

UAV-KUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN LEMPÄÄLÄN
KUNNAN KANTAKARTAN PÄIVITTÄMISESSÄ

Agapov Niko

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikan opetusohjelma
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikka ja Liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Niko Agapov	Vuosi	2017
Ohjaaja(t)	Pasi Laurila		
Toimeksiantaja	Lempäälän kunta		
Työn nimi	UAV-kuvauksen hyödyntäminen Lempäälän kunnan kantakartan päivittämisessä		
Sivu- ja liitesivumäärä	35 + 10		

Halvempien UAV-laitteiden (Unmanned Aircraft Vehicle) jatkuvasti yleistyessä ja tietoisuuden niistä lisääntyessä on mielenkiintoa syntynyt eri kunnille UAV-laitteiden hyödyntämisestä omaan käyttöön. Yksi näistä tapauksista on Lempäälän kunnan paikkatiedot ja mittausosasto. Tässä työssä selvitetään, onko osastolle hyötyä hankkia oma harrastelijakäyttöön soveltuva UAV-laitteisto kantakartan ajantasaisuuden ylläpitämiseen.

Tutkimusta varten suoritettiin ilmalento Lempäälän Marjamäessä, Realparkin alueella. Ilmakuvaukset lennettiin käyttäen DJI Phantom 3 Professional -nelikopteria. Ilmakuvauksesta saadut valokuvat käsiteltiin Agisoft PhotoScan -ohjelmalla. Ilmakuvauksesta saatua aineistoa verrattiin GNSS-mittauksena saatuihin vertailuaineistoihin ja alueella olleeseen kantakarttaan. Lopulliset ilmakuvatulkinnat tehtiin MicroStation-ohjelmalla.

Tutkimuksen perusteella päästiin kantakartan tarkkuusvaatimukset täyttävään lopputulokseen ja toimintamallia vastaavan toimenpiteen toistamiseen. Halvemman harrastelijakäyttöisen kopterin käytössä todettiin ammattimaiseen käyttöön haasteita, jotka pitää ottaa huomioon ilmalentoja suunniteltaessa.

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

Author	Niko Agapov	Year	2017
Supervisor	Pasi Laurila		
Commissioned by	Municipality of Lempäälä		
Subject of thesis	Utilization of Unmanned Aircraft Vehicle in the Making of Numerical Map for the Municipality of Lempäälä		
Number of pages	35 + 10		

The purpose of this study was to create an operational model by using orthophotography and point cloud data to make a numerical map. The orthophoto and the point cloud were created by using a low-priced nonprofessional unmanned aircraft vehicle. This thesis was commissioned by the municipality of Lempäälä.

The photogrammetric data was produced by using a DJI Phantom 3 Professional quadcopter. The orthophoto and the point cloud were created with Agisoft PhotoScan. The numerical map of the area was created by Microstation. The quality was evaluated by comparing the results to the GPS control points and to the old numerical map.

The results indicated that the accuracy of a low-priced unmanned aircraft is good enough for making the numerical map. Professional usage of a low-cost aircrafts has their own significant limitations that will have to be evaluated.

Key words

photogrammetry, UA, UAV, numerical map

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KANTAKARTAN PÄIVITTÄMINEN.....	9
2.1	Lempäälän kunnan nykyinen kantakartta.....	9
2.2	JHS 185-suositus asemakaavan pohjakartan laatimiseen.....	9
2.2.1	Pohjakartta	9
2.2.2	Asemakaavan pohjakartta.....	10
2.2.3	Laadunvalvoja ja tarkistaminen	10
3	UAV-ILMAKUVAUS	11
3.1	Ilmailualuksien lyhenteet.....	11
3.2	Ortokuva	11
3.3	Liikenteen turvallisuusviraston määräys OPS M1-32.....	11
3.4	Käytetty lennokka.....	13
4	KÄYTETYT OHJELMISTOT	14
4.1	MicroStation V8i.....	14
4.2	Agisoft Photoscan	14
4.3	3D-Win.....	15
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET	16
5.1	Ilmakuvaus.....	16
5.1.1	Ilmakuvattava alue	16
5.1.2	Ilmakuvaussuunnitelma.....	16
5.1.3	Signaalipisteet.....	17
5.1.4	Turvallisuusarvio	17
5.1.5	Ilmakuvaus	18
5.2	Jälkilaskenta	20
5.2.1	Laskenta.....	20
5.2.2	Tarkkuuden vertailu.....	21
5.3	Kantakartan päivittäminen	26
5.3.1	Toimintamallin kehittäminen.....	26
5.3.2	Ilmakuvausten tulkitseminen	27
5.3.3	Ilmakuvausten hyödyt.....	28

5.4	Johtopäätökset	30
5.4.1	Datan laatu	30
5.4.2	Kustannustehokkuus	30
6	POHDINTA	32
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	35

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Signaalipisteet.....	17
Kuvio 2. Maastossa maalattu signaalipiste	18
Kuvio 3. Ilmakuvauksessa näkynyt propelli.....	19
Kuvio 4. Asemointivirheet	20
Kuvio 5. Ortomosaiikki ja käytetyt signaalipisteet.....	21
Kuvio 6. Tarkistuspoikkileikkaukset, vertailupisteet ja vertailulinjat	22
Kuvio 7. Tarkistuspoikkileikkaukset paalulukemilla ja signaalipisteet.....	24
Kuvio 8. Kantakartta, pistepilvi ja ortokuva päällekkäin.....	26
Kuvio 9. Vanhentunutta kantakarttaa	27
Kuvio 10. Takymetrillä mitattu seinälinja orthokuvan päällä.....	28
Kuvio 11. Vanhentunutta kantakarttaa	28
Kuvio 12. Ilmakuvasta määritetyt uudet tien reunat kantakartan päällä	29
Taulukko 1. Vertailupisteiden erot.....	22
Taulukko 2. Vertailulinjojen erot.....	23

ALKUSANAT

Haluan kiittää Lempäälän kunnan paikkatiedot ja mittausosastoa, antaessaan käyttööni tarvittavat tilat ja resurssit jotka mahdollistivat tämän opinnäytetyön tekemisen. Opinnäytetyön tekeminen ei olisi ollut mahdollista ilman heidän antamaa tilaisuutta.

Erityisesti haluan kiittää avovaimoani. Hänen jatkuva tukeminen opiskeluvuosieni läpi oli paras voimavara mitä olisin voinut pyytää.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia halvemman harrastelijaluokan UAV-kopterin hyödyntämistä Lempäälän kunnan kantakartan päivityksessä. Tampereen kaupungin eteläisenä rajanaapurina Lempäälän kunnan asukasmäärä on kasvanut nopeasti melkein 23 000 ihmiseen. Nopeasta rakennustahdistista johtuen ajan tasaisen kantakartan ylläpitämisen haasteet kasvavat koko ajan.

Paikallinen rakennusinsinööri teki Lempäälän kunnan paikkatiedot ja mittausosastolle 2016 esittelymielessä pienen ilmalennon harrastelijakäyttöisellä DJI Phantom 4 -kopterilla. Tästä syntyi heille into etsiä kustannustehokas tapa kopterilla tuotetun kuvausdatan hyödyntämiseen.

Varsinaiseen mittauskäyttöön, ammattikäytössä hyödynnettävään ilmakuvaukseen liittyy monia eri vaiheita. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Lempäälän kunnan paikkatiedot ja mittausosastolle ohje sekä toimintamalli mittatarkan ilmakuvauksen toteuttamisesta ja kantakartan päivittämisestä ilmakuvausta hyödyntäen.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ilmakuvaukseen liittyvää Liikenteen turvallisuusviraston antamaa uutta ilmailumääräystä, ilmakuvauksen suorittamista ja tästä saatavan datan jälkikäsitelyä aina kantakartan piirtämiseen asti. Työhön kuului myös ilmakuvauksen vertailu perinteisempiin mittauskeinoihin.

2 KANTAKARTAN PÄIVITTÄMINEN

2.1 Lempäälän kunnan nykyinen kantakartta

Lempäälän kunnan tarkin ja ajantasaisin tieto pitäisi löytyä heidän ylläpitämässään kantakartasta. Kantakarttaa käytetään kaavoituksen sekä kunnallisteknisen suunnittelun taustakarttana, jossa esitetään muun muassa kadut, ojat, rakennukset ja valaisinpylväät. Tyypillisiä esitysmittakaavoja kantakartalla ovat 1:1000 ja 1:2000. (Lempäälän kunta 2013.)

Nykyinen Lempäälän kunnan kantakartta muodostuu vuosien 2011 ja 2013 aikana tehtyjen ilmakuvauksien pohjalta. Kantakartan ajantasaisuus perustuu muuten Lempäälän kunnan mittausyksikön tekemiin maastomittauksiin ja näiden pohjalta tehtäviin kantakartan päivityksiin. Nopeasti kehittyvässä kunnassa ajantasaisen kantakartan ylläpitäminen on haastavaa, pelkästään rakennus ja muutostyöluja kuntaan tulee vuosittain noin 350. (Suominen 2017.)

Lempäälän kunnan kantakartta on korkeuksilla varustettu, vaikkakin esitysmuotona on 2D. Tulevaisuudessa tarkoituksena olisi siirtyä rakennusten osalta käyttämään enemmän 3D-mallinnusta hyödyksi. (Suominen 2017.)

2.2 JHS 185-suositus asemakaavan pohjakartan laatimiseen

2.2.1 Pohjakartta

Asemakaavan pohjakartan laatimiselle on vuonna 2014 julkaistu JHS 185 -suositus. Suositus ohjaa ja esittää vaatimuksia asioista, joita tarvitsisi esittää asemakaavan pohjakartalla. Lempäälän kunta käyttää soveltaen hyödykseen suositusta ohjaamaan heidän kantakarttansa ylläpitoa (Suominen 2017).

Pohjakarttaa laadittaessa on päästävä yksityiskohtaisuudeltaan riittävään tarkkuuteen. Mittausluokat jaetaan kolmeen eri luokkaan, jotka määrittävät mittaus- ja kuvaustarkkuuden. Mittausluokka 3 on mittakaavaltaan yleensä 1:2000, jossa esitetään maa- ja metsätalousaluetta kalliimpia alueita. Mittausluokka 2 on mittakaavaltaan joko 1:1000 tai 1:2000. Tällöin siinä esitetään taajama-alueet, joille ei asemakaavassa edellytetä sitovaa tonttijakoa. Mittausluokka 1 on mittakaavaltaan joko 1:500 tai 1:1000. Tämän luokan alle tulevat kalleimman maa-alueen taajama-alueet, sitovalla tonttijaolla. (JHS 185 2014, 4.)

2.2.2 Asemakaavan pohjakartta

Asemakaavaa tehdessä pohjakartta ei saa olla vanhentunut. Tiivistä rakentamista varten tarvitaan ajantasainen kartta, jotta kaava saadaan tehtyä. Tätä varten kiinteistörajat, rakennukset, tiet, linjat ja johdot sekä muut tärkeät yksityiskohdat pitää olla ajan tasalla. (JHS 185 2014, 7.)

Pohjakarttaa tehdessä mallinnettavasta asiasta valitaan tarpeeksi pisteitä, suhteessa tulevan kartan tarkkuuteen. Esitettävien kohteiden esitysmuoto ja esitystavat on määriteltävä. Pohjakartalla voi olla myös kohteita joita ei enää ole olemassa tai niiltä puuttuu joitain ominaisuuksia. Kaikkia asioita ei tarvitse esittää pohjakartalla, joka päätetään kyseisten asioiden koon ja merkityksen suhteella kartan mittausluokkaan. (JHS 185 2014, 9.)

2.2.3 Laadunvalvoja ja tarkistaminen

Kunnasta pitäisi löytyä viranhaltija, jonka vastuulla on valvoa pohjakartan tekemistä ja mittauksia. Mittauksia varten pitäisi olla laadittu työsuunnitelma, jossa käydään läpi työvaiheet, mittausalueeseen liittyvistä perusasioista aina arkistointiin asti. (JHS 185 2014, 11.)

Korkeuksia ja sijaintitarkkuuksia tarkastaessa 2,5 kertaa ylittäviä pistekeskivirheitä saa olla enintään viisi prosenttia. Aineiston pitää muutenkin olla loogisesti eheä, eikä kohteita väärästä paikasta, leikkaavia viivoja tai vääriä risteyksiä saisi löytyä. (JHS 185 2014, 7.)

3 UAV-ILMAKUVAUS

3.1 Ilmailualuksien lyhenteet

Ilmailualuksille on muodostunut kattavasta eri lyhenteitä sekoittamaan tilannetta. Työssä käytetty termi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) on jo vanhentunut, nykyinen vastaava on UA (Unmanned Aircraft). Termillä UA (Unmanned Aircraft) tarkoitetaan miehittämätöntä ilma-alusta, joka lentää ilman kyydissä olevaa ohjaaja. Tarkalleen ottaen tämä työn voisi tulkita myös RPAS-termin (Remotely Piloted Aircraft System) alle, jota käytetään ilmailualuksiin, joita ohjataan kauko-ohjauspaikasta lentotyön tekemistä varten. (Trafi 2011.)

Ilma-aluksista käytetään myös lyhenteitä drone tai lennokki. Drone on yleismaailmallinen ilmaisu ilma-aluksille ja lennokista puhuttaessa tarkoitetaan yleisesti lentämään soveltuvaa laitetta. (Trafi 2011.)

3.2 Ortokuva

Ilmakuvauksen yleisin jälkilaskettu tuote on ortokuva. Ortokuvauksella tarkoitetaan geometriallisesti mittatarkan ilmakuvan tuottamista. Karttapalveluiden ja verkkosovellusten käyttämät ilmakehämääräykset ovat juurikin ortokuva-aineistoa. (Blom Kartta Oy 2017.)

Ortokuvia käytetään moninasiin eri tarkoituksiin, yleisimmin kartografian ylläpitoon ja suunnittelun lähtötiedoksi. Ortokuvia voidaan käyttää myös erinäköisten muutosten seuranta varten. (Blom Kartta Oy 2017.)

3.3 Liikenteen turvallisuusviraston määräys OPS M1-32

Liikenteen turvallisuusvirastolta on tullut uusi ilmailumääräys OPS M1-32 voimaan 1.1.2017, koskien kauko-ohjattavia ilma-aluksia ja lennokkeja. Tämä uusi määräys kumoaa aiemmin voimassa olleen OPS M1-32 -ilmailumääräyksen. Määräystä sovelletaan Suomessa kauko-ohjattaviin ilma-aluksiin ja lennokkeihin jotka painavat yli 250 grammaa. (Trafi 2017, 1.)

Kauko-ohjattavaa ilma-alusta varten ei tarvitse lentotyölupaa, mutta ilma-aluksen käyttäjän on tehtävä ilmoitus Liikenteen turvallisuusvirastolle ennen ensimmäistä käyttökertaa. Ilmoitettavat tiedot ovat laitteen käyttäjätiedot, tekniset perustiedot, toiminnan laatu ja laajuus, sekä tieto siitä lennätetäänkö asutusalueella tai väkijoukon yllä. (Trafi 2017, 3.)

Lennoista on tallennettava itselle tiedot lennätyksen päivämäärästä, lennätyspaikasta, ilma-aluksen päälliköstä, käytetystä ilma-aluksesta, lennätysaika ja tehtävän luonne. Tallennettaviin tietoihin kuuluu myös listata oliko lento näköyhteyteen perustuva vai näköyhteyden ulkopuolella tapahtunut, sekä tiedot mahdollisesta kaukotähtäjästä. Tietoja säilytetään kolmen vuoden ajan. (Trafi 2017, 3.)

Lennätyksen on oltava aina näköyhteyteen perustuvaa, käyttäen tarvittaessa kauko-tähtäjä. Lennätyskorkeus ei saa ylittää 150 metriä ja ilma-aluksen on oltava aina ohjattavissa. Muita huomioitavia asioita ovat vallitseva säätila ja valoisuus. Viiden kilometrin säteestä lentokentästä, lentotiedotusalueesta tai radiovyöhykkeestä maksimi lentokorkeus laskee 50 metriin. Jyväskylän, Utin ja Helsinki-Vantaan lentokenttien vaikutusalueelle on sovittava aina erikseen ilmailukennepalvelun tarjoajan kesken. (Trafi 2017, 4.)

Lennätyksestä johtuva vaara ulkopuolisille ihmisille, omaisuudelle, sekä meluhaitta on pyrittävä pitämään mahdollisimman pienenä. Kauko-ohjattu ilma alus saa painaa korkeintaan 25 kilogrammaa. (Trafi 2017, 4.)

Tiheästi asutetuilla alueilla ja väkijoukon yläpuolella saa käyttää korkeintaan seitsemän kilogrammaa painavaa ilma-alusta. Tätä varten lennon pitää aina tapahtua suorassa näköyhteydessä, korkeudella josta sen pystyy laskemaan hätätilanteessakin alas mahdollisemman pienellä vaaralla. Lentoja varten toimeksianto-kohtainen turvallisuussuunnitelma ja kirjallinen toimintaohjeistus pitää olla tehtynä. (Trafi 2017, 5.)

Korkeintaan kolme kilogrammaa painavaa lennokkia saa käyttää tiheästi asuteuilla alueilla, muttei väkijoukon päällä. Lentäjän pitää olla tutustunut alueeseen, varmistaa laitteen tekninen kunto ja arvioida että lento voidaan suorittaa turvallisesti. Lennokkiin on saatava tiedot sen käyttäjästä, yhteystietoineen. Turvallisussyistä videolinkin kautta lennettäessä on käytettävä vähintäänkin yhtä avustajaa, jolla on näköyhteys lennokkiin ja suora puheyhteys lennättäjään. (Trafi 2017, 6.)

Poikkeustilanteissa Liikenteen turvallisuusvirastolta voi hakea lupaa poiketa OPS M1-32 määräyksestä. Hakemusta varten tarvitsee tehdä kirjallinen turvallisuusarviointi ja mahdollisesti kirjallinen toimintaohjeistus. (Trafi 2017, 7.)

3.4 Käytetty lennokki

Ilmakuvausta suoritettiin käyttäen harrastelijaluokan DJI Phantom 3 Professional -nelikopteria. Kopteri on varustettu 12.4 megapikselin kameralla, jolla saa kuvia korkeintaan 4000x3000 pikselin koossa. Kameran liikkuu kopterissa välillä -90°-0°. Kopterin käyttämä gimbal anturin ansiosta kuvaaminen pysyy vakaana -90 asteesta +30 asteeseen. Laitteen lentoonlähötpaino on vain 1.28kg. (DJI 2017.)

Kopteri käyttää sijaintinsa määrittämiseen WGS-84 koordinaatistossa GPS ja Glonass satelliitteja, joiden avulla lennon aikainen vaakatarkeuus on +-1.5m ja korkeussuuntainen +-0.5m. Lennossa laitteen huippunopeus on 16 m/s ja ilmoitettu käyttölämpötila kameralle ja kauko-ohjaimelle on 0°- 40°. (DJI 2017.)

Kopteria hallitaan ohjaimen kautta, johon on liitetty iOS tai Android -käyttöliittymää käyttävä tabletti tai puhelin. App Storesta ja Google Play kaupoista on kyseiseen lennokin hallintaan mahdollista ladata paljon erinäköisiä sovelluksia, joista DJI Go-ohjelman tarvitsee kopterin ohjausta varten. Kopterin kanssa käytössämme oli iOS järjestelmää käyttävä Applen Ipad Mini 2, johon oli saatavilla lentosuunnitelman tekemistä varten Apps Storesta useitakin eri sovelluksia. Osa sovelluksista on ilmaisia, osa maksullisia. Työ suoritettiin käyttäen 9,99 dollaria maksavaa Map Pilot For DJI -sovellusta, siitä ilmakuvausta varten soveltuvien lentoasetusten löytymisen takia (App Store 2017). (DJI 2017.)

4 KÄYTETYT OHJELMISTOT

4.1 MicroStation V8i

MicroStation V8i on jo 1980-luvulta asti kehitetty ohjelmisto CAD-piirtoa varten. Lisäosilla laajennettavalla ohjelmistolla pystytään piirtämään vektoriaineistoa 2D ja 3D:nä. Suomessa ohjelmiston myynnistä ja kehittämisestä vastaa Bentley Systems Finland Oy. Ohjelman viimeisin versio on 2009 julkaistu V8i. Ohjelman isoimmat käyttäjät ohjelmalle Suomessa ovat eri kuntien tekniset toimet. (Bentley Systems 2017.)

Lempäälän kunta ylläpitää kantakarttaansa Bentley Stella Map v8i -sovellusohjelmalla. Ohjelma on Microstation ohjelmiston päälle rakennettu kartografian ylläpitoon tarkoitettu sovellus. Ohjelma perustuu Suomessa jo 1990-luvun alussa käyttöön otettuun Stella-sovellukseen, joka on myöhemmin liitetty Bentley Map -sovellukseen. (Bentley 2008.)

4.2 Agisoft Photoscan

Agisoft Photoscan on venäläisen 2006 perustetun Agisoft LLC:n kehittämä ohjelma valokuvien ja ilmakuvien prosessointia varten. Ohjelmalla pystytään prosessoimaan kuvat, viemään kuvattu alue koordinaatistoon signaalipisteiden avulla ja tekemään valokuvatusta aineistosta muun muassa pistepilviaineistoa ja ortomosaiikkeja. Ohjelmasta löytyy myös toiminnot massalaskennan ja 3D-mallien tekemistä varten. (Agisoft 2017.)

Ohjelmasta on saatavilla 2 eri versiota, Professional ja Standard. Ainoastaan Professional versiosta löytyvät tarvittavat ominaisuudet ortokuvan tekemistä varten. Ohjelman Professional version hinta oli tätä työtä tehdessään heidän omilla nettisivuillaan 3499 dollaria. (Agisoft 2017.)

4.3 3D-Win

3D-Win on kotimainen laajasti käytetty maastomittausten käsittelyyn tarkoitettu ohjelma. Ohjelmalla saa tehtyä valmiita tuotoksia aina mittaustietojen alkukäsittelystä tulostukseen asti. (3D-system 2017.)

Ohjelmalla on mahdollisuus tehdä erinäköisiä laskelmia ja aineistojen vertailuja. Ohjelmaan on rakennuttu tuki suurelle määrälle eri formaatteja, joten vertailua varten ohjelmaan saa luettua samaan aikaan päällekkäin vaikkapa maastomittatiedoston ja rasterikuvan sekä pistepilven. (3D-system 2017.)

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS JA TULOKSET

5.1 Ilmakuvaus

5.1.1 Ilmakuvattava alue

Ilmakuvattaksi alueeksi valittiin Realparkin-alue. Alue sijaitsee Lempäälän Marjamäessä, Ideapark-kauppakeskuksen pohjoispuolella. Alue on rakenteilla oleva vähittäiskaupan alue, johon uusia rakennuksia ja infrastruktuuria tehdään koko ajan lisää. Ennakoon tiedossa oli että ainakin osittain tällä alueella kantakartta ei ole enää ajan tasalla.

Ilmakuvattava alue mietittiin alueella olevien asemakaavojen mukaan. Ilmakuvausten rajaksi tarkennettiin korttelit 904 ja 905 sekä näitä ympäröivät tiet. Näin toimien saimme koko ajan lisärakennettavalle asemakaava-alueelle selkeän rajauksen. Alueen pinta-alaksi muodostui noin 31 hehtaaria.

5.1.2 Ilmakuvaussuunnitelma

Ilmakuvausta ja maastotyön organisointia varten laadittiin ilmakuvaussuunnitelma (Liite 1). Ilmakuvaussuunnitelmaan on listattu oleelliset asiat varsinaista maastotyön suorittamista varten. Ilmakuvaussuunnitelman laatimisen lähtökohtana oli tehdä prosessi, joka on mahdollisimman kevyt maastotyösuorituksen osalta ja helposti toistettavissa sekä hyödynnettävissä muissa mahdollisissa tulevaisuuden hankkeissa.

Ilmakuvaussuunnitelman pohjalta pystyy portaittain edistymään työn suunnittelussa ja organisoinnissa. Asioiden valmiiksi miettiminen tekee maastotyösuorituksen tekemisen huomattavista sujuvammaksi. Maastotyösuoritusta varten varsinkin signaalipisteiden paikkojen ennakkosuunnitelmaa kannattaa olla mietittynä valmiiksi.

5.1.3 Signaalipisteet

Ilmakuvaussuunnitelma oli myös pohjana signaalipisteiden suunnittelua ja toteutusta varten. Käytettävät signaalipisteet rakennettiin Lempäälän kunnan teknisellä varikolla. Tarkoituksenamme oli tehdä malli, jonka uudelleen käyttö on mahdollista. Toisena tavoitteena oli saada signaalipisteiden malleista sopivan pieniä, jotta niiden käyttö olisi helppoa ja pienivaivaista. Tulevaisuuden tavoitteena on käyttää näitä useampien pienempien lentosuoritteiden tekemiseen.

Malliksi muodostui 20x20 senttimetriset vanerilevyt ja metallisapluuna, jonka läpi maalaaminen maastossa on mahdollista (Kuvio 1). Mustaa vanerilevyä käytettiin pohjana maksimikontrastin saamiseksi ilmakuvausta varten.



Kuvio 1. Signaalipisteet

5.1.4 Turvallisuusarvio

Yhtenä tärkeimpänä osana lentämistä on jo ennakkoon tunnistaa mahdolliset vaaratekijät. Osana työsuorituksen valmistelua oli tehdä Lempäälän kunnan paikatiedot ja mittausosastolle turvallisuusarviointilomake, johon on listattu yleisimpiä lennon aikana tapahtuvia vaaratilanteita (Liite 2). Heidän pitäisi käydä lomake läpi aina ennen jokaista lentosuoritusta ja lisätä siihen tarvittaessa uusia turvallisuuteen vaikuttavia kohtia.

Turvallisuusarviointiin perustuen jouduimme perumaankin alueelle alun perin suunnitellun lentopäivän. Alueella sinä päivänä sattunut yleisötapahtuma olisi nostanut riskit liian suureksi turvallista lentosuoritusta varten ja olisi ollut ilmailumääräystä OPS M1-32 vastaan.

5.1.5 Ilmakuvaus

Lentokuvauksen päivänä 10.4.2017 kävimme läpi lentosuunnitelman ja turvallisuussuunnitelman Lempäälän kunnan teknisen toimen varikolla ilmakuvauksessa avustavien kartoittajien kanssa. Keskustelimme myös kuvauksen etenemisestä ja heille heränneistä kysymyksistä. Kopterin silmämääräinen kunto tarkastettiin varikolla ennen kohteeseen lähtöä.

Ilmakuvatettavaan kohteeseen päästyämme aloitimme tutustumalla yhdessä alueeseen ja siellä vallinneisiin esteisiin sekä riskitekijöihin. Seuraavana vaiheena maalasimme asfalttialueille sapluunaa käyttäen signaalipisteet ja sora-alueille veimme maalattuja vanerilevyjä. Kaikille signaalipisteille mitattiin koordinaatit statiivilla käyttäen Trimble R8 GNSS -laitteella. Alueella oli jäljellä kaksi vanhaa käyttöpistettä, jotka myöskin signalointiin ja otettiin käyttöön ilmakuvausta varten (Kuvio 2).



Kuvio 2. Maastossa maalattu signaalipiste

Ilmakuvaus oli alun perin tarkoitus suorittaa 70 metrin lentokorkeudella, mutta lentopäivänä yltyneen kovan tuulen takia lentokorkeus laskettiin varmuuden vuoksi ilmakuvaussuunnitelmasta poiketen 60 metriin. Tältä korkeudelta maastopikselin kooksi tuli 2.6 senttimetriä. Pituuspeittona käytettiin 80 prosenttia ja sivuttaispeittona 60 prosenttia. Näillä asetuksilla Map Pilot For DJI -ohjelma määritteli lentoajaksi noin 30 minuuttia.

Yltyneen tuulen takia suoritimme ensin pienen koelennon alueella, jolla varmistettiin kopterin hallinta alueella vallinneessa noin 8 m/s tuulessa. Kopterin todettua hallittavaksi, ilmalento suoritettiin Map Pilot For DJI -ohjelmalla. Tuulen vaikutus näkyi ilmalennon aikana vauhdin hidastumisena ja asennosta jossa kopteri oli lentosuorituksen aikana. Ortokuvauksessa kuva otetaan suoraan alaspäin, joten lennon aikaista tuulen vaikutusta kopterin asentoon voi päätellä osista ilmakuvauksesta saaduista valokuvista, joissa kopterin propelli on päässyt myös mukaan (Kuvio 3).



Kuvio 3. Ilmakuvauksessa näkynyt propelli

Liikenteen turvallisuusviraston OPS M1-32 -määräyksen mukaisesti teimme lentopäiväkirjan ylläpitämistä varten Excel-taulukon (Liite 3). Taulukkoon listattiin kaikki määräyksessä vaaditut lentosuorituksesta tallennettavat asiat. Taulukko tallennettiin sekä sähköisessä että paperisessa muodossa, jotta tiedot pysyisivät lentosuorituksesta tallessa vähintäänkin vaaditun kolmen vuoden säilytysajan verran.

5.2 Jälkilaskenta

5.2.1 Laskenta

Ilmakuvauksen jälkilaskenta tehtiin Agisoftin Photoscan Professional -ohjelmalla. Ilmakuvatulta alueelta käsittelyyn tuli yhteensä 492 kuvaa. Laskentaa ja koordinaatiston vientiä varten käytössä oli yhteensä 19 signaalipisteitä, joista 1 ei näkynyt ilmakuvasta. Kuvien asemointivirheet signaalipisteitä käyttäen jäivät vähäisiksi, suurin virhe oli 3,2 senttimetriä (Kuvio 4).

Markers	X (m)	Y (m)	Z (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489342.568000	6806452.578000	112.514000	0.005000	0.010823	9	0.248	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489322.050000	6806532.832000	111.788000	0.005000	0.005567	9	0.147	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489313.389000	6806682.636000	110.824000	0.005000	0.002190	14	0.195	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489191.105000	6806672.268000	110.542000	0.005000	0.008887	13	0.250	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489124.876000	6806552.263000	111.590000	0.005000	0.012675	9	0.292	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489073.897000	6806379.582000	112.842000	0.005000	0.006484	10	0.215	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489193.226000	6806386.451000	112.711000	0.005000	0.004489	10	0.261	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489061.680000	6806700.340000	110.476000	0.005000	0.032292	14	0.323	
<input checked="" type="checkbox"/>	24488861.863000	6806799.659000	111.663000	0.005000	0.006148	4	0.155	
<input checked="" type="checkbox"/>	24488866.367000	6806721.742000	112.214000	0.005000	0.006157	12	0.174	
<input type="checkbox"/>	24488924.019000	6806550.769000	112.414000	0.005000				
<input checked="" type="checkbox"/>	24489433.627000	6806504.533000	112.741000	0.005000	0.008716	9	0.238	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489418.176000	6806599.180000	112.641000	0.005000	0.000688	9	0.183	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489315.094000	6806810.489000	109.642000	0.005000	0.002485	12	0.259	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489523.981000	6806823.847000	112.325000	0.005000	0.002429	8	0.214	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489577.186000	6806592.659000	113.500000	0.005000	0.002932	2	0.175	
<input checked="" type="checkbox"/>	24489569.825000	6806667.043000	112.333000	0.005000	0.007047	2	0.039	
<input checked="" type="checkbox"/>	201512	24489091.342000	6806792.407000	108.927000	0.005000	0.018043	9	0.364
<input checked="" type="checkbox"/>	201513	24489018.821000	6806588.874000	111.882000	0.005000	0.018222	9	0.225
Total Error								
Control points					0.011493		0.242	
Check points								

Kuvio 4. Asemointivirheet

Laskentavaiheessa alueen laajuudesta tuli ongelmia ortokuvan laskennassa. Parhailta asetuksilla alueesta tuotetusta pistepilvestä tuli liian raskas, eikä ortokuvan laskenta enää onnistunut. Ohjelman keskiarvoja käyttäen ja aluetta rajoittaen 25 hehtaariin laskentaprosessi saatiin onnistumaan (Kuvio 5). Laskentatyötä varten käytössä olleen tietokoneen rajoitteeksi todettiin 16Gt keskusmuistin määrä, joka ei mahdollistanut suurempien laskentojen tekemistä.



Kuvio 5. Ortomosaiikki ja käytetyt signaalipisteet

5.2.2 Tarkkuuden vertailu

JHS 185 -ohjeen mukaisesti maastokohteiden ja kuvioiden mittaus on suoritettava tarkkuusvaatimukset täyttävällä menetelmällä. Halvemmillle harrastelijaluokan koptereille ei valmistajat tai jälleenmyyjät ilmoita suoraan maanmittauskäyttöön soveltuvia tarkkuusarvoja, joten nämä jää itselle todettaviksi. Hyvänä vertaiskohtana kopterimittauksen tarkkuuteen voidaan käyttää Geotrim Oy:n markkinoimaa GeoDrone X4L kopteria, jolle luvataan 3,5 senttimetrin tarkkuus 150 metrin korkeudelta mitattuna. Tämä arvo ei tietenkään ole täysin vertailukelpoinen, koska käyttämämme lentokorkeus lentämällämme alueelle oli huomattavasti alempana. (Geotrim Oy 2017.)

Tarkkuuksien vertailua varten mittasimme alueelle GPS:llä kuusi kappaletta vertailupisteitä ja neljä kappaletta tarkistuspoikkileikkauksia. Vertailupisteitä käytettiin XYZ-tarkkuuden vertailuun, tarkistuspoikkileikkauksia pelkästään korkeuden vertailuun. Näiden lisäksi alueella oli laajalti mitattu ennestään asfaltinreunoja, joihin verrattiin nyt ilmakuvauksesta tulkittujen asfaltinreunojen xy-sijainteja. Alla oleva kuvio 6 havainnollistaa vertailukohteiden sijainnit eri puolella aluetta.



Kuvio 6. Tarkistuspoikkileikkaukset, vertailupisteet ja vertailulinjat

Taulukkoon 1 on listattu vertailupisteiden XYZ-tason virheet vertaamalla 3D-Win-ohjelmassa mitattua sijaintia ortokuvasta määritettyyn vastaavaan sijaintiin. Korkeustarkkuus määritettiin vertailupisteiden ympäriltä kolmioidusta mallista.

Taulukko 1. Vertailupisteiden erot

Vertailupiste	Δx	Δy	Δz
1	-4mm	-18mm	+40mm
2	+16mm	-9mm	+31mm
3	+19mm	-12mm	-2mm
4	+15mm	+11mm	+15mm
5	-9mm	-10mm	-12mm
6	+12mm	+26mm	+24mm
7	+3mm	+18mm	-10mm

Vertailulinjoissa vertailtiin XY-tasolla eri puolelta aluetta GNSS:llä mitattujen asfaltinreunojen sijaintia suhteessa ortokuvaan 3D-Win -ohjelmassa. Alla olevassa taulukossa 2 on listattu sivuittaisero ortokuvasta mallinnettuun asfaltinreunaan, erot millimetreissä.

Taulukko 2. Vertailulinjojen erot

Paalu	Vertailulinja 1	Vertailulinja 2
pl. 0	18 mm	0 mm
pl. 10	53 mm	20 mm
pl. 20	45 mm	8 mm
pl. 30	30 mm	25 mm
pl. 40	12 mm	15 mm
pl. 50	23 mm	0 mm
pl. 60	29 mm	0 mm
pl. 70	34 mm	6 mm
pl. 80	50 mm	11 mm
pl. 90	36 mm	
pl. 100	24 mm	
pl. 110	7 mm	
pl. 120	0 mm	
pl. 130	14 mm	
pl. 140	15 mm	
pl. 150	55 mm	
Keskiarvo	27,8 mm	9,4 mm

Muualta alueelta ortokuvaan tehtiin visuaalinen tarkistus suhteessa alueella ole-massa olevaan kantakarttaan. Sijainnin suhteen havaittavissa olevia poikkeamia alueelta ei löytynyt.

Tarkistuspoikkileikkausten vertailu suoritettiin myös 3D-win ohjelmalla. Ilmakuvaudesta saatu pistepilvi leikattiin ja kolmioitiin tarkistuspoikkileikkausten mukaisesti. Taiteviivojen vertailu -komennolla aikaan saatiin leikkauksittain vertailuraportit, joista syntyneitä virheitä tarkasteltiin (Kuvio 7).



Kuvio 7. Tarkistuspoikkileikkaukset paalulukemilla ja signaalipisteet

Tarkistuspoikkileikkauksessa 1 suurempia poikkeuksia ei ollut havaittavissa (Liite 4). Leikkauksen laskennalliseksi keskipoikkeamaksi syntyi 3,1 senttimetriä ja keskihajonnaksi 3,9 senttimetriä. Suurin yksittäinen ero vertailulinjaan oli 11,8 senttimetriä.

Tarkistuspoikkileikkaus 2 osuu korkeudellisesti pääsääntöisesti ± 10 senttimetrin sisälle, mutta paaluvälillä 0-50 on syntynyt 20-42 senttimetrin korkeusero pistepilveen verrattuna (Liite 5). Alun paaluvälin korkeuserot nostivat tämän leikkauksen keskipoikkeamaksi 6,7 senttimetriä ja keskihajonnaksi 9,1 senttimetriä. Suurimman korkeusvirheen alueella signaalipisteet sijaitsevat 100–150 metrin päässä. Paalulta 50 eteenpäin tarkistuspoikkileikkaus 2 etenee alle 100 metrin sisälle kohti signaalipistettä 4, jolloin myös korkeusvirhe alkaa tasaantua kymmenen senttimetrin sisälle.

Tarkistuspoikkileikkaus 3 osuu suurimmalta osalta aluetta yksiin pistepilven kanssa (Liite 6). Keskipoikkeamaksi linjalle saatiin 3,1 senttimetriä ja keskihajonaksi 4,4 senttimetriä. Alueen reunalla paalu 0 kohdalla tarkistuspoikkileikkauksen kanssa on 18,7 senttimetrin korkeuspoikkeama. Alueen piti olla signaalipisteen 11 lähetyvillä, mutta tämän jäätyä peittoon lähimmälle signaalipisteelle matkaa muodostuu päälle 100 metriä.

Tarkistuspoikkileikkauksessa 4 huomio kiinnittyi paalulta 370 eteenpäin syntyneeseen systemaattiseen noin 20 senttimetrin korkeusvirheeseen (Liite 7). Alue oli signaalipisteiden hyvin kattama, joten epäily syntyi mahdolliseen GPS-mittauksen aikana syntyneeseen virheeseen. Tästä syystä signaalipisteet 201512, 201513 ja 8 mitattiin uudelleen ja verrattiin vanhempiin mittauksiin. Uudelleen mittauksista paljastui signaalipisteellä 8 korkeudessa 18,6 senttimetrin ero, joka selittää alueelle syntyneen korkeusvirheen.

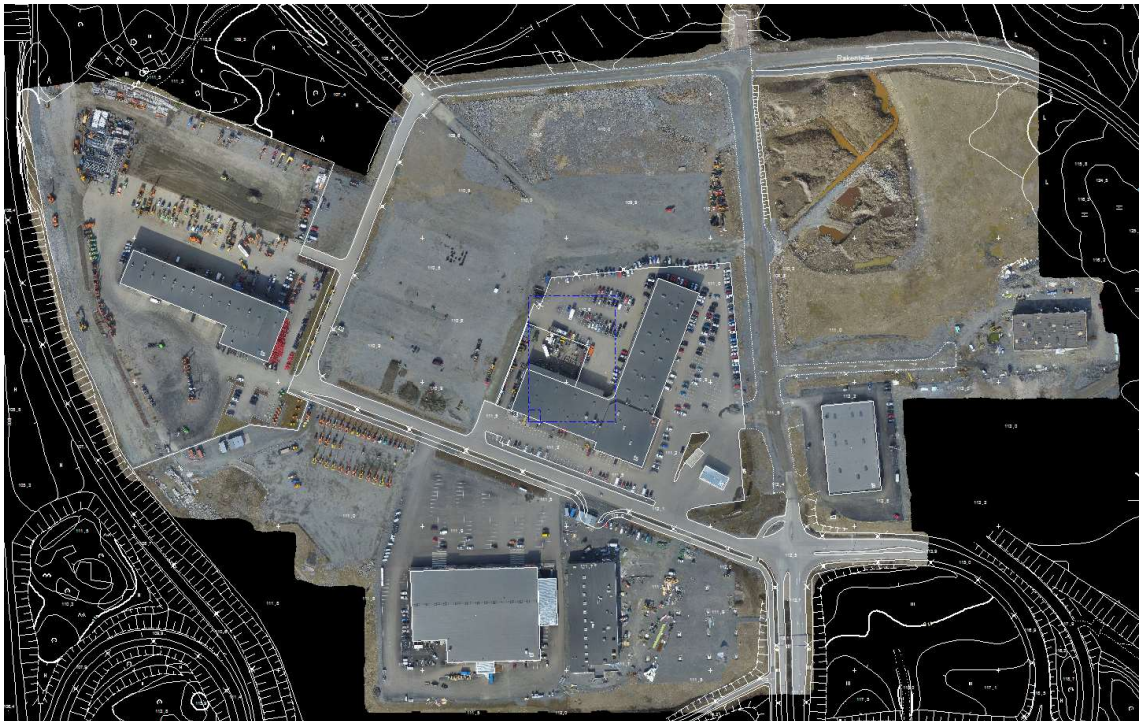
Tarkistuspoikkileikkaus 4 osui korkeuden puolesta muuten hyvin alueeseen, keskipoikkeama 6,7 senttimetriä ja keskihajonta 9,9 senttimetriä. Ainoastaan paaluvälillä 150–160 ojan pohjasta kolmioidun mallin korkeuserot olivat välillä 10-47 senttimetriä. Lähemmin aluetta tarkastellessa paljastui, että ilmakuvauksen aikana kyseisessä paikassa ollut kivi oli poistunut tarkistuspoikkileikkauksen mitaushetkeen mennessä. Tarkistuspoikkileikkauksen ja pistepilven välillä ojassa todettiin oikeaksi korkeuseroksi 2-6 senttimetriä.

5.3 Kantakartan päivittäminen

5.3.1 Toimintamallin kehittäminen

Korkeuksilla varustetun kantakartan päivittämiseen pelkkä ortokuva ei riitä. Ortokuvan ollessa taustarasterina, tarvitaan lisäksi joku muu aineisto korkeuksien määrittämistä varten. Toimintamallia miettiessä piti löytää ratkaisu eri mallien yhtä-aikaista sujuvaa käyttöä varten.

MicroStation ohjelman laaja tuki eri aineiston yhtäaikaiselle käytölle mahdollisti ratkaisun löytämisen. Ratkaisuna käytettiin kantakartan ja ortokuvan laittamista yhtä aikaa taustarasteriksi, jonka päälle lisäksi luettiin ilmakuvauksesta laskettu pistepilvi (Kuvio 8). Tällä tavalla toimien XY-sijainti saadaan ortokuvasta tulkiten ja korkeus pistepilvestä määrittäen. Agisoft PhotoScan -ohjelmalla laskettu kolmioverkko todettiin liian raskaaksi Microstation-ohjelmalle järkevää työskentelyä varten.



Kuvio 8. Kantakartta, pistepilvi ja ortokuva päällekkäin

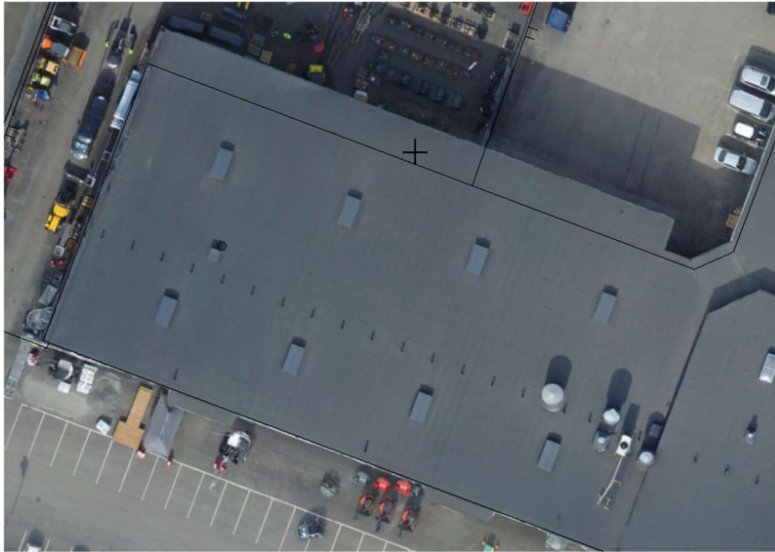
5.3.2 Ilmakuvauksen tulkitseminen

Ilmakuvasta alueelle tulkittiin muuttuneita tai puutteellisia tien reunoja ja keskisaarekkeita. Alla olevasta kuvioista 9 näkyy kantakartan eroja nykytilanteeseen. Pistepilven perusteella pystyi lisäksi määrittämään alueella oleellisesti muuttuneita luiskia. Havaitut muutokset tulkittiin tässä vaiheessa omaan työtilaan, josta ne ovat mahdollista kunnan oman hyväksymisprosessin jälkeen viedä kantakartalle asti.



Kuvio 9. Vanhentunutta kantakarttaa

Alueen rakennuksia on mitattu aiemmin sijaintikatselmusten yhteydessä takymetrillä kiinni (Kuvio 10). Ilmakuvauksesta saadun datan perusteella rakennuksista pystyisi lisäksi määrittämään räystäslinjan ja mahdollisen harjalinjan halutessaan kiinni, tästä olisi hyötyä varsinkin rakennusten 3D-mallintamista varten. Räystäslinjojen alle jääviä asioita ei ortokuvauksesta pysty luotettavasti tulkitsemaan.



Kuvio 10. Takymetrillä mitattu seinälinja orthokuvan päällä

5.3.3 Ilmakuvauksen hyödyt

Ilmakuvauksen hyödyn pystyy selvästi näkemään alla olevasta kuviosta 11. Ortokuvassa näkyy marraskuussa 2014 mitattu kantakartassa oleva pihaliittymä ja tämän jälkeen viereen rakennettu uusi pihaliittymä. Muuttuneen kohdan pystyy helposti havaitsemaan ja piirtämään uudelleen nykytilannetta paremmin kuvaavaksi.



Kuvio 11. Vanhentunutta kantakarttaa

Bentley Stella Map V8i -sovellusohjelmaa hyödyntäen ilmakuvasta havaitut muutokset voitiin määrittää niitä vastaaville tasoille. Alla olevissa kuviossa asfaltinreunat ovat määriteltä päällystetyiksi ajoradan reunoiksi ja sorapäällysteiseksi ajoradan reunaksi.



Kuvio 12. Ilmakuvasta määritetyt uudet tien reunat kantakartan päällä

Rakennusten ja rakennelmien osalta suurin hyöty ortokuvauksesta tulee kantakartalta puuttuvien rakennelmien tai muuttuneiden kohteiden havainnoimisesta. Nyt ilmakuvatulla alueella näkyi kaksi rakenteilla olevaa vähittäiskaupan rakennusta, jotka puuttuvat kantakartasta. Ilmakuvauksen hyötyä voidaankin miettiä myös luvattomien rakennelmien toteamiseen.

5.4 Johtopäätökset

5.4.1 Datan laatu

Alueella olevaan kantakarttaan ja vertailupisteisiin verrattuna pääsimme sijaintitarkkuudeltaan pääosin alle kolmen senttimetrin sisälle. GPS-tarkkuudella mitatuille signaalipisteille ja vertailupisteille tätä parempaa tarkkuutta ei olisi voinut odottaakaan.

Korkeustarkkuus oli alueelta pääsääntöisesti hyvä, alle 10 senttimetrin luokkaa. Korkeustarkkuus oli riittävän hyvä myöskin näyttämään yhden signaalipisteen mittauksessa tapahtuneen korkeusvirheen. Heikoimmat alueet, yli 10 senttimetrin korkeuspoikkeamat tulivat alueilta joilla ei ollut signaalipisteitä 100 metrin sisällä. Tarkistuspoikkileikkausten ottaminen on suositeltava tapa tarkistaa korkeusmaa-ilma jokaiselta lennetyltä alueelta.

5.4.2 Kustannustehokkuus

Maastosuoritteiden osalta signaalipisteiden maalauksiin ja mittaamiset alueelle veivät 2.5 tuntia ja varsinainen lentosuorite 0.5 tuntia. Varsinaiset maastosuoritteet 31 hehtaarin alueen ilmakuvaukseen saatiin tehtyä kaikkienensa yhden ilta-päivän sisällä. Maastosuoritteen tekeminen voidaan tältä pohjalta todeta todella nopeaksi.

Kuvien jälkiprosessoinnissa meni ylimääräistä aikaa aluksi koko lennetyn alueen ortokuvan laskennan yrittämiseen. Alueen pienentämisen jälkeen laskennan kannalta toteutettavaan 25 hehtaariin meni prosessointiin kaikkienensa kahta työvuo-roa vastaava aika, jossa tietokone tekee suurimmalta osaltaan itsenäisesti töitä. Microstationilla varsinaisen ortokuvan ja pistepilven käsittely osoittautui erittäin nopeaksi. Koko alueelta sai muutaman tunnin työsuoritteella käytyä läpi kaikki muutokset ja piirrettyä kantakartalle oleellimmat asiat.

Käytössämme olleen lennokkikaluston, tabletin ja ohjelmiston yhteenlasketuksi kokonaishinnaksi muodostuu noin 4450€. Tämä on tietenkin vain yhden mahdollisista vaihtoehtoista kasatun paketin hinta. Ohjelmiston, tabletin tai lennokin vaihtaminen johonkin toiseen muuttaa oleellisesti summaa. Kokonaiskustannusta voidaankin pitää hyvin edullisena suhteessa tuotettuun aineistomäärään ja tulevaisuuden käyttömahdollisuuksiin.

6 POHDINTA

Lempäälän kunnan tapauksessa pyrkimys oli päästä riittävään tarkkuuteen korkeintaan 1:1000 mittakaavallisesti esitettävän kantakartan toteuttamista varten. Tämän tutkimuksen perusteella halvemmallalla harrastelijakäyttöön tarkoitettulla saavutetaan riittävä tarkkuus tätä varten. Aineistoista keskivirheitään saatua alle 50 millimetrin sijaintitarkkuutta voidaan pitää riittävänä myös tarvittaessa 1:500 mittakaavassa esitettävään kantakarttaan.

Kevyelle harrastelijaluokan kopterilla ilmakuvausten suorittaminen onnistui oikein hyvin. Kopterin ohjaukseen käytetyllä Map Pilot For DJI -ohjelmalla ilmakuvaussuunnitelman tekeminen ja lentosuorittaminen olivat hyvinkin selkeä toimenpide. Suurimmat ongelmat tulivatkin laskentavaiheessa alueen laajuuden kanssa, ilmakuvatusta 31 hehtaarin alueesta ortokuvaa saimme loputtua aikaan vain 25 hehtaarin alueelta. Tätä laajemman alueen ortokuvan tekeminen olisi vaatinut lisäsijoituksia parempaan laskentakoneeseen, jota en suosittelisi pienimuotoisessa toiminnassa.

Kantakartan ajantasaisuuden tarkistamiseen ortokuvan hyödyt olivat heti havaittavissa. Ortokuvasta muuttuneiden kohtien havaitseminen osoittautui erittäin helppoksi ja muuttuneet kohdat pysty heti korjaamaan ilmakuvaushetkeä vastaaviksi. Maastokäyntien perusteella moniakaan näistä kohteista ei helposti pystyisi huomaamaan.

Lopputuotokseksi voi sanoa, että suhteellisen pienellä kertosijoituksella on mahdollista päästä kiinni erittäinkin pätevään keinoon tehdä ilmakuvausta, juurikin Lempäälän kunnan mittauspuolen haluamalla laajuudella. Laajemmille alueille ilmakuvausta tehdessä näkisin parempana toiminnan pysyessä tekijöillä, joilla on tähän käyttötarkoitukseen tarkoituksen mukaiset laitteistot. Harrastelijakäyttöön suunnitelluissa koptereissa on omat rajoitteensa kuten pakkaneen, sade ja kova tuuli, joita näillä kevyillä harrastelijaluokan koptereilla ei vielä pysty voittamaan.

Lopuksi korostan, että jokaisen lennättämistä miettivän pitäisi tutustua ja sisäistää Liikenteen turvallisuusviraston OPS M1-32 -ilmailumääräys. Määräyksessä on annettu hyvät, yhteiset pelisäännöt turvallista lennättämistä kohti. Lennättämisessä on omat vaaratekijät, jotka varsinkin ammattimaisessa toiminnassa pitää osata ymmärtää.

LÄHTEET

3D-system 2017. 3D-Win. Viitattu 1.4.2017 <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>

Agisoft 2017. Professional edition features. Viitattu 2.4.2017 <http://www.agisoft.com/features/professional-edition/>

App Store 2017. Map Pilot For DJI. Drones Made Easy. Viitattu 1.4.2017 <https://itunes.apple.com/fi/app/map-pilot-for-dji/id1014765000?mt=8&ign-mpt=uo%3D4>

Bentley 2008. From Geographics Stella to Bentley Map Stella Map. Bentley Finland Oy. Viitattu 3.1.2017 https://www.bentleyuser.dk/sites/default/files/d2_data_migration_to_bentley_map.pdf

Bentley Systems 2017. Microstation. Bentley Systems. Viitattu 1.5.2017 <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation>

Blom Kartta Oy 2017. Paikkatiedon keruu. Viitattu 1.5.2017 <http://www.blomkartta.fi/palvelut/paikkatiedon-keruu/>

DJI 2017. Phantom 3 Professional specs. DJI. Viitattu 5.2.2017 <http://www.dji.com/phantom-3-pro/info#specs>

Geotrim Oy 2017. GeoDrone X4L. Viitattu 1.2.2017 <http://shop.geotrim.fi/geo-drone-x4l.html>

JHS 185 2014. Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Viitattu 1.2.2017 <http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs185>

Lempäälän kunta 2013. Kartat ja paikkatiedot. Viitattu 1.2.2017 <http://www.lempaala.fi/palvelut/asuminen-rakentaminen-ja-ymparisto/kartat-ja-mittaus/kartat-ja-paikkatiedot/>

Suominen, E. 2017. Lempäälän kunta. Paikkatietoinsinöörin haastattelu 10.4.2017

Trafi 2011. Usein kysyttyä. Viitattu 6.5.2017 https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilmaluukset_ja_lennokit

Trafi 2017. Määräys OPS M1-32. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lentättäminen. Viitattu 1.2.2017 https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf

LIITTEET

- Liite 1. Lentokuvaussuunnitelma
- Liite 2. Turvallisuusarviointilomake
- Liite 3. Lentopäiväkirja
- Liite 4. Tarkistuspoikkileikkaus 1
- Liite 5. Tarkistuspoikkileikkaus 2
- Liite 6. Tarkistuspoikkileikkaus 3.
- Liite 7. Tarkistuspoikkileikkaus 4.



Työsuunnitelma, Realpark-alueen pohjakartan tarkistus

Lempäälän kunta

Paikkatiedot ja mittaus

Mittauksen tarkoitus:	Mittauksen tarkoituksena on tuottaa uusi ilmakuva Lempäälän Marjamäessä sijaitsevalle Realparkin alueelle, pohjakartan ajantasaisuuden tarkistamiseksi.
Koordinaatisto:	EtrsGk24
Korkeusjärjestelmä:	N2000
Pinta-ala:	Noin 31 hehtaaria
Laitteistot:	Trimble R8 Gns, Trimble S6 5", DJI Phantom 3 Professional
Ohjelmisto:	Stella Map V8i, Agisoft PhotoScan Professional, 3D-win, Map Pilot For DJI
Aikaisemmat mittaukset:	Alueella on tehty maastomittauksia ja rakennusten sijaintikatselmuksia, joihin verrataan pohjakartan ajantasaisuus.

Ilmakuvaus

Kuvauskorkeus:	70 m
Pituuspeitto:	80 %
Sivupeitto:	60 %
Maastopikseli:	3 cm

Kamera

Kuvan koko	4000 x 3000
Suljinaika	8s -1/8000s
Linssi:	f/2.8



Työsuunnitelma, ilmakuvaus

Ilmakuvasta varten rakennetaan ja mitataan Trimble R8 Gnns laitteella noin 20 kappaletta signaalipisteitä. Alueella on ennestään 4 kappaletta vanhoja kiintopisteitä, joita pyritään hyödyntämään työn aikana. Päällystetyille alueilla uudet pisteet pyritään rakentamaan pysyviksi, merkintänauloja hyödyntäen. Tarvittaessa samoja pisteitä käyttäen voi mitata takymetrimittauksena piiloon jääneitä alueita ja suurempaa tarkkuutta vaatia kohteita (Rakennukset yms.)

Ilmalento suoritetaan Map Pilot For DJI:n tekemän lentosuunnitelman mukaan, mahdollisimman selkeänä ja tyynenä päivänä. Ilmakuvauksen aikana käytetään avustavaa henkilöä turvallisuussyistä ja kopteriin jatkuvan näköyhteyden pitämisen takia. Lentäjällä ja avustavalla henkilöllä on oltava radiopuhelinyhteys käytössä keskenään, ellei suora kommunikointi ole mahdollista.

Ennen ilmakuvausta käydään läpi turvallisuusarviointi ja sovitaan lennon toteuttamisesta. Lennon jälkeen tehdään merkintä lentopäiväkirjaan suoritettua ilmalennosta.

Ilmakuvan laskenta

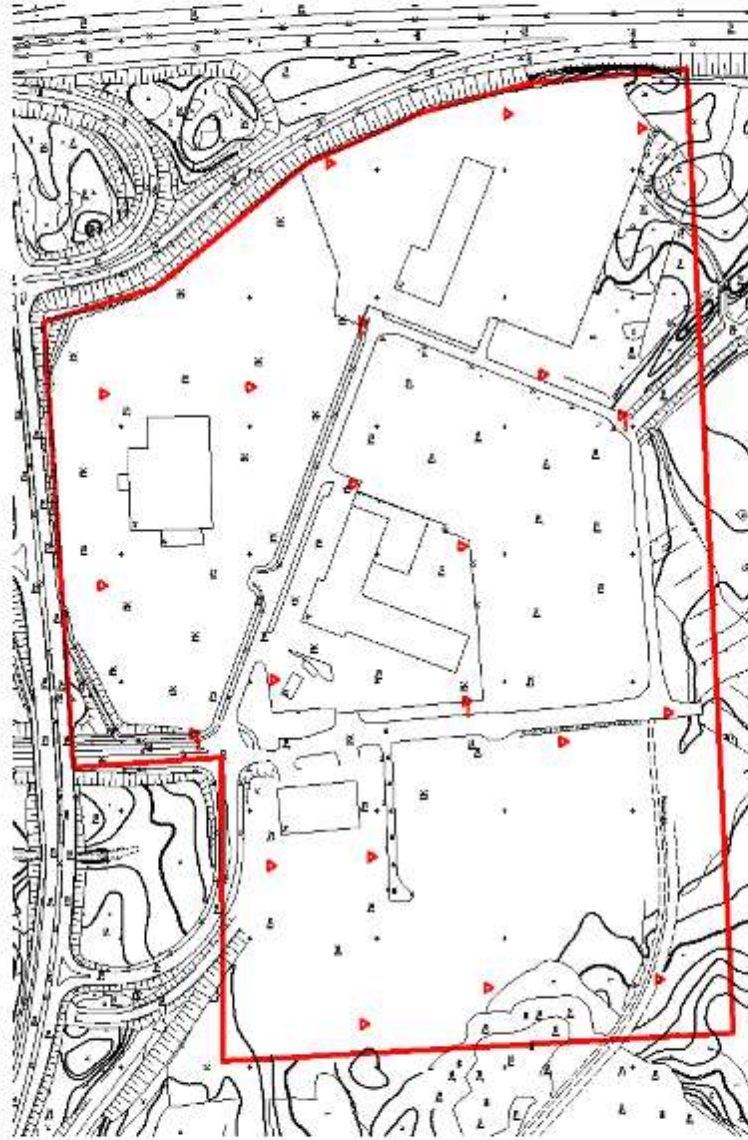
Ilmakuvauksesta kerätyt valokuvat yhdistetään ja lasketaan signaalipisteiden avulla koordinaatistoon Agisoft PhotoScan Professional ohjelmalla. Lopputuotokseksi alueesta saadaan käyttöön orthoilmakuva ja pistepilvi.

Ilmakuvauksen tarkistus

Ilmakuvauksen tarkistus suoritetaan mittaamalla Trimble R8 Gnns laitteella alueelle selkeitä ilmakuvaukseen näkyneitä kohteita, joita käytetään XY-tarkkuuden vertailupisteiksi. Alueen läpi mitataan lisäksi tarkistuspoikkileikkauksia korkeustarkkuuden määrittämiseksi. Lisäksi ilmakuvauksen tarkkuutta verrataan aiemmin alueelle mitattuihin kohteisiin.

Ilmakuvauksen tarkistus suoritetaan Stella Map V8i ja 3D-win ohjelmistoilla.

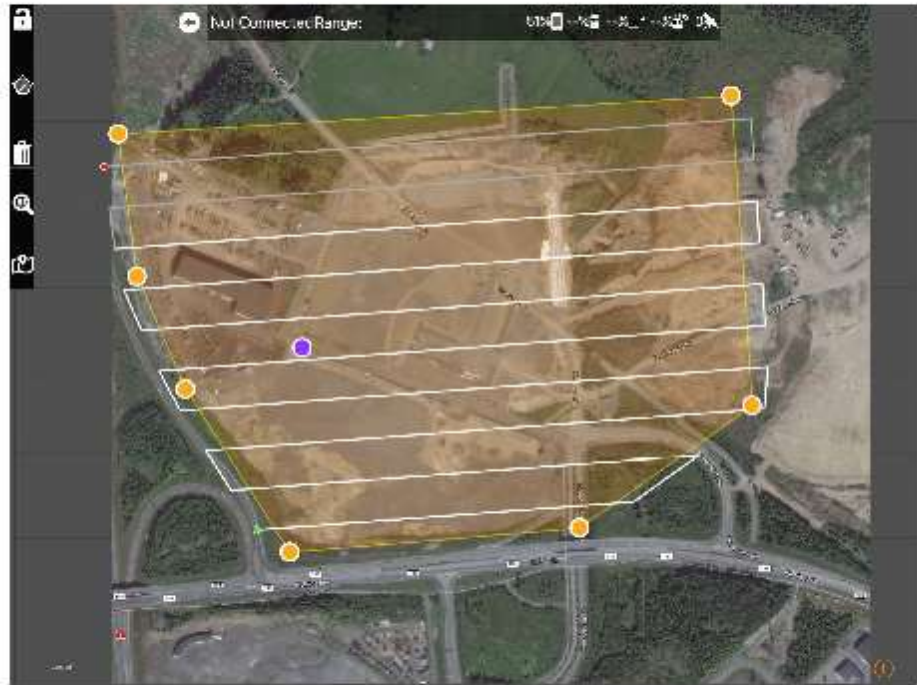


Ilmakuvattava alue

Signaalipisteiden ehdotetut paikat on merkitty punaisella kolmiolla.



Lentosuunnitelma






Turvallisuusarviointi, lennokokokuvaus

Lempäälän kunta

Paikkatiedot ja mittaus

Turvallisuusarviointi 1-10 asteikolla, 1 tarkoittaessa vähäistä riskiä/ei riskiä ollenkaan ja 10 tarkoittaessa asian todennäköistä tapahtumista.

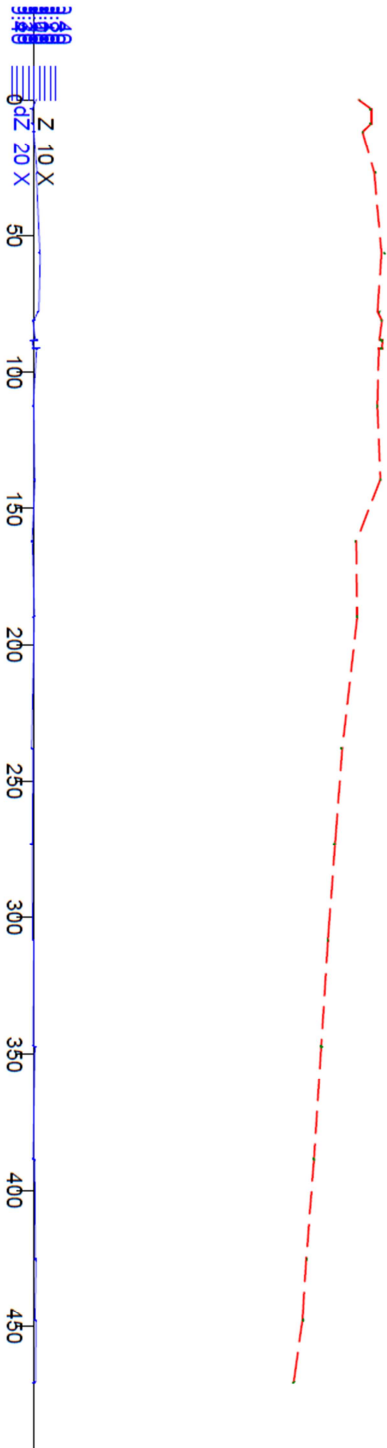
Vaaratekijöiden tunnistus	Riskin arviointi	Riskien hallinta ja vähentäminen	Turvallisuuden hallinta.
Ulkopuolisia ihmisiä alueella	8	Turvavaatetuksen/heijastavan vaatetuksen käyttäminen. Alueen sulkeminen tarvittaessa. Avustavan henkilön käyttö	Varaudutaan ilma-kuvauksen keskeyttämiseen turvallisesti
Lentäjän häirintä	7	Alueen sulkeminen tarvittaessa. Avustavan henkilön käyttö Ilmakuvauksen teko aikana, jolloin on vähemmän ihmisiä alueella.	Varaudutaan ilma-kuvauksen keskeyttämiseen turvallisesti
Laitteiden toimimattomuus	2	Laitteen tarkastus ennen lentotoimintaa	Ilma-kuvaus keskeytetään turvallisesti
Avustavaan henkilöön yhteyden menetys	4	Lentosuunnitelman teko ennen lentoa, jossa käydään yhdessä läpi lennon	Varaudutaan ilma-kuvauksen keskeyttämiseen turvallisesti
Huonot sääolosuhteet, tuuli ja auringonpaiste	7	Sääolosuhteiden selvittelyä etukäteen. Lentäminen mahdollisimman pienessä tuulessa. Lentäjällä hyvän lentopaikan selvitys.	Ei lennetä ollenkaan huonoissa sääolosuhteissa. Sää olosuhteiden muuttuessa lennon aikana varaudutaan ilma-kuvauksen keskeyttämiseen turvallisesti
Liikenne ja esteet	7	Käytettävä vähintäänkin yhtä henkilöä liikenteen ja esteiden havainnointiin lentäjälle. Alueeseen hyvin tutustuminen ennen lentoa.	Lennetään tilanteeseen sopivalla korkeudella ja paikasta josta ilma-kuvaus on mahdollista keskeyttää turvallisesti
Näköyhteyden menetys	5	Avustavan henkilön käyttö Alueeseen hyvin tutustuminen ennakkoon	Ilma-kuvaus keskeytetään turvallisesti, videosignaalin hyödyntäminen ja lennokin palautus lähtöpisteeseen.


Lentopäiväkirja
Lempäälän kunta
Paikkatiedot ja mittaus

Lennätys pvm.	Lennokki, merkki ja malli	Käyttäjä	Lennätyspaikka	Alkamisaika	Päättymisaika	Käyttötarkoitus	Näköyhteyteen perustuva lento

MAASTOMALLIN VERTAILU

Lempäälä, Realpark



ARITM. KESKIARVO 0.007
 NEI. KESKIARVO 0.040
 EROT (MIN,MAX) -0.060 0.118
 YLI 0.25 m EROJA 0.0 %
 ALKUPISTE XY 6806387.952 24489340.429
 LOPPUPISTE XY 6806854.900 24489320.802
 PISTEITÄ 371 (470.581 m)
 KESKIPOIKKEAMA 0.031
 KESKIHÄJONTÄ 0.039

Tarkistuspoikkeileikkaus 1

Mittaja

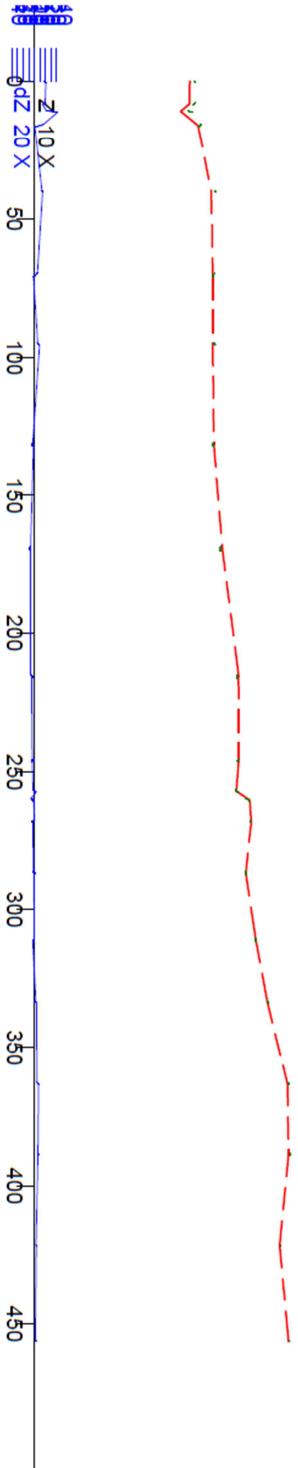
Niko Agapov

Mk 1:2000/1:200

Päiväys 2.5.2017

MAASTOMALLIN VERTAILLU

Lempäälä, Realpark



ARITM. KESKIVARVO 0.033
 NEEL. KESKIVARVO 0.097
 EROT. (MIN,MAX) -0.082 0.422
 YLI 0.25 m EROJA 2.9 %
 ALKUPISTE XY 6806813.892 24489200.744
 LOPUPISTE XY 6806377.766 24489075.456
 PISTEITÄ 582 (456.364 m)
 KESKIPOIKKEAMA 0.067
 KESKIHAIJONTA 0.091

Tarkistuspoikkileikkaus 2

Mittaja

Niko Agapov

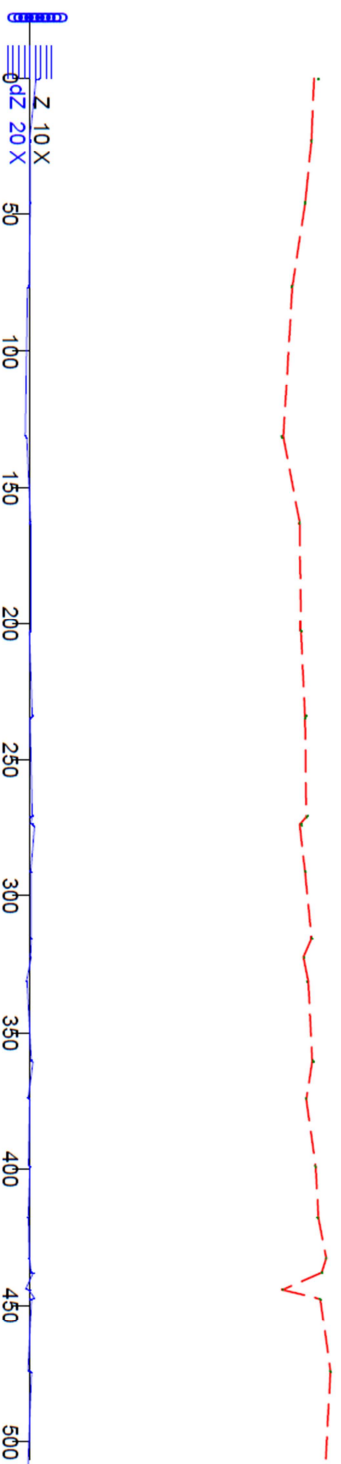
Mk 1:2000/1:200

Päiväys 2.5.2017

Työnumero

MAASTOMALLIN VERTAILLU

Lempäälä, Realpark



ARITM. KESKTIARVO 0.010
NEL. KESKTIARVO 0.045
EROT (MIN/MAX) -0.082 0.187
YLI 0.25 m EROJA 0.0 %
ALKUPISTE XY 6806548.062 24488927.957
LOPPUPISTE XY 6806510.587 24489432.358
PISTEITA 536 (S10.514 m)
KESKIPOIKKEAMA 0.031
KESKIHÄJÖNTÄ 0.044

Tarkistuspoikkileikkaus 3

Mittaja

Niko Agapov

Mk 1:2000/1:200

Päiväys 2.5.2017

Työnumero

Liite 7

