

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tieto- ja viestintäteknikan koulutusohjelma

Mika Nissinen
Teemu Siponen

DJI MAVIC PRO:N HYÖDYNTÄMINEN KORJUUVAURIOIDEN
KUVAUKSESSA

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2018
Tieto- ja viestintäteknikan
koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Mika Nissinen, Teemu Siponen

Nimeke
DJI Mavic Pro:n hyödyntäminen korjuuvaurioiden kuvauksessa

Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä tutkimme DJI Mavic Pro -dronen lennätysmahdollisuuksia metsässä harvesterin ajourilla. Tätä asiaa selvitimme sitä varten, että kehitteillä olevaa vaurionkuvauuskameraa olisi mahdollista tulevaisuudessa käyttää automatisoidusti.

Oleellisin laite opinnäytetyössä oli DJI Mavic Pro -merkkinen ilma-alus. Koska opinnäytetyössä lennätimme kyseistä dronea, oli tärkeää tietää siihen liittyvät säädökset ja määräykset. Ohjelmistoja, joita käytimme, olivat muun muassa DJI Flight Planner -tietokoneohjelma, Microsoft Office ja tabletille asennettu DJI Ultimate Flight -ohjelma. GPS-koordinaatit siirsimme tiedostosta toiseen koelentojen suorittamiseksi. Tätä varten kävimme myös läpi teoriaa paikannustekniikoista.

Suoritimme teoriaosuuden jälkeen koelentoja, joiden avulla selvitimme dronen lennätystarkkuuksia, dronen toimintaa esteen tullessa vastaan, sekä dronen käyttäytymistä maaston korkeuden muuttuessa. Teimme koelennot pääasiassa hiekkakentällä.

Lopuksi pohdimme koelentoilla saatuja tuloksia dronen käyttömahdollisuudesta harvennushakkuun ajouran kuvauksessa. Lisäksi pohdimme paikannusjärjestelmien luotettavuutta ja tarkkuutta ja dronen esteentunnistuksen toimintaa.

Kieli

suomi

Sivuja 35

Liitteet 3

Liitesivumäärä3

Asiasanat

drone, lennokki, korjuuvaurio, ajoura, laadunvalvonta



THESIS
December 2018
Degree Programme in Information and Communications Technology

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Mika Nissinen, Teemu Siponen

Title
Utilizing DJI Mavic Pro for photographing harvesting damages

Commissioned by
Karelia UAS

Abstract

In this thesis the possibilities to fly DJI Mavic pro at a logging trail were studied. This was because camera system that is in the development phase could be utilized to record harvesting damages. The camera system could be mounted on the drone so the recording could be automated in the future.

The most important device in this thesis was DJI Mavic Pro. It was important to know the aviation regulations before the test flights. The programs used were DJI Flight Planner, Microsoft Office, and DJI Ultimate Flight which was installed to a tablet. GPS coordinates were moved from one file to another with computer to perform the test flights. For this reason, theory on locating technologies was also studied.

After the theory some test flights were performed. With the test flights it could be seen how accurate was the locating drone's flight path, how the drone behaved in front of an obstacle and what did the drone do when the height of the landscape changed. Most of the test flights were conducted at a sand-based sports field.

Finally, the results of the test flights are discussed. Some recommendations are made for flying the drone at the logging trail. There is also discussion about the accuracy of locating technologies and how the drone's obstacle avoidance system works.

Language

Finnish

Pages 35

Appendices 3

Pages of Appendices 3

Keywords

drone, aircraft, harvesting damage, logging trail, quality control

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Metsänhoito ja puuston vaurioiden kuvaus.....	6
2.1	Harvennushakkuu	6
2.2	Puuston vauriot.....	7
2.3	Ajourat.....	7
3	Laitteisto ja henkilöstö.....	7
3.1	Työpari.....	8
3.2	Sidosryhmät	8
3.3	Laitteisto	8
4	Ilmailulainsäädäntö.....	10
5	Ohjelmistot	12
5.1	DJI Flight Planner.....	12
5.2	Litchi	16
5.3	DJI Ultimate Flight	17
6	Paikannustekniikat	17
6.1	GPS	18
6.2	GLONASS.....	19
6.3	WGS-84.....	20
7	Tiedostot.....	20
7.1	Garmin käsi-GPS -tiedosto	20
7.2	Handy GPS -tiedosto.....	21
7.3	DJI Flight Planner CSV-tiedosto.....	21
8	Koelennot	23
8.1	Dronen käyttöönotto.....	23
8.2	Reitin tallentaminen.....	24
8.3	Ensimmäinen koelento, reitin seuraaminen.....	25
8.4	Toinen koelento, reitin seuraaminen	27
8.5	Esteentunnistus.....	28
8.6	Korkeuden muutos.....	29
8.7	Muuta huomioitavaa	31
9	Pohdinta	32
	Lähteet	35

Liitteet

Liite 1	Garmin käsi-GPS -koordinaattitiedosto
Liite 2	Handy GPS -koordinaattitiedosto
Liite 3	DJI Flight Planner CSV-tiedosto

1 Johdanto

Opinto-ohjaajamme ehdotti opinnäytetyön aihetta, josta kiinnostuimme heti. Opinnäytetyön aiheena oli tutkia, onnistuuko korjuuvaurioiden kuvaaminen DJI Mavic Pro -merkkisellä ilma-aluksella (jatkossa tässä dokumentissa drone).

Harvennushakkuiden yhteydessä voivat ajouran reunoilla olevat puut vaurioitua. Tällä tarkoitetaan, että puun runkoihin voi tulla osumia esimerkiksi metsäkoneesta tai kaadetuista puista. Vaurioiden kirjaaminen ylös on siis harvennushakkuun laadunvalvontaa. Tätä varten tarkastaja kävelee ajouria läpi kirjaten vauriot ylös.

Työryhmä, johon kuuluu Palander T., Eronen J., Kärhä K. ja Ovaskainen H. ovat tehneet tiedejulkaisun kamerajärjestelmästä, joka voisi tunnistaa puustovauriot automaattisesti. Tiedejulkaisussa käydään läpi tekniikkaa, jossa kone näkö tunnistaa puustovaurioita automaattisesti hyödyntäen eri algoritmeja. (Palander, Eronen, Kärhä & Ovaskainen 2018). Toimeksiantajalla oli visio siitä, että kameran voisi kiinnittää droneen, jota lennätettäisiin ajourilla. Automaattinen lennättäminen on DJI Mavic Pro:lla mahdollista GPS-paikkatietojen perusteella. Ajourien reitit tallennettaisiin metsäkoneeseen sijoitetulla GPS-laitteella. Kun reittitiedot siirretään droneen, voisi se lentää ajourat läpi kuvaten puustovauriot automaattisesti. Hakkuuvaurioita tunnistavan kamerajärjestelmän kehittäminen, käyttäminen ja puuston kuvaaminen eivät sisälly tähän opinnäytetyöhön.

Saimme Karelia-ammattikorkeakoululta mahdollisuuden lainata dronea, käyttää tiloja ja välineitä. Dronea lainasimme silloin, kun se ei ollut opetuskäytössä.

DJI Mavic Pro:ta voi käyttää manuaalisesti kauko-ohjaimella tai dronella on mahdollista lennättää etukäteen suunniteltu reitti automaattisesti. Lennätettäessä dronea automaattisesti täytyy osata käyttää erilaisia ohjelmistoja lentoreittien suunnitteluun.

Koska ajourilla on paljon oksia, risuja ja muita esteitä, täytyy meidän tutkia dronen esteentunnistuksen toimintaa. Lisäksi dronen paikannustarkkuus on testattava, jotta dronen lentoreitti pysyy ajourien sisällä. Drone voi vaurioitua, jos se osuu oksiin, puihin tai muihin esteisiin. Dronen esteentunnistus ja paikannustarkkuus ovat tärkeimmät testauksen kohteet. Suoritamme koelentoja näiden kohteiden testaamiseksi.

Ennen koelentoja on myös syytä perehtyä dronen lennättämiseen liittyviin yleisiin sääntöihin, ohjeisiin ja määräyksiin sekä ilmailulainsäädäntöön. Ilmailulainsäädäntö kehittyy jatkuvasti, sillä dronejen yleistyessä myös niiden aiheuttamat vaaratilanteet lisääntyvät. On tärkeää olla ajan tasalla säädännöstä ja ottaa huomioon myös yleinen turvallisuus.

2 Metsänhoito ja puuston vaurioiden kuvaus

Koska opinnäytetyö liittyy pitkälti metsänharvennuksen laadunvalvonnan kehittämiseen, tulee metsänhoidon perusteista tietää perusasiat. Tässä luvussa käydään läpi, mitä harvennushakkuulla tarkoitetaan, millaisia puustovaurioita on olemassa ja mitä ajourat ovat.

2.1 Harvennushakkuu

Metsän ensiharvennus tehdään, jotta puilla olisi tarpeeksi tilaa kasvaa. Ilman ensiharvennusta puiden latvukset supistuvat liian pieniksi, jolloin puusto kehittyy huonommin. Harvennushakkuu on ensimmäinen hakkuu, josta saadaan myyntikelpoista puuta. Harvennushakkuussa kasvamaan jätetään parhaimmassa kunnossa olevat puut. Huonolaatuiset puut poistetaan. (Äijälä, Koistinen, Sved, Vanhatalo & Väisänen 2014, 152–153.)

2.2 Puuston vauriot

Puustoon voi tulla sekä runko- että juurivaurioita. Runkovaurioista suurin osa tapahtuu hakkuuvaiheessa. Vaurioitumisen seurauksena puihin voi syntyä koroja, jotka alentavat puuston jalostusarvoa. Rungon vaurioituminen altistaa puuta myös lahottajasienelle. Juurivauriot sen sijaan syntyvät yleensä, kun hakkuussa kertynyt puusto kuljetetaan pois metsästä. Mikäli juuret vaurioituvat, hidastuu puun kasvu, koska veden ja ravinteiden saanti heikkenee. Mikäli juuri vaurioituu puun läheltä, eli alle metrin päästä puusta, altistaa se puuta lahoamiselle. (Littiläinen, Hyypölä, Kariniemi, Nieminen, Poikela, Ranta, Roininen, Rumpunen, Tolonen & Äijälä 2003, 16.)

2.3 Ajourat

Ajourat ovat metsäkoneen tekemiä, yleensä hakkuualueella kiertäviä lenkkejä, joita pitkin metsäkone suorittaa harvennuksen. Metsäkoneen jälkeen metsätraktori käyttää ajouria puiden keräämiseen ja kuljettamiseen.

Ajouran leveys on vähintään kolme metriä. Kuitenkin ajouraa reunustavien puiden etäisyyden on oltava ajouran keskilinjalle kymmenen metrin matkalta alle neljä metriä. (Pesonen, Littiläinen, Immonen, Jaakkola, Kariniemi, Korpilahti, Nieminen, Roininen, Strandström & Vartiamäki, 2005, 65.) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että uran leveys voi olla kolmesta kahdeksaan metriä. Yleensä urat ovat reilun neljän metrin levyisiä.

3 Laitteisto ja henkilöstö

Opinnäytetyön tekemiseen tarvitaan useita eri tahoja, jotka käyvät ilmi tässä luvussa. Lisäksi käymme läpi laitteistoa ja siihen liittyvää asiaa.

3.1 Työpari

Opinnäytetyön työparin muodostivat tieto- ja viestintäteknikan insinööriopiskelijat Mika Nissinen ja Teemu Siponen. Työnjako on suunniteltu niin, että Nissinen perehtyy metsän harvennukseen, dronen automaattiohjaukseen, paikannusjärjestelmiin sekä omalta osaltaan raportointiin. Siponen puolestaan perehtyy dronen manuaalilentämiseen, käytännön kokeiden järjestelyyn, koordinaattidatan siirtämiseen sekä tulosten tulkintaan ja raportointiin.

3.2 Sidosryhmät

Tämän opinnäytetyön sidosryhmiä ovat toimeksiantaja, oppilaitos sekä nimetyt oppilaitoksen opettajat. Toimeksiantajana toimii metsäalan opettaja Karelia-ammattikorkeakoulusta. Oppilaitos on Karelia-ammattikorkeakoulu, josta mukana ovat opinnäytetyön ohjaaja, tarkastaja ja koulutuspäällikkö.

3.3 Laitteisto

Multikopteri on kauko-ohjattava ilma-alus, jossa on ainakin kaksi roottoria. Multikopteri on halkaisijaltaan yleensä alle metrin. Kopterin ohjaus tapahtuu moottorien nopeutta muuttamalla. Jotta kopteri olisi vakaa lennätettävä, siinä käytetään tietokonepohjaista lennonohjainta. Multikopterin sijaan drone on teknisesti vielä kehittyneempi. Siinä on autopilotti, jonka avulla on mahdollista lennättää dronea itsenäisesti useiden sensoreiden tuottaman datan perusteella. Yleisesti dronea voidaan hyödyntää esimerkiksi ilmakehuvaamisessa (ArduPilot Dev Team 2016.)

Tässä opinnäytetyössä käytämme neliroottorista DJI Mavic Pro:ta. Se on teknisesti tarpeeksi kehittynyt, jotta se voi lentää itsestään ennalta määritetyn reitin. Kyseistä dronea voidaan ohjata myös manuaalisesti kauko-ohjaimella. Energiälähteenä dronessa on litiumpohjainen akku.

Dronea saa lennättää Suomessa opinnäytetyön toteutushetkellä ilman erillistä lupaa. Lennätettäessä on noudatettava voimassa olevia määräyksiä ja lakeja.

Huomionarvoista on mainita myös se, että dronella ei saa lentää tiheään asutuksen päällä, jos dronen paino ylittää kolme kilogrammaa. Dronella ei myöskään saa lentää uloskokoontuneen ihmisjoukon päällä (Trafi 2018.)

Dronen tekniikan kehittymisen myötä sille voidaan keksiä ilmakehän ilmakuvauksen ja esineiden siirtelyn lisäksi uudenlaisia käyttötarkoituksia. Niitä voivat olla esimerkiksi kenttätutkimusten helpottaminen sekä teollisuuden valvonta- ja tuotanto-tehtävät.

Tässä opinnäytetyössä käytämme DJI Mavic Pro -dronea (kuva 1), joka on melko uusi malli, joten tekniikka on lähestulkoon ajan tasalla opinnäytetyön teko-
hetkellä. Lisäksi dronen ohjelmistojen päivitykset voivat tuoda jatkuvasti lisäominaisuuksia.



Kuva 1. DJI Mavic Pro, kauko-ohjain ja tabletti. (Kuva: Teemu Siponen).

Käytämme tässä opinnäytetyössä koululta lainaamaamme Garmin GPSMAP64 käsi-GPS -laitetta (kuva 2). Laitteen avulla on mahdollista tallentaa reittien

koordinaatteja tiedostoon. Tiedosto on mahdollista siirtää tietokoneelle ja sitä voidaan lukea ja muokata.



Kuva 2. Garmin GPSMAP64 käsi-GPS. (Kuva: Teemu Siponen).

4 Ilmailulainsäädäntö

Lennoikkien lennättämiseen liittyvä lainsäädäntö on kirjattu Suomen lakiin. Sen lisäksi lennättämisessä on otettava huomioon liikenteen turvallisuusvirasto Traficomin ja Euroopan lentoturvallisuusvirasto EASA:n määräykset.

Dronen määritelmä riippuu käyttötarkoituksesta. Se määritellään Suomen ilmailulaissa, jonka mukaan tarkoitetaan

- 21) lennokilla lentämään tarkoitettua laitetta, jonka mukana ei ole ohjaajaa ja jota käytetään harraste- tai urheilutarkoitukseen;
- 22) miehittämättömällä ilma-aluksella ilma-alusta, joka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa (Ilmailulaki 864/2014 1 luvun § 2.)

Liikenteen turvallisuusviraston uusin, tämän opinnäytetyön tekohetkellä voimassa lennokkien lennättämistä koskeva määräys on astunut voimaan 1.1.2017. Liikenteen turvallisuusviraston määräyksen (TRAFI/90924.03.04.00.00/2016) perusteella oleelliset kohdat koelentoja ajatellen ovat:

- 4.1 Lennätykset on suoritettava siten, että niistä aiheutuva vaara ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen sekä meluhaitta ovat mahdollisimman pienet.
- 4.2 Lennokin lennättäminen ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella ei ole sallittua.
- 4.3 Lento-ohjelmassa enintään 3 kg lennokin lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella on sallittua, kun lennättäjä on tutustunut alueeseen, varmistunut laitteen teknisestä kunnosta ja arvioinut, että lennättäminen voidaan suorittaa turvallisesti. Lento-ohjelmassa yli 3 kg lennokin lennättäminen asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella ei ole sallittua.
- 4.4 Lennätykset on suoritettava siten, että ne eivät vaaranna, haittaa eivätkä estä hätä-, onnettomuus-, pelastus- tai vastavaa poikkeustilanteeseen paikalle saapuvan yksikön tai viranomaisen toimintaa.
- 4.5 Lennokista on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot.
- 4.6 Lennokin lennättämisen on oltava suoraan näköyhteyden perustuvaa. Lennokin on oltava koko ajan ohjattavissa ja sitä on lennettävä valitsevan sään ja valoisuuden huomioon ottaen riittävän lähellä lennättäjää niin, että muu ilmaliikenne voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve luotettavasti suoran näköyhteyden perusteella ilman apuvälineitä. – –
- 4.8 Lennätyskorkeuden on oltava alle 150 metriä maan tai veden pinnasta pois lukien erikseen määritellyt, ilmailutiedotusjärjestelmässä julkaistut lennokkien lennätyspaikat. – –
- 4.11 Lennokin on väistettävä kaikkia ilma-aluksia (TrafI 2016.)

Dronea lennätettäessä tulee huomioida myös muut lait. Jos drone on varustettu kameralla, tulee huomioida salakatseluun liittyvä kohta rikoslaissa. Lain mukaan henkilöiden kuvaaminen tai katselu teknisellä laitteella ilman lupaa on kielletty

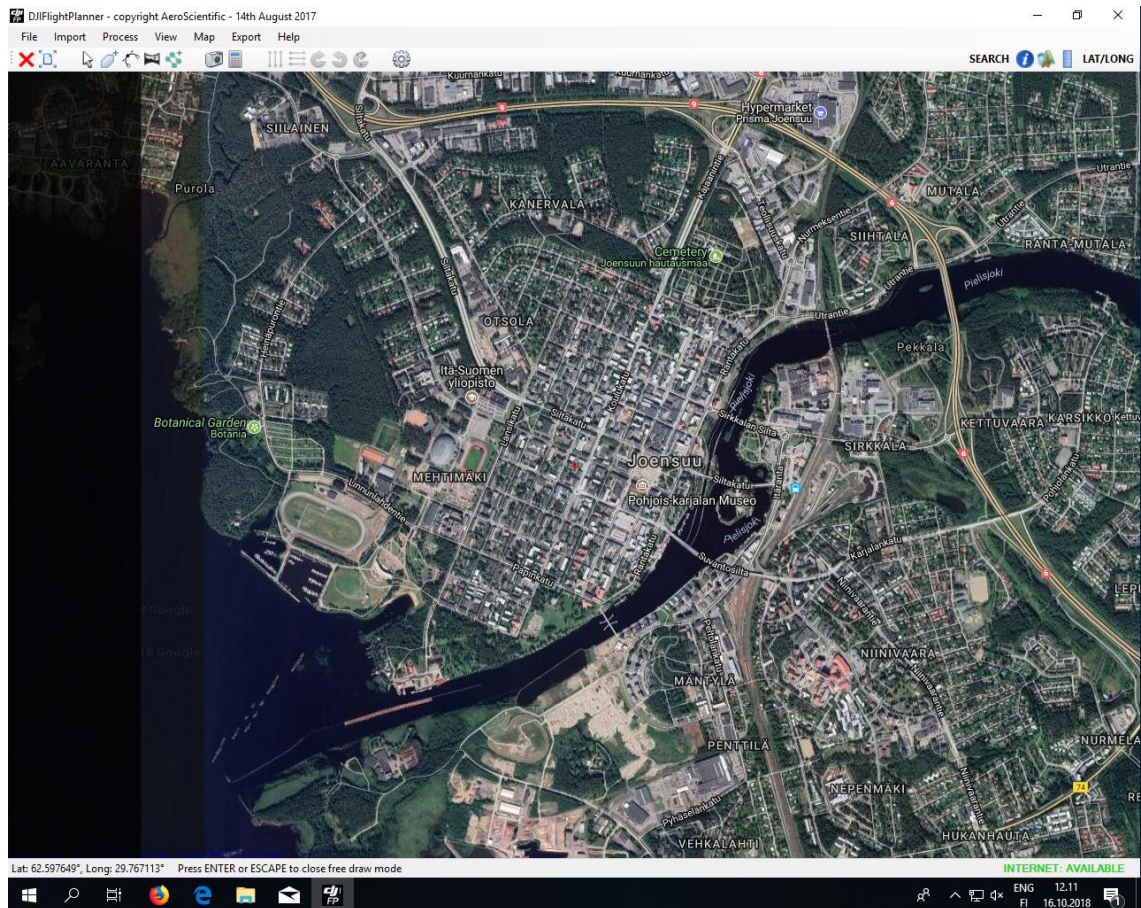
- 1) kotirauhan suojaamassa paikassa taikka käymälässä, pukeutumistilassa tai muussa vastaavassa paikassa oleskelevaa henkilöä taikka. 2) yleisöltä suljetussa 3 §:ssä tarkoitettussa rakennuksessa, huoneistossa tai aidatulla piha-alueella oleskelevaa henkilöä tämän yksityisyyttä loukaten (Rikoslaki 39/188924 luvun § 6.)

5 Ohjelmistot

DJI Mavic Pro:n automaattista lennätystä varten tarvitaan valmiiksi määritelty reitti, jos kyseessä on reittipistelento. Reittipisteet ovat tiedostossa muiden parametrien lisäksi. Reittitiedoston luomista varten täytyy osata käyttää tiettyjä ohjelmistoja, jotka käymme läpi tässä luvussa.

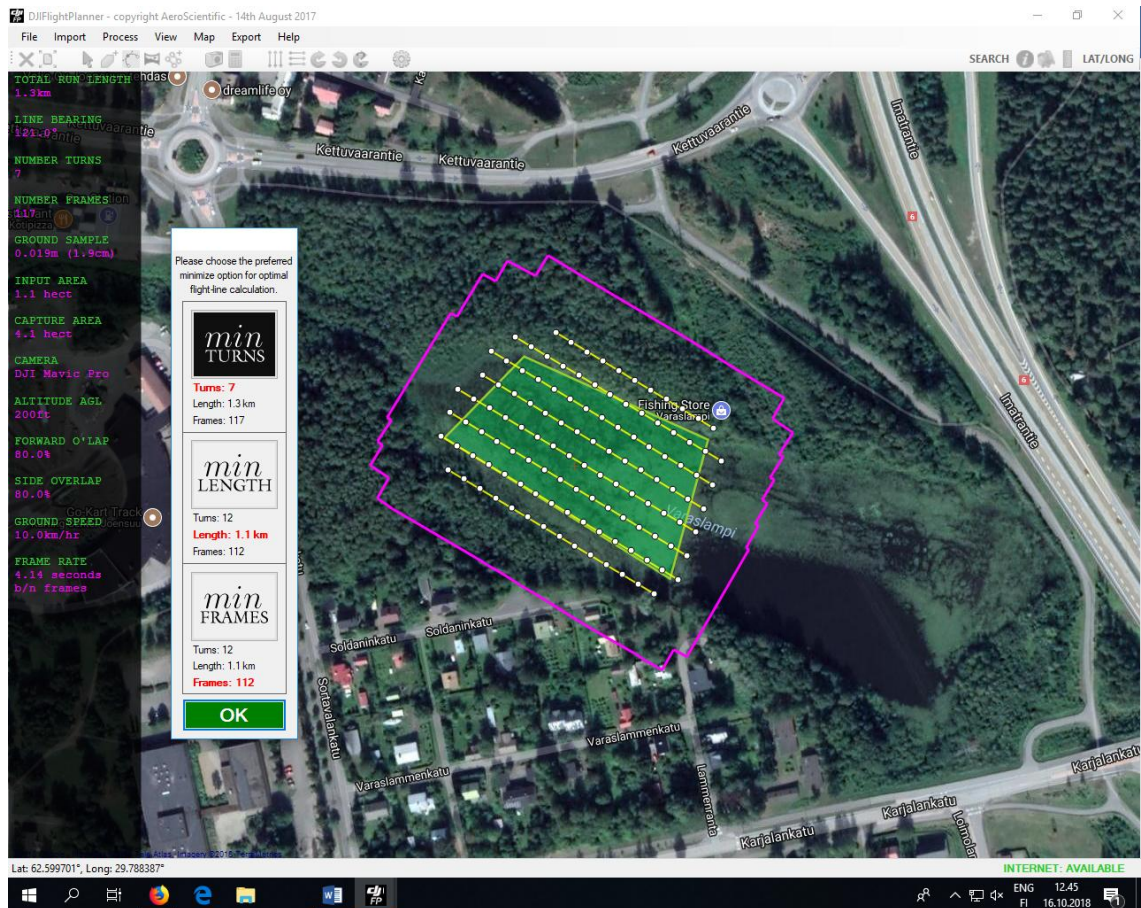
5.1 DJI Flight Planner

DJI Flight Planner on tietokoneohjelma, jota käytetään lentoreittien suunnitteluun ja tekemiseen kartalla (kuva 3). Ohjelma toimii Windows-ympäristössä. Lisäksi tarvitaan DJI-merkinen drone sekä Android-laite, jossa on joko Litchi- tai DJI Ultimate Flight -ohjelma asennettuna. Vaihtoehtoisesti Android-tabletin sijaan voidaan käyttää myös Applen IOS-pohjaista laitetta. (DJI 2018.)



Kuva 3. DJI Flight Planner -ohjelman alkunäkymä. (Kuva: DJI Flight Planner -ohjelma).

DJI Flight Plannerilla tehdään ohjelmassa olevaan karttaan reittejä piirtämällä viivoja tai valitsemalla alue, johon ohjelma laskee automaattisesti optimaalisimman lentoreitin. DJI Mavic Pro sekä vastaavat dronet ovat tarkoitettu alueiden kolmiulotteiseen kuvaamiseen ja mallintamiseen. Tämän takia ohjelmassa on automaattinen laskenta lentoreitin valitulle alueelle. Laskenta muodostaa edestakaisin menevät linjat. Ohjelmassa voidaan valita, lennetäänkö mahdollisimman vähillä käännöksillä, mahdollisimman lyhyellä matkalla vai mahdollisimman vähillä kuvilla, jotta koko alue saadaan kuvattua (kuva 4).



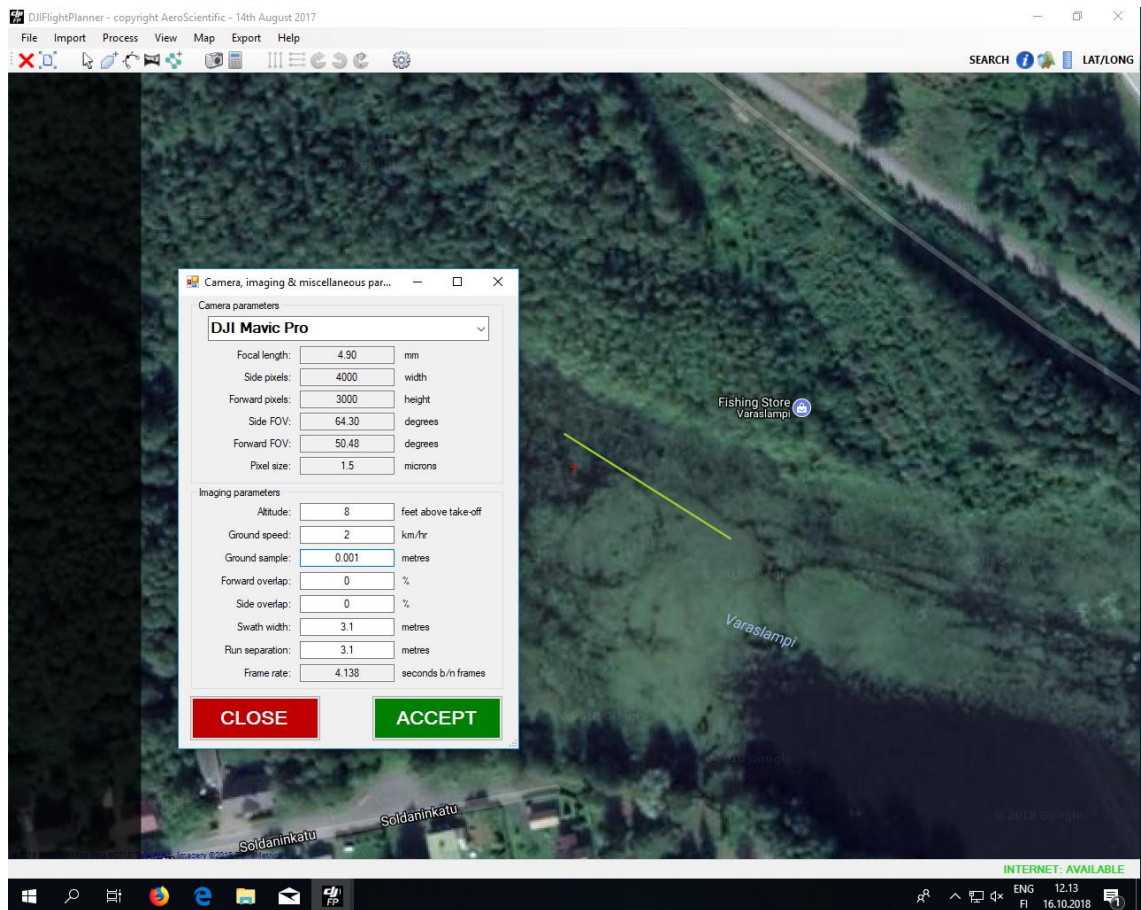
Kuva 4. Automaattisesti laskettu lentoreitti. (Kuva: DJI Flight Planner -ohjelma).

Ohjelmassa määritellään seuraavat lentoreittiin liittyvät parametrit (kuva 5):

- dronen malli
- lentokorkeus
- lentonopeus
- pikselikoko maastossa
- päällekkäisyys eteenpäin
- päällekkäisyys sivulle
- väylän leveys
- väylän välimatka
- kuvataajuus

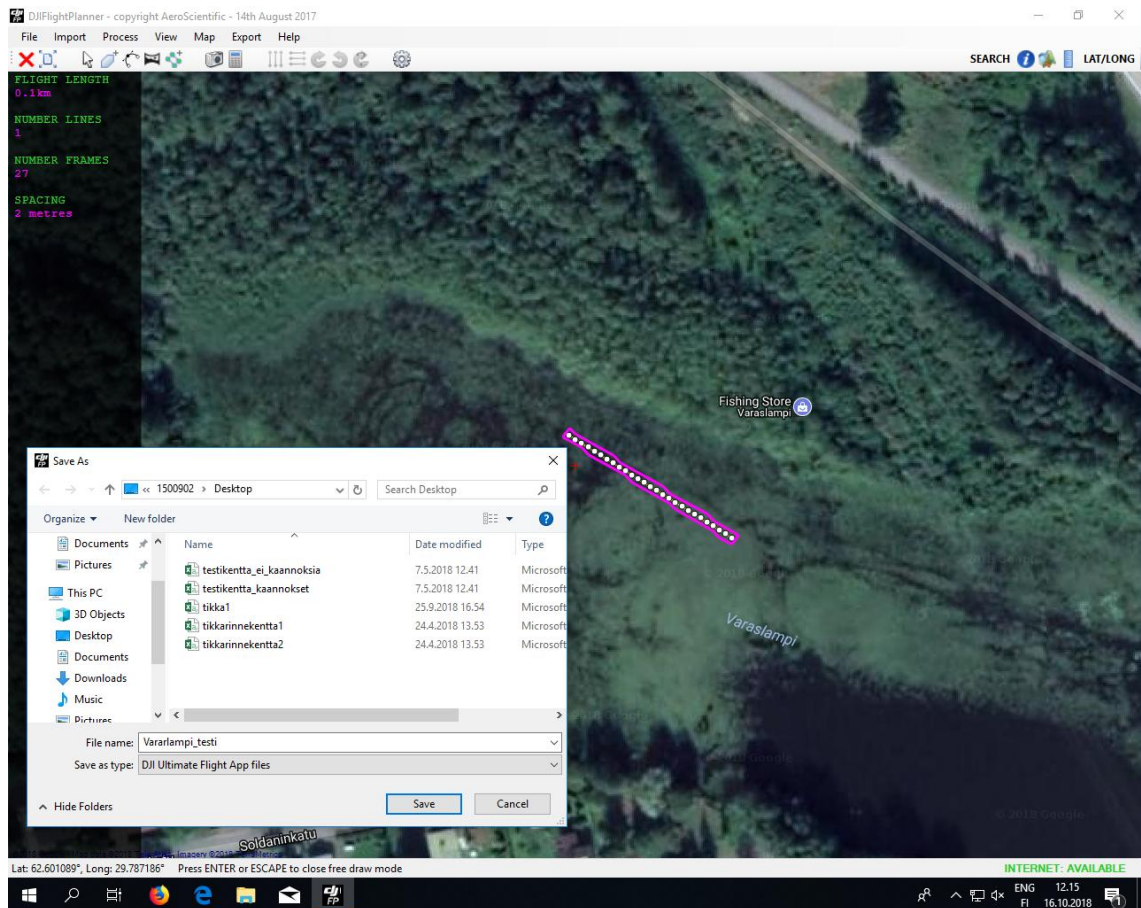
Ohjelmassa valitaan dronen malli, joka tässä opinnäytetyössä on DJI Mavic Pro. Käytämme hiekkakentällä suoritettavissa koelennoissa kahdeksan jalan lentokorkeutta, joka on noin 2,4 metriä. Lentonopeuden on hyvä olla koelentojen aikana kahdesta neljään kilometriä tunnissa. Koska koelentojen tarkoitus ei

ole tässä tilanteessa kuvata aluetta, säädämme muut parametrit niin, että ohjelma hyväksyy arvot. Kuitenkin kuvataajuuden täytyy olla suurempi kuin 2,0.



Kuva 5. DJI Flight Planner -ohjelman lentoreitin parametrit. (Kuva: DJI Flight Planner -ohjelma).

Lentoreitin määrittämisen jälkeen CSV-tiedosto luodaan ohjelman export-toiminnolla (kuva 6). Kun tiedosto on luotu, voidaan se siirtää tabletille. Tarvittaessa tiedostoa voidaan muokata sopivalla ohjelmalla, kuten MS Office Excelillä.



Kuva 6. CSV-tiedoston luonti. (Kuva: DJI Flight Planner -ohjelma).

5.2 Litchi

Litchiä emme käytä tässä opinnäytetyössä, koska se on maksullinen sovellus. Toinen syy on se, että DJI Ultimate Flight on valmiiksi asennettuna tabletissa.

Litchi on Androidille ja IOS:lle saatava sovellus, jota käytetään dronen ohjaamiseen. Ohjelmalla voidaan valita esimerkiksi seurattava kohde, jota drone kuvaa. Ohjelma on niin kehittynyt, että vaikka kohde liikkuisikin, pystyy drone seuraamaan sitä. Litchin avulla voidaan myös vakauttaa ja ohjata dronea niin, että sillä saadaan teräviä kuvia ilmasta käsin. Litchin avulla voidaan tietenkin myös lentää tietokoneella valmiiksi suunniteltu lentoreitti läpi. (VC Technology Ltd 2018.)

5.3 DJI Ultimate Flight

DJI Ultimate Flight on Litchiä muistuttava tabletille asennettava ohjelma. Tabletin on oltava kytkettynä dronen kauko-ohjaimen laadukkaalla USB-kaapelilla. Ohjelmalla avataan DJI Flight Plannerin luoma CSV-tiedosto. CSV-tiedostoa voidaan tarvittaessa myös muuttaa tabletille asennetulla taulukko-ohjelmalla. Ohjelmalla voidaan myös katsoa suoraa videokuvaa dronen kamerasta. Lisäksi sillä voidaan ottaa kuvia ja videoita. Ohjelman avulla on mahdollista muuttaa lentoarvoja, kuten luoda virtuaalisia, joita pidemmälle drone ei lennä.

6 Paikannustekniikat

Erilaisia satelliittipaikannusjärjestelmiä on useita, kuten Yhdysvaltain GPS-järjestelmä (Global Positioning System), venäläinen GLONASS, japanilainen QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) sekä eurooppalainen Galileo. Kaikille satelliittipaikannusjärjestelmille yhteinen nimitys on GNSS (Global Navigation Satellite Systems) (Poutanen 2016, 11.)

Tässä työssä käymme läpi vain GPS- ja GLONASS-satelliittipaikannusjärjestelmät. Näin toimitaan siksi, koska käytössämme oleva drone ei tue muita paikannusjärjestelmiä.

Satelliittipaikannusjärjestelmät koostuvat kolmesta osasta: satelliiteista, kontrolliverkosta ja käyttäjistä. Maanpinnalla oleva kontrolliverkko tarkkailee satelliittien tilaa, rataelementtejä ja toimintoja. Kaikki satelliittipaikannusjärjestelmät ovat rakenteeltaan samankaltaisia (Poutanen 2016, 18.)

Paikannus perustuu satelliitin ja paikannettavan kohteen välisen etäisyyden mittaamiseen. Etäisyyden mittaukseen on kaksi erilaista tapaa. Yleisimmin käytössä oleva tapa perustuu satelliitin signaalissa olevaan koodiin. Koodin avulla lasketaan signaalin kulku-aika, jonka avulla etäisyyden pystyy määrittämään. Koodiin perustuva paikannus on tarkkuudeltaan noin metrin luokkaa. Toisessa paikannustavassa lasketaan, kuinka monta kokonaista aallonpituutta satelliitin ja vastaanottimen välissä on. Jälkimmäisellä tavalla paikannuksen tarkkuus voi

olla jopa senttimetrin luokkaa. Paikannusta varten tarvitaan yhteys vähintään neljään satelliittiin (Poutanen 2016, 12.)

6.1 GPS

GPS eli Global Positioning System on yhdysvaltalainen satelliitteihin perustuva paikannustekniikka. GPS-järjestelmä suunniteltiin alun perin sotilaskäyttöön. Järjestelmään kuuluu määritelmän mukaan 24 satelliittia. Käytännössä kiertoradalla kiertää keskimäärin 30–32 satelliittia (kuva 7). Osa niistä toimii varasatelliitteina, jotka parantavat paikannuksen tarkkuutta. Varasatelliitit parantavat myös GPS-järjestelmän vikasietoisuutta ja toimintavakautta. Maa-asemia GPS-järjestelmässä on 12. GPS-satelliittien kiertorata on reilun 20 000 kilometrin korkeudessa (Poutanen 2016, 19.)



Kuva 7. GPS satelliitit kiertävät maapalloa. (Kuva: NOAA).

6.2 GLONASS

GLONASS on venäläinen satelliittinavigointijärjestelmä. Kuten edellisessä alaluvussa mainittu GPS, myös Neuvostoliiton aikana kehitetty GLONASS-järjestelmä suunniteltiin alun perin sotilaskäyttöä varten. Järjestelmään kuuluu 24 satelliittia, jotka kiertävät maapalloa noin 19100 kilometrin korkeudessa merenpinnasta mitattuna. (Poutanen 2016, 22.)

6.3 WGS-84

WGS-84 eli World Geodetic System 1984 on GPS-järjestelmän oletuskoordinaattijärjestelmä. Koordinaattijärjestelmää käytetään, koska maapallo ei ole täysin pyöreä. Koordinaattijärjestelmä on määritelmä sille, kuinka koordinaatit lasketaan (Etsiville, 2018.)

WGS-84 -koordinaattijärjestelmän lisäksi on olemassa myös muita koordinaattijärjestelmiä, kuten NAVD88, ETRS89, KKJ sekä EUREF-FIN. Näiden lisäksi on olemassa lukuisia muitakin järjestelmiä. Eri koordinaattijärjestelmien koordinaatit voivat poiketa keskenään reaali maailmassa, vaikka ne olisivat samanarvoisia.

7 Tiedostot

Aluksi reittipisteet tallennetaan käsi-GPS:n tai puhelimeen asennetun Handy GPS -ohjelman avulla tiedostoon. Tallennettuja reittipisteitä käytetään myöhemmin dronen koelentoissa. Mikäli koelentoja suoritettaisiin paljon, kannattaisi tehdä ohjelma, joka osaisi siirtää käsi-GPS:llä ja puhelimella tallennetun tiedoston koordinaatit automaattisesti dronen tukemaan CSV-tiedostoon. Näillä näkymin opinnäytetyön aikana siirrämme tiedot käsin, sillä koelentoja ei suoriteta kovinkaan montaa.

7.1 Garmin käsi-GPS -tiedosto

Käytämme lentoreitin GPS-pisteiden tallentamiseen Garmin GPSMAP64 -laitetta. Garminin luoma tiedosto on .gpx-päätteinen tekstitiedosto (liite 1). Tiedostossa on varsinaisten sijaintitietojen lisäksi kerrottu muun muassa seuraavat tiedot:

- laite, jolla sijainti on tallennettu
- aika ja päivämäärä
- reitin pituus

- käytetty aika
- liikkumisnopeus
- korkeustieto

7.2 Handy GPS -tiedosto

Puhelimeen asennettu Handy GPS -paikannusohjelma tallentaa kuljetun reitin koordinaatit .kml-muotoiseen tekstitiedostoon (liite 2). Tiedosto sisältää vain muutamia muita tietoja sijaintitietojen lisäksi. Näitä ovat esimerkiksi tiedoston nimi, kellonaika, päivämäärä ja muotoiluasetukset.

7.3 DJI Flight Planner CSV-tiedosto

DJI Flight Planner luo taulukkotiedoston, jossa on dronen reitin ohjaukseen tarvittavat tiedot (liite 3). Tiedosto siirretään tabletille */DjiFlightPlanner/GS-*kansioon dronen ohjausta varten. CSV-tiedostossa on koordinaattien lisäksi korkeustiedot, suuntimatiedot, lentonopeudet sekä paljon muuta. DJI Flight Plannerin luoma tiedosto on CSV-muotoinen taulukkotiedosto, jossa erottimeksi käytetään pilkkua (,).

Tiedostossa on tiedot seuraaville parametreille:

- latitude, leveyskoordinaatti
- longitude, pituuskoordinaatti
- altitude, reittipisteen korkeus lähtöpisteestä
- heading, suuntima
- maxReachTime, ei käytössä
- speed, ei käytössä
- stayTime, ei käytössä
- turnMode, kääntymissuunta
- actions, toiminnot
- dampingDistance, tietyssä lentotavassa reittipisteiden välit voivat olla kaarevia
- operation, kuvaustavat

- operationParameters, erikoisten kuvaustapojen kääntö/kuvien määrä
- restartVideo, kun panoraama on kuvattu, aloitetaan videon ottaminen alusta
- focusPoint, kuvaamisen tarkennuspiste

Tiedoston toiseksi viimeiseltä riviltä löytyvät selitteet viimeisen rivin parametreille. Parametrit suoritetaan viimeisen reittipisteen saavuttamisen jälkeen. Nämä parametrit ovat:

- repeatCount, lentoreitin toistojen määrä
- movingMode, suunta, johon drone osoittaa matkalla seuraavalle reittipisteelle
- pathMode, tila, jossa drone lentää suoraan tai kaarevasti reittipisteille
- finishAction, lopetustoiminto, toiminto, jonka drone tekee reitin lopussa, esim. kotiinpaluu, laskeutuminen, leiju paikoillaan
- flyingSpeed, lentonopeus
- remoteControlSpeed, nopeusrajoitus, jos dronea avustetaan kauko-ohjaimella
- overlay, karttakerrokset
- startAction, aiempien ohjelmaversioiden yhteensopivuutta varten jätetty parametri
- missionType, tehtävän tyyppi, esimerkiksi reittipistelento tai OPERATION_MAPPING-lento
- photoCount, kuvien määrä
- photoTime, kuvausvälin aika
- gimbalPitch, kameran kulma
- altitudePriority, toleranssi asetetun ja todellisen lentokorkeuden välillä

(DJI 2016, 72–73.)

8 Koelennot

Opinnäytetyön käytännön osiossa on pääaiheena koelennot. Lentoja suoritetaan erilaisten ominaisuuksien tutkimista varten. Näitä ovat esimerkiksi paikannustarkkuus ja esteentunnistus.

8.1 Dronen käyttöönotto

Ennen koelentojen aloittamista on syytä tiedostaa se, että sateisella kelillä ei voi lennättää dronea, koska sitä ei ole roiskeveesisuojattu. Suoritimme ensimmäiset koelennot tyhjällä hiekkakentällä. Alussa, kun dronen virta kytkettiin päälle, täytyi sen kompassi kalibroida. Käyttämämme drone ilmoitti kalibroinnin tarpeen vilkuttamalla punaista valoa. Kalibrointi on toimenpide, joka suoritetaan valmistajan ohjeiden mukaan. Jotta kalibrointi onnistuu, dronea pitää kääntää käsin myötä päivään vaaka-akselin ympäri. Kalibrointi on välttämätön toimenpide, jotta dronen kompassin antama data ei olisi vääristynyttä.

Kalibroinnin jälkeen kokeilimme dronen käyttäytymistä manuaalisesti ohjaamalla sitä kauko-ohjaimella. Eri droneilla on hyvinkin erilainen ajotuntuma. Esimerkiksi Siposen omarakenteinen drone on täysin manuaalisesti lennätettävä. Siinä ohjaus on erittäin herkkä pienillekin ohjausliikkeille.

Opinnäytetyössä käytettävä drone, DJI Mavic Pro, on ensisijaisesti kuluttajamarkkinoille tarkoitettu, joten sen ohjaustuntumasta on tehty vakaa. Ohjaussauvoja voidaan kääntää vaikka laitaa asti ja silti drone liikkuu melko rauhallisesti. Kyseisessä dronessa on myös kotiinpaluupainike, jota painamalla drone lentää GPS:n avulla takaisin siihen pisteeseen, josta se alun perin lähti lentämään. Aluksi kotiinpaluutoiminnossa yllätti se, että kun kotiinpaluunappia painoi, lähti drone nousemaan suoraan ylöspäin sadan metrin korkeuteen. Koska dronessa ei ole esteentunnistusta ylöspäin, on mahdollista, että drone voisi osua yläpuolella oleviin esteisiin, esimerkiksi puiden oksiin tai sähkölinjaan.

8.2 Reitin tallentaminen

Tallensimme reitin Garmin käsi-GPS:llä hiekkakentällä rauhallisesti kävellen GPS-laite kädessä (kuva 8). Merkitsimme reitin merkkusmaalilla hiekkaan, jotta pystyimme vertaamaan käsi-GPS:llä tallennetun ja dronen lentämän reitin mahdollisia eroja. Hiekkaan maalattujen ympyröiden kohdalla pysähdyimme hetkeksi, ennen kuin jatkoimme matkaa seuraavaan pisteeseen. Viimeisen pisteen kohdalla tallensimme reittidatan käsi-GPS:n muistiin. Toisella koelennolla tallensimme reitin puhelimeen asennetun Handy GPS -ohjelman avulla.

Ensimmäisen koelennon reitin tallensimme käsi-GPS -laitteella, kun taas toisen koelennon reitin tallentamiseen käytimme puhelimeen asennettua Handy GPS-sovellusta. Näin pystyimme tutkimaan, vastaavatko eri laitteilla tallennetut reitit toisiaan.



Kuva 8. Kentälle merkitty toisen koelennon reitti kävellen puhelin kädessä. (Kuva: Teemu Siponen).

8.3 Ensimmäinen koelento, reitin seuraaminen

Kun käsi-GPS:n reittitiedot siirrettiin dronelle, suoritimme koelennon, jossa tutkimme, kuinka tarkkaan drone lensi käsi-GPS:llä tallennetun hiekkaan merkityn reitin.

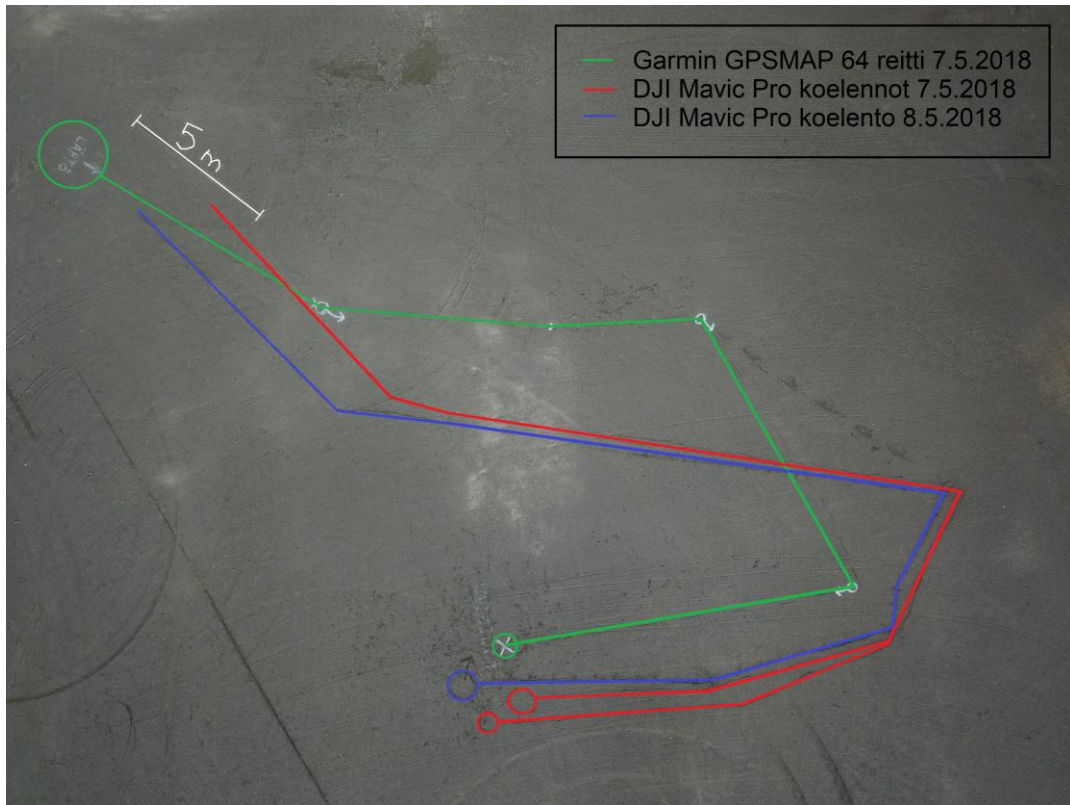
Koelennon tuloksista kertova kuva (kuva 9) on ilmakehän kuva, joka on otettu tasaiselta hiekkakentältä koelentojen jälkeen. Lähtöpisteen vieressä on viiden metrin vertailuviiva, jonka avulla voidaan arvioida etäisyyksiä kuvasta. Kävelimme vihreällä merkityn reitin lähtöpisteestä valkealla merkittyihin ympyröihin suorien linjoin. Ympyröiden kohdalla pysähdyimme hetkeksi, jotta GPS-laite saisi varmasti otettua reittipisteen talteen. Tällä myös simuloimme harvesterin pysähtymisiä puunhakkuussa. Ympyrästä lähtevä nuoli on siihen suuntaan, johon käsi-GPS osoitti pysähtymisen aikana. Valkea rasti kertoo viimeisen reittipisteen eli laskeutumispaikan. Punaisella viivalla on merkitty kaksi koelentoa, jotka suoritimme samana päivänä reitin tallentamisen kanssa.

Lentokorkeuden ollessa noin kaksi metriä drone lensi rauhallista kävelyvauhtia reittipisteeltä toiselle. Drone pysähtyi jokaisen reittipisteen kohdalle, kunnes se hetken päästä jatkoi matkaa seuraavalle pisteelle. Siponen seurasi dronea piirtäen viivaa hiekkaan dronen kulkureitin merkitsemiseksi. Kuten kuvasta (kuva 9) näkee, ei punaisilla viivoilla merkitty dronen lentorata suoranaisesti vastannut jalan kuljettua vihreällä merkittua reittiä. Reitti on hieman samanmuotoinen, mutta se on useamman metrin sivussa. Lisäksi tallennettujen reittipisteiden sijainnit jalan kuljettuun reittiin nähden näyttävät olevan eri kohdissa.

Kuten punaisista viivoista näemme, kyseisillä koelentoilla drone lensi lähestulkoon samaa reittiä. Vasta reitin kahdella viimeisellä osuudella drone lensi hieman eri linjassa.

Sinisellä viivalla on merkattu seuraavana päivänä suoritettu koelento. Lentorata eroaa selkeästi edellispäivän punaisilla viivoilla merkatuista koelentoista. Tämä voi johtua maapallon pyörähtämisestä akselinsa ympäri, satelliittien sijaintien muuttumisesta tai muusta vastaavasta muuttujasta. Paikannustarkkuuteen vai-

kuttaa myös käytettävissä olevien satelliittien määrä. Molempina päivinä sää oli selkeä.

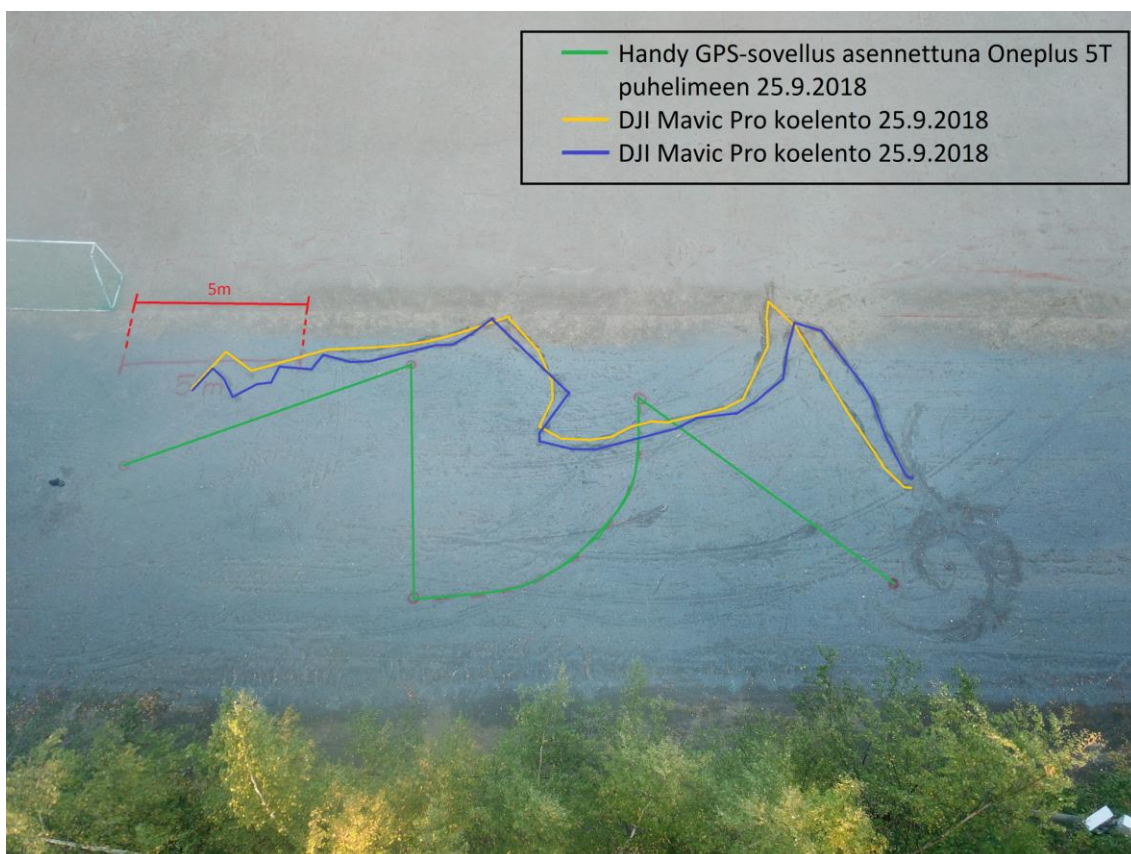


Kuva 9. Ensimmäisen koelennon tulokset. (Kuva: Teemu Siponen).

Käsi-GPS:n ja dronen lentoreitin eron syynä voi olla laitteiden GPS-signaalin epätarkkuus. Syynä voi olla myös mahdollisesti se, että laitteilla voi olla eri koordinaattijärjestelmät käytössä. Koska dronella lennettiin sama reitti useampaan kertaan, saimme selville dronen paikannuksen ominaistarkkuuden. Drone lensi oman reittinsä useamman kerran suhteellisen pienellä toleranssilla, mutta silti jalan kuljettu reitti ei oikein vastannut lentorataa. Tästä voidaan päätellä, että käsi-GPS on tallentanut reittipisteet eri kohtiin verrattuna dronen lentämiin reittipisteisiin.

8.4 Toinen koelento, reitin seuraaminen

Ensimmäinen koelento suoritettiin toukokuussa ja toinen syyskuussa. Toisen koelennon reittipisteet tallennettiin puhelimen Handy GPS -sovelluksen avulla. Kuten kuvasta 10 nähdään, saatiin syyskuun koelennon tuloksena hieman vastaavanlainen reitin sijainnin ero kuin toukokuun koelennolla. Reitti näyttää olevan etäisesti samanmuotoinen kuin kävelty reitti, paitsi että se sijaitsee useamman metrin sivussa verrattuna käveltyyn reittiin. Koska Handy GPS -ohjelma tallensi reittipisteet yhden metrin välein, on tuloksena hieman rosoisempi lennetty reitti. Drone pysähtyi jokaiseen reittipisteeseen, joka siihen oli syötetty ja lensi aina suoran reitin pisteiden välillä. Toisen koelennon suorituspäivänä sää oli selkeä.



Kuva 10. Toisen koelennon tulokset. (Kuva: Teemu Siponen).

8.5 Esteentunnistus

DJI Mavic Pro:ssa esteentunnistus on toteutettu ultraäänisensoreilla ja kiinteillä kameraelementeillä. Järjestelmä skannaa ympäristön kolmiulotteisesti, jolloin sen pitäisi huomata kaikki esteet lentoradalla. Ultraäänisensori lähettää ääniaallon, minkä jälkeen sensori kuuntelee mahdollisesti esteestä kimpoavan äänen. Esteen etäisyys lasketaan äänennopeuden perusteella. (Corrigan, 2018)

Dronen esteentunnistuksen toimintaa täytyy testata, jotta lennättäminen ajourilla olisi turvallista. Ajourilla voi olla lentoradan varrella oksia, keppejä tai muita esteitä. Kokeilimme esteentunnistuksen toimintaa lennättämällä dronea hallitusti useita kertoja kohti seinää. Drone pysähtyi aina noin metrin päähän seinästä, jolloin ohjain ilmoitti edessä olevasta esteestä. Drone ei suostunut lentämään eteenpäin, vaikka käyttäjä jatkoi ohjaimella operointia. Seuraavassa testissä kokeilimme lentää puunrunkoa kohti. Kun runko oli kohtisuoraan dronen edessä, se pysähtyi joka kerta noin metrin päähän rungosta. Testeissä, joissa drone ei ollut suorassa linjassa runkoa kohti, olisi drone osunut runkoon viistosti, ellei korjausliikkeitä olisi tehty.

Tämän jälkeen testasimme, havaitseeko esteentunnistus lentoreitillä olevan kuusen oksan. Koska oksan peitteen pinta-ala on kohtalaisen suuri, drone havaitsi sen ilman ongelmia ja pysähtyi noin metrin päähän oksasta. Tulos oli siis samanlainen kuin dronea seinää kohti lennätettäessä.



Kuva 11. Drone havaitsee kuusen oksan. (Kuva: Mika Nissinen).

Lopuksi kokeilimme lentää dronella lehdettömiä oksia kohti. Nämä ovat tunnistettavana kaikista haastavimpia, koska lehdettömien oksien peitteen pinta-ala on hyvin pieni. Lehtipuiden ulkonevia oksia kohti lennättämällä saadaan simuloitua tilanne, jossa ajouralla on irto-oksia. Tulos oli mielenkiintoinen: toisinaan drone huomasi oksan noin 50cm:n ja 100cm:n välillä ja pysähtyi, mutta useimilla lähestymiskerroilla näin ei kuitenkaan käynyt. Dronea oli ohjattava etäämmälle viimeistään 10cm ennen törmäystä (kuva 12).



Kuva 12. Drone on vaarassa törmätä oksiin. (Kuva: Mika Nissinen)

8.6 Korkeuden muutos

Jotta drone pystyy kulkemaan ajourilla puuston vaurioita kuvaten, se ei saisi törmätä ylämäessä maahan tai vastaavasti jäädä alamäessä puustoa korkeammalle. Käyttämämme drone mittaa lentokorkeuden alaspäin suunnatuilla ulträänisensoreilla (kuva 13). Suoritimme koelennon, jossa testasimme dronen käyttäytymistä jyrkässä mäessä (kuva 14).



Kuva 13. DJI Mavic Pro ylösalaisin, nuoli osoittaa korkeudentunnistukseen käytettävät ultraäänisensorit. (Kuva: Teemu Siponen).

Koelennon tuloksena voimme todeta, että drone pysyy CSV-tiedostoon määritellyllä korkeudella maanpinnasta, mikäli dronen alapuolella oleva maanpinta on tasainen. Drone seuraa maaston muotoa melko rauhallisesti, eli yksittäisten korkeampien kohtien yli lennettäessä drone ei muuta lentokorkeuttaan. Tällaisia kohtia ovat esimerkiksi kanto tai noin puolimetrisen kivi. Koelennolla korkeus oli määritelty kahdeksan jalan eli noin 2,4 metrin korkeuteen (kuva 14). Kuten aluvussa 8.1 mainittiin, dronessa ei ole ylöspäin suunnattuja sensoreita esteiden tunnistukseen. Näin ollen jos maaston korkeus muuttuu ja drone nostaa tästä syystä lentokorkeuttaan, saattaa drone osua mahdollisesti yläpuolellansa oleviin esteisiin.



Kuva 14. Koelento, jossa tutkimme dronen käyttäytymistä mäessä. (Kuva: Teemu Siponen).

8.7 Muuta huomioitavaa

Opinnäytetyössä käytettävän dronen tekniikkaan emme voineet puuttua, koska tarkoituksena oli selvittää, pystyisikö kyseisellä dronen mallilla kuvaamaan puustovaurioita. Jos olisimme tehneet laitteeseen teknisiä muutoksia, kyseessä ei olisi ollut alkuperäinen kaupallinen drone, vaan modifioitu yksilö. Lisäksi dronen valmistaja ei halua julkaista dronen kytkentäkaavioita tai vastaavia tietoja, ettei esimerkiksi dronen tekniikkaan tehdä muutoksia. Se vaikeuttaa myös piiraattituotteiden suunnittelua ja valmistamista.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli siis selvittää, onnistuisiko DJI Mavic Pro:n lennättäminen harvennustyömaan ajourilla, jotta saataisiin kuvattua metsätöistä aiheutuneet puustovauriot. Koelentojen perusteella emme voi suositella lennättämistä ajourilla. Suurimmiksi ongelmiksi muodostuivat epävarma esteentunnistus sekä paikannuksen epätarkkuus.

Dronen esteentunnistuksen toiminta ajourilla huolestutti jo heti opinnäytetyön alkuvaiheessa. Koelentojen perusteella ongelmaksi osoittautui se, että esteentunnistus ei huomannut kaikkia risuja ja oksia, jotka olivat lentoreitillä. Toisena ongelmana oli esteentunnistuksen suuntaukset. Latvuston alapuolella lennätettäessä dronessa pitäisi olla esteentunnistus ylöspäin ja myös sivuille. Näitä ominaisuuksia käytössämme olleessa dronessa ei ollut. Mainittakoon lisäksi, että koelentojen perusteella totesimme, että esteen huomattessaan drone jää paikalleen niin pitkäksi aikaa, kunnes este poistuu sen edestä. Valmistajan ohjeiden mukaan dronen pitäisi lähteä nousemaan kohtisuoraan ylöspäin, jotta se voisi lentää esteen yli. Tätä ei suorittamallamme koelennolla jostain syystä tapahtunut. Jos niin kuitenkin tapahtuisi ajourilla, voisi drone osua yläpuolellaan oleviin esteisiin ja vaurioitua. Drone ei lähde etsimään vaihtoehtoisia reittejä. Esteen saisi kierrettyä manuaalisesti ohjaamalla, mutta automaattisen kuvauksen idea ei enää toimisi siinä tapauksessa. Tällöin lennättäjän täytyisi seurata dronea ajourilla. Silloin päästäisiin helpommalla, jos lennättäjä vain kävelisi ajourat lävitse ja kuvaisi puustovauriot kameralla.

Paikannus tapahtuu käsi-GPS -laitteella ja Handy GPS -sovelluksella WGS-84 -koordinaatiston avulla. Kysymykseen, mikä koordinaatisto on DJI Mavic Pro:ssa käytössä, emme löytäneet vastausta teknisistä tiedoista, käyttöohjeesta emmekä edes internetistä.

Koelentoilla huomattu lentoreitin sijainnin ero käveltyyn reittiin voi mahdollisesti johtua siitä, että drone ja reitin tallennukseen käytettävä laite on voinut käyttää eri koordinaattijärjestelmiä. Tätä emme voi todeta varmaksi, koska emme tiedä

DJI Mavic Pro:n käyttämää järjestelmää. Koelennolla sama reitti heti peräkkäin lennetyinä onnistui lähestulkoon täydellisesti, viimeisiä pistevälejä lukuun ottamatta. Siinä drone lensi kuvan (kuva 9) punaisesta viivasta päätellen hieman alle metrin sisällä edelliseen tulokseen verrattuna. Se olisi mielestämme hyväksyttävä epätarkkuus. Mutta, kuten voimme päätellä saman kuvan sinisestä viivasta, seuraavana päivänä sama lentoreitti oli pahimmillaan noin kaksi metriä sivussa edellisen päivän punaisella viivalla merkitystä lentoreitistä. Tämä epätarkkuus alkaa olla jo liian suuri, onhan ajouran leveys pienimmillään vain noin kolme metriä. Vihreän viivan eli jalan kuljetun reitin heitto voi olla koelentojen perusteella peräti 10 metriä verrattuna dronen kulkemaan reittiin.

Edellä mainittujen tulosten vuoksi emme suorittaneet koelentoja metsässä harvesterin ajourilla, koska mielestämme riskit dronen kolarointiin olivat liian suuret. Lisäksi, kun otamme huomioon paikannuksen epätarkkuuden avoimella hiekkakentällä, on todennäköistä, että ajourien lähistöllä oleva puusto heikentää GPS-signaalia.

Koelennolla tuli myös vastaan käytännön ongelmia, kuten huonosti toimiva USB-kaapeli tabletin ja ohjaimen välissä. Tämä aiheutti sen, että dronea ei saatu lentämään automaattisesti, ennen kuin kaapeli vaihdettiin ehjään. Lisäksi DJI Ultimate Flight -ohjelmassa oli toimintavirhe. Virhe aiheutti sen, että koelentoa aloitettaessa ohjelma herjasi liian suuresta lentoalueen säteestä. Tämä ongelma korjaantui siten, että lykkäsimme koelennon seuraavaan päivään. Näin meillä kävi kahdesti koelentojen yhteydessä. Huomasimme myös koelentojen aikaa rajoittavan suunnitteluvirheen järjestelmässä: automaattisesti lennätettäessä ohjaimen akku tyhjeni todella nopeasti. Tämä johtui siitä, että USB-kaapelin ollessa kytkettynä ohjaimen ja tabletin välillä alkaa tabletti latautua. Asialle emme voineet tehdä muuta kuin sen, että latasimme molempien laitteiden akut täyteen aina ennen koelentoja.

Opinnäytetyön tekemisen aikana olemme lukeneet uutisartikkeleita siitä, miten Yhdysvallat on heikentänyt kuluttajien GPS-järjestelmän tarkkuutta, kun taas vastaavasti parantanut sen tarkkuutta sotilaallisiin tarkoituksiin. Marraskuussa 2018 Venäjä häiritsi GPS-signaalia. Onneksi emme suorittaneet tuolloin koelen-

toja. Tämä olisi vaarantanut koelentojen tulosten luotettavuuden. Häirinnän aikana havaitsimme puhelimen paikannussovelluksessa useiden kilometrien epätarkkuutta todelliseen sijaintiin verrattuna, varsinkin automatkalla.

Dronet ovat nykyisin yleistymässä yksityishenkilöiden ja yritysten käytössä, joten tapaturmiakin voi sattua. Tästä syystä ilmailulainsäädäntöön on viime aikoina tehty muutoksia dronejen osalta. Voi olla, että lainsäädäntö muuttuu tulevaisuudessa hyvinkin paljon.

Dronen hyödyntäminen korjuuvaurioiden kuvaamisessa voisi olla tulevaisuudessa mahdollista sitten, kun laitteiden esteentunnistus ja paikannustarkkuus kehittyvät. Dronen hyödyntämistä helpottaisi myös se, että reitin älykäs tutkaaminen ja seuraaminen saataisiin kaupalliseen tuotantoon. Lisäksi nykyisen dronen akkujen kapasiteetti on pienenä huolenaiheena, koska lentoaika on valmistajan mukaan parhaimmillaan vain 27 minuuttia. Olosuhteet, kuten lämpötila ja tuulisuus, vaikuttavat lentoaikaan. On myös otettava huomioon, että kun akut vanhenevat, niiden varauskyky heikkenee. Tämän takia hiemankin suuremmilla harvennusalueilla akku pitäisi vaihtaa tai ladata melko usein. Tulevaisuudessa todennäköisesti akkujen kapasiteetti kasvaa ja dronen energiatehokkuus paranee. Tämä tulee pidentämään lentoaika.

Lähteet

- ArduPilot Dev Team. 2016. What is a MultiCopter and How Does it Work? ArduPilot. <http://ardupilot.org/copter/docs/what-is-a-multicopter-and-how-does-it-work.html>. 26.11.2018.
- Corrigan, F. 2018. DJI Mavic Pro Reviewed With Frequently Asked Questions. DroneZon. <https://www.dronezon.com/drone-reviews/dji-mavic-pro-highlights-review-frequently-asked-questions/>. 14.11.2018.
- DJI. 2016. DJI Ultimate Flight. <http://djiultimateflight.com/images/DJI%20Ultimate%20Flight%20V3.pdf>. 19.11.2018.
- DJI. 2018. DJIFlightPlanner. <http://www.djiflightplanner.com/>. 28.8.2018.
- Etsiville. 2018. Koordinaatit. Etsiville. <https://geokätköt.fi/opas/satelliittipaikannus/koordinaatit/>. 18.11.2018.
- Iittiläinen, P., Hyyppölä, A., Kariniemi, A., Nieminen, T., Poikela, A., Ranta, R., Roininen, K., Rumpunen, H., Tolonen, H. & Äijälä, O. 2003. Korjuujälki harvennushakkuussa. Metsäteho. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Korjuujalki_harvennushakkuussa_opas.pdf. 14.11.2018.
- Ilmailulaki 864/2014.
- Liikenteen turvallisuusviraston määräys TRAFI/90924/03.04.00.00/2016.
- NOAA. 2017. What Is the Global Positioning System? NOAA. https://celebrating200years.noaa.gov/transformations/gps/Figure_1.html. 19.10.2018.
- Palander, T., Eronen, J., Kärhä, K., & Ovaskainen, H., 2018. Development of a wood damage monitoring system for mechanized harvesting. Annals of Forest Research. <http://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/viewFile/1084/745>. 12.12.2018.
- Pesonen, M., Iittiläinen, P., Immonen, K., Jaakkola, S., Kariniemi, A., Korpilahti, A., Nieminen, T., Roininen, K., Strandström, M. & Vartiamäki, T. 2005. Korjuun suunnittelu ja toteutus. Metsäteho. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Korjuun_suunnittelu_ja_toteutus_ver02.pdf. 14.11.2018.
- Poutanen, M. 2016. Satelliittipaikannus. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Urssa.
- Rikoslaki 39/1889.

Trafi. 2018. Lennokkien lennättämisen ABC. Trafi. <https://www.droneinfo.fi/fi>. 2.5.2018.

Trafi. 2018. Usein kysyttyä. Trafi. https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilmaluukset_ja_lennokit. 21.6.2018.

VC Technology Ltd. 2018. Litchi for DJI Mavic / Phantom / Inspire / Spark. VC Technology Ltd. <https://flylitchi.com/>. 17.8.2018.

Äijälä, O., Koistinen A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. 2014. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.

Garmin käsi-GPS -koordinaatitiedosto

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no" ?><gpx
xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/1"
xmlns:gpvx="http://www.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensions/v3"
xmlns:gpstrkx="http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackStatsExtension/v1"
xmlns:wptxl="http://www.garmin.com/xmlschemas/WaypointExtension/v1"
xmlns:gpstpx="http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtension/v1"
creator="GPSMAP 64" version="1.1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.topografix.com/GPX/1/1
http://www.topografix.com/GPX/1/1/gpx.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensions/v3
http://www8.garmin.com/xmlschemas/GpxExtensionsv3.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackStatsExtension/v1
http://www8.garmin.com/xmlschemas/TrackStatsExtension.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/WaypointExtension/v1
http://www8.garmin.com/xmlschemas/WaypointExtensionv1.xsd
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtension/v1
http://www.garmin.com/xmlschemas/TrackPointExtensionv1.xsd"><metadata><link
href="http://www.garmin.com"><text>Garmin
International</text></link><time>2018-05-
08T09:02:29Z</time></metadata><trk><name>MMM-05-08
12:02:22</name><extensions><gpvx:TrackExtension><gpvx:DisplayColor>Red</gpvx:
DisplayColor></gpvx:TrackExtension><gpstrkx:TrackStatsExtension><gpstrkx:Dist
ance>62</gpstrkx:Distance><gpstrkx:TotalElapsedTime>164</gpstrkx:TotalElapsed
Time><gpstrkx:MovingTime>149</gpstrkx:MovingTime><gpstrkx:StoppedTime>15</gp
strkx:StoppedTime><gpstrkx:MovingSpeed>0</gpstrkx:MovingSpeed><gpstrkx:MaxSpee
d>32</gpstrkx:MaxSpeed><gpstrkx:MaxElevation>828</gpstrkx:MaxElevation><gpstr
kx:MinElevation>-
811</gpstrkx:MinElevation><gpstrkx:Ascent>11803</gpstrkx:Ascent><gpstrkx:Desc
ent>13149</gpstrkx:Descent><gpstrkx:AvgAscentRate>0</gpstrkx:AvgAscentRate><g
pstrkx:MaxAscentRate>3</gpstrkx:MaxAscentRate><gpstrkx:AvgDescentRate>0</gpst
rkx:AvgDescentRate><gpstrkx:MaxDescentRate>-
7</gpstrkx:MaxDescentRate></gpstrkx:TrackStatsExtension></extensions><trkseg>
<trkpt lat="62.5881845411" lon="29.7773804795"><ele>74.75</ele><time>2018-05-
08T08:59:45Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5881944317"
lon="29.7774115764"><ele>74.55</ele><time>2018-05-
08T08:59:57Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5881935097"
lon="29.7775115725"><ele>75.31</ele><time>2018-05-
08T09:00:13Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5881478284"
lon="29.7775945533"><ele>75.62</ele><time>2018-05-
08T09:00:31Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5881041586"
lon="29.7775850818"><ele>75.15</ele><time>2018-05-
08T09:00:43Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5880415458"
lon="29.7775193676"><ele>73.84</ele><time>2018-05-
08T09:01:00Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5880286377"
lon="29.7773990035"><ele>72.49</ele><time>2018-05-
08T09:01:18Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5880766660"
lon="29.7772494704"><ele>70.53</ele><time>2018-05-
08T09:01:40Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5881305616"
lon="29.7772420105"><ele>70.54</ele><time>2018-05-
08T09:01:56Z</time></trkpt><trkpt lat="62.5881823618"
lon="29.7773249913"><ele>71.18</ele><time>2018-05-
08T09:02:16Z</time></trkpt></trkseg></trk></gpx>

```

Handy GPS -koordinaattitiedosto

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.1"><Document>
<Style id="mystyle">
<LineStyle><color>ff00ffff</color><width>2</width></LineStyle>
</Style>
<Placemark><name>repolä Tracklog 1</name><description>Time=2018-05-03
20:18:18</description><styleUrl>#mystyle</styleUrl>
<LineString><tessellate>1</tessellate>
<coordinates>
29.8121481,62.58650593,115.92
29.81265312,62.5865437,109.42
</coordinates></LineString></Placemark>
</Document></kml>
```

DJI Flight Planner CSV -tiedosto

```
latitude,longitude,altitude,heading,maxReachTime,speed,stayTime,turnMode,actions,dampingDistance,Operation,operationParameters,restartVideo,focusPoint
62.588272,29.776852,2,162,,,,,RotateAircraft:162:,1.0,OPERATION_NORMAL,,false,-1
62.587974,29.777035,2,162,,,,,1.0,OPERATION_NORMAL,,false,-1
62.587965,29.777061,2,76,,,,,RotateAircraft:76:,1.0,OPERATION_NORMAL,,false,-1
62.588005,29.777500,2,76,,,,,1.0,OPERATION_NORMAL,,false,-1
62.588010,29.777543,2,-48,,,,,RotateAircraft:-48:,1.0,OPERATION_NORMAL,,false,-1
62.588271,29.776971,2,-48,,,,,1.0,OPERATION_NORMAL,,false,-1
repeatCount,movingMode,pathMode,finishAction,flyingSpeed,remoteControlSpeed,overlay,startAction,missionType,PhotoCount,PhotoTime,GimbalPitch,AltitudePriority
1,0,0,1,0.83,14.0,,,,,OPERATION_MAPPING,0,2.76,-90,true
```