

Selvitys kuvauskopterien ja videontunnistus ohjelmien käytöstä  
liikennelaskennoissa



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Liikennealan koulutusohjelma

Riihimäki, Kevät, 2017

Aapo Kupsala

Koulutus  
Kampus

---

Tekijä	Aapo Kupsala	Vuosi 2017
Työn nimi	Selvitys kuvauskopterien ja videotunnistus ohjelmien käytöstä liikennelaskennoissa	
Työn ohjaaja/t	Rami Tervo	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä keskityttiin liikenneympyrän liikenteen laskemiseen ilmapideokuvasta. Työn tavoitteena oli tutkia, voiko ilmapideokuvasta tunnistaa autoja ja sitä kautta pystyä määrittelemään liikennevirtoja, ja mitkä ovat kustannukset ja miten laki suhtautuu datan keräämiseen kopterilla.

Aluksi tutkin lain suhtautumista kuvauskopterin käyttämiseen asutulla alueella. Tutustuin myös yrityksiin, jotka tarjoavat liikennelaskentapalvelua videokuvasta ja yrityksiin joiden laitteistolla videodatan kerääminen on mahdollista. Seuraavaksi hankin resursseihini sopivan laitteiston ja testasin sen turvallisuutta ja toimivuutta käytännön kokeilla. Lopuksi tein pienimuotoisen liikennelaskentakokeilun, jossa kuvasin ympyrän liikennettä ja laskin siitä käsin liikennemäärät ja määrittelin liikennevirrat. Lähetin laskentavideon myös yritykselle, joka suoritti liikennelaskennan videokuvasta videotunnistus menetelmällä.

Tutkimuksissa saatujen tulosten perusteella tein loppupäätelmät, joissa otin kantaa lakiin, kustannuksiin ja siihen onko tiedonkeruu ja analysointi tällä tavalla mahdollista.

Avainsanat Kuvauskooperi, Liikennelaskenta, Videotunnistus, Liittymä.

Sivut 33 sivua, joista liitteitä 0 sivua

Traffic management  
Riihimäki

---

Author	Aapo Kupsala	Year 2017
Subject	Survey on the use of drones and counting software in traffic counting	
Supervisors	Rami Tervo	

---

#### ABSTRACT

In this thesis I focused on the traffic counting of roundabout traffic by using aerial video footage. The aim was to examine whether vehicles could be detected from aerial video, to identify the vehicles and to be able to define traffic flows by using traffic counting software, to find out the costs and the legislation regarding the collection of data by using a drone. At first, I studied how the legislation as to towards the use of drone over crowded areas. I got to know the companies that provided traffic counting service by aerial video and hardware companies that supply proper aerial video collection drones. After that I purchased a drone and tested its safety and behavior in empirical tests. Finally, I made a small traffic counting experiment, where I filmed roundabout traffic in using a drone and counted traffic there by hand and defined the traffic flow. I also sent aerial video to the company, which carried out the traffic counting and vehicle detection from aerial footage, by using vehicle detection software. Based on results of the studies I made the final conclusions, taking in account the legislation, the costs and whether the data collection and analysis in this manner is possible.

Keywords Drone, traffic counting, vehicle detection, roundabout

Pages 33 pages including appendices 0 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LIIKENNELASKENNAT LIITTYMISSÄ.....	1
2.1	Tiedonkeruu.....	1
3	VIDEOLASKENTA OHJELMISTOT.....	2
3.1	Miovision.....	2
3.2	Datafromsky.....	3
4	KUVAUSKOPTERIT.....	4
4.1	Kopterityypit.....	4
4.2	Kopterien vaihtoehtoiset virtalähteet.....	4
4.3	Laki kauko-ohjatuista ilma-aluksista ja lennokeista.....	5
4.4	Turvallisuus.....	6
4.5	Kopterien edellytykset liikennelaskennoissa.....	7
5	TESTAUKSET.....	8
5.1	Fotokite phin ja kameroiden valinta.....	8
5.2	Fotokite Phi turvallisuus ja suhtautuminen lakiin.....	10
5.3	Fotokite phin testilennätykset.....	10
5.4	Kameroiden testaukset.....	13
5.5	Yhteenvedo testeistä.....	21
6	LIIKENNELASKENTAKOKEILU.....	22
6.1	Valmistelut.....	22
6.2	Laskentakokeilu kuvauspäivä.....	22
6.3	Laskentavideoiden editointi.....	23
6.4	Laskennan tulokset.....	25
7	VIDEOTUNNISTUS.....	29
7.1	Tulokset.....	29
8	YHTEENVETO LASKENTOJEN TULOKSISTA.....	30
9	LOPPUPÄÄTELMÄ.....	31
	LÄHTEET.....	34



# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan liikennelaskentojen suorittamista kuvauskopterilla ja liikennevirtojen jakautumisen määrittelyä kuvantunnistusohjelmistolla. Erillistä toimeksiantajaa ei ole, vaan tutkin aihetta omasta kiinnostuksestani. Sain idean liittyen koulutehtävään, jossa tuli seurata parkkipaikan liikennemääriä. Kävi ilmi että yksittäisen parkkiruudun varaustilanteen ja käyttöasteen määrittelyssä olisi avuksi jos parkkipaikkaa voitaisiin kuvata ilmasta ja kuvasta tunnistaa ajoneuvoja. Samaan aikaan teimme oman luokan kesken liikennelaskentoja tilaustyönä yrityksille. Liikennelaskennoissa ongelmia aiheutti liikennevirtojen jakautumisen määrittely liittymissä poikkileikkauslaskennoista saadun tiedon perusteella. Ajattelin että tähän ongelmaan voisi myös löytyä apu jos liittymää voitaisiin kuvata ilmasta ja saadusta kuvasta tunnistaa joko koneellisesti tai käsin ajoneuvot ja seurata niiden liikkeitä ja näin saada liikennevirtojen jakautuminen selvitettyä.

Tutkittuani asiaa hiukan totesin, ettei aiheesta ole tehty varsinaista julkaisua, mutta tekniikka laskentojen toteuttamiselle on mahdollisesti jo olemassa. Videolaskenta ohjelmistoja on markkinoilla ja erilaisia kuvauskoptereita löytyy myös. Yritin valmistaa kouluprojektina heliumpalloon perustuvan liikennelaskentalaitteen, jolla kuvauksia voitaisiin suorittaa. Projekti jäi kuitenkin hieman keskeneräiseksi joten päädyin tässä työssä käyttämään kuvauskopteria.

## 2 LIIKENNELASKENNAT LIITTYMISSÄ

### 2.1 Tiedonkeruu

Tiedonkeruumenetelmiä on monenlaisia ja tietoa kerätään käsin sekä automaattisesti erilaisia laitteita käyttäen. Käsin kerättävällä tiedolla tarkoitetaan käsin laskentaa ns. "tukkimiehen kirjanpidolla" ja tietokoneen ruudulta videokuvasta tunnistamista ja siitä samalla menetelmällä laske- mista. Automaattisesti tietoa kerätään eri laskentapisteiksi soveltuvien laitteiden datasta. Varsinaisilta laskimilta, mutta myös liikennevaloilta, LAM-pisteistä yms. katu- ja tieverkolla oleviin liikenteen solmukohtiin, joita ympyrät ja risteykset ovat, voidaan soveltaa Liikenneviraston julkaisema ohjett, jossa hyvin tuodaan esille erillisen liikennelaskennan merkitys ja tarpeellisuus suunnittelussa ja liikenteen ennustamisessa. Suunniteluohjeessa puhutaan eritasoliittymistä, mutta muitakin liittymätyyppejä suunniteltaessa vastaavia suunnittelu- ja mitoitusperiaatteita käytetään.

Pelkällä poikkileikkauslaskennalla ei saada riittävän tarkkoja tuloksia liikenteen jakautumisesta, vaan sen aikaansaamiseksi tulee liittymästä tehdä erillinen liikennelaskenta. Laskennassa identifioidaan tietty ajoneuvo, pyöräilijä tai jalankulkija ja seurataan sen kulkua liittymässä. Näin ollen saadaan liikennevirtojen jakautuminen ja määrät eri suuntiin selvitettyä. Yleisimmin tehtäviä laskentoja ovat ruuhkahuipputulaskennat, jotka käsittävät laskennan n.2 h ajalta jonka aika-ikkunan sisään tunnin ruuhkahuippu mahtuu. Toinen yleinen laskenta on 12 h laskenta. (Liikennevirasto 2015, 16-19.)

### 3 VIDEOLASKENTA OHJELMISTOT

Markkinoilla on ympyröiden ja risteysten liikennevirtojen tunnistamiseen soveltuvia ohjelmistoja. Esittelen tässä luvussa niistä kaksi. Ohjelmistot toimivat samalla periaatteella kuin videokuvasta tunnistetaan konenäön ja algoritmien avustuksella ajoneuvot ja niiden liikkeiden perusteella määritellään halutut tiedot. näitä voivat olla liikenteen jakautuminen, ajoneuvomäärät suunnittain, ajoneuvojen koko, jalankulkijat jne.

#### 3.1 Miovision

Miovision on kanadalainen ajoneuvojen videolaskentaan erikoistunut yritys. Yritys tarjoaa pakettia, jossa asiakas voi ladata yrityksen palvelimelle videon ja saa laskentatiedon haluamiensa parametrien mukaisesti. Ajoneuvontunnistus on tarkkuudeltaan 95 – 99 % luokkaa. Laskentatietoa saa liittymistä, ympyröistä, autoista ja jalankulkijoista. Palvelun avulla voi määritellä tunnistuksessa käytettävät ajoneuvotyypit. Miovision takaa että saa tuloksen valmiiksi asiakkaalle 72 h kuluessa videon lataamisesta. (Miovision internetsivut, 2017). Kysyin palvelun hintaa yritykseltä. Laskenta maksaa 31 – 39 €/laskentatunti, hinta riippuu siitä kuinka tarkkaan laskettavat objektit halutaan määriteltävän (Sähköpostikeskustelu Miovisionin edustajan kanssa, 2016).

Miovision tarjoaa asiakkailleen myös Scout-tiedonkeruulaitetta (Kuva 1), josta saadun videon voi ladata heidän palvelimelleen laskentaa varten, tai laskea liikenteen jakautumisen itse tietokoneen näytöltä. Käytännössä laite on n. 7 m pitkä teleskooppimasto jonka yläpäässä on kamera. Maston juuressa on akkukotelo ja pieni yksikkö, johon voi määritellä esimerkiksi mihin aikaan kamera kuvaa ja kuinka kauan. Laite pystyy taltioimaan maksimissaan 72 h videokuvaa ja lisäakkupaketilla 96h eli yhteensä 7 päivää. Stand by -tilassa laite voi olla enimmillään 2 kuukautta. Maston kameran linssin kulma on 120 ja resoluutio 720x480 (Miovision 2017.)

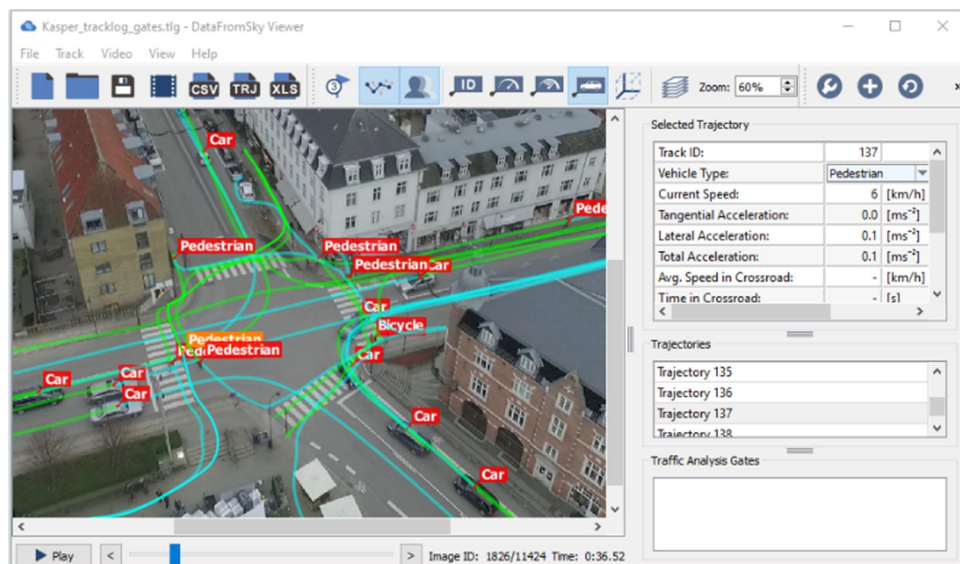


Kuva 1. Miovision scout laskentalaitte.

### 3.2 Datafromsky

Datafromsky on tsekkiläinen yritys, joka tarjoaa koneelle ladattavaa videolaskenta-ohjelmistoa. Ohjelmiston avulla käyttäjä voi tunnistaa kuvausta ajoneuvot ja jalankulkijat ja antaa objekteille nimet esim. juokseva numerointi (Kuva 2). Käyttäjä pystyy määrittämään kuvaan ns. portteja ja ohjelma laskee niiden läpi kulkeneiden identifioitujen objektien perusteella liikennevirtoja, välimatkoja, liikenteen jakautumista, läheltä piti tilanteita yms. (Datafromsky Youtube kanava, 2016).

Ohjelma on ilmainen ja ladattavissa yrityksen omilta nettisivuilta. Ohjelmasta on saatavilla myös maksullinen versio, joka tunnistaa ajoneuvot ja jalankulkijat automaattisesti (Datafromsky internet sivut 2017). Kysyin maksullisen version hintaa, ohjelman lisenssi opiskelukäytössä on n.2000 €/vuosi, kolmelle koneelle (Sähköpostikeskustelu Datafromsky edustajan kanssa, 2016). Kokeilin ladata ohjelman ilmaisversion omalle koneelle kokeiltavaksi, mutta en saanut sitä toimimaan.



Kuva 2. Kuvankaappaus Datafromsky ohjelmasta.



## 4 KUVAUSKOPTERIT

### 4.1 Kopterityypit

Kopterityyppejä on lukuisia ja en käy tässä kaikkia läpi, keskityn yleisimpään joukkoon eli multikoptereihin, jotka nimensä mukaisesti toimivat kolmen tai useamman moottorin periaatteella aina kahdeksaan käytettävään moottoriin asti.

Koptereita ohjataan yleisimmin radio-ohjaimella ja kopterit toimivat akkuvirralla. Tällaisen kopterityypin käyttäminen sellaisenaan liikennelaskentojen suorittamiseen ei suoraan sovellu. Suurin rajoitus muodostuu käytettävästä lento-ajasta. Kopterit toimivat akuilla ja niiden lentoaika vaihtelee 10 min ja 30 min välillä, joten ruuhkahuipputuntilaskennassa täytyisi vaihtaa akku useaan kertaan ja laskentaan tarvittaisiin kaksi kopteria. Koptereiden lennättäminen vaatii lennättäjältään hyvää taitoa ja tietämystä laeista ja määräyksistä lennättämistä koskien. Ammattilais-tasoisten kopterien hinnat ovat n. 1100 € ylöspäin (Dji, 2017).

### 4.2 Kopterien vaihtoehtoiset virtalähteet

Markkinoilla on tarjolla koptereita, jotka pysyvät ilmassa maayksiköstä saadun virran avulla (Kuva 3). Lisäksi markkinoilla on vaihtoehtoisia virtalähteitä normaaleihin akkukäyttöisiin koptereihin. Virtalähteet käsittävät maayksikön, kaapelin kopteriin ja kopterissa sijaitsevan akun tilalle asennettavan virtalähteen.

Kysyin laitteiden hintoja seuraavilta valmistajilta: Polarity, Elistair, Hoverfly ja Fotokite ja sain seuraavia tuloksia. Virtalähteiden hinnat ovat eri valmistajilla seuraavat, Hoverfly 2999 \$, (Hoverflytech internetsivut, 2017), Elistair 11500 € - 22000 € (Elistair myyntiesite, 2016), Polarity 60000 \$, mittatilauksena tehty n. 1500 w tehoiselle kopterille (Sähköpostikeskustelu Polarity edustajan kanssa, 2015). Valmiiden kaapelikäyttöisten kopterien hinnat ovat Hoverfly livesky, 22400 \$ (Sähköpostikeskustelu Hoverflytech edustajan kanssa, 2015), Fotokite Pro n. 9000 € (Sähköpostikeskustelu Fotokite edustajan kanssa, 2016).

Maayksiköstä virtansa saava kopteri pysyy ilmassa merkittävästi kauemmin kuin akkukäyttöinen kopteri (Elistair Youtube kanava, 2017). Maahan voidaan sijoittaa erillinen verkkovirtaa tuottava virtalähde maayksikölle esimerkiksi aggregaatti. Virtalähteenä voidaan käyttää myös suurikapasiteettisia akkuja, joita kopteri ei muutoin kykenisi nostamaan ilmaan. Näin ollen useiden tuntien kestoiset lennätykset ovat mahdollisia. Kopterien kestävydestä esim. 12 h lennätyksessä ei löytynyt tarkkaa tietoa. Moottorien ja muun tekniikan ollessa samanlaista akkukäyttöisten kopterien kanssa varaosia kuitenkin löytyy hyvin ja siten kopterin huollon kustannukset eivät nouse liiaksi.



Kuva 3. Kuvassa Elistair nimisen valmistajan virtalähteellä varustettu kuvauskopteri.

#### 4.3 Laki kauko-ohjatuista ilma-aluksista ja lennokeista.

Kaikkia ilmassa tapahtuvaa liikennettä varten on säädetty Ilmailulaki (Ilmailulaki 864/2014). Trafín uusi määräys, (Trafín määräys: OPS M1-32 kauko-ohjatuista ilma-aluksista ja lennokeista), astui voimaan 1.1.2017, määräys on tehty tukemaan ilmailulakia. Tutkin hieman määräystä koskien kopterien käyttöä liikennelaskennoissa. Määräyksessä on jonkin verran rajoituksia ja ohjeita, joita tulee ottaa huomioon. Lennättäminen ihmisjoukkojen yläpuolella on ilman erillistä ilmoitusta Trafille kiellettyä, ilmoituksen voi tehdä Trafín verkkosivuilta. Suomessa on myös monia liikennepaikkoja, joissa lennättäminen on ilman erillistä poikkeuslupaa kokonaan kiellettyä mm. lentokenttien läheisyys (alle 5km lähempänä lennättäminen vaatii luvan lennonjohdolta.), ydinvoimaloiden yms. läheisyys, sotilasalueet jne. Huomioitavaa on että kauko-ohjattu ilma-alus ei saa asutuksen yläpuolella lennätettäessä painaa yli 3 Kg. Lennätyskorkeus ei saa ylittää 150 m, kaupunkialueella 100 m ja alle 5 km päässä lentokentän kiitotiestä 50 m. Kauko-ohjatulla ilma-aluksella täytyy olla ilmailun vakuutusasetuksen mukainen vastuuvakuutus. (Trafi 2017.)

Ammattia harjoittavan kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämisestä täytyy tehdä ilmoitus Trafille ennen lennätysten aloittamista. Lennättäminen luetaan lentotyöksi ja sitä koskevat eri säädökset kuin harrastelennätystä. Lentotyön harjoittamiseen ammatillisessa mielessä vaaditaan rekisteröityminen toiminnan harjoittajaksi, jonka voi tehdä Trafín verkkosivuilta. Lennättäminen ilman näköyhteyttä kauko-ohjattuun ilma-alukseen väkijoukon tai asutuksen päällä on luvanvaraista toimintaa ja vaatii monenlaisia lisätoimia mm. turvallisuusarvioinnin, ilmatilavarauksen, toimijailmoituksen jne. (Trafi 2017.)

Minimivaatimukset asutun alueen ulkopuolella tapahtuvalle lentotyölle ovat:

- Toimijailmoitus
- Vastuuvakuutuksen hakeminen
- Kauko-ohjatun ilma-aluksen merkitseminen tarralla, josta käy ilmi vastuullisen henkilön nimi ja yhteystiedot
- Lentopäiväkirjan pitäminen ja säilyttäminen lennon jälkeen kolmen vuoden ajan
- Jos lennätyksen yhteydessä sattuu vahinko tai läheltä piti- tilanne tulee siitä laatia raportti Trafille

Lennokit luetaan eri laitteeksi kuin kauko-ohjattu ilma-alus, lennokkia ei saa lennättää väkijoukon päällä ollenkaan. Asutustihentymien päällä lennättäminen tietyin edellytyksin on sallittua. (Trafi 2017.)

Kauko-ohjatut ilma-alukset ja lennokit ovat radiolaitteita ja niitä koskevat samat vaatimukset kuin muitakin radiolaitteita. Eurooppalaisten säännösten mukaan niistä täytyy löytyä vaatimuksenmukaisuusvakuutus ja CE-merkintä. Yleisesti käytössä olevat kopterien ohjaustaaajuudet ovat luvasta vapaiden radiolaitteiden taajuuksia.

Liikennelaskentoja ajatellen ainoa luvanalainen radiotaajuus on käytettäessä videonsiirtoon kuuluvaa taajuutta 1320 Mhz ilmasta maahan, tämän taajuuden käyttäminen edellyttää radioluvan hankkimista. Radiolaitteiden vaatimuksenmukaisuutta valvoo Viestintävirasto. (Viestintävirasto internet sivut 2017.)

Muita lakeja kopterien lennättämiseen liikennealueilla tulee ottaa huomioon: yksityisyyden suoja, kotirauha, tietosuoja, yleinen järjestys ja turvallisuus, kaupallisten oikeuksien hallinta, melu, luonnonsuojelu ym. ympäristöasiat (Trafi 2017.)

Ilmailunormien puolesta periaatteellista estettä katu/tiealueen päällä tapahtuvalle kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättämiselle kuvausta varten ei ole (Sähköpostikeskustelu Trafian edustajan kanssa 2017).

#### 4.4 Turvallisuus

Radio-ohjattavat kopterit ovat painoonsa nähden tehokkaita niiden lapojen kärjet pyörivät nopeasti ja voivat aiheuttaa ihmiselle vahinkoa (Dro-nelImpact - Aalborg University Youtube kanava, 2017). Kopterit painavat muutamista kymmenistä grammoista aina useaan kilogrammaan asti. Taivaalta putoava kopteri voi osuessaan vahingoittaa ihmisiä ja ajoneuvot tippuvaa kopteria väistäessään voivat aiheuttaa vaaratilanteita muulle liikenteelle. Kopterien radiolaitteisiin voi tulla häiriö jonka seurauksena kopteri saattaa karata hallitsemattomasti lennättäjältään.

Trafin julkaiseman tiedotteen mukaan (Trafin tiedotteet: Turvallisuustiedote ilmaitu, 29.09.2016) kopterit ovat aiheuttaneet vaaratilanteita ilmailukenteelle. Turvallisuustiedotteessa mainitaan näin; " Multikopterien suosio on tuore ilmiö eikä esimerkiksi siitä, mitä seurauksia kopterin joutumisella esimerkiksi suihkukoneen turbiiniin on, ole vielä tutkittua tietoa. Multikopterin osuminen lentokoneeseen tai helikopteriin aiheuttaa kuitenkin aina vaaratilanteen ja pahimmassa tapauksessa hallinnan menetyksen ja koneen putoamisen" ja " Multikopterit aiheuttavat helikoptereille erityisen vaaran, sillä helikopterit voivat toimia hyvinkin matalalla ja näin ollen ilmestyä myöhäisessä vaiheessa näkyviin jolloin lennättäjälle jää hyvin vähän aikaa reagoida. Siksi olisikin syytä välttää lennättämistä ainakin helikopterilentopaikkojen läheisyydessä (jotka hyvin usein sijaitsevat sairaaloiden yhteydessä). Muutenkin on tärkeää huolehtia tähtystyksestä, erityisesti jos alueella tapahtuu usein helikopteritoimintaa". (Trafi 2016.)

#### 4.5 Kopterien edellytykset liikennelaskennoissa

Turvallisuuden lisäämiseksi liikennelaskentoja suoritettaessa pitäisin kopterien kiinnittämistä maahan siiman tai muun avulla perusedellytyksenä. Tällöin kopterin käytöstä tulee turvallisempaa ja hallitumpaa. Liikennelaskennoissa ei ole tarvetta laajoihin kopterin liikkeisiin, vaan kopterin pitäisi pysyä mahdollisimman hyvin paikallaan. Kopterin kameran tuottama kuva tulisi olla vakaata ja värinätöntä ja kuvattava ympyrä tai risteys ei saisi missään vaiheessa laskentaa joutua kuvan ulkopuolelle.

Kopterin olisi kyettävä pysymään ilmassa yli kahden tunnin ajan. Yleisen ruuhkahuippuuntilaskenta ajan mukaisesti. Näin välttyään siltä että laskentavideo koostuisi useasta eri osasta.

Siimalla maahan kiinnitetty kopteri luetaan edelleen kauko-ohjatuksi ilma-alukseksi, vaikkakin se on kytketty maahan. Toisaalta maahan kiinnitetty kopteri luetaan lentoesteeksi, koska sille voidaan määrittää paikka (Sähköpostikeskustelu Trafin edustajan kanssa 2017). Lentoesteestä on ilmailulaissa omat säädöksensä. Ilmailulain (Ilmailulaki 864/2014 158 §) mukaan Suomessa kaikki yli 30m korkeat rakennelmat, kohoumat, mastot yms., jotka ovat lähempänä kuin 45 Km lentokenttää tai lähempänä kuin 12Km varalaskupaikkaa tai muuta lentopaikkaa kuin lentokenttää, luetaan lentoesteeksi ja vaativat lentoesteluvan. Ilmailulain (Ilmailulaki 864/2014 159 §) mukaan sopisin kuitenkin lentokentän läheisyydessä myös alle 30 metrin korkeudella tapahtuvan kuvauksen aina erikseen Finnavian kanssa.

## 5 TESTAUKSET

Hankin idean kokeilemista varten kopterin ja ajattelin tehdä laitteistolla pienimuotoista testausta, turvallisuuden ja luotettavuuden suhteen ennen liikenteen joukkoon vientiä. Hankkimani kopteri on tekniikaltaan ja toiminnaltaan uusi, joten testaaminen sen suhteen oli tarpeellista.

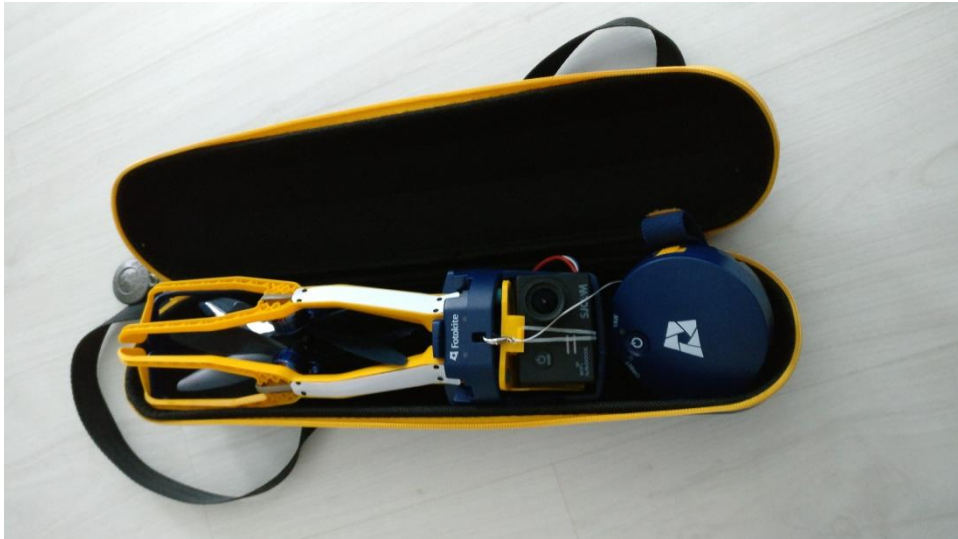
Minulla ei ollut tietoa kameroiden soveltuvuuksista suoraan alaspäin suuntautuvaan kuvaukseen, joten sitä tuli testata myös. Testien perusteella ajattelin saavani kehitettyä kopterin ja kameran toimintaa siten että pienimuotoinen liikenteenlaskentakokeilu voitaisiin toteuttaa turvallisesti ja ettei laskenta epäonnistuisi laitteistovian tai väärän toiminnan seurauksena.

### 5.1 Fotokite phin ja kameroiden valinta.

Pohdin valintaan vaikuttavia kriteereitä markkinoilla olevista koptereista. Kopteri tulisi olla budjettiini sopiva, sen tulisi olla riittävän turvallinen viettäväksi liikenteen joukkoon ja sitä tulisi olla helppo lennättää. Yli kahden tunnin lentoaika ei mielestäni ollut tarpeellista kokeilun toteuttamiseksi.

Päädyin valitsemaan käytännön testauksia varten Fotokite phi quadro-kopterin (Kuva 4), koska sillä on monta ominaisuutta, jotka ovat hyviä laskentoja ajatellen. Kopteri toimii uudella periaatteella, jossa ohjaaminen on helppoa. Kopterin toiminta perustuu siiman ja kopterin väliseen kulmaan. Lähetettäessä kopteri tunnistaa siiman kulman lähettäjän ja itsensä välillä ja pyrkii pitämään sen samana. Ajautuessaan eri kulmaan tuulen yms. häiriön seurauksena kopteri pyrkii palaamaan asetettuun kulmaan takaisin. Kulmaa voidaan säätää lähettämisen jälkeen käsikelan säätimillä. Kopteri on tarkoitettu toimimaan Gopro actionkameralla tai vastaavalla. Kopteri kykenee nostamaan maksimissaan 90 g kuorman ja painaa n. 350 g. Kopterin hinta oli budjettiini sopiva, kopteri maksoi 500 €.

Fotokite tarjoaa myös Pro-nimistä kopteria, joka toimintaperiaatteiltaan on samantapainen Phin kanssa, mutta saa virtansa käytettävästä siimasta. Tällöin kopterissa ei ole painavia akkuja, vaan ne voidaan sijoittaa maahan pidemmän lentoajan mahdollistamiseksi. Aggregaatin käyttö virtalähteenä on myös mahdollista. Tämän tyyppisen kopterin karkaaminen lennättäjältään on mahdotonta, koska kopteri menettää virtansa kaapelin katkeamisen seurauksena ja putoaa. Fotokite Pron hinta on n. 9000 €.



Kuva 4. Fotokite Phi menee kätevästi kasaan kuljetusta varten.

Testikamerat valikoin linssin kulman, hinnan, kuvan resoluution ja painon perusteella. Kamerat taltioivat videokuvan suoraan muistikortille, joten luvussa 4.2 mainittua radiolupaa kuvansiirtoon ilmasta maahan ei tarvitse hankkia. Kopterin valmistaja on oletusasetuksena säätänyt kopterin toimimaan n. 75 g painoisella kameralla. Valmistaja suosittelee Gopro-actionkameran käyttöä ilman akkua. Kopterissa on liitin joka sopii Gopron liittimeen joten akun käyttäminen ei ole tarpeen. Päädyin kuitenkin käyttämään toista vastaavaa actionkameraa Gopron sijaan, koska Gopro on mielestäni kallis. Samoilla ominaisuuksilla olevia actionkameroita on saatavilla halvemmallakin, toisaalta kaikkia Gopro-kameran ominaisuuksia ei tarvitse liikennelaskenta kokeilussa. Käyttämäni kamera on koko nimeltään Sjcam 5000x elite, myöhemmin vain sjcam.

Sjcam maksoi 150 € ja valmistajan ilmoittama paino n. 74 g (Sjcam internet sivut, 2016) ja sen linssin kulma on sama kuin valmistajan suosittelman Gopro kameran 170 (Gopro internet sivut, 2016). Kamera on muilta ominaisuuksiltaan lähes identtinen kopteri valmistajan suosittelman kameran kanssa, lukuun ottamatta kevyempää painoa, jonka ajattelin tuovan lisää lentoaikaa.

Lg 360 CAM ovh on 240 €, valmistajan ilmoittama paino n.76 g (Lg internet sivut, 2016) ja linssien kulmat 2x220. Lg cam toimii täysin eri periaatteella kuin tavallinen actionkamera. Se taltioi kaksi puolipallon muotoista videokuvaa kahden linssin välityksellä. Kameran mukana tulevalla ohjelmalla videot voidaan yhdistää yhdeksi pallonmuotoiseksi videoksi. Päädyin tähän kameravalintaan ensimmäisten testilennätysten jälkeen todettuani, että tavallisen actionkameran kuvaan ei mahdu tarvittavan laajaa aluetta kuvattaessa suoraan ylhäältäpäin.

Verrattaessa kameroita aiemmin luvussa 3 mainittuun Miovision Scout tiedonkeruujärjestelmän kameraan peittoavat ne kameran niin resoluution kuin linssin kulman ja sitä kautta kuvan leveyden suhteen.

## 5.2 Fotokite Phi turvallisuus ja suhtautuminen lakiin

Fotokite Phi-kopteri on siimalla yhteydessä lennättäjään siima tuo lisää turvallisuutta, koska kopteri ei voi karata lennättäjältään siiman mittaa kauemmaksi. Kopterin siiman pituus on 30 m, joten se ei täytä ilmailulain(864/2014) 158 § mukaista lentoesteen määritelmää. Muutoin kopteri luetaan miehittämättömäksi ilma-alukseksi ja siihen pätee Trafin kauko-ohjatun ilma-aluksen säädökset. Kopterin valmistaja on kiinnittänyt erityisesti huomiota kopterin turvallisuuteen mm. suojaamalla potkureiden kärjet niin, ettei niihin voi vahingossa koskea. Lisäksi potkurimateriaali on joustavaa ja testattu ettei se aiheuta haavoja ihoon osuessaan. Siiman äkillinen katkeaminen ja kopterin karkaaminen on myös otettu huomioon kopterin toiminnassa erityisellä hätäkäyttö tilalla. (Fotokite 2017.)

Kuvaaminen yleisillä paikoilla on sallittua, joten koetta/laskentaa varten ilmoitus kaupungille, tai Ely- keskukselle riittänee.

## 5.3 Fotokite phin testilennätykset

Ensimmäiset testilennätykset suoritin kotini lähellä sijaitsevalla luistelukentällä. Mittasin Googlen karttakuvan avulla kentän leveyden ja totesin sen riittävän turvallisuuden puolesta. Kopteri tippuessaan ei voisi aiheuttaa vaaratilanteita ihmisille, eikä tippuessaan takertuisi puihin yms. Testien tarkoituksena on päästä perille kopterin ominaisuuksista käytännössä. Mittasin ennen testejä kopterin siiman pituuden ja merkitsin tussilla merkit 10m, 20m ja 30m kohdille. Näin tietäisin kuinka paljon siimaa on kelattu ulos ja kuinka korkealla kopteri on maasta. Testasin myös akun vaihtoa kenttäolosuhteissa ja ajatuksena oli käyttää kaikki kolme akkua. Testissä tuli esille seuraavat asiat.

- Lentoaika sjcam kameralla on n. 10 min.
- Kopteri menee herkästi hätäkäyttö tilaan ja laskeutuu.
- Koneen laskeutuessa itseksen siima täytyy pitää lähellä maata se muutoin saattaa sotkeutua potkureihin.
- Kopterin nostaminen 30 m korkeuteen on hidasta.
- 15m korkeuden jälkeen kopteria ei voi ohjata.
- Akun vaihto nopeasti on hankalaa.
- Kopteri kadottaa yhteyden käsikelaan 10 m jälkeen.

Yhteenvetona testeistä voidaan todeta että valmistajan ilmoittama 13min lentoaika on saavutettavissa, vain käyttäen Gopro kameraa ilman akkua. Scam kameralla akku paikoillaan lentoaika oli n. 10 min.

Huomasin kopterin menevän hätäkäyttö tilaan noustessa ja laskeutuvan sen takia. Uskoisin tämän johtuvan kopterin turvallisuus ominaisuuteen, joka estää kopterin karkaamisen siiman katketessa ja siiman katkeamisen

tunnistukseen. Nopeasti noustessaan kopteri luulee siiman katkenneen ja laskeutuu. Sain korjattua asian päästämällä siimaa hitaasti sormien välis-  
tä, joten nousunopeus hidastui riittävästi.

Toinen huomio liittyi niin ikään siiman katkeamisen tunnistukseen ja hätälaskeutumistilaan. Kopterin valmistaja on ohjelmoinut kopterin asetuksiin että kopteri laskeutuu, jos kopterin korkeus ylittyy 15 metrillä edellisestä tallennetusta korkeudesta. Kopteri pitää yhteyttä käsikelaan ja tallentaa tiedon sinne. Kopterin noustessa nopeasti tämä tieto ei tallennu riittävän nopeasti, joten kopteri laskeutuu. Sain korjattua ongelman pysäyttämällä nousun n. 10 metrin korkeudelle ja odottamalla hiukan että kopteri saa yhteyden käsikelaan. Tämän jälkeen kopterin nostamista ylemmäksi pystyi jatkamaan. Yhteys käsikelan ja kopterin välillä katoaa kokonaan n. 15 metrin jälkeen, tällöin kopteria ei voi ohjata ollenkaan.

Kun kopteri laskeutuu hätälaskeutumistilassa, on siimaa kelattava nopeasti, muutoin kopteri laskeutuu kauas lennättäjästä ja siima jää maahan, siiman saa tällöin helposti solmuun. Siimaa on syytä myös pitää lähellä maata kopterin laskeuduttua. Sain kerran kiedottua siiman potkureihin kun jäin katsomaan laskeutunutta kopteria jonka potkurit vielä pyörivät ja pidin siimaa epähuomiossa potkurilinjan yläpuolella. Normaalisti kopteri kuuluu ottaa kädellä ilmasta kiinni lennätyksen loputtua.

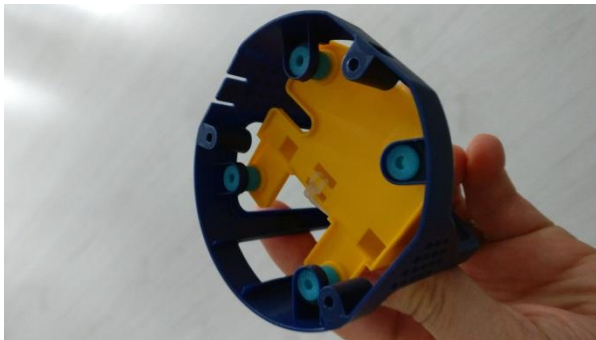
Sain testeissä nostettua kopterin 30 metrin korkeuteen ja otettua ilma-  
kuvaa. Kopteria oli muutoin erittäin helppo lennättää. Aiempien kokemusteni perusteella quadrokopterien lennätys turvallisesti vaatii hyvää taitoa ja tarkkuutta. Fotokiten tapauksessa riitti kun piti kopteria silmällä, mitään erityistä ohjaamista ei tarvittu. Kokeilin jopa jättää käsikelan maahan ja poistuin parin metrin päähän ja kopteri pysyi ilmassa ihan itseseen. Kopteri käyttäytyi vakaasti ja pysyi hyvin paikoillaan.

Akun vaihtaminen kenttäolosuhteissa osoittautui hankalaksi ja toista akkua vaihtaessani tulin vahingoissa irrottaneeksi akku/kamerakotelon, joka on tärinän vaimentamiseksi pienien kumityynyjen varassa, irti kopterista (Kuva 5) kotelon laittaminen takaisin vaatii kehikon irrottamisen (Kuva 6), joten testit loppuivat siltä kerralta siihen.





Kuva 5. Kamera/akkukotelo irronneena kopterista.



Kuva 6. Takaisin kiinnittäminen vaatii kehikon irrottamisen.

Valmistajalta on tullut ohjelmistopäivityksiä kopterin ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen ja päätin kokeilla ohjelmiston päivittämistä myöhempisiin testeihin. Valmistaja on luvannut päivityksissään parantavan turvaominaisuuksien toimintaa käyttäjäystävällisemmiksi. Ennen toisia testilennätyksiä päivitin kopterin ohjelmiston uusimpaan versioonsa.

Olin myös ostanut Lg 360 camin ensimmäisten testilennätysten jälkeen. Ajattelin kameran avulla pystyväni taltioimaan kuvaa laajemmalla alueella, kuin sjcamin avulla. Kamera oli samaa painoluokkaa muiden valmistajan suosittelemien kameroiden kanssa, joten ajattelin sen soveltuvan tarkoitukseen siltä osin. Kameralle ei ollut varsinaisia kiinnikkeitä, koska kopteria ei ollut tarkoitettu käytettäväksi kyseisen muotoisen kameran kanssa, mutta sain kameran kuitenkin tukevasti kiinnitettyä kopteriin. Suoritin testit aiemmin hyväksi todetulla luistelukentällä ja lisäksi vanhempinen kotipihalla, joka alueena oli myös turvallisuuden kannalta testauksiin soveltuva. Testissä tuli esille seuraavat asiat.

- Kamera hidastaa nousunopeutta, ei hätälaskeutumista
- Hätälaskeutuminen tapahtuu, jos ei odota 10 m kohdalla.
- Lentoaika Lg 360 kameraa käyttäen n. 9 min.
- Jos käsikela ei saa yhteyttä kopteriin se sammuttaa itsensä akkua säästääkseen
- Käsikelan akku ei kestä 3 kopterin akun vertaa.
- Löysänä kelattu siima jumittaa käsikelan
- Siima menee helposti kierteelle

Kopterin toiset testilennot osoittautuivat ensimmäisiä helpommiksi. Ras-kaampi kamera hidastaa kopterin nousunopeutta sopivasti, joten siiman syöttämistä ei tarvitse säädellä sormin. Kopteri tosin hätä laskeutui, kun en jäänyt hetkeksi odottamaan 10 m kohdalle. Sain kuitenkin kuvattua hyvän yhtäjaksoisen 10,5 min videon, jossa vain yksi ylimääräinen laskeutumisen välillä. Kiinnitin myös huomiota käsikelaan lennätyksen aikana. Kopteri kadottaa yhteyden kelaan n. 15 m kohdalla edelleen huolimatta uudesta päivityksestä. Käsikela sammuttaa itsensä virtaa säästääkseen jos yhteyttä kopteriin ei ole em. tapahtui kerran kopterin ollessa 30 m korkeudella. Akun vaihtaminen onnistui tällä kertaa, vaihtaessa ei saanut kii-rehtiä ja tuli olla erittäin varovainen. Ongelmia kopterin käyttäytymisessä alkoi ilmaantua viimeisen akun kohdalla. Kopteri meni useasti hätälaskeutumistilaan ja en kyennyt nostamaan sitä 30 m korkeuteen ollenkaan. Uskoisin tämän johtuvan käsikelan akun varauksen laskemisesta. Yhteys käsikelan ja kopterin välillä katoaa jo erittäin matalalla, joten kopteri tulkitsee sen viaksi ja laskeutuu. Useista hätälaskeutumisista johtuen siimaa löysänä kelattaessa sillä on taipumus mennä kierteelle ja lopulta jumiuttaa käsikelan kokonaan.

Ennen kolmansiä testilennätyksiä oli valmistajalta tullut kopteriin uusi päivitys. Uusia ominaisuuksia oli lisätty liian herkän hätäkäytön ja käsikelan kantaman suhteen. Uudessa päivityksessä käsikelan napeilla voidaan kytkeä hätäkäyttötila toimintaan, tai vaihtoehtoisesti sammuttaa kopteri välittömästi ilmassa. Automaattinen hätäkäyttötila oli toiminnaltaan muutettu kokonaan erilaiseksi. Kopteri ei käytä kiihtyvyyssanturiin perustuvaa hätäkäyttö tilaa ollenkaan ja korkeusanturiin perustuvaa karkaamisen tunnistustakin oli muutettu käyttäjäystävällisemmäksi.

Kokeilin kopteria vielä kerran ja totesin, ettei se ole vaaraksi liikenteelle. Kopteri meni edelleen hätäkäyttötilaan kerran jostain syystä, mutta toiminta oli muilta osin varmempaa. Käsikela pystyy pitämään yhteyden kopteriin vielä 25 m asti ja kopteria pystyi ohjaamaan tässä korkeudessa. Kopteri laskeutuu hätäkäyttötilassa kohtuullisen hitaasti, joten siimaa kerkeää kelaamaan sisään ennen kuin kopteri on maassa. Muita turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä en havainnut.

#### 5.4 Kameroiden testaukset

Ensimmäisenä testattavana kamerana kopterissa oli paikoillaan Sjcam Säädin kameran nauhoittamaan heti kun virta laitetaan päälle. Laitoin tarkkuudeksi 1080hd kuvanlaadun. Kuvasin kameralla kaksi videota. toisessa videossa kamera osoitti suoraan alaspäin (Kuva 7) ja toisessa videossa asensin kameran osoittamaan viistosti maata kohti (Kuva 8). Kopterissa on paikat valmiiksi kameran eri asennoille. Tuloksia tutkiessani totesin, ettei linssin kulma 170 ole riittävä liikenteen kuvaamiseen ylhäältä päin (Kuva 9). Kamera soveltuu tosin viistosta ylhäältä kuvaamiseen hyvin (Kuva 10). Miovision Scout tiedonkeruu järjestelmän esimerkki kuviin verrattuna ero kuvan laadussa on huomattava (Kuva 11). Korkeammalla ole-

va kamera kuvaa hyvin esteiden yli ja saa laajemman alueen kuvaan. Mit-  
tasin kameran painon digitaalisella keittiö vaa-alla, painoksi sain 73 g.



Kuva 7. Kamera asennettuna suoraan alaspäin tapahtuvaa kuvausta varten.



Kuva 8. Kamera asennettuna yläviistosta tapahtuvaa kuvausta varten.



Kuva 9. Kuvankaappaus Sjcam videosta suoraan ylhäältä 30 m. korkeudelta.



Kuva 10. Kuvankaappaus Sjcam videosta yläviistosta 30 m. korkeudelta.



Kuva 11. Verrokkikuva Miovision scout laskentalaitteesta.

Toisena testattavana kamerana kokeilin Lg 360 camia (Kuva 12). Mittasin kameran painon digitaalisella keittiö vaa-alla sain painoksi 78 g. Totesin sen olevan riittävän kevyt ilman kopterin kalibrointia.



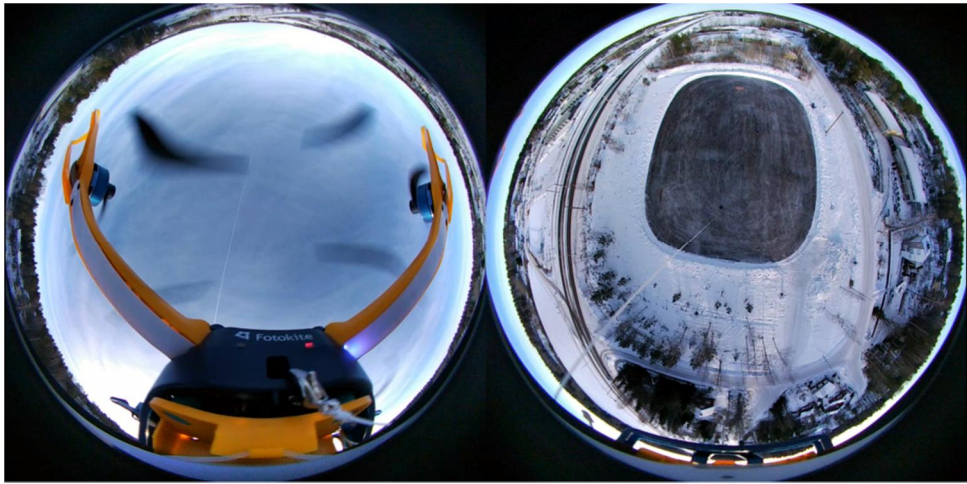
Kuva 12. Lg 360 Cam kamera kopteriin asennettuna.

Kamerassa on kolme kuvausmahdollisuutta 180 kuvaus vain toisella linsillä, sen kummalla linseistä kuvaus tehdään saa valita itse, sekä 360 kuvaus molemmilla yhtä aikaa. Suoritin kuvaukset alaspäin olevalla linssillä 180 toiminnolla ja 360 toiminnolla, joka käyttää molempia linsejä. Videoita tulkitessani huomasin että 180 video ei kata paljonkaan isompaa aluetta kuin sjcamilla suoraan alaspäin kuvattu video. Tämän lisäksi kuva on mielestäni liian epätarkka. 360 asetuksella kuvattu video sen sijaan tallioi kaiken tarvittavan, tarkkuuden ollessa vielä siedettävä. Lg 360 camin ominaisuuksiin kuuluu korkeintaan vain 20 min videon talliointi kerrallaan. Laskentakokeilua ajatellen tällä ei ole merkitystä, koska nauhoituksen voi sammuttaa ja aloittaa uudelleen akun vaihdon yhteydessä. Oikean ruuhkahuippuuntilaskennan suorittamisen kannalta tämä on merkittävää, koska kamera pitää muistaa laittaa uudelleen nauhoittamaan aina 20min välein. Tämän voi tehdä myös älypuhelin sovelluksella maasta käsin kopterin ollessa ilmassa.

Huomasin videoita tutkiessani että tarkkuus ja kuvaan tallioitunut ala riippuu kuvasuhteesta. Lg 360 cam käyttää yhden linssin asetuksilla 16:9 kuvasuhdetta, sjcam käyttää myös 16:9 suhdetta. Lg 360 cam käyttää 360



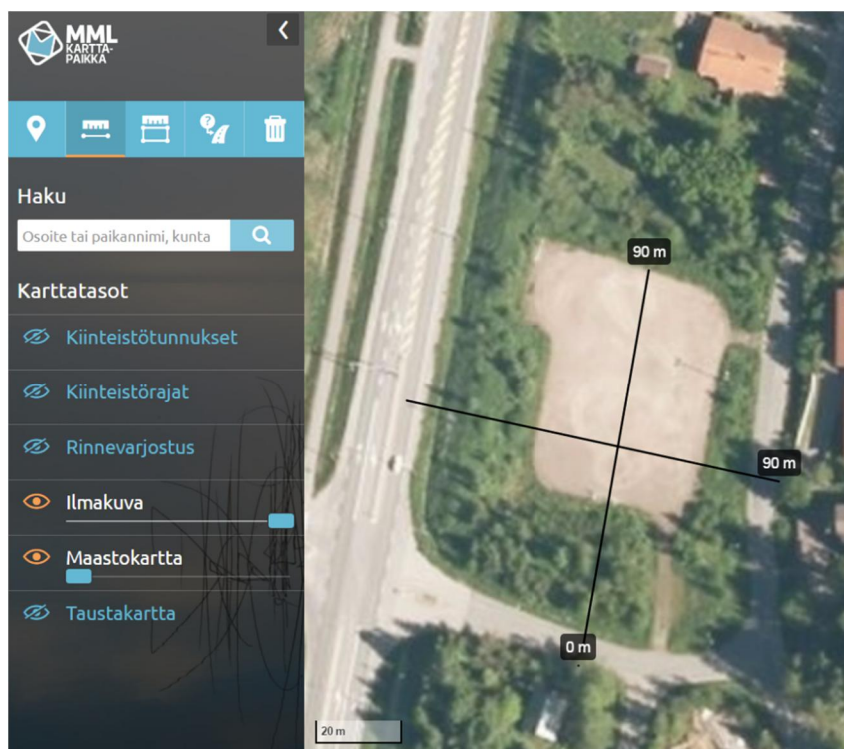
asetuksella kuvattaessa 2:1 kuvasuhdetta, jossa on ylemmän ja alemman linssin taltioima video samassa videossa vierekkäin (Kuva 13). Näinollen alemman linssin taltioima video on kuvasuhteessa 1:1 (Kuva 14). Lisää asiaa tutkittuani tulen tulokseen että Lg 360 camin taltioima 220 linssin kuva taltioituu ympyränmuotoisena ja 1:1 kuvasuhteella (Kuva 16), jonka kamera muuntaa 180 asetuksella 16:9 kuvasuhteeseen zoomaamalla sisään niin paljon että linssin vääristymät reunoilta eivät näy (Kuvat 17 ja 18). Tämän johdosta kuvan tarkkuus heikkenee merkittävästi ja kuvassa näkyvä alue jää yhtä pieneksi kuin sjpgamilla taltioitu video. Mittasin 30 m korkeudelta 360 asteen asetuksilla taltioidusta videosta, kuinka laaja laskennassa käytettävä ympyrä saa maksimissaan olla (Kuvat 15 ja 19). Tämä tulisi olemaan laskenta alueena käytettävän ympyrän maksimihalkaisija. Koko kuvaa ei voi käyttää linssin laidoilla tekemän vääristymän ja kopterin liikkumisen takia.



Kuva 13. Kuvakaappaus Lg 360 Cam videosta, kamera kuvaa 2:1 kuvasuhteella olevan videon, jossa on molempien linssien taltioima näkymä yhdistettynä.



Kuva 14. Kuvakaappaus Lg 360 cam videosta, josta on leikattu ylemmän linssin kuva pois. Kuva on 1:1 kuvasuhteessa 30 m. korkeudelta otettuna.

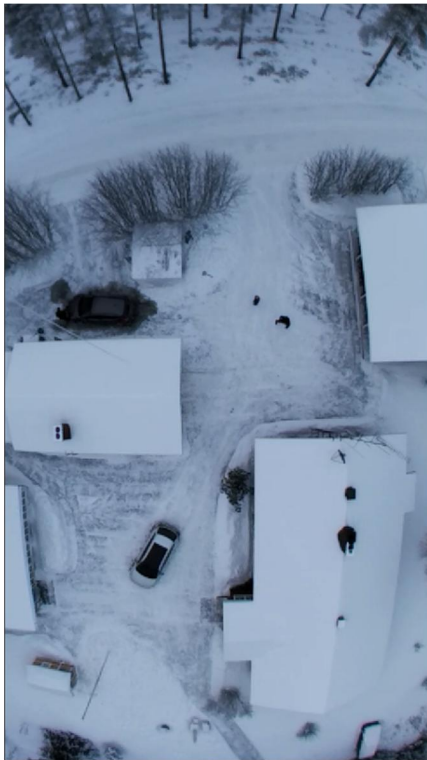


Kuva 15. Kuvakaappaus MML verkkosivuilta kuvaan mitattuna kuvatun alueen etäisyydet.





Kuva 16. Kuvakaappaus Lg 360 testivideosta 30 m korkeudelta.

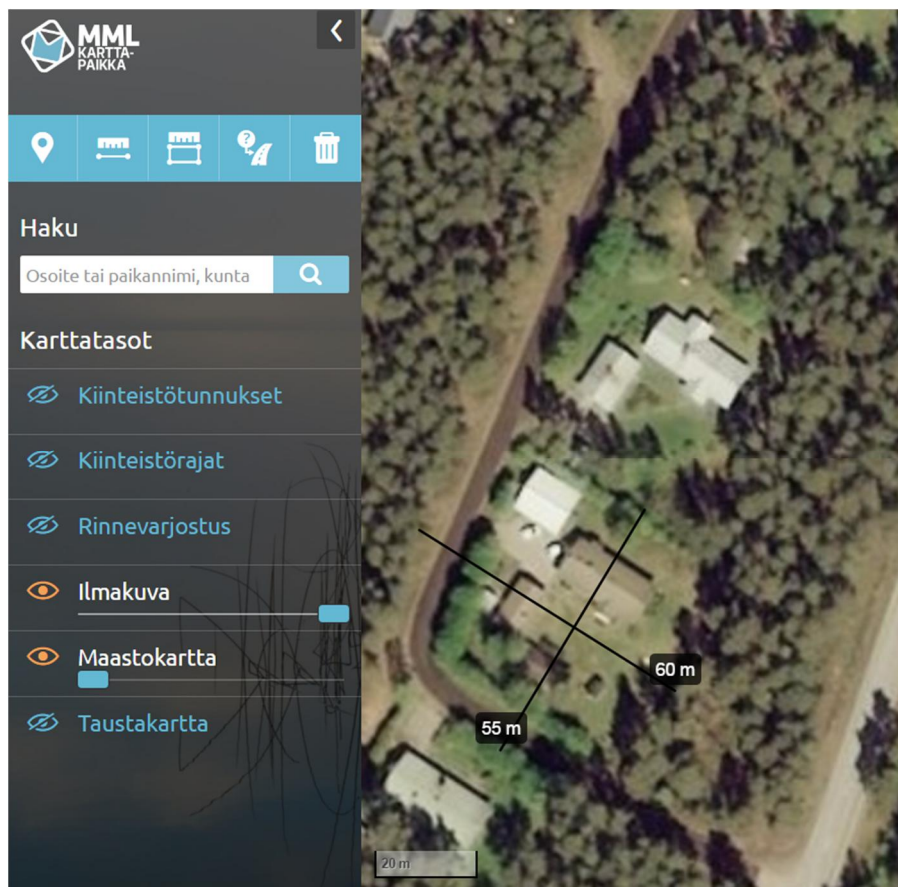


Kuva 17. Kuvakaappaus Lg 360 Cam videosta, video on kuvattu 180 asteuksella 30 m korkeudelta.





Kuva 18. Kuvakaappaus Lg 360 Cam videosta, video on kuvattu 180 asteuksella 30 m korkeudelta.



Kuva 19. Kuvakaappaus MML verkkosivuilta kuvaan mitattu kuvatun alueen etäisyydet.

## 5.5 Yhteenveto testeistä

Testien perusteella Fotokite Phi kopteria ja Lg 360 kameraa voidaan testata liikennelaskentatilanteissa seuraavin ehdoin.

- Sateeton keli, pieni tuuli ei haittaa
- Ympyrän halkaisija ei enempää kuin 45 m.
- Ympyrän keskellä ei ole kasvillisuutta tai sellaista estettä johon siima voi takertua
- laskennan kokeiluun riittää 3x8 min videota
- Kopterin pystyy ottamaan alas ja vaihtamaan akun laskennan aikana
- Käsikela voidaan käyttää lataustilassa
- Käytettävä Lg 360 cam kameran taltioima video on sellainen että siitä voidaan tunnistaa liikennettä.

Laskentaan soveltuvaa videokuvaa voidaan tuottaa yläviistosta kuvaamalla ja käyttämällä ensimmäisessä testissä ollutta sjcam5000x elite kameraa. Toinen tapa on kuvata ympyrän keskeltä suoraan alaspäin Lg 360 CAM kameralla. Maailmalla on tehty kokeita käyttäen kuvauskopteria ja kuvaamalla ympyrän sivusta yläviistosta (Datafromsky Youtube kanava 2017), joten ajattelin laskennassa käyttää lg 360 camia, koska kalansilmä linssiä käyttävän kameran videosta ei ole aiemmin tehty kokeita kuvantunnistuksen suhteen.

## 6 LIIKENNELASKENTAKOKEILU

Liikennelaskentakokeilussa päädyin käyttämään Lg 360 CAM kameraa, koska sen laajakulmainen linssi soveltui parhaiten kuvattavaan alueeseen suoraan ylhäältäpäin kuvattaessa. Suoritin laskennat Järvenpäässä sijaitsevan ympyrän keskellä seisoen ja n. 20 metriä ympyrän yläpuolelta kuvaten.

### 6.1 Valmistelut

Tutkin kotini lähialueelta kokeilulaskentaan soveltuvia ympyröitä ja valitsin kohteeksi Järvenpäässä pohjoisväylän ja poikkitien risteyksessä sijaitsevan ympyrän. Ympyrä sijoittuu moottoritien ja Järvenpään keskustan väliselle kulkureitille, joten ajattelin liikennettä olevan riittävästi. Valitsin kuvauspäiväksi kuitenkin lauantai aamupäivän, koska ajattelin liikennevirran olevan sopivan rauhallinen, jos jotain odottamatonta tapahtuu.

Mittasin ympyrän halkaisijaksi maanmittauslaitoksen maastokarttakuvasta n.40-45 m. Tarkkaa ilmakuvausta mitattua tietoa en saanut, koska ympyrä on vasta valmistunut, joten ilmakuvaa ei vielä ollut palvelussa. Mittasin laskennassa käytetyn ympyrän keskialueen halkaisijan paikan päällä, sain tulokseksi n.20 m. Laitoin kopterin siimaan merkin 20 m kohdalle. Tätä merkkiä ylemmäksi en tulisi kopteria laskennan aikana päästämään. Siiman mitan mitoitin siten että kopteri ei laskeutuessaan pääsisi ajoradalle. Tulisin seisomaan ympyrän keskellä, joten kopterin odottamattomasta syystä tapahtuva hätälaskeutuminen olisi hoidettavissa kävelemällä ympyrän toiselle reunalle ja siimaa samanaikaisesti sisään kelaten. Otin myös huomioon kopterin putoamisen nopeasti esimerkiksi moottoririkon sattuessa. Tällaisessa tilanteessa olisi minulla riittävästi aikaa juosta toiselle laidalle ympyrää ja siten estää kopterin liikenteen sekaan joutuminen. Kuvasin koekuvauksen, jossa kokeilin kopterin 20m korkeuden riittävyyden suhteessa kuvan näkymä-alaan ja totesin ympyrän liittyminen mahtuvan kuvaan hyvin. Kuvauskalustona oli Kopteri, kamera ja kolme akkua.

### 6.2 Laskentakokeilu kuvauspäivä

Kuvauspäivänä liikenne oli sopivan rauhallista ja autoja tuli kohtuullisen tasaisena virtana ja pitkiä autottomia jaksoja ei ollut. Keli oli poutainen ja hieman tuulinen. Tuuli muutti suuntaa kuvauksen aikana ja jouduin hieman kävelemään ympyrän keskialueella pitääkseni kopterin suhteellisen keskellä ympyrää.

Kuvasin kopterilla kahden akun verran päädyin ratkaisuun testien perusteella tehtyjen havaintojen pohjalta. Testeissä toisen akun jälkeen käsikelan akun varaus laski, jolloin kopterin hätäkäyttötila aiheutti hätälaskeu-

tumisia. Tämän vuoksi en halunnut ottaa riskiä. En myöskään pystynyt lataamaan käsikelaan kopterin akunvaihdon yhteydessä laskentatilanteessa. Kopteri pysyi ilmassa n. 9 min verran kummallakin akulla, nostamiseen ja laskemiseen kului aikaa 2 min verran. Akun vaihdon yhteydessä katkaisin videon nauhoituksen ja laitoin kameran nauhoittamaan uutta videota toisen akun ajaksi. Näin ollen sain kokonaisuudessaan n. 18 minuuttia laskenta videota aikaiseksi. Totesin ettei enempää videokuvaa tarvita tiedonkeruutavan kokeilemiseksi. Videon perusteella pystyy jo selvittämään voiko videokuvasta tunnistaa ajoneuvoja.

### 6.3 Laskentavideoiden editointi

Koelaskennasta saadut videot ovat kohtuullisen tarkkoja, niistä pystyy tunnistamaan autot helposti silmäääräisesti. Videokuva tosin on hyvin epävakaata, videossa on paljon linssin aiheuttamaa vääristymää ja kopteri ilmassa liikkuessaan heiluttaa kameraa, joten videota tuli vakauttaa jälkikäteen erillisellä ohjelmalla. Tuloksena saadut kaksi erillistä videota tuli myös liittää yhteen yhdeksi yhtämittaiseksi videoksi.

Käytin videon editointiin ja kuvan heilumisen poistoon adobe premiere pro 2017 ja adobe after effects 2017 -ohjelmia. Ensimmäisessä vaiheessa molemmista videoista tuli leikata alusta ja lopusta kopterin nouseminen ja laskeutuminen pois. Sen jälkeen tuli korjata laajakuvalinssin aiheuttamaa vääristymää vähemmäksi. Vääristymää korjasin after effectsin warp toiminnolla.

Seuraavaksi kuva tuli vakauttaa. Käytin kuvan vakauttamiseen after effectsistä löytyvää motion tracker toimintoa, jossa yhtä tai useampaa videossa olevaa referenssipistettä seuraamalla saataisiin kuvan heiluminen ja pyöriminen seurattua (Kuva 20). Toiminto käyttää algoritmeja, joiden avulla se seuraa käyttäjän valitseman pikselijoukon liikkumista kuvaruudulla. Tätä toimintoa varten olisi voinut kuvaustilanteessa viedä maastoon helposti erottuvat referenssipisteet, joten ohjelman olisi ollut helpompaa seurata liikettä. Referenssipisteinä voisi käyttää vaikkapa A3 paperia jossa on jokin selkeä kuvio esimerkiksi valkoinen neliö mustalla pohjalla. Tracking toiminnon jälkeen kuva saatiin vakautettua lisäämällä seurattu liike kuvan kehukseen, jolloin kuvan kehys liikkuu seurattun liikkeen mukaisesti.

Tuloksena on liikkumaton kuva. Kuvan kehys liikkuu kuvan liikkeiden mukaisesti, joten kehyksessä oleva kuva pysyy paikoillaan. Kokeilin aluksi tracker toimintoa ennen linssin vääristymän korjausta, mutta lopputuloksessa linssin vääristymä ikään kuin liikkuu muutoin liikkumattomalla ruudulla, joten vääristymän vähentäminen tuli tehdä ennen kuvan vakauttamista. Vääristymää silti jäi lopputulokseen vielä ja kuva ikään kuin venyy vääristymän vaeltaessa pitkin kuvaa. Tämä kuitenkin oli parasta mitä kykenin tuottamaan tällä erää (Kuva 21).

Videot tuli vielä liittää yhteen. Toteutin tämän siten että ensimmäisen videon loppuosa ja toisen videon alkuosa menivät hiukan päällekkäin aikajanalla. Säädin ensimmäisen videon hieman läpinäkyväksi ja kohdistin toisen videon ympyrän keskellä olevan kasvillisuuden mukaan kohdalleen. Kun sain videon jatkumaan kohtuullisen hyvin videosta toiseen poistin ensimmäisen videon läpinäkyvyyden ja ajoin videon ulos. Tuloksena tuli n.12.5 min mittainen video, jossa vaihtuminen videosta toiseen ei aiheuta liittymien kohdan muutosta kuvaruudulla. Videoon jäi vielä hieman liikettä ja vääristymää linssistä joka aiheuttaa kuvan venymistä. Lopputulos on kuitenkin kohtuullisen hyvälaatuista.

Videoiden editointiin kului aikaa kolmen täyden työpäivän verran. Osa ajasta kului kuitenkin ohjelmien eri toimintojen opetteluun ja kokeiluun. Lopullinen editointi tuli tehdyksi yhdessä työpäivässä.



Kuva 20. Kuvakaappaus videon liikkeen vähentämisestä Adobe After effects ohjelmalla.

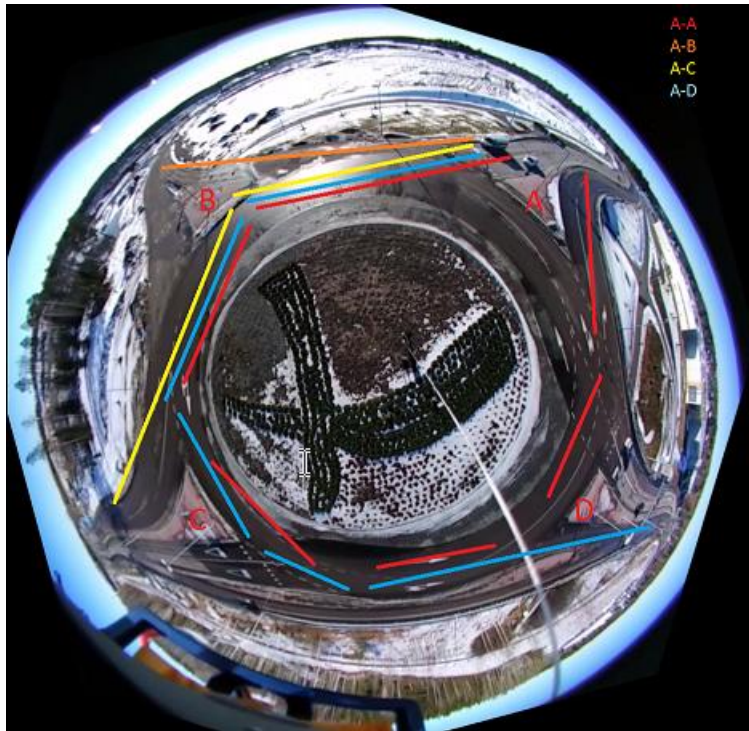


Kuva 21. Kuvakaappaus valmiista laskenta videosta.

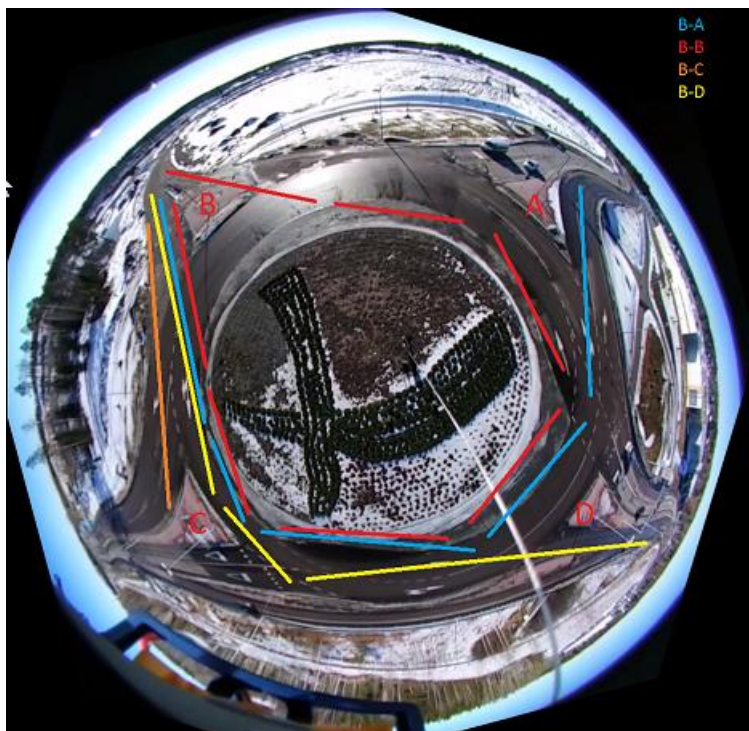
#### 6.4 Laskennan tulokset

Laskin tulokset käsin ja nimesin tulo ja menosuunnat seuraavasti. A, B, C ja D. sain laskettaville liikennevirroille seuraavat yhdistelmät A-A, A-B, A-C, A-D (Kuva 22), B-A, B-B, B-C, B-D (Kuva 23), C-A, C-B, C-C, C-D (Kuva 24), D-A, D-B, D-C ja D-D (Kuva 25).

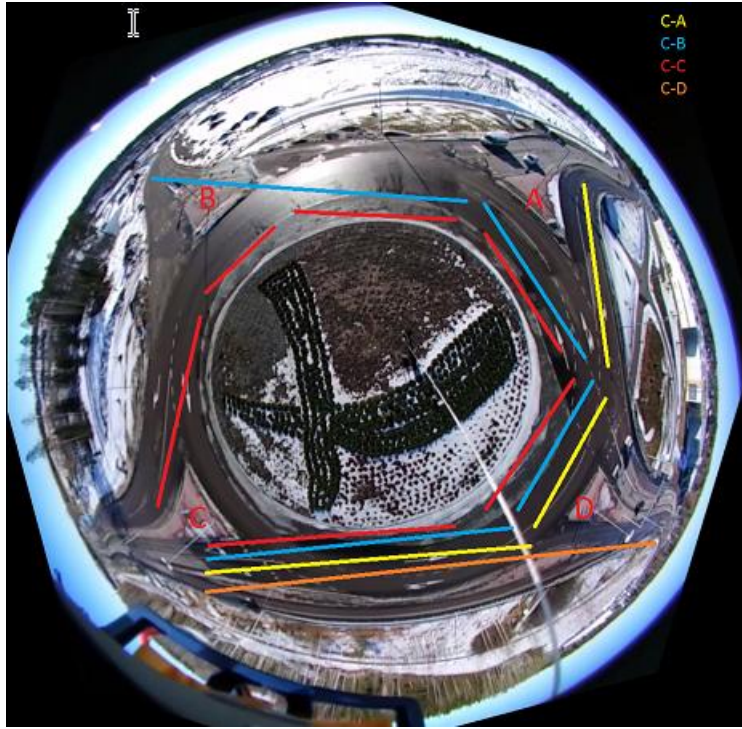




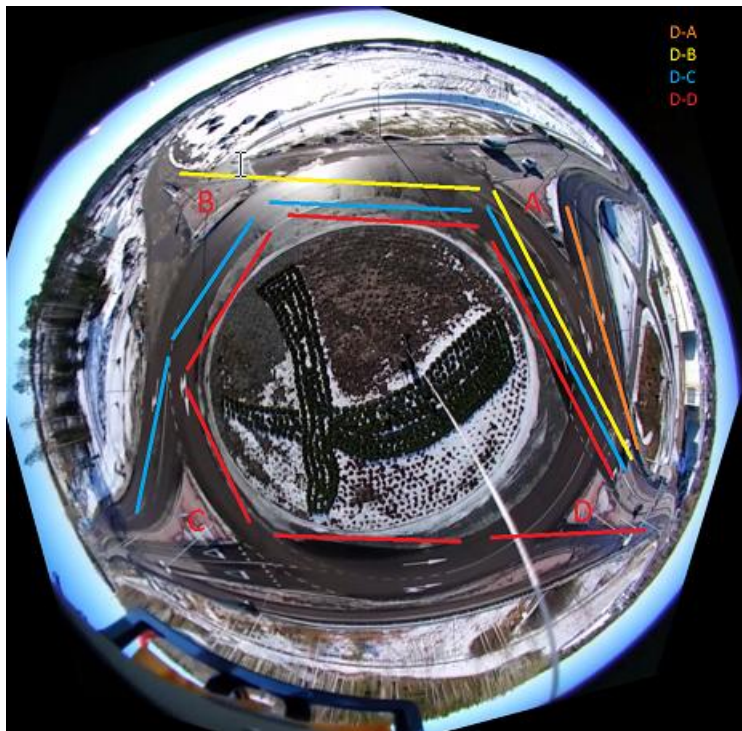
Kuva 22. Liikennevirrat suunnasta A.



Kuva 23. Liikennevirrat suunnasta B.



Kuva 24. Liikennevirrat suunnasta C.



Kuva 25. Liikennevirrat suunnasta D.



Liikenne jakaantui ympyrässä seuraavasti.

- A-A=1
- A-B=0
- A-C=26
- A-D=23
- B-A=0
- B-B=0
- B-C=0
- B-D=0
- C-A=26
- C-B=0
- C-C=0
- C-D=68
- D-A=26
- D-B=0
- D-C=78
- D-D=0
- Yht. 248 autoa.

## 7 VIDEOTUNNISTUS

Tarjosin videota analysoitavaksi luvussa 3 esiteltyihin yrityksiin. Yrityksistä Miovision vastasi nopeasti ja vaikutti kiinnostuneelta. Yritys hyväksyi videon kokeiltavaksi. Toinen yrityksistä Datafromsky ei vastannut sähköpostiin ollenkaan. Pienimuotoiseksi ongelmaksi muodostui videon lähettäminen yritykselle, koska tiedosto on 1,2 Gb kokoinen. Sain kuitenkin Dropboxin 30 päivän ilmaisen lisenssin turvin lähetettyä videon analysoitavaksi.

### 7.1 Tulokset

Miovision ilmoitti laskennan tarkkuudeksi n. 90 %. Vastauksen mukaan ongelmia aiheutti linssin vääristymä kuvan reunoilla. Vastauksessa mainittiin myös että ohjelma tunnistaa autot hyvin videon yläpuolelta, mutta kuvassa ympyrän alapuolella autojen ollessa ikään kuin väärinpäin tunnistuksessa ilmeni epätarkkuutta. He kysyivät onko kalansilmälinssin käyttäminen pakollista ja kertoivat kokeilleensa liikennelaskentoja yläviistosta normaalilla kameralla varustetulla kopterilla kuvatusta videosta ilman ongelmia. Miovisionin raportin mukaan liikenne jakaantui ympyrässä seuraavasti. Videosta pystyi myös erittelemään ajoneuvoja eri kokoluokkiin.

- A-A=1
- A-B=0
- A-C=28
- A-D=23
- B-A=0
- B-B=0
- B-C=0
- B-D=0
- C-A=26
- C-B=0
- C-C=0
- C-D=63
- D-A=26
- D-B=0
- D-C=76
- D-D=0
- Yht. 242 autoa.

## 8 YHTEENVETO LASKENTOJEN TULOKSISTA

Tuloksien perusteella voidaan todeta että käyttämälläni kuvauskalustolla kuvatusta videosta voi tunnistaa ajoneuvot ja määrittää liikennevirrat, niin käsin kuin myös kuvantunnistus ohjelmistoa apuna käyttäen. Liikenne-laskentaohjelman saama tulos poikkesi hieman omasta käsin laskemas-tani tuloksesta. Liikennevirrassa välillä A-C poikkeama on 7 %, välillä C-D 8 % ja välillä D-C 3 % luokkaa muutoin tulokset olivat samat. Huomioitavaa on että käsin laskennassa ei inhimillisestä virheestä johtuen tarkkuus ole 100 %. Yritys ilmoitti laskennan tarkkuudeksi tässä laskennassa n. 90 %, joka omaan käsinlaskentatulokseeni verrattuna pitää mielestäni paik-kaansa. Kuvan vääristymisestä johtuva epätarkkuus videolaskentaohjel-malla tehdyssä laskennassa voidaan korjata käyttäen erilaista kameraa. Kuvatussa ympyrässä olisi toiminut myös ympyrän sivulta yläviistosta ku-vattu sycamin tai vastaavan tuottama kuva. En halunnut sellaista käyttää, koska Datafromsky yhdessä Elistair- nimisen yrityksen kanssa on jo tutki-nut tällaisella kameralla varustetun kopterin tuottamaa kuvaa hyvin tu-loksin. Youtube- videopalvelusta löytää videoita kokeesta Datafromsky-yrityksen omalta kanavalta.

Olisin halunnut analysoida testivideota käsin käyttäen Datafromsky- yri-tyksen tarjoamaa ilmaista kokeiluersiota ja tutkia samalla ohjelman toi-mintaa käytännössä, mutta en saanut sitä toimimaan omalla koneellani. Yritys ei vastannut sähköpostiini, joten ohjelman testaaminen jäi tulevai-suuteen.

## 9 LOPPUPÄÄTELMÄ

Liikennelaskennat voidaan toteuttaa liikennettä kuvaten, kopteria ja videolaskentaa apuna käyttäen. Laitteisto jollaisella laskentaa voitaisiin ammattimaisesti suorittaa maksaa kuitenkin todella paljon. Videon alkuperäinen laatu josta jälkikäsitteily tehdään vaikuttaa käsittelyyn kuluvaan aikaan ja lopputulokseen. Hyvin epävakaan kuvan heilumisen poistaminen on työlästä ja vaatii enemmän aikaa. Hyvälaatuisenkin videon jälkikäsitteilyä joutuu silti hieman tekemään. Uskoisin paremmalla kalustolla suoritetuissa laskennoissa päästävän parempaan tarkkuuteen. Tämän kokeilun perusteella tarkkuus videolaskentaa käyttäen on n. 90 %.

Turvallisuus on yksi merkittävä tekijä joka vaikuttaa paljon kuvausten suunnitteluun ja toteuttamiseen. Laki rajoittaa kuvauksia hieman, mutta ei kuitenkaan täysin kiellä. Käyttämälläni laitteistolla laskentojen tekeminen ei ole mahdollista, koska lentoaika on liian lyhyt. Käytetyn kameran linssin vääristymä tuotti myös ylimääräisiä ongelmia ajoneuvojen tunnistukseen. Kokeiden perusteella päädyin seuraaviin johtopäätöksiin.

Kokeessa tuli testattua kahden erillisen videon liittäminen sujuvasti toisiinsa. Editointi on aikaa vievää työtä ja sen vähentäminen mahdollisimman pieneksi osaltaan laskee liikennelaskennan kokonaiskustannuksia. Tämän johdosta tekniikka, jossa kuvaukset suoritettaisiin kahta akkukäyttöistä kopteria kuvauksiin käyttäen, on mielestäni poisluettu. Tekniikalla tarkoitan menetelmää, jossa ennen ensimmäisen kopterin akun loppumista lennetään toinen kopteri sen lähelle. Tämän jälkeen lennetään ensimmäinen kopteri akunvaihtoon ja ennen toisen kopterin akun loppumista ensimmäinen kopteri lennetään takaisin toisen kopterin lähelle jne. Näin menetellen saataisiin kopterien akkujen vaihdosta aiheutuva katkos laskennassa poistettua. Laskennan loputtua tulisi editoida molempien kopterien tuottamat videot yhdeksi yhtämittäiseksi videoksi videolaskentaa varten. Mielestäni tällainen menettely lisää editointiin kuluva aikaa merkittävästi, jopa useisiin päiviin. Yhdellä kopterilla kuvatusta yhtämittäisestä videosta ei ole pakollista editoida edes nousua tai laskua ollenkaan, vaan videolaskenta voidaan aloittaa ja lopettaa tietyn kellonajan kohdalla.

Kopterin tulisi saada virtansa johdinta pitkin maasta siihen tarkoitettulta erilliseltä yksiköltä, koska riittävän ilmassaolo-ajan saavuttamiseksi yhtä kopteria käytettäessä akkujen paino kasvaa liian suureksi. Samoin kopterin kameran kuva ja kopterin ohjaamiseen tarkoitettu tiedonsiirto tulisi toteuttaa samaa kaapelia pitkin esimerkiksi valokuidulla. Tällöin saadaan joka korkeudella luotettavasti ohjautuva pitkään ilmassa pysyvä alusta kameralle, jonka kuva saadaan hyvälaatuisena siirrettyä ilman ulkopuolisia häiriöitä talteen maassa olevaan tallennusvälineeseen. Tällöin videokuvaa voitaisiin taltioida suuria määriä eikä tallennusvälineen paino tuota ongelmia. Näin välttyään myös muistikorttien käyttämiseltä, joilta lataa-

minen jatkokäsittelyä varten on hidasta. Tallennusvälineenä kävisi SSD tyyppinen ulkoinen kovalevy ja erillinen videotallennin. Radiolupaa kuvansiirtoon ei tarvittaisi.

Tällaisella tekniikalla toteutettuna jopa 12 h laskennat pystyttäisiin suorittamaan. Maayksiköstä virtansa saavat kopterit ovat kuitenkin nykypäivänä todella kalliita ja tekniikka on vielä kehittymässä. Uskoisin tulevaisuudessa tällaisten kopterien yleistyvän ja hintojen laskevan.

Ammattitasaisten kopterien hinnat alkavat tuhannesta eurosta. Tällaiseen kopteriin soveltuva maahan sijoitettava virtalähde maksaa 2 999 \$-60 000 \$. Lisäksi tällainen virtalähde vaatii verkkovirtaa esim. aggregaattista. Laskenta videotunnistusta käyttäen maksaa 2000 €/v (laskentaohjelman lisenssi), tai n. 34 €/laskentatunti (lähetettynä yritykseen, joka hoitaa laskennan). Lisäksi tarvitaan tehokas tietokone, videon editointiohjelmisto, hyvälaatuista videokuvaa tuottava kamera, paljon muistikapasiteettia, erillinen videotallennin yms.

Laskenta-aikana tulisi vallita kohtalaisen hyvä sää. Kuvauslaitteistoja ei ole tarkoitettu toimivaksi sateessa. Pimeään aikaan tehdyistä laskennoista ei löytynyt minkäänlaista tietoa, joten liikennelaskentojen suorittaminen tulisi tehdä päiväsaikaan. Videolaskentayritykset olivat tosin kiinnostuneita tutkimaan esimerkiksi lämpö- tai infrapunakameroilla pimeään aikaan kuvattuja videoita. Kopterien tuulensietokyky on kohtalaisen hyvä, normaalilla tuulisella kelillä laskentojen tekeminen onnistuu.



## LÄHTEET

Datafromsky 2017, noudettu 2017.

<http://datafromsky.com/>

DJI valmistajan sivut 2017, noudettu 2017.

<http://www.dji.com/>

Finlex, Ilmailulaki 864/2014, noudettu 2017.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140864>

Fotokite 2017, noudettu 2017.

<https://fotokite.com/>

Elistair 2014, noudettu 2017.

<http://elistair.com/>

Gopro cameras 2016, noudettu 2017.

<https://gopro.com/>

Hoverfly 2017, noudettu 2017.

<https://www.hoverflytech.com/>

Lg 2009-2017, noudettu 2017.

<http://www.lg.com/us/mobile-accessories/lg-LGR105.AVRZTS-360-cam>

LO 39/2015. Liikenneviraston ohjeita 39/2015: Perusverkon eritasoliittymät suunnitteluohje luku 2 2015, noudettu 2017.

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2015-39\\_perusverkon\\_eritasoliittymat\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2015-39_perusverkon_eritasoliittymat_web.pdf)

Miovision 2017, noudettu 2017.

<https://miovision.com/>

Polarity, Electrical tether systems (UAV) 2009. noudettu 2017.

[http://www.polarity.net/Products/Electrical\\_Tether\\_Systems\\_\(UAV\)](http://www.polarity.net/Products/Electrical_Tether_Systems_(UAV))

Sjcam cameras 2017, noudettu 2017.

<http://sjcamhd.com/>

Trafi Miehitämätön ilmailu 2017, noudettu 2017.

[https://www.trafi.fi/ilmailu/miehitamaton\\_ilmailu](https://www.trafi.fi/ilmailu/miehitamaton_ilmailu)

Trafin määräys: OPS M1-32 kauko-ohjatuista ilma-aluksista ja lennokeista 1.1.2017.

[https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS\\_M1-32\\_VALMIS\\_maarays\\_RPAS\\_fi.pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf)

Trafi tiedotteet: Turvallisuustiedote Ilmailu 29.8.2016

[https://www.trafi.fi/filebank/a/1472468469/794f1685093843f7b956fd3d8b64a10e/22300-Ilmailu\\_turvallisuustiedote\\_RPAS\\_lennokki.pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1472468469/794f1685093843f7b956fd3d8b64a10e/22300-Ilmailu_turvallisuustiedote_RPAS_lennokki.pdf)

Viestintävirasto, Kauko-ohjatut kopterit (UAS/RPAS/Drone) - taajuudet ja lupa-asiat 2017, noudettu 2017.

<https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/kauko-ohjatutkopterit.html>

Youtube Datafromsky channel 2017.

<https://www.youtube.com/channel/UCkgOndcaB79uGSMZGGmNktA>

Youtube DronelImpact - Aalborg University 2017

[https://www.youtube.com/channel/UCu\\_iJC8iWK9VYzrXeAvzi1g](https://www.youtube.com/channel/UCu_iJC8iWK9VYzrXeAvzi1g)

Youtube Elistair channel 2017.

[https://www.youtube.com/channel/UC\\_eq1ho7WP04UFmj5qnR-\\_g](https://www.youtube.com/channel/UC_eq1ho7WP04UFmj5qnR-_g)

#### KUVALÄHTEET

Kuva 1 Miovision internet sivu 2017, noudettu 2017.

<https://miovision.com/wp-content/uploads/2013/02/Scout-Polemound-2014-e1399998875302.png>

Kuva 2 Datafromsky internet sivu 2017, noudettu 2017.

[http://datafromsky.com/wp-content/uploads/2016/05/DataFromSkyViewer\\_background.png](http://datafromsky.com/wp-content/uploads/2016/05/DataFromSkyViewer_background.png)

Kuva 3 Elistair internet sivu 2017, noudettu 2017.

<http://elistair.com/wp-content/uploads/2015/05/tethered-drone-uav-elistair.jpg>

Kuva 11 Miovision internet sivu 2017, noudettu 2017.

<https://miovision.com/wp-content/uploads/2013/02/Scout-Polemound-2014-e1399998875302.png>

Kuva 15 Maanmittauslaitos. Kansalaisen karttapaikka. 2017.

Kuva 19 Maanmittauslaitos. Kansalaisen karttapaikka. 2017.