös omiksi alueiksi. Alueiden rajauksen tavoitteena oli saada eri tutkimustuloksia puistojen ja puurivien väliltä. 3D-Win -ohjelma laski laseraineiston pisteen ja kartoitetun pisteen koordinaattien välisen etäisyyden. Kuvio 10 esittää esimerkkiä eromittojen laskennasta. Lehtipuu on kartoitettu piste ja kaksi muuta pistettä on laseraineistosta. Lähimmän pisteen eromitta on 0,389 metriä, mikä löytyy kohdasta dXY. Tätä etäisyyttä käytettiin sijaintitarkkuuden tutkimiseen. Tutkimustulokset kirjattiin erilliseen Excel-taulukkoon ja puiden korkeus poimittiin erillisestä Excel-taulukosta, jossa on laseraineiston pisteiden koordinaatit ja lasketut korkeudet. Excel-taulukko tutkimustuloksista on opinnäytetyön liitteissä (Liite 2).

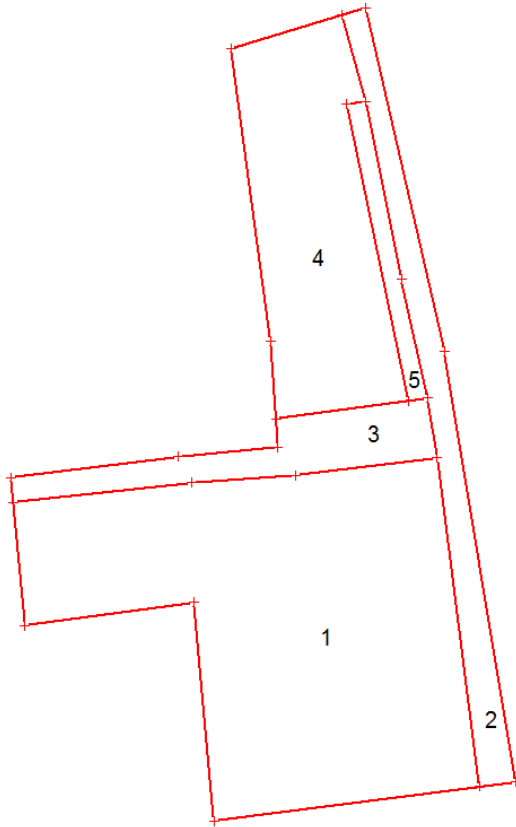


Kuvio 10. Kartoitetun pisteen eromitta lähimpään pisteeseen

Puiden korkeuden poiminnan helpottamiseksi laadittiin tutkimusalueesta puuston korkeutta kuvaava pituusmalli. Pituusmalli tehtiin yhdistämällä kasvillisuuden korkeutta kuvaava pintamalli maanpinnan korkeusmalliin eropinta-menetelmällä. Eropintamallista voitiin katsoa, missä on matalaa ja korkeaa kasvillisuutta. Eropintamallin tekemiseen käytettiin LAS-tiedostoa, joka sisälsi laserkeilauksen pistepilven. Pistepilvi jaettiin lajitunnuksen mukaan erillisiksi tiedostoiksi. Lajitunnus määräytyi taulukon 1 luokituksen mukaisesti. Esimerkiksi maanpinnan lajitunnus on LAS:2, joten maanpinnan pisteet voitiin poimia lajikoodilla pistepilvestä maanpinta-tiedostoon. Korkeusmalliin tekemiseen käytettiin myös keskikorkean ja korkean kasvillisuuden sekä tukipisteiden pistepilviä. Niiden lajitunnukset ovat LAS:4, LAS:5 ja LAS:8. Nämä kaikki kolme tiedostoa yhdistettiin kasvillisuus-tiedostoksi. Maanpinta- ja kasvillisuus-tiedosto kolmiointiin, jolloin ohjelma laski molemmista pinnoista maastomallin. Eropintamalli laskettiin yhdistämällä nämä kaksi maastomallia yhteen. Ohjelman asetuksissa asetettiin näyttämään korkeus väriskaalalla. Eropintamallia varten laadittiin myös tekstitiedosto, missä näkyvät väriskaalan asteikko sekä mallin ja tekijän tiedot. Valmis eropintamalli on opinnäytetyön liitteissä (Liite 1).

## 5.2 Tutkimustulokset

Vertailututkimuksessa vertailtiin kartoitettua pistettä ja sitä lähimpänä olevaa pistettä. Kokonaispuumääräksi määräytyi 129 puuta, mikä oli riittävä määrä tutkimustuloksia varten. Puuta, joiden laji tunnistettiin automaattisesti oikein, oli yhteensä 46 kappaletta. Näin ollen tutkimuksen lajitunnistus onnistui 35,7 prosentin tarkkuudella.



Kuvio 11. Tutkimusalueen rajaus

Seuraavaksi tutkittiin sijaintitarkkuutta. Kuvion 11 mukaan tutkimusalue rajattiin viiteen alueeseen. Kasarmipuisto on alue 1, Puistokatu on alue 2, Suokatu on alue 3, kansalaisopiston puisto on alue 4 ja kevyen liikenteen väylä on alue 5.

Taulukko 2. Alueen 1 tutkimustulokset. Taulukko sisältää puiden pituuksia ja pituuden keskiarvon. Lisäksi taulukossa on pisteiden välisiä eromittoja ja sijaintitarkkuuden keskiarvo

	Min (m)	Max (m)	Keskiarvo (m)
<b>Puiden korkeus</b>	5,7	30,9	19,3
<b>Sijaintitarkkuus</b>	0,1	4,8	1,8

Kasarmipuiston alueella on yhteensä 63 lehti- ja 2 havupuuta. Tällä alueella puiden korkeus vaihtelee 5,7 metrin ja 31 metrin välillä, joten korkeus vaihtelee todella paljon. Puun korkeuden keskiarvoksi määrytyi 19,3 metriä. Puiden sijaintitarkkuus vaihtelee 0,14 metrin ja 4,8 metrin välillä. Sijaintitarkkuus on 1,8 metriä, mikä ei riitä mittausluokan 1 vaatimuksiin. (Taulukko 2.)

Taulukko 3. Alueen 2 tutkimustulokset

	Min (m)	Max (m)	Keskiarvo (m)
<b>Puiden korkeus</b>	<b>11,1</b>	<b>16,8</b>	<b>14,6</b>
<b>Sijaintitarkkuus</b>	<b>0,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>

Puistokadulla on puurivejä ja yhteensä 32 lehtipuuta. Puiden korkeus vaihtelee 11,1 metrin ja 16,8 metrin välillä. Keskiarvo on 14,6 metriä, joten puut ovat melko saman pituisia. Sijaintitarkkuudessa päästään parhaimmillaan 0,12 metrin tarkkuuteen ja epätarkimmillaan 1,2 metrin tarkkuuteen. Sijaintitarkkuus on 0,5 metriä, mikä alittaa roimasti mittausluokan 1 vaatimukset. (Taulukko 3.)

Taulukko 4. Alueen 3 tutkimustulokset

	Min (m)	Max (m)	Keskiarvo (m)
<b>Puiden korkeus</b>	<b>5,0</b>	<b>12,8</b>	<b>9,6</b>
<b>Sijaintitarkkuus</b>	<b>0,1</b>	<b>2,7</b>	<b>1,0</b>

Suokadun puurivit muodostuvat 21 lehtipuusta. Puiden korkeus vaihtelee 5,0 metrin ja 12,8 metrin välillä, joten puiden korkeus vaihtelee jonkin verran. Puiden korkeus keskiarvo on 9,6 metriä. Sijaintitarkkuus vaihtelee 0,15 metrin ja 2,7 metrin välillä, joten sijaintitarkkuus on 1,0 metriä. Tämä riittää mittausluokan 1 vaatimukseen. (Taulukko 4.)

Taulukko 5. Alueen 4 tutkimustulokset

	Min (m)	Max (m)	Keskiarvo (m)
<b>Puiden korkeus</b>	<b>15,4</b>	<b>21,1</b>	<b>18,2</b>
<b>Sijaintitarkkuus</b>	<b>0,7</b>	<b>2,7</b>	<b>1,8</b>

Kansalaisopiston puistossa on vain 6 lehtipuuta. Puiden korkeus vaihtelee 15,4 metrin ja 21,1 metrin välillä. Puiden korkeuden keskiarvo on 18,2 metriä, joten puut ovat melko saman pituisia. Sijaintitarkkuus taas vaihtelee 0,65 metrin ja 2,7 metrin välillä. Alueen sijaintitarkkuus on 1,8 metriä, mikä ei riitä mittausluokan 1 vaatimukseen. Tämä johtuu siitä, että vertailukohteita oli niin vähän, että koko alueen sijaintitarkkuus jää epätarkaksi. (Taulukko 5.)

Taulukko 6. Alueen 5 tutkimustulokset

	Min (m)	Max (m)	Keskiarvo (m)
Puiden korkeus	7,5	15,2	11,8
Sijaintitarkkuus	0,1	2,2	1,0

Puistokadun vieressä kevyen liikenteen väylällä on 17 lehtipuun muodostama puurivi. Puiden korkeus vaihtelee 7,5 metrin ja 15,2 metrin välillä. Puiden korkeuden keskiarvo on 11,8 metriä, joten puiden pituus vaihtelee jonkin verran. Sijaintitarkkuus on 1,0 metriä, vaihdellen 0,15 metrin ja 2,2 metrin välillä. Alueella päästään mittausluokan 1 asettamiin vaatimuksiin. (Taulukko 6.)

Kasarmipuiston sijaintitarkkuus on 1,8 metriä ja sijaintitarkkuuden maksimi on 4,8 metriä, joten tutkittiin, kuinka monta muuta pitää ottaa laskelmista pois, jotta päästään mittausluokan 1 asettamaan 1,5 metrin tarkkuuteen. Kasarmipuistossa on neljä lehtipuuta, joiden etäisyys mitattuun pisteeseen vaihteli 3,7 metrin ja 4,7 metrin välillä. Kun nämä puut rajattiin laskelmista pois, alueen sijaintitarkkuus parani 1,5 metriin vaihdellen välillä 0,14–3,4 metriä, mikä riittää mittausluokan 1 vaatimuksiin. Alueen puiden korkeuden keskiarvo on edelleen 19,3 metriä vaihdellen välillä 5,7–31,0 metriä.

### 5.3 Aineistossa havaitut virheet

Vertailututkimuksen aikana havaittiin, että laserkeilausaineistossa on virhepisteitä. Kuvio 12 havainnollistaa tilannetta, missä virastotalon katolla on mallinnettuja puita. Myös yksittäisen mitatun puun lähellä on yhdestä kolmeen ylimääräisiä virhepisteitä. Virhepisteitä ei käytetty laskelmissa, koska ne olivat kauempana mitattua pistettä. Virhepisteiden puulaji otettiin huomioon lajitulkintaa varten.



Kuvio 12. Havainnekuva virastotalon ympäristöstä. Ilmakuva on Maanmittauslaitoksen aineistoa ja puiden symbolit Kuopion kaupungin aineistoa.

Kasarmipuiston eteläpäässä on jalava, jonka kolme runkoa on kiinnitetty toisiinsa metallijalustalla. Metallijalusta tukee jalavaa, jotta se ei kaatuisi. Ohjelma on tulkinut yhden puun kolme runkoa kolmeksi puuksi. Jalavan mallintaminen ei onnistu automaattisesti, vaan jalava pitää mallintaa manuaalisesti.

## 6 POHDINTA

Vertailututkimuksen tutkimustulokset olivat luotettavia, koska laskennassa oli mukana yhteensä 129 puuta. Vertailututkimuksen puulajitunnistus onnistui 35,6 prosentin tarkkuudella, mikä oli huono tulos. Tutkimusalue oli lehtipuuvaltainen ja lähimmän pisteen laji oli useammin kuusi kuin koivu. Tulosten perusteella lehtipuiden sijaintitarkkuus on epätarkempi kuin havupuiden. Puulajin tulkintaan voi vaikuttaa, mihin aikaan lentolaserkeilaus on suoritettu. Tutkimusalue laserkeilatettiin toukokuussa, jolloin lunta ei ollut enää maassa ja lehdet olivat jo puissa.

Puurivien sijaintitarkkuus oli erittäin hyvä, varsinkin Puistokadulla, missä sijaintitarkkuus oli 0,5 metriä. Puistokadulla puut olivat melko saman pituisia. Suokadulla ja kevyen liikenteen väylällä sijaintitarkkuus oli 1,0 metriä, mutta puiden pituus vaihteli jonkin verran. Sijaintitarkkuus oli tällöin sitä tarkempaa, mitä lähempänä puiden pituus olivat toisistaan. Puistojen yksittäisten puiden sijaintitarkkuus oli melko hyvää, mutta kansalaisopiston puiston sijaintitarkkuus ei aivan yltänyt JHS-suosituksen mittaussuokan 1 asettamiin vaatimuksiin. Tämä johtui siitä, että vertailussa oli mukana vain kuusi puuta, joten tulosta ei voinut pitää täysin luotettavana. Kasarmipuiston sijaintitarkkuus ylsi juuri mittaussuokkaan 1. Kasarmipuiston tutkimustuloksista havaittiin suurimmat erot puiden pituuden ja sijaintitarkkuuden välillä. Tulosten perusteella todettiin, että yksittäisten puiden sijaintitarkkuus oli heikompaa kuin puurivien. Sijaintitarkkuuteen vaikuttaa myös se, että kartoitus tehtiin vuonna 2012, jolloin puut kartoitettiin puun rungosta, eikä rungon keskipisteestä. Tutkimustulosten perusteella lentolaserkeilaus soveltuu hyvin kasvillisuuden kartoitukseen.

Tutkimuksen aikana havaittiin aineistossa olevan virhepisteitä. Oli mielenkiintoista havaita, miksi ohjelmisto on tulkinut koivun ja kuusen lähelle toisiaan, vaikka kyseessä oli lehtipuuri. Virhepisteet voivat johtua rungon haarautumisesta ja suurista latvustoista. Virastotalon katolla oli myös virhepisteitä. Tämä voi johtua katon materiaalista ja kaltevuudesta sekä rakennuksen korkeudesta. Aineistoa joutuu editoimaan ja siivoamaan virhepisteiden osalta, jotta aineistoa voisi käyttää hankkeiden esittelyjen materiaalina. Todennäköisesti ohjelmiston



kehittyessä juuri aineiston editointi helpottuu. Kun tehdään varsinaista puiden mallintamista, aineistoa kannattaa editoida ennen puiden vektorointia.

Opinnäytetyön tekeminen oli aluksi haastavaa, koska maastokartoitus ajoittui niin varhaiseen aikaan. Maastokatselmus oli tärkeässä osassa koko tutkimusta, koska silloin olen tutustunut alueeseen ja osaan hahmottaa, miten puut sijoittuvat alueella. Kun päätös tutkimusalueesta tehtiin, minulla ei ollut enää aikaa samankaltaiseen maastokatselmukseen. Lisäksi sain tietää, että puut oli kartoitettu puun rungosta, mikä poikkesi hiukan Sammakkolammen kartoituksen mittaustavasta. Mittaustapa oli lopulta vain otettava huomioon, eikä se vaikuttanut suuresti tutkimustuloksiin. Opinnäytetyötä ei tarvinnut tehdä kiireellä, mikä vaikutti lopputulokseen. Kun muut opinnot olivat suoritettu, pystyin opinnäytetyöhön keskittymään kunnolla ja lopulta pääsin itseäni ja toimeksiantajaa tyydyttävään lopputulokseen. Opinnäytetyön aihe oli minulle erittäin mielenkiintoinen, sillä olen kiinnostunut paikkatiedosta, ja työ tukee varmasti työuraani.

## LÄHTEET

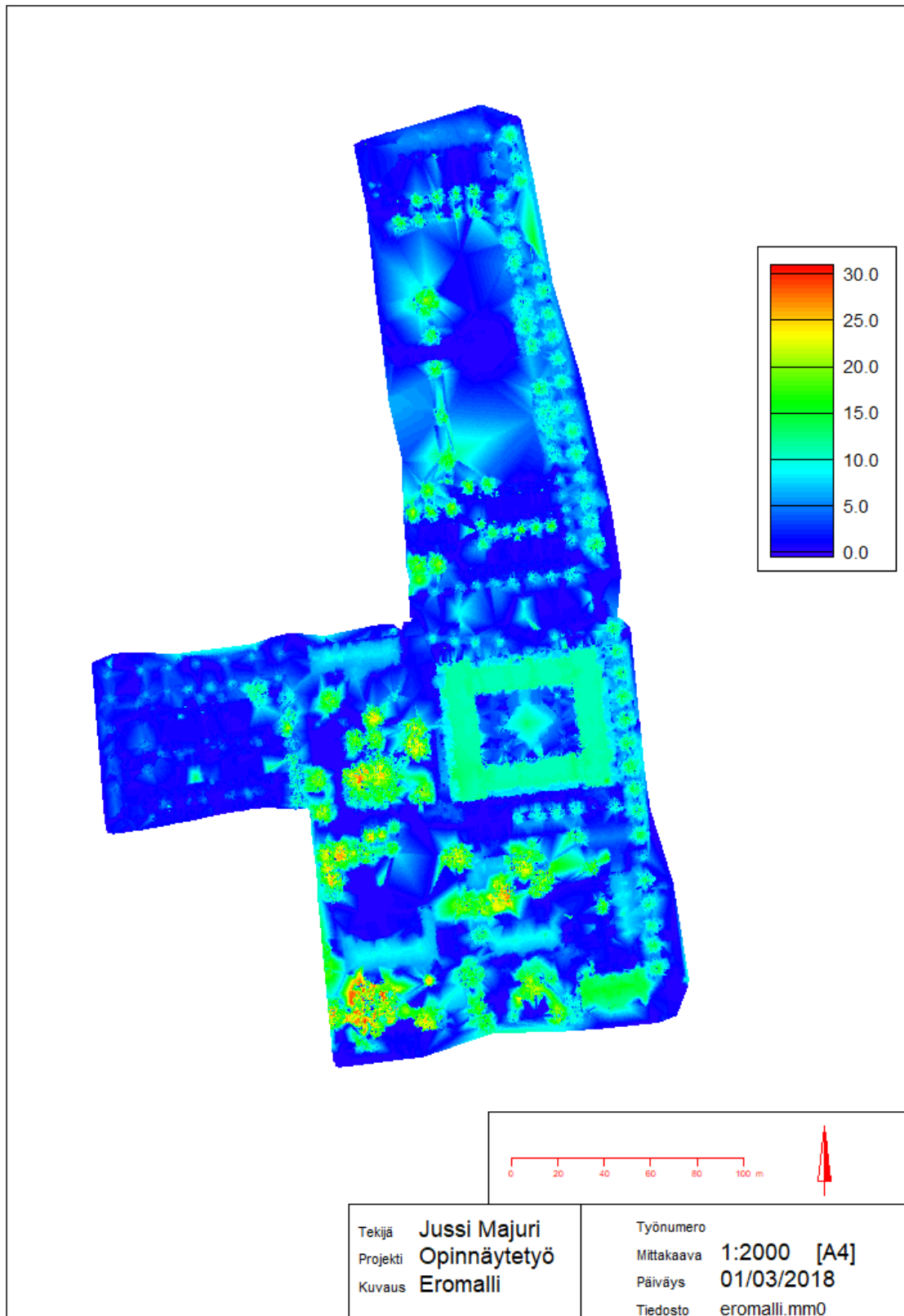
- Ahola, M. 2017a. Opinnäytetyöstä. Sähköposti jussi.majuri@gmail.com. 24.3.2017. Tulostettu 3.4.2018.
- 2017b. Kuopion kaupunki. Paikkatietoasiantuntijan keskustelu. 18.8.2017.
- Ahola, M. 2018a. Palaveri opinnäytetyöstä. Sähköposti jussi.majuri@edu.lapinamk.fi. 15.1.2018. Tulostettu 3.4.2018.
- 2018b. Osa opinnäytetyöstä. Sähköposti jussi.majuri@edu.lapinamk.fi. 12.2.2018. Tulostettu 3.4.2018.
- BlomSweden AB 2009. 1400\_Kuopio. Project raport.
- Biström J. 2012, loppuraportti. Kuopion, Siilinjärven, Suonenjoen ja Nilsiäen laserkeilaus 2012.
- Holopainen, M., Hyypä, J. & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 5, 11–28.
- Hyypä, J., Holopainen, M., Vastaranta, M. & Puttonen, E. 2009. Yksittäisten puiden mittaus ja muutosten seuranta laserkeilauksella. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009, 361–365.
- Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. JHS 185 asemakaavan pohjakartan laatiminen. Viitattu 12.3.2018 [http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185\\_liite4/JHS185\\_liite4.pdf](http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185_liite4/JHS185_liite4.pdf).
- Kuopion kaupunki 2009. Tarjouspyyntö. Kuopion ja Karttulan laserkeilaus 2009.
- 2012. Tarjouspyyntö. Kuopion, Siilinjärven ja Nilsiäen laserkeilaus 2012.
- Leica Geosystems. Leica SmartWorx Viva -kenttäohjelmisto. Viitattu 25.1.2018 <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/gnss-systems/software/leica-smartworx-viva>.
- Lehtonen, P. 2010a. Terrasolid toimii maanilmanlaajuisesti. Maankäyttö 4/2010, 11–13.
- 2010b. Suomalainen laserkeilaus on maailman huippua. Maankäyttö 2/2013, 7–9.
- MTS. Leica Viva GNSS GS12 GPS Rover. Viitattu 16.1.2018 <http://www.maine-technical.com/leica-viva-gnss-gs12-gps-rover-p73.html>.
- One Point Survey. Leica Viva TS15 total station. Viitattu 16.1.2018 <https://www.onepointsurvey.com/products/leica-viva-ts15-total-station>.
- Terrasolid 9.2.2018. Products-TerraScan. Viitattu 12.2.2018 <http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php>.

Vosselman, G. & Maas H-G. 2011. Airborne and Terrestrial Laser Scanning. Whittles Publishing, 219–221.

LIITTEET

Liite 1.  
Liite 2.

Eropintamalli  
Tutkimustulokset



Puistokatu				
Pistepilvi				
Y	X	Korkeus	Lasketun pisteen laji	Lähipisteen laji
27534128.040	6976643.070	16,391	Kuusi	Ei ollut
27534126.440	6976653.190	15,7914	Kuusi	Kuusi
27534126.030	6976661.630	14,2422	Kuusi	Koivu
27534124.720	6976671.000	14,8718	Kuusi	Koivu
27534123.310	6976681.380	15,2616	Kuusi	Koivu
27534122.480	6976691.310	11,084	Kuusi	Ei ollut
27534120.790	6976701.260	16,0012	Kuusi	Koivu
27534119.230	6976710.680	15,4416	Kuusi	Kuusi
27534118.510	6976721.140	15,8018	Koivu	Kuusi
27534116.380	6976730.910	16,7508	Kuusi	Kuusi
27534115.410	6976740.530	16,7008	Kuusi	Koivu
27534114.230	6976751.210	15,7014	Kuusi	Kuusi; Kuusi
27534113.240	6976760.240	15,9518	Koivu	Kuusi
27534112.330	6976770.790	15,0818	Koivu	Kuusi
27534111.220	6976780.660	14,5918	Koivu	Kuusi
27534109.270	6976790.000	14,7818	Koivu	Kuusi
27534101.870	6976826.520	15,9212	Kuusi	Koivu
27534099.340	6976836.460	12,4614	Koivu	Kuusi
27534097.490	6976846.060	13,2716	Koivu	Kuusi
27534095.750	6976855.560	12,1134	Kuusi	Koivu
27534093.600	6976865.760	14,5316	Koivu	Kuusi
27534091.660	6976875.390	14,422	Kuusi	Koivu
27534089.120	6976884.950	14,4122	Kuusi	Koivu
27534087.120	6976896.680	14,9418	Kuusi	Koivu

27534085.720	6976906.110	13,1828	Kuusi	Koivu
27534083.140	6976916.450	14,4416	Koivu	Kuusi
27534081.160	6976926.510	13,5816	Koivu	Kuusi
27534078.600	6976936.190	15,0318	Koivu	Kuusi
27534077.200	6976944.810	13,1528	Kuusi	Ei ollut
27534069.150	6976983.740	14,4316	Koivu	Kuusi
27534066.990	6976993.430	12,1714	Koivu	Kuusi
27534065.360	6977003.320	13,7024	Kuusi	Kuusi; Kuusi; Kuusi
<b>Kantakartta</b>				
<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>Etäisyys</b>	<b>Laji</b>	<b>Huomaus</b>
27534128.141	6976643.346	0,294	Lehtipuu	
27534126.886	6976653.350	0,474	Lehtipuu	
27534126.023	6976661.852	0,222	Lehtipuu	
27534124.566	6976671.357	0,389	Lehtipuu	
27534123.410	6976681.661	0,298	Lehtipuu	
27534122.453	6976691.164	0,149	Lehtipuu	
27534120.998	6976701.268	0,208	Lehtipuu	
27534119.742	6976711.272	0,782	Lehtipuu	
27534118.587	6976721.375	0,248	Lehtipuu	
27534117.130	6976731.080	0,769	Lehtipuu	
27534116.173	6976740.982	0,887	Lehtipuu	
27534114.818	6976750.987	0,629	Lehtipuu	
27534113.659	6976760.290	0,422	Lehtipuu	
27534112.606	6976770.893	0,294	Lehtipuu	
27534111.051	6976780.899	0,293	Lehtipuu	
27534109.302	6976790.395	0,396	Lehtipuu	
27534101.841	6976826.791	0,272	Lehtipuu	
27534099.553	6976836.994	0,575	Lehtipuu	
27534097.700	6976846.256	0,288	Lehtipuu	

27534095.685	6976855.807	0,256	Lehtipuu	
27534093.727	6976865.761	0,127	Lehtipuu	
27534091.373	6976875.969	0,646	Lehtipuu	
27534089.416	6976885.577	0,693	Lehtipuu	
27534087.066	6976896.885	0,212	Lehtipuu	
27534084.910	6976906.793	1,059	Lehtipuu	
27534083.154	6976916.699	0,249	Lehtipuu	
27534081.097	6976926.407	0,121	Lehtipuu	
27534079.140	6976936.114	0,545	Lehtipuu	
27534077.084	6976945.920	1,117	Lehtipuu	
27534069.251	6976983.449	0,308	Lehtipuu	
27534067.195	6976993.457	0,207	Lehtipuu	
27534064.238	6977002.968	1,176	Lehtipuu	

Suokatu				
Pistepilvi				
Y	X	Korkeus	Lasketun pisteen laji	Lähipisteen laji
27534083.860	6976786.490	11,1638	Kuusi	Ei ollut
27534059.830	6976784.180	12,1334	Kuusi	Koivu
27534049.610	6976783.950	12,843	Kuusi	Kuusi; Koivu
27534040.780	6976784.900	10,8012	Koivu	Kuusi
27534031.390	6976785.790	11,9634	Kuusi	Kuusi
27533965.460	6976779.390	7,8456	Kuusi	Ei ollut
27533953.520	6976777.750	8,1656	Kuusi	Koivu
27533941.910	6976776.150	7,9256	Kuusi	Ei ollut
27533930.930	6976775.520	5,0406	Koivu	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
27533917.210	6976773.230	9,075	Kuusi	Ei ollut
27533905.680	6976771.520	8,6352	Kuusi	Kuusi



27533890.870	6976769.470	7,9156	Kuusi	Koivu
27534031.990	6976805.740	9,5248	Kuusi	Kuusi
27534040.840	6976808.190	8,691	Koivu	Ei ollut
27534049.940	6976808.680	9,171	Koivu	Kuusi
27534058.880	6976808.330	9,161	Koivu	Ei ollut
27534065.500	6976810.550	9,4212	Koivu	Kuusi
27534075.580	6976812.310	11,4038	Kuusi	Kuusi; Kuusi
27534081.730	6976813.470	10,8012	Koivu	Kuusi
27534092.220	6976814.030	11,1814	Koivu	Kuusi
<b>Kantakartta</b>				
<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>Eromitta</b>	<b>Laji</b>	<b>Huomautus</b>
27534084.120	6976787.032	0,601	Lehtipuu	
27534059.937	6976784.284	0,149	Lehtipuu	
27534049.962	6976784.680	0,81	Lehtipuu	
27534040.900	6976785.001	0,157	Lehtipuu	
27534031.381	6976785.402	0,388	Lehtipuu	
27533966.392	6976779.236	0,945	Lehtipuu	
27533954.540	6976777.667	1,023	Lehtipuu	
27533943.895	6976776.291	1,99	Lehtipuu	
27533933.585	6976775.029	2,7	Lehtipuu	
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27533915.315	6976772.751	1,955	Lehtipuu	
27533906.021	6976771.631	0,359	Lehtipuu	
27533891.068	6976769.586	0,229	Lehtipuu	
27534032.378	6976805.970	0,451	Lehtipuu	
27534042.255	6976807.335	1,654	Lehtipuu	
27534050.325	6976808.412	0,47	Lehtipuu	
27534057.583	6976809.354	1,652	Lehtipuu	
27534065.805	6976810.444	0,323	Lehtipuu	

27534074.490	6976811.550	1,329	Lehtipuu	
27534082.545	6976812.646	1,159	Lehtipuu	
27534090.931	6976813.733	1,323	Lehtipuu	

Kevyeen liikenteen väylä				
Pistepilvi				
Y	X	Korkeus	Lasketun pisteen laji	Lähipisteen laji
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
27534091.120	6976828.520	12,683	Kuusi	Koivu
27534090.030	6976836.150	9,4348	Kuusi	Ei ollut
27534088.920	6976841.670	7,456	Kuusi	Koivu
27534087.540	6976847.440	9,091	Koivu	Ei ollut
27534086.170	6976854.220	10,2844	Kuusi	Ei ollut
27534082.240	6976867.050	11,1814	Koivu	Kuusi
27534082.490	6976875.340	12,9616	Koivu	Kuusi
27534079.040	6976883.640	12,5432	Kuusi	Koivu
27534077.780	6976893.390	15,1916	Kuusi	Koivu
27534074.330	6976912.470	13,8824	Kuusi	Koivu
27534072.020	6976921.930	14,6218	Koivu	Kuusi
27534069.010	6976929.260	12,0534	Kuusi	Koivu; Koivu
27534067.970	6976940.030	10,0544	Kuusi	Kuusi
27534066.570	6976947.080	13,9516	Koivu	Kuusi
27534064.480	6976957.640	13,6826	Kuusi	Koivu
27534061.160	6976968.070	10,1612	Koivu	Koivu
Kantakartta				
Y	X	Eromitta	Laji	Huomautus
27534092.956	6976821.856	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534091.595	6976829.065	0,723	Lehtipuu	
27534090.160	6976835.902	0,28	Lehtipuu	

27534088.936	6976841.816	0,147	Lehtipuu	
27534087.624	6976848.222	0,787	Lehtipuu	
27534086.326	6976854.595	0,406	Lehtipuu	
27534083.831	6976866.204	1,802	Lehtipuu	
27534081.873	6976875.712	0,72	Lehtipuu	
27534079.815	6976885.019	1,582	Lehtipuu	
27534078.256	6976894.225	0,961	Lehtipuu	
27534074.137	6976912.540	0,205	Lehtipuu	
27534072.277	6976921.647	0,383	Lehtipuu	
27534070.417	6976930.552	1,91	Lehtipuu	
27534068.561	6976940.359	0,676	Lehtipuu	
27534066.501	6976949.267	2,188	Lehtipuu	
27534064.540	6976958.374	0,737	Lehtipuu	
27534062.981	6976967.579	1,886	Lehtipuu	

Kasarmin puisto				
Pistepilvi				
Y	X	Korkeus	Lasketun pisteen laji	Lähipisteen laji
27533939.740	6976758.630	5,6506	Koivu	Koivu
27533944.870	6976766.010	9,3248	Kuusi	Koivu
27533955.180	6976764.720	14,6018	Koivu	Ei ollut
27533955.930	6976763.500	14,7918	Kuusi	Ei ollut
27533964.690	6976768.790	8,501	Koivu	Kuusi
27533968.610	6976759.200	11,4814	Koivu	Ei ollut
27533986.870	6976759.070	20,199	Kuusi	Koivu
27534015.330	6976760.540	11,8136	Kuusi	Ei ollut
27533972.130	6976752.960	14,692	Kuusi	Kuusi
27533981.980	6976748.340	7,0062	Kuusi	Ei ollut
27533992.950	6976749.540	7,5958	Kuusi	Ei ollut

27534006.110	6976751.730	25,8858	Kuusi	Koivu
27533969.500	6976747.160	22,5076	Kuusi	Ei ollut
27533997.370	6976741.700	21,3084	Kuusi	Ei ollut
27534008.060	6976738.780	17,6204	Kuusi	Kuusi
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
27534024.900	6976738.440	25,153	Koivu	Kuusi
27533972.000	6976737.990	8,7352	Kuusi	Ei ollut
27533970.590	6976735.760	11,1738	Kuusi	Ei ollut
27533972.410	6976729.210	15,0618	Koivu	Ei ollut
27533982.280	6976725.680	21,6726	Koivu	Kuusi
27533971.600	6976722.370	13,4026	Kuusi	Ei ollut
27533972.990	6976715.280	13,7224	Kuusi	Ei ollut
27533984.370	6976711.190	23,2628	Koivu	Kuusi
27534001.400	6976724.930	28,6942	Kuusi	Ei ollut
27533999.990	6976723.770	28,6334	Koivu	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
27534010.120	6976729.150	25,7458	Kuusi	Ei ollut
27534002.770	6976701.830	21,5582	Kuusi	Ei ollut
27534009.190	6976700.770	26,9952	Kuusi	Ei ollut
27533991.900	6976692.190	27,6032	Koivu	Kuusi
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
27534014.780	6976695.590	17,7102	Kuusi	Kuusi
27533986.660	6976680.260	26,9052	Kuusi	Ei ollut
27533985.900	6976675.180	12,593	Kuusi	Koivu; Kuusi
27534042.300	6976691.700	24,6664	Kuusi	Koivu
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut

Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
27534093.510	6976700.100	17,0206	Kuusi	Ei ollut
27534105.270	6976670.300	19,5892	Kuusi	Ei ollut
27534077.900	6976675.460	20,139	Kuusi	Ei ollut
27534060.970	6976677.220	28,0632	Koivu	Kuusi
27534046.810	6976670.000	21,1384	Kuusi	Koivu
27534052.950	6976657.370	14,8018	Koivu	Ei ollut
27534048.220	6976641.100	17,6004	Kuusi	Koivu
27534073.660	6976639.450	21,728	Kuusi	Ei ollut
27534082.760	6976638.280	15,5614	Kuusi	Ei ollut
27534096.280	6976625.990	13,6126	Kuusi	Ei ollut
27534085.610	6976625.280	21,1924	Koivu	Ei ollut
27534068.300	6976629.750	24,4328	Koivu	Kuusi
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
27534057.090	6976617.750	15,3916	Kuusi	Ei ollut
27534051.730	6976626.240	19,7424	Koivu	Kuusi
27534028.570	6976620.810	26,453	Koivu	Ei ollut
27534027.720	6976621.410	26,5254	Kuusi	Ei ollut
27533987.490	6976623.400	29,4538	Kuusi	Ei ollut
27534001.530	6976629.850	30,7632	Kuusi	Kuusi
27534018.690	6976625.700	20,3688	Kuusi	Ei ollut
27534006.170	6976619.510	30,913	Kuusi	Ei ollut
<b>Kantakartta</b>				
<b>Y</b>	<b>X</b>	<b>Eromitta</b>	<b>Laji</b>	<b>Huomautus</b>
27533938.789	6976760.362	1,976	Lehtipuu	
27533944.909	6976766.271	0,264	Lehtipuu	

27533955.688	6976767.746	3,068	Lehtipuu	
27533956.596	6976762.583	1,133	Lehtipuu	
27533964.929	6976768.925	0,274	Lehtipuu	
27533969.477	6976758.805	0,953	Lehtipuu	
27533986.793	6976759.403	0,342	Lehtipuu	
27534015.079	6976760.378	0,299	Lehtipuu	
27533970.907	6976751.554	1,863	Lehtipuu	
27533982.044	6976748.638	0,305	Lehtipuu	
27533992.694	6976749.459	0,269	Lehtipuu	
27534006.140	6976751.866	0,139	Lehtipuu	
27533969.946	6976746.665	0,666	Lehtipuu	
27533997.334	6976741.055	0,646	Lehtipuu	
27534006.998	6976742.364	3,738	Lehtipuu	Tämä puu kaatunut?
27534023.710	6976746.066	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kantanut
27534024.156	6976740.745	2,422	Lehtipuu	
27533971.577	6976740.430	2,476	Lehtipuu	
27533972.755	6976734.578	2,467	Lehtipuu	
27533973.350	6976728.702	1,068	Lehtipuu	
27533982.225	6976725.076	0,607	Lehtipuu	
27533973.940	6976722.875	2,394	Lehtipuu	
27533974.609	6976716.273	1,899	Lehtipuu	
27533984.065	6976711.370	0,354	Lehtipuu	
27533999.435	6976726.685	2,635	Lehtipuu	
27534001.707	6976720.861	3,378	Lehtipuu	
27534008.012	6976721.085	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534007.034	6976727.966	3,305	Lehtipuu	
27534004.346	6976700.622	1,986	Havupuu	
27534009.035	6976701.102	0,366	Havupuu	
27533991.682	6976692.839	0,685	Lehtipuu	

27533986.480	6976692.263	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27533986.957	6976687.061	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27533996.384	6976693.318	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534001.488	6976694.496	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534013.931	6976695.155	0,954	Lehtipuu	
27533987.835	6976681.958	2,065	Lehtipuu	
27533988.218	6976676.272	2,562	Lehtipuu	
27534041.869	6976691.718	0,432	Lehtipuu	
27534071.077	6976696.994	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534079.271	6976697.786	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534076.940	6976684.400	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534084.084	6976683.264	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534074.641	6976678.449	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534090.843	6976699.428	2,75	Lehtipuu	
27534104.276	6976669.987	1,042	Lehtipuu	
27534078.247	6976677.986	2,55	Lehtipuu	
27534059.596	6976675.843	1,946	Lehtipuu	
27534045.973	6976670.104	0,843	Lehtipuu	
27534052.941	6976655.916	1,454	Lehtipuu	
27534048.031	6976640.104	1,014	Lehtipuu	
27534073.523	6976637.088	2,366	Lehtipuu	
27534081.973	6976637.942	0,857	Lehtipuu	
27534092.469	6976625.606	3,831	Lehtipuu	
27534083.168	6976625.047	2,453	Lehtipuu	
27534066.771	6976630.931	1,932	Lehtipuu	
27534065.919	6976621.561	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu on kaatunut
27534054.258	6976621.576	4,76	Lehtipuu	
27534052.874	6976625.281	1,493	Lehtipuu	
27534030.063	6976621.982	1,898	Lehtipuu	

27534028.053	6976619.691	1,751	Lehtipuu	
27533989.422	6976625.564	2,9	Lehtipuu	
27534005.613	6976627.336	4,795	Lehtipuu	
27534017.935	6976624.548	1,377	Lehtipuu	
27534007.367	6976616.993	2,787	Lehtipuu	

Kansalaisopiston puisto				
Pistepilvi				
Y	X	Korkeus	Lasketun pisteen laji	Lähipisteen laji
27534028.020	6976932.330	21,0624	Koivu	Kuusi
27534037.460	6976881.150	16,2218	Koivu	Kuusi
27534037.870	6976853.480	15,3816	Kuusi	Ei ollut
27534024.140	6976818.430	18,9096	Kuusi	Ei ollut
27534025.480	6976810.570	19,6392	Kuusi	Ei ollut
Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut	Ei ollut
Kantakartta				
Y	X	Eromitta	Laji	Huomautus
27534028.729	6976931.637	0,992	Lehtipuu	
27534034.907	6976881.518	2,579	Lehtipuu	
27534037.671	6976850.810	2,677	Lehtipuu	
27534024.821	6976816.373	2,167	Lehtipuu	
27534025.897	6976811.069	0,651	Lehtipuu	
27534041.027	6976818.401	Ei ollut	Lehtipuu	Tämä puu kaatunut? >6,0 m