



Lentorobottien pilotointi sähköverkon tarkastuksissa

2014

V1.0

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	7
2	PILOTOINNIN TAUSTAT, TAVOITTEET JA TEKOTAPA	9
2.1	Pilotoinnin taustaa	9
2.2	Pilotoinnille asetetut tavoitteet.....	10
2.3	Pilotoinnin toteutustapa ja pääsisältö	11
2.4	Ohjausryhmä ja resurssit	12
2.5	Raportin linkit ja kuvat.....	12
3	SÄHKÖVERKKOYHTIÖIDEN TARPEITA ILMAHAVAINNOINTIIN	13
3.1	Suurhäiriötilanne	13
3.2	Määräaikaistarkastukset - Verkon komponenttien kuntotarkastus	13
3.3	Määräaikaistarkastukset - Kasvillisuuden ja turvaetäisyyksien tarkastus.....	14
4	ERILAISET LENTOTILAT, ILMAILUN SÄÄNTELY JA HAETUT LUVAT	15
4.1	Miehittämättömät lennot valvomattomassa ilmatilassa	15
4.2	Miehittämättömät lennot valvotussa ilmatilassa.....	16
4.3	Ilmailun sääntely ja lupaviranomaiset ja luvat	16
5	PILOTTILAITTEISTON KOKOONPANO JA OMINAISUUDET	18
5.1	RPAS-ilma-alus ja automaattiohjaus- ja navigointilaitteet.....	18
5.2	Ohjaus- ja viestintäyhteydet	21
5.3	Havaintolaitteet	22
5.4	Pilottilaitteiston koelennot	22
6	PILOTOINTIALUE JA LENNONSUUNNITTELU	23
6.1	Pilotointialue ja valinnan perusteet.....	23
6.2	Reittisuunnittelussa käytetyt välineet ja ohjelmistot.....	24
6.3	Tavoitteet havaintomateriaalille.....	25
7	PILOTOINTILENTOJEN TULOKSET	27
7.1	Kokemukset RPAS-ilma-aluksen lennättämisestä Tuupovaarassa	27
7.2	Kokemukset havaintomateriaalin tuottamisesta	30
7.3	Testilennon kulku ja ohjaajien havaintoja sekä huomioita testilennon aikana	30

8	KERÄTYN HAVAINMATERIAALIN ARVIOINTI.....	32
8.1	RGB-viistokuva-aineisto.....	32
8.2	Laserkeilausaineisto	35
8.3	Arvio havaintomateriaalin soveltuvuudesta verkoston lentotarkastuksiin.....	38
9	MIEHITTÄMÄTTÖMIEN JA MIEHITETTYJEN TARKASTUSLENTOJEN VERTAILU	39
9.1	Lentorobottien investointi- ja käyttökustannukset.....	39
9.2	Verkostotarkastusten vertailua miehitetyillä helikoptereilla ja lentoroboteilla tehtynä.....	43
10	TARKASTUSLENTOJEN PALVELUKUVAUS JA KEHITTÄMISEHDOTUKSIA	44
10.1	Tarkastuslentojen palvelukuvaus	44
10.2	Kehittämisen- ja jatkotyöehdotuksia.....	44
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	48
11.1	Lentorobottien soveltuvuus lentotarkastuksiin tällä hetkellä	48
11.2	Lentorobottien hyödyntämisen näkymät tulevaisuudessa	49
12	LYHENTEITÄ JA TERMEJÄ	50

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

/1/	Ilmatilan varaushakemus
/2/	Ilmatilan varauspäätös, Trafi
/3/	Lentolupahakemus
/4/	Lentolupapäätös, Trafi
/5/	Taajuusvarauspäätös, Viestintävirasto
/6/	Helikopteri-alustan JR GSR260Z teknisiä tietoja ja ominaisuuksia
/7/	Testilennon kulku ja ohjaajien havaintoja sekä huomioita testilennon aikana
/8/	UAV-pohjainen lentotarkastus ja kunnossapitosuunnittelu sähköverkkoyhtiöille, Palvelumäärittely

Kansikuva: Pilotoinnissa käytetty robottikopteri JR GSR260Z Tuupovaarassa

LENTOROBOTIT SÄHKÖVERKON TARKASTUKSISSA PILOTOINTI

TIIVISTELMÄ

Vuonna 2013 voimaan tulleessa sähkömarkkina-asetuksessa asetetaan tiukat toimitusvarmuustavoitteet. Lain perusteella jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei saa aiheuttaa asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävästä sähköjakelun keskeytyksestä. Kaava-alueen ulkopuolella aikaraja on 36 tuntia.

Ilma-alusten avulla tehtävä lentotyö on tärkeä ja oleellinen osa yhteiskunnan sähköhuollon varmistamisesta. Suurhäiriötilanteissa ilma-aluksien avulla tehdyt tarkastuslennot ovat välttämättömiä tilannekuvan muodostamisessa, ja samalla ne nopeuttavat verkoston vikojen paikantamista. Lentojen avulla edistetään korjaustoiminnan kohdentamista ja lyhennetään erityisesti keskijänniteverkon korjausaikaa. Pääosin ilmajohtoihin perustuvan 20 kV:n keskijänniteverkon toimivuus on sähköjakelun kannalta elintärkeää. Toimitusvarmuustavoitteiden takia suurhäiriötilanteissa suoritettavat lennot ovat vasteaikavaatimuksiltaan tiukkoja. Tarkastuslennot käynnistetään välittömästi sään salliessa ja niitä jatketaan tarpeen mukaan kunnes valtaosa verkoston vioista on saatu paikannettua. Isoilla verkkoyhtiöillä voi samanaikaisesti olla käytössään useita helikoptereita.

Verkkoyhtiöt käyttävät miehitettyjä helikoptereita kasvavassa määrin myös verkoston kunnossapitoon liittyvissä tarkastustehtävissä. Tärkeimpiä näistä ovat keskijänniteverkon ilmakeinon lennot. Tyypillisesti verkkoyhtiöt tarkastavat ilmasta käsin verkostonsa 3-6 vuoden sykleissä. Lennot ajoitetaan tyypillisesti varhaiseen kesään, jolloin yleensä vallitsee hyvät kuvaus- ja lento-olosuhteet. Tarkastuslentoja varten helikopterit varustetaan monipuolisella havainto-laitteistolla ja lennoille on tyypillistä erittäin matala lentokorkeus, jopa vain 30 - 60 metriä maan pinnasta.

Energiavirasto kannustaa käyttämällään ohjausmallilla verkkoyhtiöitä tehostamaan toimintaansa. Helikopterien avulla suoritettavat ilmatarkastukset ovat toiminnallisesti erittäin tehokas verkoston kunnossapito- ja korjaustoimintaa tukeva tarkastusmenetelmä. Miehitettyjen helikopterien korkeiden kustannusten takia verkkoyhtiöt käyttävät niitä hyvin harkitusti tai jopa voivat korvata niitä muilla vähemmän tehokkailla perinteisillä työvoimavaltaisilla menetelmillä, esimerkiksi jalkapartioinnilla.

Lentotoiminta on hyvin tarkasti säänneltyä ja näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvat lennot miehittämättömillä ilma-aluksilla edellyttävät useita viranomaislupia ja ilmatilan varaamista. Tässä raportissa on käsitelty näiden B-VLOS¹-lentojen vaatimia lupia ja koottu liitteisiin viranomaisten kanssa käytyä lupakirjeenvaihtoa.

Pilotoinnin testilentopäivänä 13.11.2014 astui voimaan uusi ilmailulaki ja maamme ilmatilan rakenne uusittiin.

¹ B-VLOS = Beyond Visual Line Of Sight - Lennot suoran näköyhteyden ulkopuolelle

Alempiasteiset, myös miehittämättömän ilmailun huomioon ottavat säädökset ovat vielä työn alla Liikenteen turvallisuusvirastossa Trafissa. Niistä tarkastuslentojen kannalta tärkeimmän eli lentotyötä koskevan määräyksen OPS M1-23 odotetaan valmistuvan vuoden 2015 alussa.

Suoran näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvien tarkastuslentojen pilotointi oli sangen haasteellinen tehtävä valmiiden ja kohtuuhintaisten järjestelmäratkaisujen tarjonnan olemattomuuden vuoksi. Sotilastarkoituksiin soveltuvia tiedustelu- ja vakoilujärjestelmiä on kyllä saatavissa lukuisilta eri valmistajilta, mutta niiden erilainen käyttöympäristö ja ominaisuudet nostavat hinnan käytännössä verkostotarkastukseen soveltumattomaksi. Niinpä vasta perustettu Next Eagle Oy sai ensimmäisen kunnan haasteen eli pilotoinnissa käytettävän lentorobotijärjestelmän suunnittelun, rakentamisen ja testaamisen. Järjestelmän laitteet ja ohjelmistot hankittiin ja koottiin kesän 2014 aikana ja elo-lokakuussa tehtiin tarvittavat koelennot.

Testausvaiheessa runsaasti aikaa käytettiin automaattisen navigoinnin ja ohjauksen parametrien säätöön, viestiyhteyksien rakentamiseen ja kokeiluun sekä havaintolaitteiden testaukseen ja virittelyyn. Oma osansa vaati lentoturvallisuuteen liittyvän lukuisat yksityiskohdat ja niiden huomioiminen muun muassa pilotointialuetta valittaessa. Varsinaisen pilotoinnin testilennon lentämistä siirrettiin myös useaan otteeseen loka-marraskuussa koelentoalueella vallinneiden haasteellisten sääolosuhteiden vuoksi.

Verkoston lentotarkastuksen testilento lennettiin siis 13. marraskuuta Pohjois-Karjalan Tuupovaarassa kohteena PKS Sähkönsiirto Oy:n 20 kV:n keskijänniteverkko. Viistokuvauskameraan tullutta toimintahäiriötä lukuun ottamatta testilento onnistui erinomaisesti. Vaativa, suoran näköyhteyden ulkopuolelle ulottunut tarkastuslento onnistui lentoteknisesti erinomaisesti ja lennoilla käytetty järjestelmälusta on kohtuullisen pienin muutoksin saatavissa tuotantotoiminnan vaatimaan kuntoon. Kerätty viistokuva-aineisto on laadultaan erittäin hyvää tai vähintään hyvää ja soveltuu mainiosti verkoston lentotarkastuksiin ja komponenttien kunnan määrittelyyn. Samoin laserkeilauksella saatu aineisto on riittävän laadukasta raivaussuunnittelun ja vierasesineanalyysin lähtötiedoiksi. Kerättyä havaintoaineistoa on vertailtu miehitettyltä tuotantolennolta saatuun materiaaliin.

Perustuen pilotoinnin tuloksiin ja kokemuksiin sekä testilennon havaintoaineiston analysointiin lentorobotit soveltuvat teknistaloudellisesti tänä päivänä erinomaisesti suoralla näköyhteydellä tapahtuviin verkoston komponenttien tarkastuskuvauksiin ja ortokuvauksiin esimerkiksi rakennettaessa uusia sähköasemia, voimalaitoksia tai ilmajohtoverkostoa.

Näköyhteyden ulkopuolelle ulottuviin verkoston tarkastuslentoihin tekniikka on olemassa jo tänä päivänä ja palveluntarjonnan käynnistäminen vaatii lähinnä tekniikan ja tuotantoprosessin hiomista ja palvelun tuotteistamista. Lisäksi lupaprosessi tulisi "standardisoida" yhteistyössä viranomaisten ja loppukäyttäjätahojen kanssa.

Suurhäiriötilanteissa tilannekuvan kartoittamisen osalta lentorobottien läpimurtoa on odotettava hieman pitempään, sillä sekä tekniikka että lainsäädäntö vaativat vielä hiomista ainakin valvotussa ilmatilassa lentämisen osalta. Yksittäisten, maantieteellisesti rajoitettujen alueiden vikapaikannuksessa lentorobotit ovat käyttökelpoisia jo nyt.

Vauhdilla kehittyvien miehittämättömien ilma-alusten käytöllä odotetaan lentotarkastuksissa saavutettavan samat hyödyt kuin miehitetyillä helikoptereilla, mutta oleellisesti edullisempaan hintaan ja ekologisesti kestävämmällä tavalla. Lentotarkastusten kustannusten arvioidaan lentorobottien käytöllä alentuvan jopa puoleen miehitettyihin helikoptereihin verrattuna. Miehittämättömien ilma-alusten odotetaan tulevaisuudessa pitkälle korvaavan miehitetyt helikopterit verkoston vikapartioinnissa sekä säännölliseen kunnossapitoon liittyvissä tarkastuslennoissa.

Raportin loppuun on saatujen kokemusten perusteella koottu monia kehitysehdotuksia. Lisäksi Sharper Shape Oy:n toimesta on laadittu palvelukuvaus lentoroboteilla tehtävistä sähköverkoston tarkastuslennoista. Palvelukuvaus on raportin lopussa liitteenä.

Kiitokset Energiateollisuus ry/Sähkö tutkimuspoolille, Elenia Oy:lle sekä PKS Sähkönsiirto Oy:lle tutkimustyön taloudellisesta tukemisesta sekä kaikille työhön osallistuneille asiantuntijatahoille arvokkaista tiedoista, neuvoista ja luovutetusta materiaalista.

1 JOHDANTO

Sähköverkkoyhtiöt käyttävät laajasti miehitettyjä ilma-aluksia, pääasiassa helikoptereita, sähköverkon erilaisissa ilmatarkastuksissa sekä verkoston rakennus- ja kunnossapitotöissä.

Tavanomaisien miehitettyjen helikoptereiden käyttö on sangen kallista ja normaalin lentotunnin hinta vaihtelee tavallisesti välillä 700 -1 300 euroa/lentotunti helikopterin tyypistä, varustuksesta ja suoritettavasta tehtävästä riippuen.

Miehittämättömät ilma-alukset eli RPAS- järjestelmät² tai UAV:t³ ovat kehittyneet vauhdilla viimeisen kymmenen vuoden aikana. Erityisen pitkälle nämä lentorobotit⁴ ovat kehittyneet sotilassovellutuksissa, jossa miehittämättömiä ilma-aluksia käytetään kauko-ohjatusti maalinosoitus- ja tiedustelutehtävissä. Pitkälle kehitettyjä lentorobotteja hyödynnetään myös taistelutehtävissä ohjusten ja pommien kantolaitteina. Näitä aluksia ohjataan risteilyohjusten tavoin erittäin kehittyneillä satelliittipaikannukseen ja edistyneeseen viestintään perustuvilla navigointijärjestelmillä. Voimalaitteena suorituskykyisissä sotilaallisissa RPAS-laitteissa on pitkän toimintasäteen takaamiseksi joko yksi tai useita poltto- tai turbiinimoottoreita. Taktiseen tiedusteluun käytetään myös sähköllä toimivia lentorobotteja.

Lentorobotteja käytetään siviili-ilmailussa jo lukuisissa ammattisovellutuksissa ja niiden käyttöä ilmakuvauksissa ja verkostotarkastuksissa ja on käsitelty mm. lähteissä /1/ - /3/.

Harrastuskäytössä radio-ohjatuilla lennokeilla ja pienoishelikoptereilla on jo pitkä käyttöhistoria. Aikaisemmin laitteet muistuttivat rakenteeltaan perinteisiä lentokoneita ja helikoptereita sekä perustuivat pitkälle suurten esimerkkiensä konventionaaliseen aerodynamiikkaan. Sähkömoottori- ja akkutekniikan kehittymisen myötä uudenlaiset monimoottoriset lentorobotit ovat yleistyneet hupi- ja harrastussovellutuksissa kestävän rakenteensa ja erinomaisten ohjausominaisuuksiensa takia. Nämä monimoottoriset robottihelikopterit kykenevät liikkumaan portaattomasti säädettävällä nopeudella kaikkiin suuntiin ja kiertymään lähes rajoituksetta kaikkien akseliensa ympäri.

Monimoottorisia (4-10 roottoria) sähkökäyttöisiä robottihelikoptereita on alettu kehittää nyt myös ammattisovellutuksiin, vertaa oheinen kuva Aibotix-robottihelikopterista.



Kuva 1 - Itävaltalainen sähkökäyttöinen Aibotix-robottihelikopteri verkoston tarkastustehtävissä

² RPAS = Remote Piloted Aircraft Systems

³ UAV = Unmanned Aerial Vehicle

⁴ Tässä esityksessä käytetään kauko-ohjatuista tai ennalta ohjelmoidun lentoreitin käyttöön perustuvista, puoli- tai täysiautomaattisista miehittämättömistä ilma-aluksista myös nimitystä lentorobotti

Tutkimuksessa haluttiin selvittää voimakkaasti kehittyvien lentorobottien soveltuvuutta sähköverkkojen määräaikaistarkastuksiin lentämällä aidossa verkkoympäristössä riittävän pitkä lentosuorite, jossa ilma-alus oli varustettuna tehtävään soveltuvilla havaintovälineillä. Saatujen tulosten perusteella haluttiin arvioida lentorobottien soveltuvuutta lisäksi myös sähköverkon häiriötilanteissa tarvittaviin tiedustelu- ja kartoituslentoihin.

Työn lähtöajatuksena oli, että lentorobottien optimaalisella käytöllä voidaan merkittävästi alentaa verkkoyhtiöille lentotarkastuksista aiheutuvia kustannuksia. Samalla on mahdollista edistää uuden ilmailuteollisuuden ja palvelutoiminnan luomista maahamme.

2 PILOTOINNIN TAUSTAT, TAVOITTEET JA TEKOTAPA

2.1 Pilotoinnin taustaa

Sharper Shape Oy, Next Eagle Oy ja Konsulttitoimisto Reneco Oy ovat asiantuntija-organisaatioita, jotka muun muassa tuottavat palveluja energiayhtiöiden toiminnan kehittämiseen eri muodoissaan. Liittyen sähköverkoston toimintavarmuuden parantamiseen Reneco esitti tammikuussa 2014 Sähkötutkimuspoolille selvitettäväksi lentorobottien soveltuvuutta sähköverkon tarkastuksissa ja suurhäiriötilannekuvan luomisessa. Aihe hyväksyttiin poolin rahoittamaksi tutkimusaiheeksi ja jo alun perin työ jaettiin kahteen osaan:

1. Perusselvitys lentorobottien soveltuvuudesta sähköverkon tarkastuksiin
2. Sähköverkon tarkastusten käytännön pilotointi lentoroboteilla (optio)

Reneco Oy tekemänä osan 1. perusselvitys valmistui 6/2014 ja on saatavissa sähköisesti Energiategollisuus ry:n sivuilta, lähde /1/.

Tehtyyn selvitykseen kuului myös lentoroboteilla tehtävien verkostotarkastusten pilotoinnin esisuunnittelu ja pilotoinnista kiinnostuneiden, lähinnä lentorobottien valmistajayritysten hakeminen.

Työn ensimmäisen osan kuluessa ilmeni, että sähkökäyttöisten, pystysuoraan nousemaan ja laskemaan kykenevien (VTOL⁵) ilma-alusten suorituskyky (toimintasäde x hyötykuorma) ei riitä verkostotarkastuksessa usein tarvittaviin, näköyhteyden ulkopuolelle ulottuviin lentoihin (B-VLOS-lennot). Lentotarkastuksissa tarvittavan havaintolaitteiston massa riippuu valitusta havaintolaitteiden määrästä ja tyypistä ja vaihtelee sovelluskohteesta riippuen. Sovelluskohteita ovat suurhäiriötilannekuvan muodostaminen, rajoitetun alueen verkkovikojen paikantaminen ja verkoston kunnossapitoon liittyvät määräaikaistarkastukset.

Suurhäiriötilannekuvan muodostamisessa havaintovälineiksi riittää normaali näköalueen kompakti digitaalikamera, jonka massa on muutamia satoja grammoja ja havaintojen siirtoon tarvittava telemetriayhteys maatukiasemalle. Tarvittava lentokorkeus on tarkastelupinta-alan ja riittävän tehokkuuden saavuttamiseksi suuri (tyypillisesti yli 150 metriä maanpinnasta) ja lentomatkat ovat pitkiä.

Rajoitetulla alueella johtoreittiä pitkin lennettäessä voi pelkällä kameralla varustetulla lentorobotilla paikantaa esimerkiksi myrskyn aiheuttamia verkkovikoja. Lento voidaan tehdä ns. valvomattomassa ilmatilassa 150 metrin korkeusrajan alapuolella.

Molemmissa edellä mainituissa tapauksissa lentolaitteen kuormankantokyvyn ei tarvitse olla kovin suuri - yksi kilogramma on jo paljon. Polttoainetta tai akkukapasiteettia pitää sitä vastoin olla riittävästi pitkät lentomatkat huomioiden.

⁵ VTOL = Vertical Take Off and Landing – Pystysuoraan nouseminen ja laskeutuminen

Verkoston määräaikaistarkastuksissa käytetään tyypillisesti useita erilaisia kameroita ja laserkeilainta. Keilain vaatii lisäksi hyvälaatuisen IMU⁶-laitteen mittaustulosten sijoittamiseksi koordinaatistoon. Tarvittavan laitteiston (sensorit, tiedonkeräysyksikkö, IMU ja satelliittipaikannin) yhteismassa on luokkaa 7-8kg.

Pilotointiosan sisältämät käytännön kenttätestaukset päätettiin toteuttaa erillisen arvioinnin jälkeen tukeutuen työn ensimmäisessä osassa kerättyyn tietoon.

Pilotointiosan käytännön toteuttamiseen vaikuttivat oleellisesti myös lentorobottien valmistajien vähäinen halukkuus testeihin ja koejärjestelyjen kustannukset.

Tutkimushankkeen vastuullisena toteuttajina toimivat Sharper Shape Oy ja Next Eagle Oy. Hankkeen tarkkailijana ja raporttina toimi Konsulttitoimisto Reneco Oy Sharper Shape Oy:n toimeksiannosta. Tutkimushanketta tukivat taloudellisesti Energiateollisuus ry/ Sähkötutkimuspooli, Elenia Oy sekä PKS Sähkönsiirto.

2.2 Pilotoinnille asetetut tavoitteet

Tutkimushankkeelle asetettiin seuraavat tavoitteet:

1. Testata lentorobottijärjestelmien toimivuus ja käyttökelpoisuus erilaisissa olosuhteissa tehtävissä verkon tarkastuksissa ja vianpaikannuksessa
2. Selvittää käytännössä lentorobottien operatiiviseen käyttöön liittyviä tekijöitä, mm. ohjaukseen, navigointiin, lentoturvallisuuteen ja havaintojen tekoon vaikuttavat seikat
3. Testata vikatiedon tulkintaa saadusta havaintoaineistosta sekä testata edelleen käsitellyn havaintoaineiston sekä vikatiedon siirtämistä verkkoyhtiön GIS-pohjaisiin järjestelmiin, kuten esimerkiksi verkkotieto- ja käytöntukijärjestelmät
4. Koota esitys tärkeimmistä kehittämissuunnitelmista
5. Osoittaa ilmailuviranomaisille miehittämättömien ilma-alusten toimivuus ja tarpeellisuus sähköverkkotoimintaan liittyen
6. Laatia kaupallisesti todennettu kustannusvertailu lentorobottien käyttämisestä osana sähköverkon kunnossapidon suunnittelua verrattuna miehittyihin helikoptereihin. Vertailussa arvioidaan lentorobottien operatiivinen kyvykyys, tiedonkeruun laatuvaatimukset ja tehokkuus sekä jälkiprosessoinnin vaikutus verrattuna verkkoyhtiöiden käyttämiin nykyisiin menetelmiin
7. Täydentää vaiheessa 1 laadittu kirjallinen raportti pilotoinnissa saatujen kokemusten perusteella. Raporttiin sisällytetään kokemukseräisiä vinkkejä ja hyviä käytäntöjä RPAS-laitteiden käytöstä sähköverkkoyhtiöiden tarkastuksissa sekä tarvittaessa ehdotus täydennyksistä ja muutoksista tarkastuslentotoimintaa säätelevään lainsäädäntöön ja työohjeistukseen.

⁶ IMU = Inertial Measurement Unit

8. Pilotissa kehitetään myös selkeä toimintamalli kunnossapito- ja häiriölentojen toteutuksesta. Tällä toimintamallilla palveluntuottajat pystyisivät tarjoamaan määritellyn prosessin mukaisia palveluja.

Työ ei ole tieteellinen tutkielma, vaan pikemminkin lentorobottien käytännön hyödynnettävyyttä todentava testausprojekti.

2.3 Pilotoinnin toteutustapa ja pääsisältö

Työ tehtiin lyhyen esivalmisteluvaiheen jälkeen seuraavasti:

1. Suunniteltiin tutkimusohjelma vuoden alussa 2014 tehdyn selvitystyön pohjalta sekä käytännössä saatuihin, miehitetyillä helikoptereilla tehtyihin verkoston tarkastuslentoihin ja kokemuksiin perustuen
2. Kartoitettiin pitkiin, näköyhteyden ulkopuolelle ulottuviin automaattisiin testilentoihin soveltuvaa kalustoa ja havaintovälineistöä. Tutkimusbudjetin määräämien reunaehtojen mukaisesti tehtiin tarvittavat kalusto- ja ohjelmistohankinnat
3. Koottiin pilotoinnissa tarvittava polttomoottorikäyttöinen helikopteri rakennussarjasta ja lisättiin alukseen havainto- ja viestilaitteiden asennusalusta, suunniteltiin ja rakennettiin aluksen ohjaus-, navigointi- ja viestiyhteyksjärjestelmät ja asennettiin koelentojen tekemisessä tarvittavat kamerat ja laserkeilainta mallintava keinokuorma. Lisäksi tehtiin lennon suunnittelussa ja seurannassa tarvittavien ohjelmistojen asennukset PC-työasemaympäristöön
4. Laadittiin tarvittavat lupahakemukset ilmailu- ja viestintäviranomaisille. Lentoluvan hakeminen edellytti muun muassa kattavan lentokäsikirja-aineiston laatimista ja vaati runsaasti yhteydenpitoa viranomaisiin
5. Tehtiin kattava koelento-ohjelma, josta saatujen tulosten perusteella lento- ja havaintokalustoa muunneltiin ja navigointijärjestelmää ja havaintolaitteistoa säädettiin useaan otteeseen. Lennettiin kymmeniä tunteja koelentoja, joita jouduttiin osittain uusimaan tehtyjen rakennemuutosten takia
6. Viimeisteltiin testilennossa käytetty laite- ja järjestelmäkokoontaminen ja tehtiin viimeiset testaukset
7. Lennettiin testilento Tuupovaaran rallikeskusta tukikohtana käyttäen 13.11.2014 pilvisessä pakkassäässä. Tarkastuslennon kohteena toimi PKS Sähkönsiirto Oy:n 20 kV:n keskijännitelinja
8. Analysointiin testilennolta saatu havaintoaineisto ja arvioitiin sen soveltuvuus sähköverkon tarkastuksiin
9. Arvioitiin saatujen kokemusten perusteella lentorobottien soveltuvuutta sähköverkon määräaikaikkunoiden tarkastuslentoihin sekä tiedustelulentoihin suurhäiriötilanteissa
10. Koottiin jatkokehittämistä vaativat asiat ja luonnosteltiin eräitä ratkaisuehdotuksia ja toivottavia kehityssuuntia
11. Laadittiin tämä raportti

Tutkimusprojekti tehtiin pääosin heinä-joulukuun aikana 2014.

2.4 Ohjausryhmä ja resurssit

Selvitystyön ohjausryhmässä toimivat Pauliina Salovaara, Elenia Oy; Jarkko Ronkainen, PKS Sähkönsiirto Oy; Marko Silokoski, Rauman Energia; Tero Heinonen, Sharper Shape Oy; Petri Rauhakallio, Sharper Shape Oy; Atte Korhonen, Next Eagle Oy; Lasse Korpela, Next Eagle Oy ja Jouko Tervo, Konsulttitoimisto Reneco Oy.

Työn tekijöinä toimivat edellä mainitut Sharper Shape Oy:n ja Next Eagle Oy:n asiantuntijat ja tutkimusprojektin johtamisesta vastasi Tero Heinonen. Projektin tarkkailijana ja raportijana toimi Jouko Tervo Sharper Shape Oy:n toimeksiannosta.

2.5 Raportin linkit ja kuvat

Raportin www-linkit on päivitetty toimiviksi joulukuun 2014 tilanteen mukaisesti.

Raportissa olevat kuvat on otettu testilennon yhteydessä Jarkko Ronkaisen tai Jouko Tervon toimesta Tuupovaarassa 13.11.2014, ladattu toimittajien internet-sivuilta tai ovat Next Eagle Oy:n luovuttamia.

3 SÄHKÖVERKKOYHTIÖIDEN TARPEITA ILMAHAVAINNOINTIIN

3.1 Suurhäiriötilanne

Suurhäiriötilanteessa verkkoyhtiöt käyttävät tarkastuslentoja aluksi tilannekuvan nopeaan muodostamiseen heti, kun sää sallii lentotoiminnan. Lennot jatkuvat tämän jälkeen tavanomaisesti alue- ja keskijänniteverkon vikojen tarkemmalla paikantamisella. Erityisen hyödyllisiä helikopterit ovat nopeutensa vuoksi laajoissa luonnonilmiöiden, yleensä myrskyjen aiheuttamissa jakeluverkoston häiriötilanteissa. Myrskyn aikana tai välittömästi sen jälkeen vikapartioiden kulku vikapaikoille voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta tavanomaisin kulkuvälinein ennen laajamittaisia teiden raivauksia. Häiriötilannelennoissa havaintoja ei normaalisti tehdä tallentavilla havaintolaitteilla kuten erilaiset kamerat, vaan havainnot tehdään silmävaraisesti toimintaan perehtyneiden ammatti-ihmisten toimesta. Yleensä nämä henkilöt ovat joko verkkoyhtiön tai kunnossapitourakoitsijan palveluksessa. Todella laajoissa myrskytilanteissa voi suurin osa maamme käyttökelpoisista helikoptereista olla sidottu energiayhtiöiden tarkastuslentoihin. Vasteajaltaan häiriölennot ovat nopeita. Tarve lentoihin on tiedossa muutamia tunteja, korkeintaan pari päivää ennen niiden aloittamista. Asialla on suuri merkitys ilmatilan varaamisen kannalta, mikäli lentoja tehdään miehittämättömillä ilma-aluksilla.

3.2 Määräaikaistarkastukset - Verkon komponenttien kuntotarkastus

Verkoston määräaikaistarkastukset ovat välttämättömiä verkoston kunnossapitotarpeiden arvioimiseksi ja viallisten tai muutoin vaurioituneiden verkkokomponenttien havaitsemiseksi. Määräaikaistarkastuksia on tiestön ulkopuolella perinteisesti tehty jalan, mönkijöiden tai talvella moottorikelkkojen avustuksella partioimalla johtokatuja pitkin. Tarkastussykli on verkkoyhtiökohtainen ja vaihtelee 3 -12 vuoden välillä riippuen tarkastuksen piirissä olevista kohteista ja tarkastusmenetelmistä. Helikopterien avulla tehtävillä ilmakuvauksilla määräaikaistarkastuksia kyetään tehostamaan ja vakioistamaan. Lentotarkastuskuvauksia tehdään nykyisin tyypillisesti 3 – 6 vuoden sykllillä. Kaikkia verkoston vaurioita ei kyetä havaitsemaan ilmasta käsin (esim. pylväiden lahovauriot), joten maastotarkastuksia täytyy tehdä jossain määrin myös jatkossa.

Määräaikaistarkastuksissa helikopterit varustetaan useilla erilaisilla havaintolaitteilla, jotta yhdellä lennolla saadaan kustannustehokkaasti mahdollisimman monipuolinen havaintoaineisto. Havaintolaitteina voivat olla esimerkiksi kaksi 2D-kameraa (kuvaus sekä meno- että tulosuuntaan), yleiskuvakamera/ortokuvauskamera, videokamera sekä laserkeilain. Satunnaisemmin varustukseen saattaa kuulua myös lämpökamera. Kuvamateriaalin täytyy olla korkealaatuista ja tarkkuuden suuri, jotta siitä voidaan tunnistaa erilaiset verkoston kunnostusta ja huoltoa vaativat viat. Esimerkiksi johtimien säievikojen tai eristimien lohkeamien havaitseminen edellyttää alle yhden senttimetrin erotuskykyä. Lentokorkeuden täytyy korkean resoluution saavuttamiseksi olla matala, tyypillisesti vain 30 – 60 metriä.

Viisto- ja pystykuva-aineistoa tulee yleensä runsaasti, noin 1 Gt/lennetty johtokilometri. Havaintoaineisto pitää pystyä käsittelemään sähköisesti käyttötarkoitukseen suunnitelluilla analysointi- tai käsittelyohjelmilla ja lopuksi toimenpiteitä vaativat löydökset on kyettävä viemään asian mukaisin merkinnöin varustettuna verkkoyhtiön karttapohjaisiin tietojärjestelmiin, tyypillisesti verkkotietojärjestelmään (NIS⁷).

Vähenevässä määrin kunnossapitoon liittyviä määräaikaistarkastuslentoja tehdään silmämääräiseen havainnointiin perustuen. Menetelmässä lentokorkeus on hyvin pieni (vain jopa 20 m johtimien yläpuolella) ja lennot ovat lentoturvallisuusteknisesti hyvin haastavia.

3.3 Määräaikaistarkastukset - Kasvillisuuden ja turvaetäisyyksien tarkastus

Kuvatulle ja laserkeilatulle havaintoaineistolle pitää kyetä tekemään sähköisesti mahdollisimman pitkälle automatisoitu kasvillisuusanalyysi, joka mahdollistaa tarveperusteisen raivaussuunnittelun. Tämän voi tehdä joko kuvauspalvelun toimittaja tai sähköverkkoyhtiön asiantuntijat toimittajan osoittamalla ohjelmistolla. Automaattinen raivausanalyysi koostuu seuraavista vaiheista: laserkeilausaineiston sisäänlukeminen; sähköverkon johdinten, pylväiden ja puuston mallintaminen; havaintojen tuottaminen havintosääntöjen perusteella; raivaustarvestatistiikan laskeminen aluekohtaisesti priorisointia varten; raivaussuunnitelman tuottaminen ja katselmointi. Analyysin tuloksena saadaan tehtävät raivaustyöt johto-osuuksille kohdistettuna.

Jokaisesta kohdasta kuvattua ja keilattua verkkoa on oltava mahdollisuus tehdä metrimääräisiä mittauksia. Näitä tarvitaan esimerkiksi johtimien etäisyyksien mittaamisessa lähistöllä oleviin rakennuksiin, puustoon, vierasesineisiin tai maahan. Mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi laserkeilausaineistoon tukeutuen siihen erikseen soveltuvassa ohjelmistossa, lähde /5/.

Lisää tietoa johtokatuja laserkeilaukseen perustuvasta raivausanalyysistä löytyy lähteestä /6/.

⁷ NIS = Network Information System

4 ERILAISET LENTOTILAT, ILMAILUN SÄÄNTELY JA HAETUT LUVAT

4.1 Miehitämättömät lennot valvomattomassa ilmatilassa

4.1.1 Valvomaton ja valvottu ilmatila

Suurin osa Suomen 150 metrin korkeuteen (500 jalkaa) maan pinnasta (AGL⁸) ulottuvasta ilmatilasta on valvomaton ilmatilaa. Maamme valvottu ilmatila alkaa em. 150 metristä ylöspäin ja ulottuu noin 20 kilometrin (66 000 jalkaa) korkeuteen saakka.

4.1.2 VLOS⁹- ja E-VLOS¹⁰-lennot miehitämättömällä ilma-aluksella

Näköyhteydellä (VLOS) lennätettäessä valvomattomassa ilmatilassa ilma-aluksen tulee pysyä 150 metrin alapuolella maan pinnasta (AGL) (tulevaisuudessa korkeus mahdollisesti enintään 120 m AGL) ja ilma-aluksen etäisyys saa uuden lentotyömääräyslunnon mukaan olla ohjaajaan tai tähystäjään enintään 500 m. Pilotoinnin testilennon nousut ja laskut tehtiin VLOS-lentona käsinohjauksessa.

VLOS-lento tapahtuu usein käsinohjauksella käyttäen sitä varten kehitettyä, radioyhteyttä hyödyntävää kauko-ohjainta. Myös autopilotin avulla ohjattua, ennalta suunniteltuun reittiin perustuvaa lentoa käytetään VLOS-olosuhteissa, kun halutaan esimerkiksi ottaa ortokuvia kartoitusta ja yhdyskuntasuunnittelua varten.

Miehitämättömän ilma-aluksen toiminta-alueen laajentamiseksi haluttu lentoalue voidaan varustaa kahdella tai jopa useammalla apuohjaajalla/tähystäjällä (E-VLOS-lennot). Apuohjaajalla/tähystäjällä voi tarvittaessa myös olla mahdollisuus kauko-ohjata ilma-alusta. Testilennon aikana ei käytetty E-VLOS-lentotilaa.

4.1.3 B-VLOS-lennot

Miehitämättömän ilma-aluksen lennon ulottuessa ohjaajan tai tähystäjän suoran näköyhteyden ulkopuolelle käytetään lentotilasta nimitystä B-VLOS. Näillä lennoilla navigointi perustuu joko:

1. Telemetriayhteyden avulla tehtävään kauko-ohjaukseen tai
2. Autopilotin avulla automaattisesti ohjattuun, ennalta suunniteltua reittiä pitkin tehtävään lentoon, jonka kulkuun voidaan puuttua telemetriayhteyttä hyväksi käyttäen

Testilento Tuupovaarassa lennettiin nousua ja laskeutumista lukuun ottamatta kohdan 2. mukaisesti B-VLOS-lentona suoran näköyhteyden ulkopuolella. B-VLOS-lennot ovat sähköverkoston tarkastuslentojen kannalta ehdottomasti tärkein lentorobottien käyttötapa.

⁸ AGL = Altitude above Ground Level - Korkeus maan pinnasta

⁹ VLOS = Visual Line Off Sight - Näköyhteys

¹⁰ E-VLOS = Extended Visual Line Of Sight - Laajennettu näköyhteys

4.2 Miehitämättömät lennot valvotussa ilmatilassa

Suurhäiriöiden tilannekuvan muodostamiseen käytettävät lennot voivat edellyttää tarkkailtavan havaintoalueen suuren laajuuden ja vaaditun nopean vasteajan takia lentämistä yli 150 metrin korkeudessa eli valvotussa ilmatilassa. Lentäminen valvotussa ilmatilassa edellyttää lentosuunnitelman tekemistä ja erilaisia lennonjohdolle tehtäviä lennonseurantaan liittyviä ilmoituksia, lisätietoja lähde /1/. Pilotoinnin koelentojen tai testilennon aikana ei lentämistä valvotussa ilmatilassa testattu ja se on yksi mahdollisia jatkotestauksen aiheita.

4.3 Ilmailun sääntely ja lupaviranomaiset ja luvat

4.3.1 Ilmailun lainsäädäntö, toimijat ja luvat

Miehitämättömillä ilma-aluksilla tehtävää kuvaustoimintaa säätelevät Ilmailulaki, lain nojalla ilmailuviranomaisen Trafín antamat määräykset ja muun muassa aluevalvontalaki.

Uusi ilmailulaki astui voimaan sattumalta testilentopäivänä 13.11.2014. Samana päivänä uudistettiin myös maamme ilmatilan rakenne ja jako. Uusi laki mahdollistaa miehitämättömien ilma-alusten käytön sääntelyn ja yksityiskohtaisten määräysten antamisen mm. käytettäessä miehitämättömiä ilma-aluksia esimerkiksi lentotyöhön. Sähköverkoston tarkastuslennot ovat tyypillistä lentotyötä.

Ilmailun lupaviranomaisena toimii Liikenneturvallisuusvirasto Trafi, jolta myös testilennossa tarvittavat varsinaiset ilmailuluvat haettiin.

Aluevalvontalaki kieltää sotilaskohteiden valokuvauksen. Lisäksi kielletään muidenkin pysyvästi ilmailulta kiellettyjen alueiden ilmakekus. Nämä alueet on merkitty ilmailukarttaan P- tai R-tunnuksella. Siis myös esimerkiksi ydinvoimaloita ei saa ilmakekua ilman lupaa, ei edes alueen ulkopuolelta. Lupa lentämiseen ilmailulta rajoitetulla alueella haetaan Trafilta. Kuvausten kohdistuessa ilmakekusrajoitusalueelle on kuvaustiedot lähetettävä tarkastettavaksi Puolustusvoimien Topografikunnalle. Kuvaaminen rajavyöhykkeellä edellyttää Rajavartiolaitoksen lupaa.

Luvasta vapautettujen yleisten matkaviestinverkkojen päätelaitteiden käyttö ilma-aluksissa edellyttää sekä televerkko-operaattorin että taajuusviranomaisen Viestintäviraston lupia.

Suomen lennonjohto- ja lennonvarmistuspalvelujen tuottamisesta vastaa valtion 100% omistama yhtiö Finavia Oy. Yhtiö ylläpitää maamme lentoasemaverkostoa, huolehtii ilmatilan kansallisesta allokoinnista sekä tuottaa ilmailutiedotuspalvelun (AIS) ja julkaisee ilmailun pysyväisluontoiset perustiedot sisältävää Suomen Ilmailun käsikirjaa (AIP Suomi-Finland). Ilmailukäsikirja on osa Finavian ylläpitämää ilmailutiedotuspalvelua.

Lisätietoja ilmailun lainsäädännöstä, määräyksistä sekä ilmatilan rakenteesta löytyy lähteestä /1/ sekä lähteen linkkien välityksellä internetistä ja lähteen /19/ linkkien kautta.

4.3.2 Haetut luvat ja tehdyt ilmoitukset

Ilmailun lainsäädäntö edellyttää näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvissa, lentorobottien avulla suoritetuissa lennoissa Trafín myöntämää ilmatilan varausta sekä lentolupaa. Ilmatilan varaushakemus on liitteessä 1 ja Trafín myöntämä varaus liitteessä 2.

Lentoluvan edellytyksenä on, että hakija osoittaa dokumentoidusti lentoihin käytettävän kaluston, toimintaprosessien ja turvallisuuden hyväksyttävä tasoa. Tämä tehdään pääosin lentokäsikirjan muodossa. Pilotoinnin lentolupahakemus on liitteessä 3 (ilman hakemuksen liitteitä) ja Trafín hakemuksen perusteella myöntämä lentolupa liitteessä 4.

Aluevalvontalain mukainen ilmakeuhkauslupa haettiin testilentoa varten Puolustusvoimilta varmuuden vuoksi ja kokemusten saamiseksi.

Testilennon telemetriayhteyksiä varten haettiin luvat teleoperaattoreilta Elisa Oy sekä Ukkoverkot Oy sekä Viestintävirastolta, lupa liitteessä 5.

Finnavian aluelennonjohdolle tehtiin ilmailulupien edellyttämät ilmoitukset ennen lennon aloittamista ja lennon jälkeen.

5 PILOTTILAITTEISTON KOKOONPANO JA OMINAISUUDET

5.1 RPAS-ilma-alus ja automaattiohjaus- ja navigointilaitteet

Pilotointia varten miehittämättömäksi ilma-alukseksi valittiin polttomoottorikäyttöinen helikopteri sen suorituskyvyn (lentomatka x hyötykuorman määrä) vuoksi. Lisäksi helikopteri oli hankintahinnaltaan edullinen ilman ohjaus- ja navigointikalustoa.

Autopilotti on ilma-aluksen automaattisen ohjauksen ydinkomponentti. Autopilotti ohjaa ilma-alusta käyttäen ennalta suunniteltua 3D-reittitietoa ja mittaussensoreiltaan saamaansa asemointitietoa. Pilotointikokoonpanossa asemointitiedon mittaukseen autopilotti käytti sisäisiä sensoreita sekä ulkoista GPS¹¹-paikanninta. Sisäisiä sensoreita olivat IMU¹²-yksikkö, korkeusmittari (barometri), gyroskooppi (hyrräkompassi) 2pl, kiihtyvyyssanturi 2 kpl ja magnetometri (kompassi). Automaattiohjausta seurattiin ja kontrolloitiin kahdella PC-ohjaimella, joiden telemetriayhteydet perustuivat julkisiin langattomiin 3G/4G-televerkkoihin.

Käsikauko-ohjaimella hallittiin pilottihelikopterin nousut ja laskut.

5.1.1 Ilma-alus ja ohjainvarustus:

- Helikopteri JR GSR260Z, Japan Remote Control Co., Ltd, lähde /10/
- Autopilotti: 3DR Pixhawk, firmware: Arducopter v3.2, lähde /11/
- IMU NovAtel SPAN-IGM-S1, Laserkeilausdatan pistepilven muodostamiseen, lähde /12/
- GPS-vastaanotin NEO M8N, lähde /13/
- Reaaliaikainen videokuva PC-ohjaimen: 720p IR-camera h.264 koodauksella.



Kuva 2. Robottihelikopteri JR GSR260Z tarkastuslentovarustuksessa

Helikopterialustan valmistajan ilmoittamia mittoja ja painoja sekä ennen pilotointia suoritetuissa testauslennoissa käytettyjä/mitattuja arvoja on esitetty liitteessä 6. Kone kykenee hyötykuormasta ja polttoaineen määrästä riippuen huomattavasti suurempiin suoritusarvoihin kuin liitteessä on ilmoitettu.

¹¹ GPS = Global Position System - Satelliittipaikannusjärjestelmä

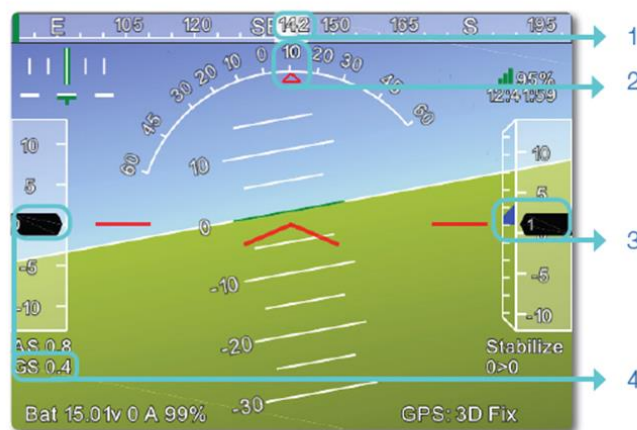
¹² IMU = Inertial Measurement Unit (elektroninen ”hyrräkompassi”)

5.1.2 Kauko-ohjauksen PC-ohjaimet ja ohjelmistot

Kauko-ohjainohjelmistolla koneen automaattista lentoa voidaan seurata ja tarvittaessa puuttua välittömästi lennon kulkuun. Kauko-ohjainohjelmistoa operoidaan normaalista PC-pohjaisesta työasemasta, joka liitetty käytössä olevaan tietoliikenneverkkoon.

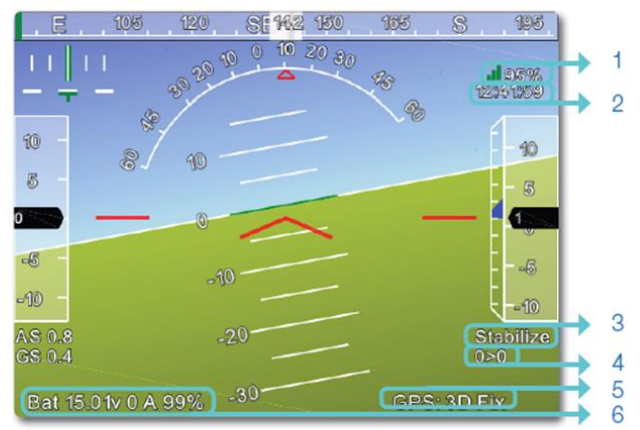
- 2 kpl standardi windows-pc
- Mission Planner GCS open-source-ohjelmisto, lähde /14/, reittipisteet WGS84¹³-koordinaattijärjestelmä
- APM Planner 2.0 ja Qgroundcontrol varaohjelmistoina

Mission Planner Flight Data: Attitude



- 1 Heading direction
- 2 Bank angle
- 3 Altitude (black) and rate of climb (blue bar)
- 4 Ground speed

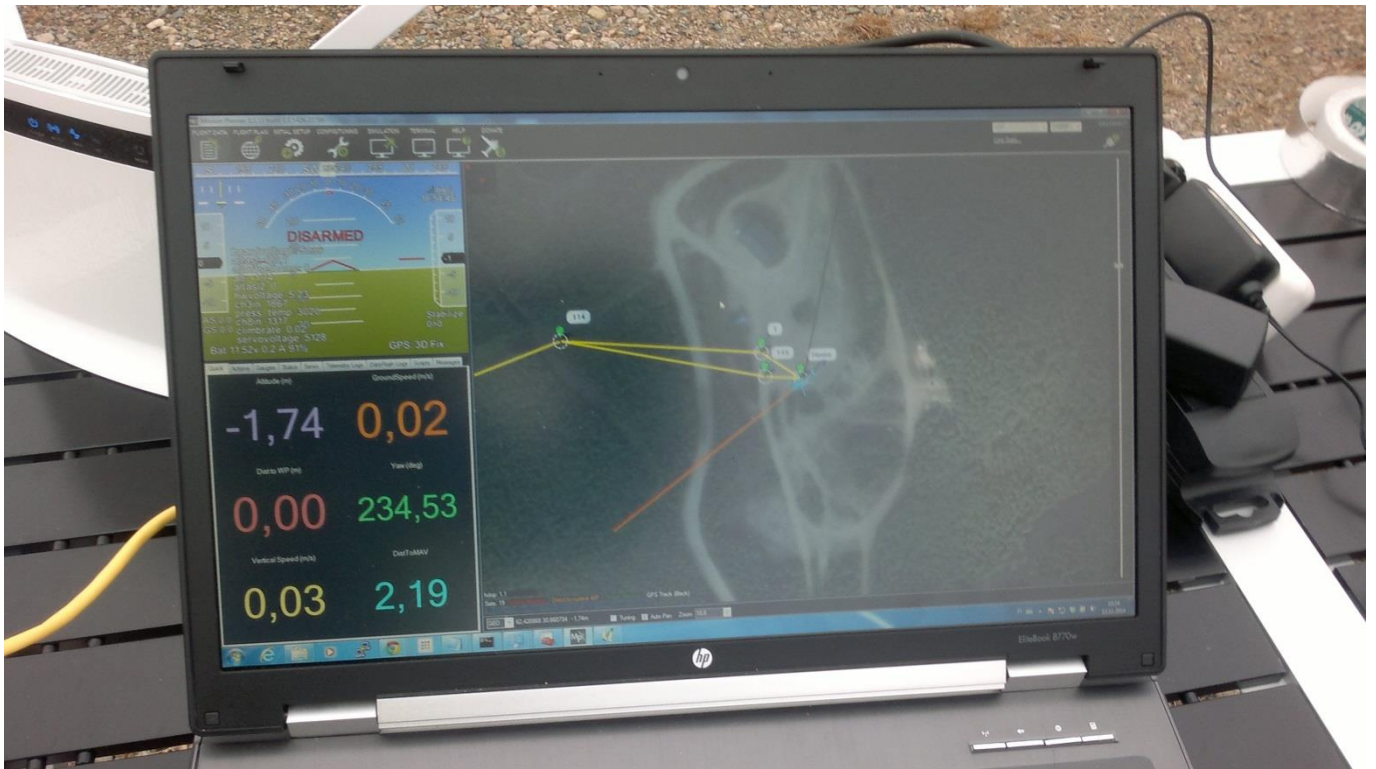
Status



- 1 Telemetry signal
- 2 GPS time
- 3 Currently enabled mode
- 4 Distance to current waypoint > current waypoint number
- 5 GPS status
- 6 Battery status

Kuva 3. Mission Planner-ohjausnäytön telemetriatietoja

¹³ WGS84 = GPS-satelliittinavigointijärjestelmässä käytetty koordinaattijärjestelmä



Kuva 4. Mission Planner käyttöliittymä PC-ohjaimen näytöllä Tuupovaarassa

5.1.3 Käsi ohjain

Käsi ohjaimella ohjataan suoralla 2.4 GHz:n radioyhteydellä helikopteria. Telemetriadatasta mm. lämpötilat ja jännite siirrettiin käsi ohjaimeseen.

- Käsi ohjain Frsky Taranis X9D, 16-kanavainen, 1.5 km max. kantama, lähde /15/.



Kuva 5. FrSKY Taranis-käsi ohjain



Kuva 6. Kauko-ohjauspaikka Tuupovaarassa, työn ääressä Lasse Korpela

5.2 Ohjaus- ja viestintäyhteydet

Käsiohjaimen viestiyhteys

Käsiohjaimen suora radioyhteys 2.4 GHz, FHSS¹⁴-modulointi, maksimi kantama noin 1.5 km. Käytetyllä taajuusalueella täytyy käytännössä olla näköyhteys ohjaimen ja ilma-aluksen välillä.

Telemetriayhteydet

- Pääyhteys: Elisa 3G/4G priorisoidulla liikenteellä. TCP¹⁵-yhteys VPN¹⁶-tunneloituna, sisäverkon IP-pooli, telemetria UDP¹⁷-datalla. Modeemit Huawei
- Varayhteys 4G-LTE¹⁸ Ukko Mobile/450 MHz: Ukkoverkot Oy, Päätelaitteet: maa Huawei, ilma-alus OEM prototyypimoduuli

Telemetriayhteydet toimivat verkkojen peittoalueella koko Suomessa.

¹⁴ FHSS = Frequency Hopping Spread Spectrum - Taajuushyppelyä käyttävä modulointi

¹⁵ TCP = Transport Control Protocol - Tiedonsiirtomenettely

¹⁶ VPN = Virtual Private Network - Loogisesti erotettu suojattu verkko-osa

¹⁷ UDP = User Datagram Protocol - On ns. yhteydetön tiedonsiirtomenettely.
UDP:ssä paketin perillemeno ei varmisteta päästä päähän

¹⁸ LTE = Long Term Evolution - 4G-matkaviestinverkoissa käytetty teknologia

Suoraa 433 Mhz yhteyttä ei käytetty valitun laitteiston epäluotettavuuden ja häiriötuoton takia. Myöskään 1.3 Ghz suoraa analogista videosignaalin siirtoyhteyttä ei käytetty, koska se olisi todennäköisesti toiminut rajoitetun kantamatkan vuoksi vain osan matkaa.

5.3 Havaintolaitteet

Verkosto havaintolaitteet ja lennon tarkkailuvideo

- Kamera Sony α 7R, 36,4 megapikselin täysikokoinen (35,9 × 24mm) CMOS -kenno, ISO- herkkyys 50-25 600, objektiivi 70mm zoom, ohjaus autopilotin kautta, IR-laukaisin. Kameran muistikortti: 128GB SDXC, lähde /16/
- Lasekeilain Hokuyo UXM-30LXH-EWA, mittausetäisyys max. 50m, hyvin tummat kohteet 30m, avauskulma 190°, lähde /17/
- Takavideokamera: GoPro Hero3 White Edition, lähde /18/

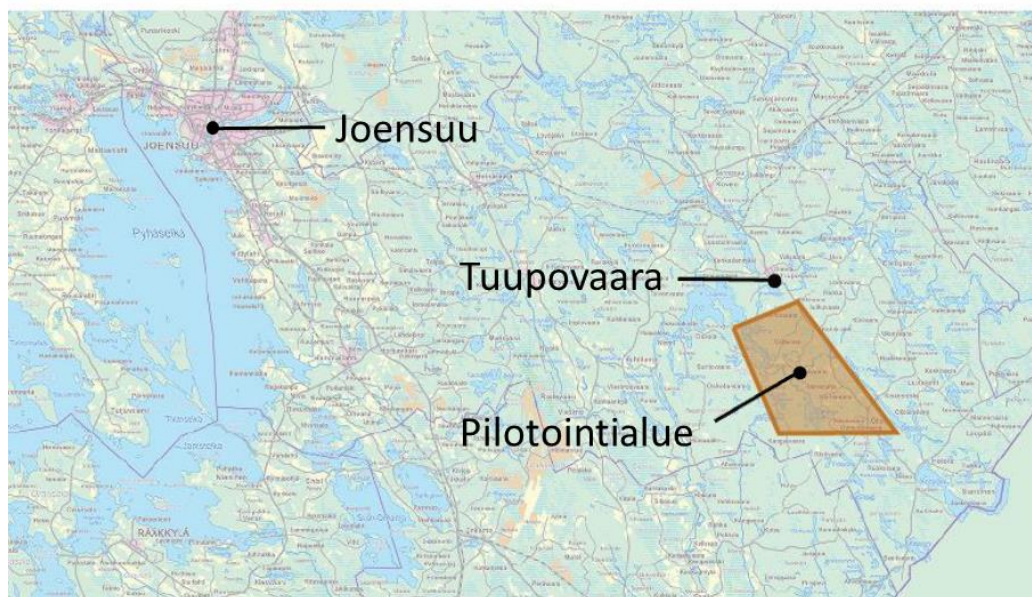
5.4 Pilottilaitteiston koelennot

Helikopterialustalle ja siitä rakennetulle pilottilaitteistolle tehtiin lukuisa määrä koelentoja erilaisilla varusteluversioilla elo-marraskuussa 2014. Testejä tarvittiin laitteiston säätämiseen (mm. autopilotti) sekä teknisen toiminnan testaamiseen. Myös ilmailuviranomaisten myöntämän B-VLOS-lentoluvan saaminen edellytti lentokäsikirjan (Operations Manual) laatimista ja koelentoja.

6 PILOTOINTIALUE JA LENNONSUUNNITTELU

6.1 Pilotointialue ja valinnan perusteet

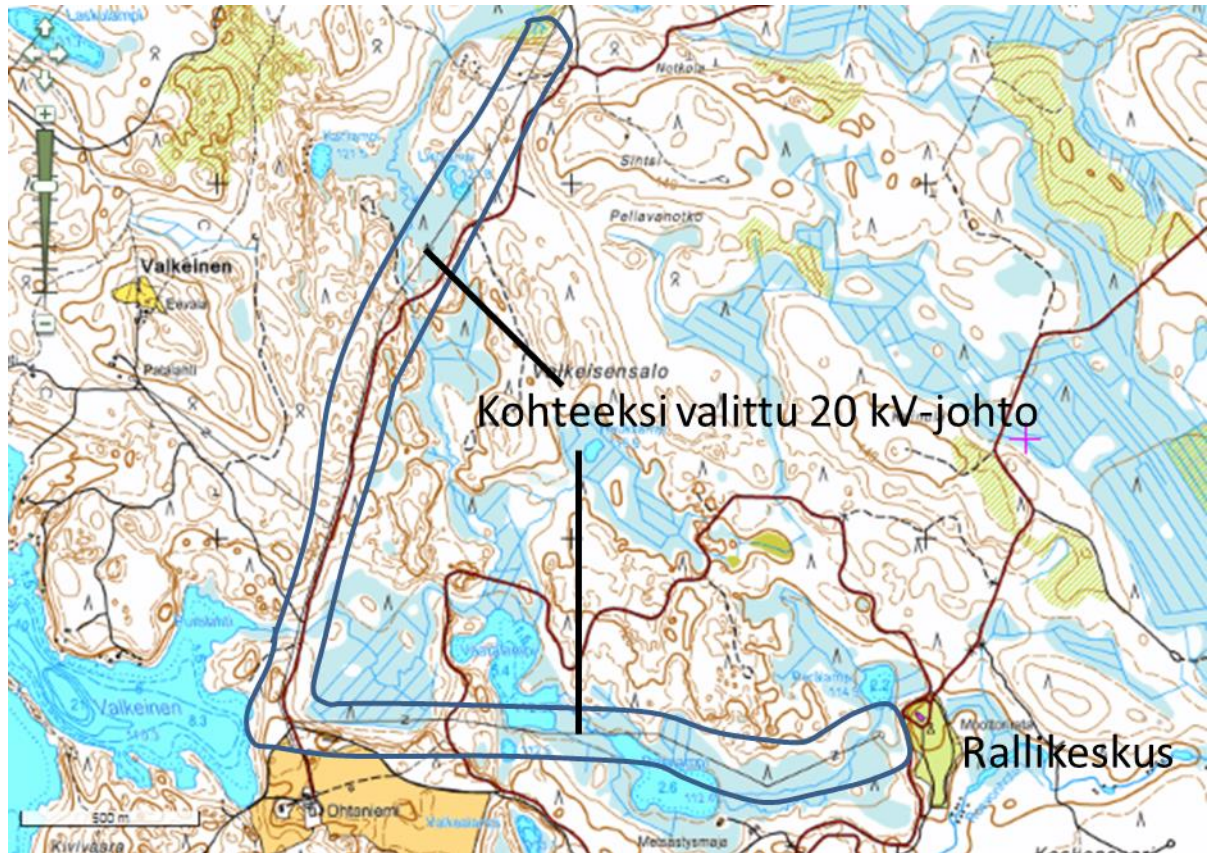
Pilotointialueeksi valikoitui Pohjois-Karjalan Tuupovaara syrjäisen sijaintinsa ja vähäisen alueella olevan asutuksen vuoksi. Sharpe Shape Oy:llä oli lisäksi sopimus PKS Sähkönsiirto Oy:n kanssa sähköverkoston lentotarkastuksista miehitetyillä helikoptereilla. Testilennon kohteeksi valittu 20 kV:n johto-osuus lennettiin myös miehitetyllä helikopterilla, jonka mahdollisti miehittämättömien ja miehitettyjen tarkastuslentojen havaintoaineiston vertailemisen.



Kuva 7. Tuupovaaran pilotointialue



Kuva 8. Testilennon kohteena olleen 20 kV:n linjan päätepylväs Rallikeskuksessa



Kuva 9. Kohteeksi valittu 20 kV:n johto, edestakainen matka yhteensä noin 8.1 km

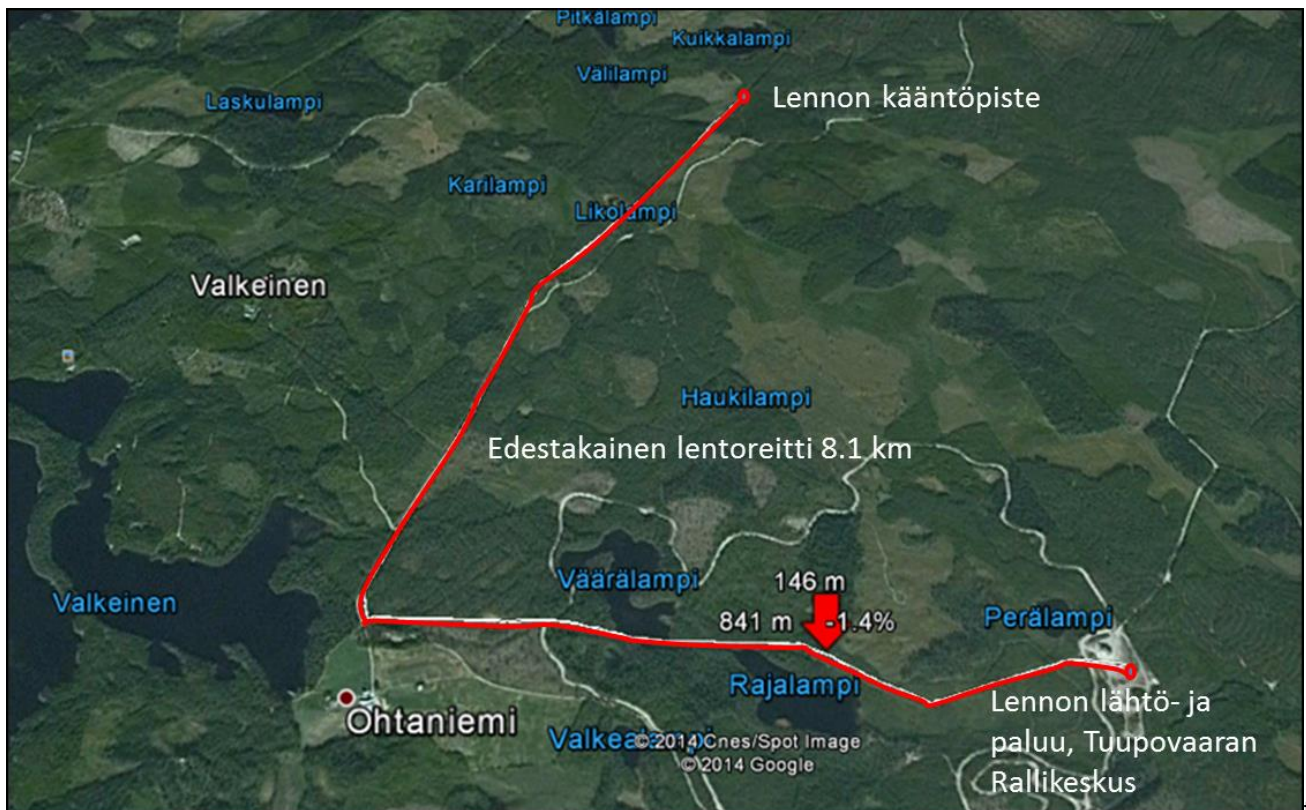
6.2 Reittisuunnittelussa käytetyt välineet ja ohjelmistot

Reittisuunnittelussa käytetyt välineet

Reittisuunnittelulaitteena käytettiin normaalia Ethernet-verkkoyhteyksillä varustettua PC-työasemaa; ei erityisvaatimuksia

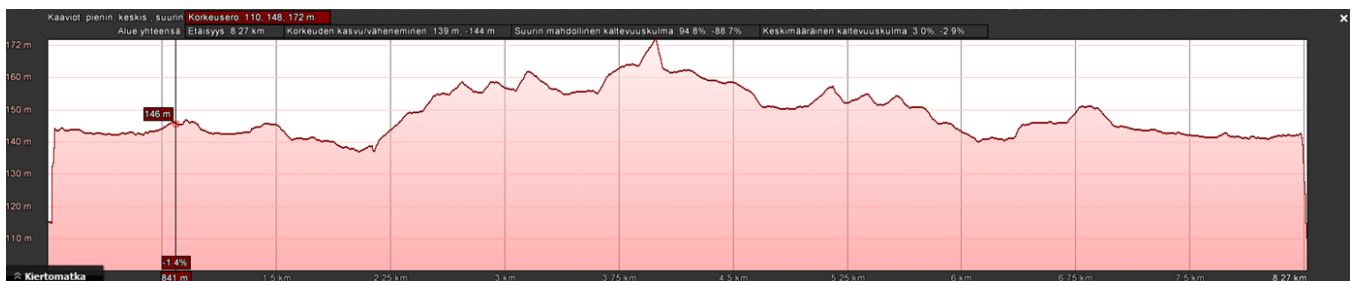
Reittisuunnitteluohjelmistot ja -aineisto

- Yleissuunnitelu Qgis 2.4-ohjelmisto ja Maanmittauslaitoksen (MML) kartat ja ortokuvat, reittipisteet KKJ-kordinaattijärjestelmässä
- MML digitaaliseen laserkeilaukseen perustuva korkeusmalli 10m (epätarkkuus $\pm 1,3$ m)
- PKS Sähkönsiirto Oy:n 20 kV:n johtotiedot



tu

Kuva 10. Suunniteltu lentoreitti, Google Maps



Kuva 11. Lentokorkeus graafisesti esitettynä, Google Maps

Testilennon tavoitelentokorkeudeksi maan pinnasta asetettiin noin 35 m, jolloin korkeussuuntaiseksi etäisyydeksi voimajohdosta muodostuisi noin 20 m. Suunniteltu lentokorkeus mahdollistaa riittävän tiheän laserpistepilven tuottamisen ottaen huomioon keilaimen tehon ja vaatimusten mukaisien viistokuvien tuottamisen. Testissä käytetyn suhteellisen alhaisen lentokorkeuden takia lentoreitti suunniteltiin siten, että ilma-alus kulkisi suoraan voimajohdon yläpuolella.

6.3 Tavoitteet havaintomateriaalille

Tavoitteeksi havaintomateriaalille asetettiin, että

- RGB-viistokuva-aineisto soveltuisi erottelukykynsä puolesta verkoston määräaikaistarkastusten lähtöaineistoksi, erottelukyky parempi kuin 1 cm

- Viistokuvauskameran tilitkulmaksi haluttiin n. 35 astetta vertailun helpottamiseksi miehitetyllä helikopterilla kerättyyn aineistoon
- Laserkeilausaineisto soveltuisi ACCA-raivausanalyysin lähtöaineistoksi

Sama johto-osuus lennettiin molempiin suuntiin siten, että menomatalla käytettiin lentonopeutena 4,5 m/s ja paluulennolla 6 m/s. Tällä haluttiin testata lentonopeuden vaikutusta kuvien resoluutioon.

Lisäksi testilennoilta haluttiin kuvata yleisvideoaineistoa lennon jälkiseurantaa ja analysointia varten sekä esittelytarkoituksiin.

7 PILOTOINTILENTOJEN TULOKSET

7.1 Kokemukset RPAS-ilma-aluksen lennättämisestä Tuupovaarassa

7.1.1 Lento-olosuhteet ja testilennon vaiheet

Olosuhteet

Testilentojen ajankohtaa piti siirtää kaksi kertaa epäsuotuisien sääolosuhteiden takia (röntä- ja vesisadetta sekä kovaa tuulta). Testissä käytettyä ilma-alusta ja havaintolaitteistoa ei ole suunniteltu märkiin olosuhteisiin eikä ääriämpötiloissa käytettäväksi.

Pilotoinnin testilentopäivänä 13.11.2014 vallitsi tasaisen pilvipoutainen sää, lämpötila oli lievästi pakkasella (miinus 2-3 astetta) ja tuuli kevyesti 3-5 m/s.

Testilennon vaiheet

1. Valmistautuminen

1. Lähtötietojen määrittäminen
2. Lentosuunnittelu
3. Lentoluvat

2. Tarkastuslento

1. Valmistautuminen ennen lentoa, mm.:
 - Sää, tarkistuslistan läpikäynti, laitteiston testaus yms.
2. Aluelennonjohdon ja verkkoyhtiön käyttökeskuksen informointi
3. Lentoonlähtö käsinohjauksella
4. Tarkastuslento autopilotin ohjaamana n. 8,5 km
5. Laskeutuminen käsinohjauksella
6. Ilmoitus aluelennonjohtoon ja käyttökeskukseen lentojen päättymisestä
7. Datan tallentaminen analyysiä varten
8. Laitteistojen purkaminen

7.1.2 Ohjaaminen näköyhteydellä (VLOS)

Käsinohjaus

Käsinohjauksessa ohjaaja ohjasi testikonetta käsihjaimen avulla näköyhteydellä (VLOS). Tuupovaaran pilotoinnin valmistelussa käsinohjausta käytettiin tarkistuslistan läpikäynnin yhteydessä varmistamaan, että koneen ja havaintolaitteiden ohjaus toimii suunnitellulla tavalla.

Varsinaisen testilennon nousu ja laskeutuminen tehtiin myös käsinohjauksella.

Ohjausta tarkkailuavustajan avulla eli laajennetulla näköyhteydellä (E-VLOS) ei Tuupovaarassa kokeiltu lennon luonteesta ja lyhyestä valoisuusajasta johtuen.

7.1.3 Lennot näköyhteyden ulkopuolella (B-VLOS)

Automaatiohjaus

Testilento lennettiin automaatiohjauksessa nousua ja laskeutumista lukuun ottamatta. Automaatiohjauksessa testikonetta ohjasi autopilotti omien sensoriensa välittämän tiedon ja autopilottiin tallennetun reitti-informaation perusteella. Aluksen kulloinenkin sijaintitieto autopilotille saatiin GPS-vastaanottimelta ja vertailutieto autopilotin omalta IMU-yksiköltä. Korkeustietona käytettiin sopivasti painotettuna autopilotin barometrin ja GPS-vastaanottimen antamaa korkeustietoa.

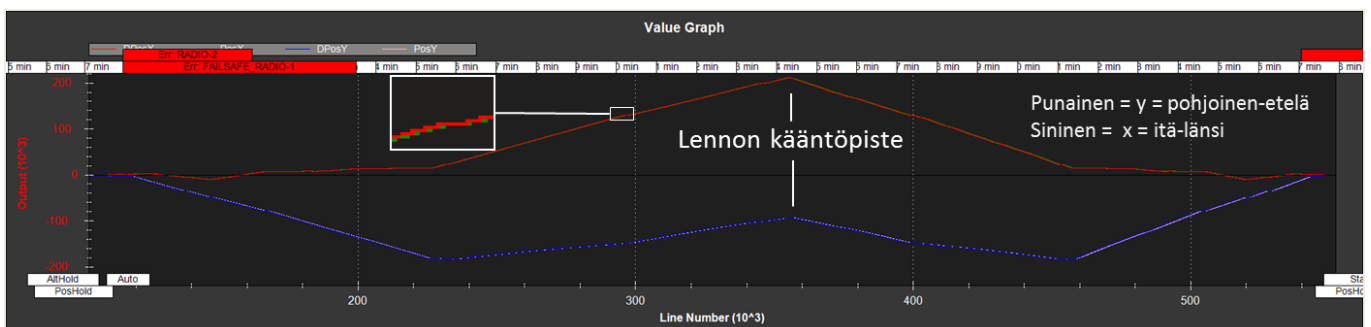
Odottamattomasta syystä, mahdollisten ongelmien ilmaantuessa (esimerkiksi viat ja yhteyshäiriöt) lento voitiin keskeyttää ja kone káskeä lentämään automaattisesti ennalta ohjelmoituun pisteeseen.

Sähköverkoston tarkastuslentojen kannalta ehdottomasti tärkein lentorobottien käyttötapa on lennot ohjaavien henkilöiden suoran näköyhteyden ulkopuolella eli ns. B-VLOS-lennot.

7.1.4 Lennetty reitti ja autopilottiohjauksen toimivuus

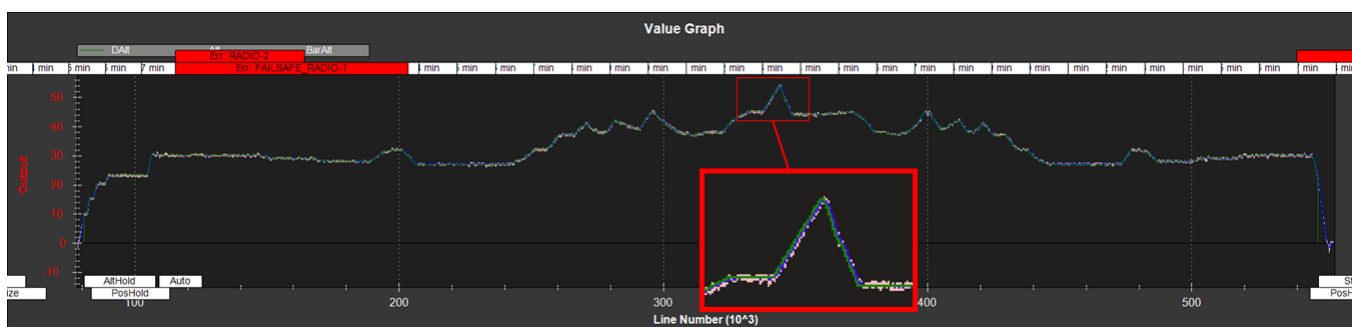
Lennon suunnitellun reitin toteutumista arvioitiin kolmiulotteisesti kopterin omien sensorien antaman mittaustiedon perusteella. Ulkopuolisia, kopterista täysin riippumattomia mittaus-sensoreita ei ollut käytettävissä. Kopterin paikannus perustui GPS-satelliittinavigointiin.

Toteutunut reitti vastasi kaikilta osin suunniteltua eli reitillä pysyttiin erittäin hyvin, xy-suunta kuva 12. Lennetyn reitin xy-suuntainen paikkavirhe oli reitillä enintään luokkaa ± 2 m suunniteltuun lentoreittiin verrattuna. Lennon aikana havaittu osittainen lentäminen linjan sivussa johtui reittisuunnittelun haasteista (suunnittelun pohjana käytetyissä pylväiden GPS-koordinaateissa oli tarkistusmittausten mukaan heittoa 5-10m).



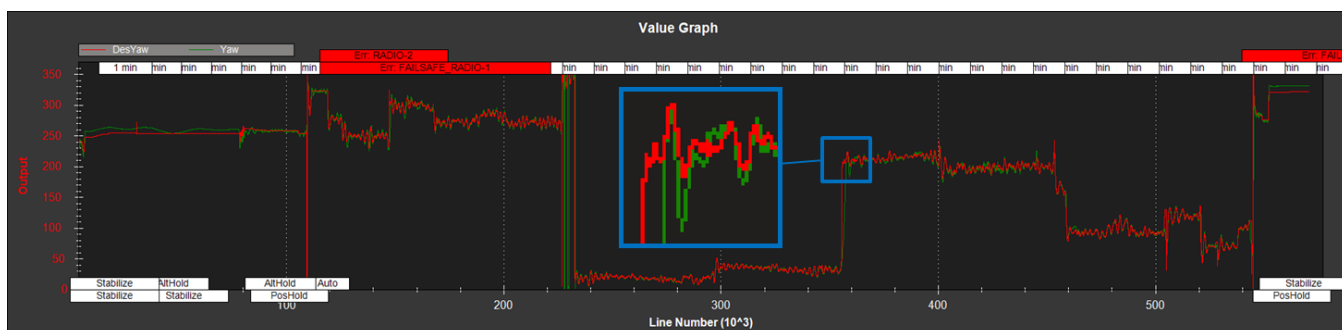
Kuva 12. XY-paikkakuvaajan (punainen haluttu X, vihreä=saavutettu X, sininen=haluttu Y, vaalea=saavutettu Y) koordinaattien ero lähtöpisteeseen verrattuna

Pystysuuntainen paikkaepätarkkuus oli enintään luokkaa ± 1 m suunniteltuun verrattuna kopterin omilla sensoreilla mitattuna, kuva 13. Koordinaatteja lähemmin tarkastelemalla ilmenee, että robottikopteri seurasi hyvin asetettua lentokorkeutta. Pientä eroa syntyi lähinnä koneen nousu- ja laskeutumisen kohdalla. Lentokorkeuden mittauksessa autopilotti käytti sekä GPS:n antamaa absoluuttista korkeutta (AMSL) sekä barometrin antamaa suhteellista korkeutta.



Kuva 13. Korkeuskuvaaja (vihreä=haluttu lentokorkeus, sininen=autopilotin arvio korkeudesta (GPS+barometri) ja vaalea=barometrin mittausarvo), korkeus [m] suhteessa lähtöpisteeseen

Suuntaohjaus (Heading/Yaw-tracking) toimi auto-moodissa kohtuullisen hyvin (kuva 14), mutta tuuliolosuhteiden takia autopilotti korjasi suuntaa usein, jotta kopteri pysyisi reittipisteiden välisellä suunnitellulla reitillä/linjalla. Multikopteri/helikopteri-autopiloteissa ei voida arvioida pitot-putkella tuulen nopeutta/suuntaa ja suunnanpito siten huonompi kuin lentokone-alustoilla. Huomio: Isot piikit johtuvat $360^{\circ} \rightarrow 0^{\circ} \rightarrow 360^{\circ}$ ympärillä tapahtuvasta suunnanmuutoksesta.



Kuva 14. Suunta-kuvaaja asteina (punainen=haluttu suunta, vihreä=saavutettu suunta)

Testilennon aikana käytiin yhdessä kohdassa liian lähellä reunapuustoa reitin korkeussuunnittelussa tapahtuneen virheen takia. Kyseisessä kohdassa voimajohdon maan pinta sijaitsi selvästi alempana kuin viereinen kumpare, jonka päällä kasvoi korkea reunapuusto. Lennon korkeuspisteet oli määritelty suhteessa maahan linjan alapuolella eikä suhteessa reunapuuston maapohjan korkeuteen. Tästä johtuen robottikopteri lensi ko. kohdassa reunapuuston latvojen alapuolella johtokadun aukossa, josta oli seurauksena sivusuuntainen törmäysvaara puustoon. Onneksi osumaa puustoon ei tapahtunut.

Testilennon aikana käytettiin vakiolentonopeuksia, menomatka 4,5 m/s ja paluumatka 6 m/s. Lentonopeutta voisi jatkotesteissä kokeilla säätää monipuolisemmin siten, että haasteellisissa reitin kohdissa (suuret korkeuden tai suunnan muutokset) käytettäisiin pienempää lentonopeutta ja suorilla vaakalento-osuuksilla nopeus voisi olla suurempi, esim. luokkaa 10 m/s.

7.2 Kokemukset havaintomateriaalin tuottamisesta

Viistokameran (Sony α 7R) kuvat otettiin etuviistoon noin 35 asteen tilitkulmassa pystysuoraan nähdessä ja objektiivin asetus oli 70mm. Kuvauksessa käytettiin valotusaikaa 1/1 250 s. Kameran toiminta keskeytyi melkein heti alkuunsa kameran teknisen vian takia. Kameraa käytettiin sen ilmoitetun käyttölämpötilan (0–40°C) alapuolella usean tunnin ajan, mikä on todennäköinen syy tekniseen vikaan. Onneksi saatiin kuvia keskijännitejohdon alkupäästä, johon oli asetettu erotustarkkuuden arvioinnissa käytettyjä signaalimerkkejä.

Kameran kohdistus johtolinjaan ei myöskään toiminut testilennolla aivan toivotusti robottikopterin tekemästä vaakasuuntaisesta säätöliikkeestä johtuen (lähinnä edestakainen kiertoliike pysty akselin suhteen, ns. YAW-säätö). Kuvaotoksia tuli tämän vuoksi myös johtolinjan vierimetsistä siten, että kuvissa ei näkynyt voimajohtoa ollenkaan. Kopterin vakaaseen lentoon autopilotin parametreja säätämällä tulee kiinnittää huomiota. Toisena mahdollisuutena on kiinnittää kamera suuntauksen säilyttävään ja liikettä vaimentavaan telineeseen (gimbal). Kattavamman analyysin tekemiseksi tulisi olla käytössä kuva-aineisto koko lennon ajalta.

Laserkeilausaineiston kerääminen onnistui hyvin koko testilennon matkalta. Aineistossa on jonkin verran jatkokäsittelyä haittaavia virheitä ilmeisesti lentoalustan aiheuttamasta värinästä johtuen.

7.3 Testilennon kulku ja ohjaajien havaintoja sekä huomioita testilennon aikana

Testilennon kulku ja ohjaajien tekemät tärkeimmät havainnot ja huomiot tiivistetysti:

- Tuupovaaran Rallikeskus oli syrjäisen sijaintinsa ja helikopteritoimintaan mainiosti soveltuvat avaran kentän (takapiha-alue) vuoksi mainio testi ympäristö marraskuussa
- Kauko-ohjauspaikan perustaminen ja purkaminen eivät tuottaneet ongelmia
- Koelennot ja ilma-aluksen lentokäsikirjan mukainen testaus (tarkistuslistan läpikäynti) ja havaintolaitteiden kokeilu ennen varsinaista testilentoa sujuivat rutiinilla. Viistokameran tarkennusta säädettiin sekä reittipisteiden korkeuskoordinaatteja korjattiin lähtötestauksen perusteella
- Ennen testilentoa lentorobotti tankattiin ja akut vaihdettiin täysinäisiin ja lämmitettyihin
- Yhteyttä lentoluvan ehtojen mukaisen ilmoituksen tekemiseksi Suomen aluelennonjohtoon yritettiin turhaan yli tunnin ajan. Suoraa puhelinnumeroa ei ollut mainittu lentoluvassa eikä sitä saatu/löydetty mistään lukuisista yrityksistä huolimatta. Lopulta yhteys onnistui Finavian vaihteen kautta monen yrityksen jälkeen
- Lentoonlähtö tehtiin käsiohjaimella, jolta siirryttiin automaattiohjaukseen ja robottikopteri lähti testireitille. Käsiohjin kytkettiin pois koneen ohitettua toisen reittipisteen onnistuneesti

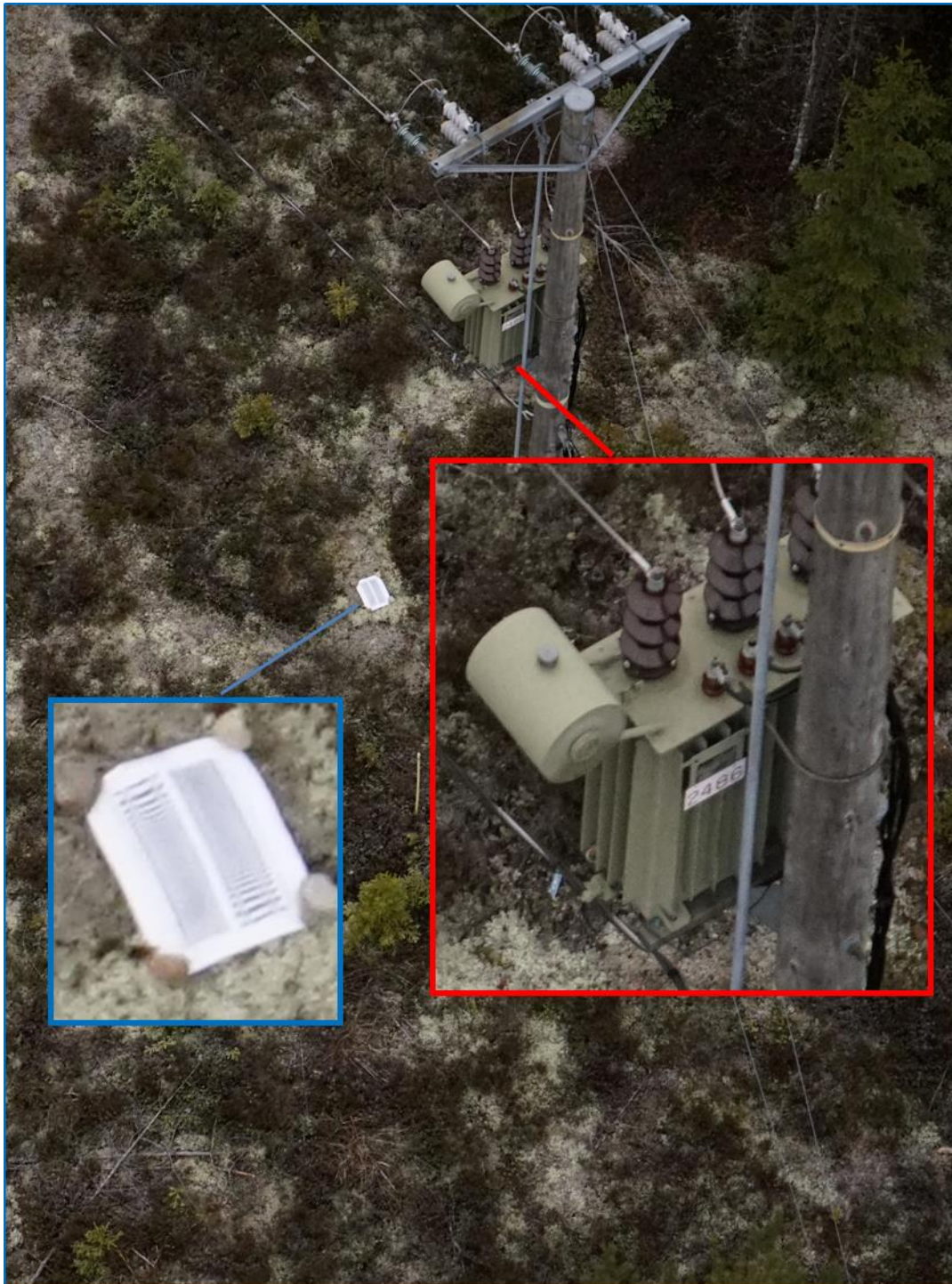
- Toinen telemetria yhteys katkesi muutaman kilometrin lennon jälkeen koneen lennettyä verkon kuuluvuusalueen ulkopuolelle
- Menomatalla sattui kohdassa 7.1.2 mainittu vaaratilanne
- Telemetriayhteyden kautta lennolta saatiin reaaliaikaisesti videokuvaa
- Kone käännytettiin takaisin hieman ennen suunniteltua kääntöpistettä, jotta suunniteltu kokonaislentoaika 30 minuuttia ei merkittävästi ylittyisi ja paluumatka alkoi
- Paluumatkalla käytettiin suunnitellusti hieman suurempaan lentonopeutta ja koneen käskettiin hidastaa lentoa jyrkissä käännöksissä (johdon mutkat tai risteämät)
- Kone saapui viimeiselle reittipisteelle Rallikeskuksen tuntumaan ja jäi paikalleen leijuntaan, josta se otettiin käsiohjaukseen ja laskettiin alas lähtöpaikalle
- Telemetria- ja videoyhteydet toimivat ilman ongelmia (ainakin yksi kauko-ohjausyhteys toimi koko ajan)
- Kone kulutti 65% polttoaineesta ja lento kesti 32 minuuttia, molemmat vastasivat suunniteltuja arvoja
- Huomattiin viistokameran jumiutuneen menomatkan alussa. Resetin jälkeen kamera käynnistyi uudelleen
- Havaintoaineiston tallentamiseen ja ilma-aluksen sekä maa-aseman purkamiseen käytettiin kokonaisuudessaan noin 45 minuuttia

Tarkemmin testilennon kulusta ja ohjaajien tekemistä havainnoista ja huomioista on kerrottu liitteessä 7.

8 KERÄTYN HAVAINTOMATERIAALIN ARVIOINTI

8.1 RGB-viistokuva-aineisto

8.1.1 Viistokuvien laatu ja määrä



Kuva 13. Lentorobotin ottama kuva 20 kV:n johdon pylväsmuuntajasta (kuvaa rajattu)



Kuva 14. Lentorobotin kuvassa 20 kV:n johto, pj-ilmakaapeli ja signaalimerkkejä

Viistokameralla otettujen kuvien tiedostokoko on suuri (luokkaa 20-25 Mt/kuva) ja silmämääräisesti arvioiden laatu erinomainen.

Kuvia otettiin kahden metrin välein GPS-yksikön ohjaamana. Kyseisellä testijärjestelyllä viistokuvadataa syntyy noin 12 Gt/km, joka on suhteellisen suuri määrä. Valitettavasti kuvien ottaminen keskeytyi jo lennon alussa eikä suuremmalla lentonopeudella lennetyllä paluulennolta saatu yhtään kuvaa. Jatkotestien kohteeksi ehdotetaan ainakin erilaisten lentonopeuksien ja -korkeuksien vaikutusta kuvien laatuun. Myös kiinteäpolttovälistä objektiivia on syytä testata niiden paremman valovoiman vuoksi, mikäli harkitaan yli 10 m/s lentonopeuksia.

8.1.2 Viistokuvien erottelukyky ja peitto

Viistokuvien erottelukykyä arvioitiin oheisessa kuvassa 13. näkyvän signaalimerkin avulla. Kuvassa 15. on signaalimerkistä otettu suuri osasuurenno, jossa yksittäiset kuvapikselit ovat hyvin näkyvissä.

Erottelutarkkuus maan pinnalla on luokkaa 4-6 mm, josta voidaan arvioida johtimien kohdalla erotuskyvyksi 2,5-3,5 mm, kun käytetty lentokorkeus oli noin 35 m ja tilitkulma noin 35°. Arvo on linjassa teoreettisesti lasketun arvon (noin 2 mm) kanssa, kun otetaan huomioon kameran liikkeen erottelukykyä huonontava vaikutus.

Laskennallinen arvio erottelukyvystä: $R = h / f \times \sqrt{A/n}$ [cm] , missä

R =	Erottelukyky eli noin yhden pikselin koko kuvassa [cm]
h =	Kuvausetäisyys eli pystykuvauksessa lentokorkeus [m]
f =	Objektiivin polttoväli [mm]
A =	Kameran kennon pinta-ala [cm ²]
n =	Kameran kennon pikselimäärä [megapikseliä]



Kuva 15. Kuvassa 13. olevan signaalimerkin osasuurennos, kuvapikselit erottuvat

Viistokuvien peiton kattavuuden määrittäminen jää osin arvioksi testilennon osalta kuvien pienen määrän ja kopterin pysty akselin suhteen tekemän edestakaisen heading-säätöliikkeen takia. Viistokamera oli kiinnitetty suoraan laitealustaan ilman kopterin liikkeen kompensoivaa telinettä (gimbal) ja osa kuvista kohdistui vierimetsään johtokadun sijasta. Tarvittaessa kuvien peittoala on helppo lisätä nostamalla lentokorkeutta tai käyttämällä kameran objektiivissa pienempää polttoväliä.

Ämmässuon koelentojen yhteydessä tehtyjen kuvausten perusteella voidaan päätellä viistokuvien päällekkäisen peiton olevan verkostotarkastuksiin aivan riittävä.

Testikopteri oli varustettu vain yhdellä viistokameralla. Tästä seuraa, että verkkokomponentit tuli kuvatuksi ainoastaan lentosuuntaan. Johto-osuudet on lennettävä molempiin suuntiin tai tuotantolennoissa käytettävä kopteri on varustettava myös taaksepäin kuvaavalla viistokameralla.

8.1.3 Viistokuvien vertailu miehitetyn lennon kuva-aineistoon

Kuvassa 16. on kuvan 13. pylväsmuuntaja syyskuussa 2014 tehdyllä miehitetyn helikopterin takakameralla kuvattuna normaalina tuotantoversiona. Kuva-aineistoa vertailemalla voidaan päätellä lentorobotilla otettujen kuvien olevan erotuskyvyltään huomattavasti tarkempia tuotantokuviiin verrattuna. Syitä paremmalle erotuskyvyille ovat mm. lentorobotin kameran suurempi kennon pikselimäärä ja miehitettyä kuvauslentoa alempi lentonopeus ja hieman alempi kuvauskorkeus.



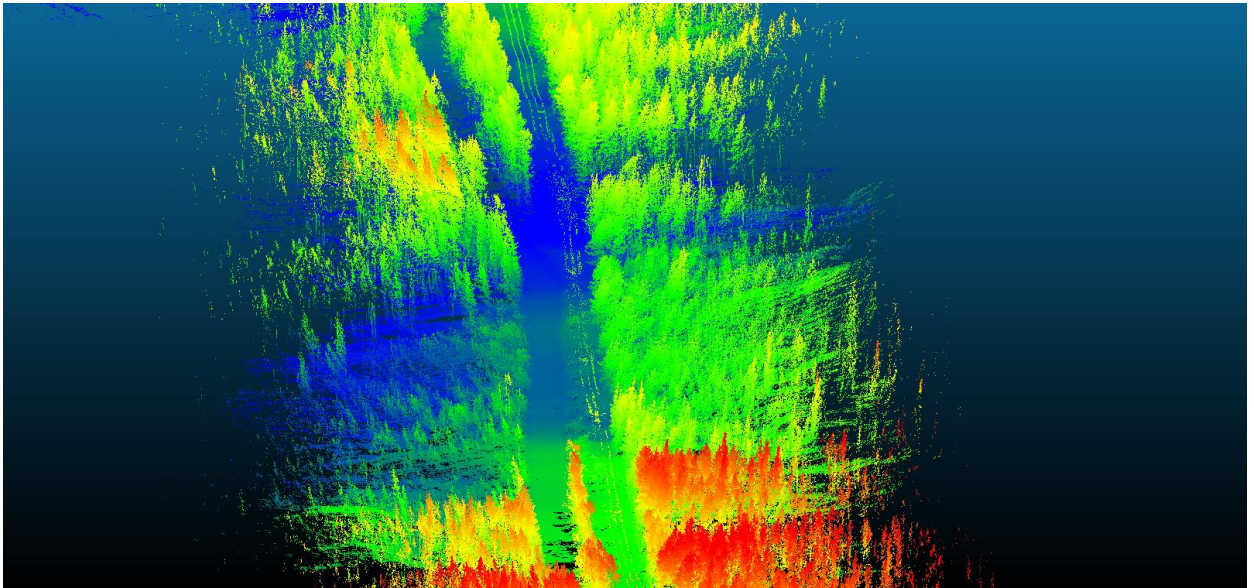
Kuva 16. Pyväsmuuntaja miehitetyllä tuotantolennolla kuvattuna syyskuussa 2014 (kuvaa rajattu)

8.2 Laserkeilausaineisto

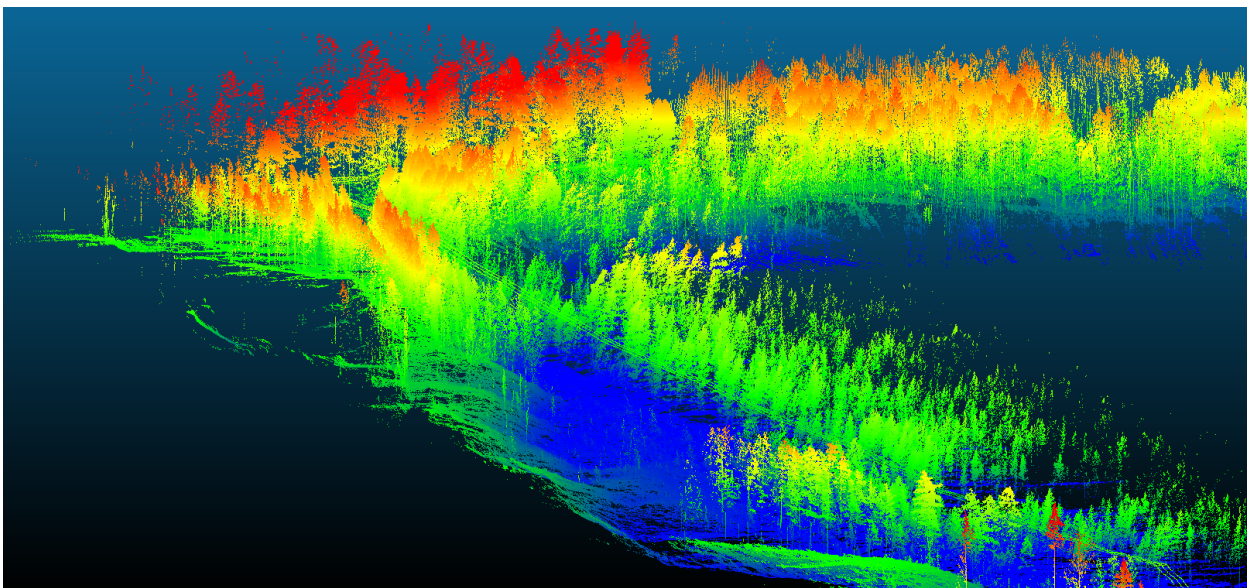
8.2.1 Laserkeilausaineiston laatu ja määrä

Laserkeilausaineistoa saatiin kerättyä koko edestakaisen lentomatkan varrelta. Laserkeilausaineisto on pistetiheydeltään riittävän tarkkaa (50 pistettä / m²), aineistosta erottuu selvästi sähköverkon komponentit, johtimet ja pylvää; samoin puusto erottuu aineistossa erinomaisesti. Lisäksi aineisto kattaa linjakäytävän lisäksi noin 25 metriä vierimetsää molemmilta puolilta linjakäytävää siten, että yksittäisistä puista on havaintoja myös niiden alaosista. Laserkeilausaineisto soveltuu sellaisenaan raivaustarvehavaintojen tuottamiseen ja tarkasteluun visuaalisesti. Aineiston soveltuvuus automaattiseen raivausanalyysiin on arvioitu seuraavassa kappaleessa.

Oheisissa kuvissa 17. ja 18. on laserkeilausaineistosta prosessoituja koostekuvia.



Kuva 17. Koostekuva laserkeilausaineistosta linja suuntaisesti



Kuvat 18. Laserkeilausaineistosta koostettu viistokuva

Laserkeilausaineistoa kerättiin lennolta yhteensä 1,8 Gt eli 222 Mt/johtokilometri.

8.2.2 Laserkeilausaineiston laatu ja ACCA-analyysi

Testilennolla kerätyn laserkeilausaineiston pistetiheys ja suhteellinen tarkkuus on keskimäärin riittävän hyvä kohteiden (sähköverkon komponentit, puusto, rakennukset jne.) automaattiseen tunnistamiseen:

- Pistetiheys 50 pistettä / m²
- Suhteellinen tarkkuus, horizontal 3-5cm
- Suhteellinen tarkkuus, vertical 3-5cm.

Pistepilven suhteellista tarkkuutta kokonaisuutena huonontaa aika-ajottain havaittavat systemaattiset muutaman senttimetrin siirtymät, jotka aiheutuvat todennäköisesti seuraavien tekijöistä:

- Polttomoottorikopterin runko aiheuttaa resonanssia sensorilaitteistoon
- Sensorilaitteiston puutteellinen tarkkuus.

Pistepilven systemaattiset siirtymät aiheuttavat ylimääräisen haasteen kohteiden, erityisesti sähköverkon johdinten automaattiselle tunnistamiselle. ACCA-analyysin automaattinen tunnistusalgoritmi vaatii siten sovittamista tutkimuksessa käytössä olleella laite-konfiguraatiolla kerätylle pistepilviaineistolle, jotta johdinkäyrän pistehavaintojen ajoittaiset systemaattiset siirtymät eivät estä johdinten automaattista tunnistamista. ACCA-tuotteen tuotekehityksen arvion mukaan tunnistusalgoritmien sovittaminen tutkimuksessa kerättyyn aineistoon on realistista ja täysin mahdollista.

Georeferoidun pistepilviaineiston absoluuttinen tarkkuus on hyvä:

- Absoluuttinen tarkkuus, horizontal 5-10cm
- Absoluuttinen tarkkuus, vertical 5-10cm.

8.2.3 Laserkeilausaineiston vertailu miehitetyllä lennolla kerättyyn aineistoon

Robottikopterilla ja miehitetyllä kopterilla kerättyjen laserkeilausaineiston eroja:

- Pistetiheys on samaa luokkaa ja soveltuu molemmissa kohteiden automaattiseen tunnistamiseen
- Suhteellinen tarkkuus on molemmissa riittävä kohteiden automaattiseen tunnistamiseen, lukuun ottamatta robottikopterilla kerätyn aineiston ajoittaisia systemaattisia siirtymiä kuten edellä on kuvattu
- Absoluuttinen tarkkuus on molemmissa riittävä havaintojen kohdistamiseksi sähköverkon komponentteihin.

Saatujen kokemusten perusteella miehitetyllä kopterilla kerätty laserkeilausaineisto laadullisesti parempaa kuin robottihelikopterilla kerätty aineisto, mutta robottikopterilla kerätty aineisto on riittävän hyvää laadullisesti, jotta sitä voidaan käyttää automaattisen tulevaisuudessa raivausanalyysin tarpeisiin.

8.3 Arvio havaintomateriaalin soveltuvuudesta verkoston lentotarkastuksiin

8.3.1 Viistokuvamateriaali

Tehdyn laatu- ja kattavuusarvioinnin perusteella viistokuvien laatu, erityisesti erottelukyky soveltuu erinomaisesti verkoston ja sen komponenttien kunnan visuaaliseen tarkasteluun. Erottelukyvyltään lentorobottijärjestelmällä otetut viistokuvat olivat erinomaisia ja jopa ylittivät tuotantokuvien laatuvaatimukset.

Molempiin lentosuuntiin kuvaavien kahden viistokameran käyttäminen poistaa komponenttien katveita ja lisää peittoa, jolloin voidaan lentää johto-osuus vain yhteen suuntaan ja mahdollisesti pienentää kuvien ottotiheyttä (nyt kuva 2 metrin välein). Suurempaa lentonopeutta voi myös kokeilla haluttaessa nostaa tuotantotehokkuutta.

Tarvittaessa verkoston komponenteista voidaan ottaa erittäin tarkkoja spot-kuvia.

8.3.2 Laserkeilausaineisto

Tehdyn laatu- ja kattavuusarvioinnin jälkeen robottikopterilla kerätyn laserkeilausaineiston laatu soveltuu sellaisenaan raivaushavaintojen tuottamiseen visuaalisella tarkastuksella - kasvillisuus, sähkölinjan komponentit ja niiden suhteet erottuvat aineistosta.

Automaattisen raivausanalyysin tuottaminen edellyttää tuotekehitystä, joko algoritmien sovittamista ottaen huomioon aineiston aika-ajoittaiset siirtymät tai robottihelikopterin alustan vakauden lisäämistä tärinän estämiseksi.

9 MIEHITTÄMÄTTÖMIEN JA MIEHITETTYJEN TARKASTUSLENTOJEN VERTAILU

9.1 Lentorobottien investointi- ja käyttökustannukset

9.1.1 Investointikustannukset

Lentorobottijärjestelmän investointikustannukset vaihtelevat kovasti valitun alustan teknisten ominaisuuksien ja valmiusasteen mukaan ja riippuvat oleellisesti siitä tehdäänkö laitteistolla lentoja näköyhteyden ulkopuolelle. Halvimmat ammattitason VLOS-kuvauksiin kykenevät järjestelmät maksavat muutamia tuhansia euroja lentoalustan tyypistä ja havaintolaitteistosta riippuen. Tällöin mukana ei ole laserkeilauksen edellyttämää varustusta ja kuvausjärjestelmä soveltuu lähinnä näköyhteydellä tapahtuvaan verkoston komponenttien kuntotarkastukseen.

Verkoston kuntotarkastuksen ja raivaussuunnittelun lähtöaineiston keräämisessä vaaditaan korkealaatuista kuva- ja laserkeilausaineistoa kattavasti koko verkoston alueelta.

Tehokkaasti tehtynä tarkastuslennot edellyttävät lentorobotilta kykyä suoriutua vaativista lennoista näköyhteyden ulkopuolelle. Nämä B-VLOS-lennot edellyttävät pitkälle kehitettyä ohjaus- ja navigointijärjestelmää sekä erittäin luotettavia telemetriayhteyksiä. Lennot on käytännössä saatava myös reaaliaikaista videokuvaa lennon kulun tarkkailemiseksi ja keskeyttämiseksi vaaratilanteissa. Viisto- ja pystykuvaukseen soveltuvan RGB-kameravarustuksen lisäksi varustukseen kuuluu laserkeilauslaitteisto ja korkealaatuinen IMU-yksikkö. Lisäksi runsaan havaintomateriaalin tallentamiseen tarvitaan runsaasti sähköistä muistikapasiteettia.

Lentorobotilla suoritettavien tarkastuslentojen suunnittelu edellyttää lentosuunnitteluohjelmistoa, joka mahdollistaa lentojen kokonaisuuden suunnittelun ottaen huomioon tarkastettavan sähköverkon maantieteellisen sijainnin, tiestön ja soveltuvien lentojen operointipaikkojen tunnistamisen. Lennot tulee suunnitella ottaen huomioon yksittäisen lennon kesto, yhden operointipaikan hyödynnettävyys useammalle lennolle sekä tiestö joustavaan liikkumiseen. Kukin yksittäinen lento suunnitellaan tarkoitusta varten kehitetyn 3D-lennonsuunnittelujärjestelmän avulla, jossa hyödynnetään maaston korkeusmallia sekä muuta digitaalista kartta-aineistoa. Yhteensä kuvatus kokonaisjärjestelmän hinnaksi muodostuu alustaksi valitun lentorobotin sekä lennonsuunnittelu-, ohjaus- ja navigointijärjestelmän varustuksesta ja ominaisuuksista riippuen helposti satoja tuhansia euroja. B-VLOS-tarkastuslentoihin kykenevä lentorobottijärjestelmä on siis verrattain kallis investointi.

Lentorobottijärjestelmä on kuitenkin lentoalustana kertaluokkaa edullisempi ratkaisu kuin perinteinen miehitetty helikopteri, jonka hinta kipuaa helposti yli miljoonaan euroon. Investointiluonteisten kulujen osalta lentorobottijärjestelmällä on lentoalustan edullisuudesta johtuen ylivoimainen hintakilpailuetu perinteisiin miehitettyihin helikoptereihin verrattuna.

Tarkastuslentotoiminta vaatii lisäksi kuljetus-, viestintä- ja tietojenkäsittelylaitteistoa sekä toimistotilaa. Nämä eivät juuri poikkea lentorobottilentojen ja miehitettyjen lentojen välillä ja ovat pääosin vuokrattavissa markkinaehtoiseen hintaan.

9.1.2 Käyttö- ja operointikustannukset

Operointikustannuksissa lentorobottijärjestelmällä on myös oleellinen hintaetu tavanomaisilla helikoptereilla suoritettuihin tarkastuslentoihin verrattuna. Tässä pilottiprojektissa on tarvittu merkittävää henkilötyöpanosta mm. viranomaislupien hakemisessa, kaikessa teknisessä valmistautumisessa ja lennon suunnittelussa. Suurin osa lentorobottitarkastuksiin tarvittavista työvaiheista kuitenkin yksinkertaistuu tai voidaan automatisoida, jolloin operointikustannukset pienentyvät huomattavasti. Jotta kustannussäästöihin päästään, tehokkaalla lentojen suunnittelulla on merkittävä osuus: lennot tulee pystyä suunnittelemaan logistisesti tehokkaasti yhdistelemällä tarvittavia lähtötietoja. Lentorobottien lentotoiminnassa henkilötyön osuus kokonaiskustannuksissa on merkittävä, yksi tiedonkeruuyksikkö koostuu jo turvallisuusvaatimusten vuoksi kahdesta henkilöstä. Vertailukohtana miehitetyillä helikoptereilla suoritettavat tarkastuslennot vaativat 1-2 henkilön miehistön, pilotti ja mahdollisesti laiteoperaattori.

Voimanlähteen käyttökustannukset eli tänä päivänä käytännössä polttoainekustannukset lentoroboteilla ovat mitättömät miehitettyihin helikoptereihin verrattuna. Sähkökäyttöisten lentorobottien suorituskyvyn kehittyessä voimanlähteestä aiheutuvat käyttökustannukset pienevät edelleen.

Merkittävä kustannusetu lentorobottien hyväksi ovat huolto- ja ylläpitokustannusten pienuus tavanomaisiin helikoptereihin verrattuna. Laitteet ovat pieniä kooltaan, joten varastointi- ja kuljetuskustannukset ovat edullisia miehitettyihin ilma-aluksiin verrattuna. Lisäksi kaluston huolto- ja määräaikaistarkastuksiin liittyvät kulut ovat oleellisesti pienemmät perinteisiin helikoptereihin verrattuna.

9.1.3 Kokonaistaloudellisuus

Lentorobottijärjestelmän investointi- ja käyttökustannuksia on eritelty taulukossa 1. Yhteenvetona voidaan karkeasti arvioida, että verkoston tarkastuslentojen kustannustaso vähintään puolittuu käytettäessä lentorobottijärjestelmiä miehitettyjen helikopterilentojen sijasta.

Suurhäiriötilanteen tilannekuvan muodostamisessa käytettävien tiedustelulentojen tapauksessa kustannusedun arvioidaan olevan vielä enemmän lentorobottien eduksi investointi- ja polttoainekustannusten suuremman painoarvon vuoksi.

Erotuskyvyltään tarkkojen spot- ja pystykuvien (ortokuvat) ottamiseen lentorobotit ovat teknistaloudellisesti aivan ylivoimaisia perinteisiin ilma-aluksiin verrattuna.

Taulukko 1. Lentorobottijärjestelmän kustannuserittely

Investointikustannukset	
Laitekustannukset (lentorobotti, sensorit)	Kohtuullinen kustannus, kertaluokkaa halvempi verrattuna miehitettyihin helikoptereihin
Tilat ja kuljetuskalusto	Ei erityisvaatimuksia, pieni kustannus
Integrointi- ja käyttöönottokustannukset / yksikkö	Pieni kustannus, työmääräarvio noin 150 tuntia / yksikkö
Tarvittavan ohjelmistotuen kehittäminen	Kohtuullinen kustannus, tarvittavien ohjelmistojen kehittäminen, mm. lentojen suunnittelu, yksittäisen lennon 3D-suunnittelu, analyysien sovittaminen
Miehistön kouluttaminen	Kohtuullinen kustannus, miehistö tulee täsmäkoulututtaa, erityisesti RPAS-, B-VLOS-, ja ilmakehuvauskoulutus
Käyttö- ja operointikustannukset	
Yhden lennon kustannustehokkuus	Erinomainen kustannustehokkuus. Tavoite 1h lentoaika. Lentoaika on lyhyt verrattuna miehitettyihin tarkastuslentoihin, mutta sillä päästään tarkoituksenmukaiseen operatiiviseen tehokkuuteen. Lentoajan kasvattaminen ei oleellisesti lisää operatiivista tehokkuutta johtuen sähköverkon geometriasta (sähköasemalähdöt, johdot käyttöpaikoille jne.)
Lennonsuunnittelu	Pieni kustannus. Lennonsuunnittelu on olennainen osa lentoroboteilla tarjottavaa tarkastuspalvelua. Miehitetyillä helikopterilla suoritettavat tarkastukset eivät välttämättä vaadi erityisen tarkkaa suunnittelua, sähköverkon tarkastuslennot voidaan operoida muutamasta tukikohdasta. Lentorobottien avulla suoritettavat tarkastuslennot tulee suunnitella ja optimoida logistisesti, ottaen huomioon siirtymät, operointipaikat ja yksittäiset lennot. Lennonsuunnittelu voidaan pitkälle automatisoida, jolloin lennonsuunnittelu ei ole suuri operatiivinen kustannus ja tarkastuslennot voidaan tuottaa erittäin kustannustehokkaasti.
Lentoluvat	Pieni kustannus, lentolupien hakeminen tulee rationalisoida, jolloin se ei vaadi merkittäviä operatiivisia resursseja.
Säähaitta	Säähaitta, lähinnä sadesää, on lähes yhtä iso haitta kuin miehitetyissä lentotarkastuksissa.
Miestyöresurssit	Kohtuullinen kustannus, kahden henkilön palkkakustannukset.
Polttoainekustannukset	Marginaalinen kustannus, polttoainekustannukset ovat mitättömät, huomattavasti alhaisemmat kuin miehitetyissä helikopterilennoissa.
Majoituskustannukset	Pieni kustannus, kahden henkilön majoituskustannukset, ovat samaa luokkaa kuin miehitetyissä helikopteritarkastuksissa
Kuljetuskustannukset	Pieni kustannus, lentorobotilla suoritettavat tarkastukset edellyttävät yhden pakettiauton käyttöä operointiyksikköä kohden. Polttoainelogistiikka: polttoaine kulkee helposti mukana

Huoltokustannukset	Pieni kustannus, esimerkiksi täysi huolto lentolaitteelle 5 kertaa sen käyttöiän aikana
Vakuutukset	Lentorobotilla suoritettavien lentojen vakuutusmaksut ovat alhaisemmat kuin miehitetyillä lennoilla.
Operatiivinen tehokkuus	
Yhteenveto	<p>Yhden robottihelikopteriyksikön päiväkohtaisen operatiivisen tehokkuuden arvioidaan ensi vaiheessa olevan noin puolet miehitetyillä helikopterilla tehtyihin tarkastuslentoihin verrattuna (noin 100 km johtoa/helikopteri/päivä), Tulevina vuosina prosesseja ja teknisiä ratkaisuja kehittämällä tehokkuutta voidaan kasvattaa tuntuvasti.</p> <p>Robottihelikopterin operointi on hyvällä lentosuunnittelulla huomattavasti halvempaa kuin miehitetyn helikopterin.</p> <p>Sharper Shapen tekemän kustannusmallin ja vertailun perusteella lentorobotilla tuotettavien lentotarkastusten yksikkökustannus/kilometri on noin puolet halvempi kuin miehitetyillä helikopterilla.</p>

9.1.4 Ekologista vertailua

Lentorobottien aiheuttamat kasvihuonepäästöt ja meluhaitat ovat huomattavasti miehitettyjä helikoptereita pienemmät ja sähkökäyttöisillä lentoroboteilla aivan olemattomat. Robottikopterien nousu- ja laskeutumisalueiksi sopivat pienet aukeat kentät, pellot tai vaikkapa parkkipaikat ja robottikopterien aiheuttama turvallisuusriski ihmisille, eläimille ja ympäristölle on pieni verrattuna täysikokoiseen miehitettyyn helikopteriin. Lentorobottien käyttäminen on selvästi ekologisesti kestävä valinta.

9.2 Verkostotarkastusten vertailua miehitetyillä helikoptereilla ja lentoroboteilla tehtynä

Taulukko 2. Miehitettyjen helikopterien ja lentorobottien vertailua verkostotarkastuksissa

Miehitetyt helikopterit	Lentorobottitarkastukset
Miehitetyillä helikopterilla suoritettavien tarkastuslentojen kustannus on korkea	Lentoroboteilla kustannus on noin puolet miehitetyistä helikopterilento-tarkastuksista
Miehitetty helikopteri soveltuu vain laajempien kokonaisuuksien tarkastamiseen (korkea mobilisaatiokustannus)	Tarkastus lentoroboteilla soveltuu myös pieniin kohteisiin alhaisen mobilisaatiokustannuksen ansiosta
Visuaalinen tarkastus maastossa tai helikopterista käsin perustuu vielä osittain subjektiivisiin näkö-havaintoihin	Lentorobotilla voidaan tuottaa tasalaatuista informaatiota kunnossapitosuunnittelun lähtötiedoksi, Erittäin korkealaatuista spot-kuvaa tarvittaessa
Suurhäiriötilanteissa miehitetty helikopteri voi toimia haastavissa joksään olosuhteissa, saadaan nopeasti ilmaan ja voi toimia valvotussa ilmatilassa	Lentorobotit vaativat yleensä poutasään ja tuulen nopeus saa olla enintään 10 m/s , ei voi käytännössä operoida valvotussa ilmatilassa ja lentolupien myöntäminen kestää nyt liian kauan
Miehitetty helikopteri on ekologisesti ympäristöä tuntuvasti kuormittava	Ympäristöystävällinen ratkaisu

Lisää perinteisten helikopterien ja lentorobottien vertailua on lähteen /1/ luvussa 10.

10 TARKASTUSLENTOJEN PALVELUKUVAUS JA KEHITTÄMISEHDOTUKSIA

10.1 Tarkastuslentojen palvelukuvaus

Raportin liitteeseen /8/¹⁹ on koottu lentoroboteilla suoritettavien sähköverkoston tarkastuslentojen palvelukuvaus, joka toimii samalla toimintamallina verkkoyhtiöille palvelukartoituksia ja –tilauksia tehtäessä.

10.2 Kehittämisen- ja jatkotyöehdotuksia

10.2.1 Lentorobotti- ja havaintolaitteistotekniikan kehittämien

Laite- ja järjestelmävalmistajat:

1. Sähkökäyttöisten moniroottoristen helikopterien kokonaissuorituskykyä lisättävä selvästi pitkien B-VLOS-lentojen mahdollistamiseksi
2. Akkujen kapasiteetti/paino suhdetta kasvatettava
3. Kehitettävä tai parannettava näköyhteyden ulkopuolella operoitaessa tarvittavia ohjaus-, navigointi- ja turvajärjestelmiä
4. Parannettava lennonsuunnittelun työkaluja, esimerkkinä lentojen suunnittelu logistisena ja optimoituna kokonaisuutena, 3-ulotteisen maastomallin käyttöönotto lennonsuunnittelussa, mahdollisuus hyödyntää aiemmin kerättyä laserkeilausaineistoa. Mallin tulee sisältää lentoestetiedot.
5. Luotava yhteysmenettelystandardi telemetriayhteyksiä varten (ohjaus- ja kuvansiirtoyhteydet)
6. Alalle näkyvyyttä – viestintää tulevista mahdollisuuksista
7. Vaikutettava lainsäätäjiin asianmukaisella informaatiolla alan mahdollisuuksista ja riskeistä
8. Osallistuttava lentotehokkuuden ja -turvallisuuden varmistavien palvelujen kehittämiseen ja tuottamiseen

10.2.2 Lentorobotteihin liittyvän osaamisen ja palvelutarjonnan kehittäminen

Viranomaiset ja alan järjestöt

1. Viranomaisten tuettava aloittavia alan yrityksiä ja kehitysohjelmia taloudellisesti sekä järjestämällä korkeatasoista sekä laaja-alaista koulutusta (mm. järjestelmätekniikka ja lento-operointi)
2. Alan järjestöjen kehitettävä aktiivisesti omaa osaamistaan ja käynnistettävä RPAS-spesifinen alkeis- ja täydennyskoulutus (mm. miehittämättömän ilmailun yleiskoulutus, ohjaus- ja navigointikoulutus, tekniikka/huoltokoulutus) sekä luotava asiantuntijapalveluja esimerkiksi lentotoiminnan kuvausten ja toimintaprosessien (lentokäsikirja) laadintaan/

¹⁹ UAV-pohjainen lentotarkastus ja kunnossapitosuunnittelu sähköverkkoyhtiöille, Palvelumäärittely

kehittämiseen sekä tarvittaessa käynnistettävä ilma-alusten katsastuspalvelu ja turvallisuusauditointi viranomaismääräysten sitä vaatiessa

3. Järjestöjen koottava voimat yhteisten kehitysohjelmien toteuttamiseksi laitevalmistajien, lento-operaattorien sekä tutkimus- ja oppilaitosten kanssa

Lentotoiminnan harjoittajat ja palveluntarjoajat

1. Seurattava tiiviisti alan kehitystä ja investoitava kokeilujärjestelmiin
2. Alan yritysten keskinäistä yhteistyötä lisäävä ja luotava palvelutuotannon verkostoja
3. Kehitettävä miehittämättömien ilma-alusten operoinnissa ja huollossa tarvittavaa osaamista
4. Vaikutettava ilma-alusten valmistajiin myös siviilipuolen tuotantoon panostamiseksi
5. Lentotyöpalveluja miehitetyillä ilma-aluksilla tarjoavien yritysten tulee ottaa tuotevalikoimaan myös miehittämättömillä RPAS-aluksilla tuotettavat palvelut

Loppukäyttäjät

1. Tuettava aloittavia RPAS-lentoliiketoiminnan harjoittajia
2. Rajoitetun alueen ja yksittäisten rakenteiden digitaalisissa kuvauksissa lentorobotit ovat edullisin ja usein myös laadukkein vaihtoehto. Käyttäkää näitä palveluja
3. Johtojen, pylväiden ja muiden verkkokomponenttien koordinaattitietoja tarkennettava

Vakuutus- ja rahoitussektori:

1. Kehitettävä alalle kilpailukykyisiä vakuutus- ja rahoitustuotteita

10.2.3 Toimintaprosessien, lentoturvallisuuden ja RPAS-järjestelmän kehittäminen

Lupaprosessin kehittäminen

1. Ilmoitusprosessin kehittäminen yhteistyössä Trafín kanssa
2. Laajempien lento-lupa alueiden muodostaminen yhteistyössä Trafín, Energiateollisuuden ja verkkoyhtiöiden yhteistyönä, jotta päästäisiin joustavampaan lennonsuunnitteluun ja toteutukseen

Lennonsuunnittelu

- Lennonsuunnittelun automaatioastetta on kehitettävä ja tulisi ottaa käyttöön/kehittää kolmiulotteinen suunnitteluohjelmisto, joka hyödyntää suoraan Maanmittauslaitoksen laserkeilattua korkeusmallia 10m tai 2m²⁰ (mikäli jälkimmäinen on saatavana alueelta) sekä sijainti- ja ominaisuustiedoltaan riittävän tarkkaa ja luokiteltua verkkotietoa
 - Lentokorkeuden automaattinen laskenta johtoaukean ympäristön maksimikorkeuden perusteella

²⁰ Mallissa 2m ruudukkokoko on 2x2 m ja korkeusepätkkuus on enintään ±0,3 m.

Automaattinen ohjaus

1. Automaattiohjauksen kehittäminen siten, että ohjaaja voi tarvittaessa tehdä hienosäätöjä lentoreittiin, jos lennonsuunnittelussa on epätarkkuutta reittipisteissä tai pylvästiedoissa
2. Ohjauksen (mm. heading) algoritmia ja parametreja kehitettävä kopterin pystyakselin suuntaisen, edestakaisen säätöliikkeen pienentämiseksi, jotta kopteri (ja viistokamera) pysyisin paremmin voimalinjan suuntaisena
3. Lentonopeutta voitaisiin säätää automaattisesti lennon aikana riippuen reittikohdan vaativuudesta, mm. jyrkät nousut ja käännökset.
4. Mahdollisuuksien mukaan myös lennon nousut ja laskeutumiset autopilotilla ohjattaviksi, jolloin ohjaaja voisi keskittyä pelkästään lennon tarkkailuun
 - Automatisoidut nousut ja laskeutumiset toteutettuna siten, että pilotilla on mahdollisuus tehdä korjauksia/ottaa komento
 - Puoliautomatisoidut GPS-ohjatut nousut ja laskut, pyrkimyksenä vähentää inhimillisen virheen mahdollisuutta

Lentotoiminnan- ja sen turvallisuuden kehittäminen

1. Sensorilaitteistojen kehittäminen ympäristön havainnointiin turva-etäisyyden kasvattamiseksi ja törmäysuhan tunnistamiseksi
2. Tilannekuvan (Situational Awareness) kehittäminen
 - Videokuvan laadun parantaminen ja latenssin pienentäminen
 - Laajakulmaisen linssin tai useamman kameran käyttö paremman tilannekuvan luomiseksi

Ohjauspisteen kehittäminen

1. Maa-aseman (Ground control station) integroiminen kuljetusajoneuvoon
 - Logistiikkahyödyt: nopeampi toiminnan aloitus ja lopetus
 - Parempi valaistuksensäätely maa-aseman operaattorin työpisteessä
 - Telemetry- ja videomonitorien kehittäminen, jotta niiden luettavuus on parempi erilaisissa valaistusolosuhteissa, johtaa parempaan B-VLOS tilannekuvaan
 - Yllättävien säätapaukujen (sadekuurot, yms) aiheuttamien riskien minimoiminen maa-asemalla

10.2.4 Lainsäädännön ja viranomaisohjauksen kehittäminen

Lainsäätäjä ja viranomaiset:

1. Sääntelyä ja toimintamallia kehitettävä yhdessä alan viranomaisten kanssa ilmatilavarausten sujuvoittamiseksi ja lupaprosessin vasteajan pienentämiseksi tavoitteena, että etukäteen sovitulla alueilla suurhäiriötilanteissa lennot voitaisiin käynnistää enintään 24 tunnin vasteajalla ja muiden tarkastuslentojen osalta enintään viiden vuorokauden kuluessa.
2. Toistaiseksi voimassa olevat lentoluvat tulee myöntää alle 150 metrin korkeudessa valvomattomassa ilmatilassa tapahtuvaan operointiin miehittämättömän ilma-aluksen ollessa todennetusti turvallinen operoida. Turvallisen operoinnin kriteerit määriteltävä

3. Miehitämättömiä ilma-aluksia varten on säädettävä oma lentotyötä koskeva määräys, jossa on huomioidaan erilaisten lentotyökohteiden ja -tapojen toisistaan poikkeavat olosuhteet ja turvallisuusvaatimukset
4. Valvomaton ilmatila lentoestekorkeuden alapuolella (enintään 30 metriä maan tai veden pinnasta) on varattava kaava-alueiden ulkopuolella pääsääntöisesti alle 25 kiloille miehittämättömille ilma-aluksille. Muilla ilma-aluksilla olisi ko. ilmatilassa väistämisvelvollisuus miehittämättömiin ilma-aluksiin nähden.
5. Osoitettava pikaisesti taajuudet näköyhteyden ulkopuolella harjoitettavaa B-VLOS-lentotoimintaa varten

10.2.5 Jatkotyöehdotuksia

Lennonopeuden vaikutus havaintoaineiston laatuun ja tarkkuuteen

- Ehdotetaan testattavaksi myös lentorobotin suurempien lentonopeuksien (esim. 10-20 m/s) vaikutus havaintoaineiston laatuun ja tarkkuuteen (mm. viistokuvien erottelukyky)

Lentovarausalueiden valmistelu yhteistyössä viranomaisten kanssa

- Kehitetään verkkoyhtiöiden (Energiateollisuus ry) ja Trafín kanssa malli ja menettely, jossa etukäteen muodostetaan suurhäiriötilanteita varten sähköverkoston kulkua myötäilevät (kapeat) ilmatilan varausalueet. Mallia hyödyntäen pilotoidaan ennalta suunniteltuun ilmatilan varaukseen perustuen suurhäiriötilanteen tiedustelulento sekä säännönmukaiseen kunnossapitoon liittyvä tarkastuslento valvomattomassa ilmatilassa. Lentokorkeus alle 150 metriä maanpinnasta

B-VLOS-lento valvotussa ilmatilassa

- Suurhäiriötilanteen tiedustelulennon pilotointi valvotussa ilmatilassa muutamalla eri lentokorkeudella 150 – 1 000 metriä maanpinnasta

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

11.1 Lentorobottien soveltuvuus lentotarkastuksiin tällä hetkellä

11.1.1 Määräaikaistarkastukset - Verkon komponenttien kuntotarkastus

Perustuen viitteen /1/ selvityksen tuloksiin ja pilotoinnin kokemuksiin ja havaintoihin lentorobotit soveltuvat teknistaloudellisesti tänä päivänä erinomaisesti näköyhteydellä (VLOS) tapahtuviin verkoston komponenttien tarkastuskuvauksiin ja ortokuvauksiin esimerkiksi rakennettaessa uusia sähköasemia, voimalaitoksia tai ilmajohtoverkosta.

Näköyhteyden ulkopuolelle ulottuviin (B-VLOS) verkoston tarkastuslentoihin tekniikka on olemassa jo tänä päivänä ja palveluntarjonnan käynnistäminen vaatii lähinnä tekniikan ja tuotantoprosessin hiomista ja palvelun tuotteistamista sekä lupaprosessin ”standardointia” ja lupaprosessin taustalla olevan viranomaisohjauksen kehittämistä yhteistyössä loppukäyttäjätahojen kanssa.

Saatavien kustannushyötyjen odotetaan olevan hyvin merkittäviä perinteisten miehitettyjen helikopterien käyttöön verrattuna – tarkastuskustannukset lentoroboteilla voivat jopa puolittua.

11.1.2 Määräaikaistarkastukset - Kasvillisuuden ja turvaetäisyyksien tarkastus

Tehdyn laatu- ja kattavuusarvioinnin jälkeen robottikopterilla kerätyn laserkeilausaineiston laatu soveltuu visuaaliseen tarkastukseen ja raivaushavaintojen tuottamiseen - kasvillisuus, sähkölinjan komponentit ja niiden suhteet erottuvat aineistosta.

Automaattinen raivausanalyysin tuottaminen ja turvaetäisyyksien tarkastus edellyttää lisätuotekehitystä sisältäen analyysialgoritmien sovittaminen datan laatuun ja/tai robottihelikopterin alustan vakauden lisääminen.

11.1.3 Suurhäiriötilanteen tiedustelulennot

Suurhäiriötilanteissa tilannekuvan kartoittamisen osalta lentorobottien läpimurtoa on odotettava hieman pitempään, sillä sekä tekniikka että lainsäädäntö vaatii vielä hiomista ainakin valvotussa ilmatilassa lentämisen osalta. Yksittäisen, maantieteellisesti rajoitettujen alueiden vikapaikannuksessa lentorobotit ovat käyttökelpoisia jo nyt.

11.1.4 Palvelujen kaupallinen tarjonta

Kaupallisesti yksittäiskohteiden spot-kuvauksiin tai maantieteellisesti rajattujen alueiden ortokuvauksiin lentorobotein suoritettavia ilmakehuvauspalveluja on saatavissa jo usealta alan yrittäjältä.

Lentorobottien avulla tehtävien verkoston tarkastuslentojen tarjonta käynnistyy lähitulevaisuudessa. Sharper Shape Oy ja Next Eagle Oy:n odotetaan aloittavan maantieteellisesti rajoitetun palvelutuotannon vuoden 2015 aikana. Muita potentiaalisia palveluntuottajia olisivat mahdollisesti miehitetyillä helikoptereilla operoivat yhtiöt.

Uuden lentotyömääräyksen OPS M1-23 julkaiseminen alkuvuodesta 2015 selkeyttänee osaltaan juridista toimintaympäristöä ja asettaa palvelutuottajille yksikäsitteiset viranomaisvaatimukset.

11.2 Lentorobottien hyödyntämisen näkymät tulevaisuudessa

Lentorobottien uskotaan valtaavan hyvissä kuvaolosuhteissa tehtävien verkoston tarkastuslentojen ja ortokuvausten markkinat lähimmän viiden vuoden sisällä.

Suurhäiriötilannekuvan muodostaminen vaatii tänä päivänä useamman lentorobottiyksikön käyttämistä samanaikaisesti riittävän operatiivisen tehokkuuden saavuttamiseksi. ja lupaprosessi on liian hidas, jotta suurhäiriötilanteen vaatimat palvelun vasteajat kyettäisiin toteuttamaan. Lentorobottien suorituskyky (riittävän pitkä lentoaika ja lentäminen haastavissa olosuhteissa), tekniset turvallisuusjärjestelmät lentämisen mahdollistamiseksi valvotussa ilmatilassa ja lupaprosessi vaativat vielä kehittämistä.

12 LYHENTEITÄ JA TERMEJÄ

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast -Ilmailun tiedonvälityskäytäntö (ml. sijaintitiedot)
A-GPS	Assisted GPS - Avustettu GPS-paikannus
AGL	Altitude above Ground Level - Korkeus maan pinnasta
AIP	Aeronautical Information Publication - Ilmailukäsikirja
AIS	Aeronautical Information Services - Ilmailutiedotuspalvelu
ALS	Airborne Laser Scanning - Laserkeilaus ilma-aluksesta
AMSL	Above Mean Sea Level, Korkeus merenpinnasta
ATM	Air Traffic Management - Ilmaliikenteen hallinta
Autopilotti	On laite tai järjestelmä, joka huolehtii automaattisesti lentokoneen tai vesialuksen ohjauksesta
B-VLOS	Beyond Visual Line Of Sight - Lennot suoran näköyhteyden ulkopuolelle
CTA	Control Traffic Area - Lennonjohtoalue
DEM	Digital Elevation Model - Digitaalinen korkeusmalli
DGPS	Differential GPS -Differensiaalinen GPS-paikannus
DMS	Distribution Management System, Käyttöjärjestelmä (yleensä paikkatietopohjainen)
DSM	Digital Surface Model, Digitaalinen pintamalli
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power - Ekvivalenttinen isotrooppinen säteilyteho
E-VLOS	Extended Visual Line Of Sight
GIS	Geographic Information Systems, Paikkatietojärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite Systems - Yleisnimitys maailmanlaajuiselle satelliittinavigointijärjestelmälle
GPS	Global Positioning System - Yhdysvaltojen ylläpitämä maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
IFR	Instrument Flight Rules - Lentomenetelmä, jossa ohjaaminen perustuu mittaristosta saatavaan informaatioon, eikä näkyvyyttä maahan tai ympäristöön ole välttämättä ollenkaan, ”mittarilentäminen”

IMU	Inertial Measurement Unit - Inertianmittausyksikkö, joka voi sisältää gyroskoopin ja 3D-kiihtyvyyssanturien lisäksi paineanturin (barometri) ja magnetometrin. IMU on elektroninen laite, joka ei nykyisin sisällä liikkuvia osia toisin kuin perinteinen ”hyrräkompassi”. Autopilotin välttämätön sensori
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems, JARUS is a group of experts from the National Aviation Authorities (NAAs) and regional aviation safety organizations
LIDAR	Light Detection And Ranging - Laserkeilaus
LPS	Lines Per Second - Keilaustaajuus eli pyyhkäisyä tai keilausta sekunnissa
MTOW	Maximum TakeOff Weight - Suurin lentoonlähtömassa
NIS	Network Information System - Verkkotietojärjestelmä (yleensä paikkatietopohjainen)
P-alue	Kieltoalue (Prohibited Area)
R-alue	Rajoitusalue (Restricted Area)
RGB	Red Green Blue, Näkyvän alueen päävärit, sininen, vihreä ja punainen
RPAS	Remote Piloted Aircraft Systems, Etäohjatut ilma-alusjärjestelmät
TCAS	Traffic Collision Avoidance System - Toisiotutkan transponderisignaalin perustuva ilma-alusten törmäyksenestojärjestelmä
TCP	Transport Control Protocol - Yhteydellinen tiedonsiirtomenettely
TRAFI	Liikenteen turvallisuusvirasto
TRA	Temporary Reserved Area - Tilapäinen ilmatilavarausalue
TRP	Tutkavastaaja, transponderi
TSA	Temporary Segregated Area - Tilapäinen erillisvarausalue
UAS	Unmanned Aerial System - Miehittämätön ilma-alusjärjestelmä
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – Miehittämätön ilma-alus
UDP	User Datagram Protocol - Yhteydetön tiedonsiirtomenettely
VHF AER	Ilmailu-VHF-radiopuhelin
VFR	Visual Flight Rules - Nimitys lentomenetelmästä, jossa ohjaaminen tapahtuu hyvissä sääolosuhteissa ja lentäjällä on riittävä näkyvyys maahan ja ympäristöön, ns. ”visuaalilentäminen”
VPN	Virtual Private Network, Loogisesti erotettu suojattu verkko-osa

LÄHDELUETTELO

- /1/ Lentorobotit sähköverkon tarkastuksissa, Jouko Tervo, Konsulttitoimisto Reneco Oy, 2014, http://energia.fi/sites/default/files/lentorobotit_sahkoverkon_tarkastuksissa_2014.pdf
- /2/ UAV-lennokit, Alpo Hassinen, Itä-Suomen yliopisto 2013; <http://mekri.uef.fi/uav/UAV-lennokit.pdf>
- /3/ Secrets of UAV photomapping, Krzysztof Bosak; <http://www.aerialrobotics.eu/pteryx/pteryx-mapping-secrets.pdf>
- /4/ Toiminta sähkönjakelun suurhäiriössä, Reneco 2012; <http://konsulttitoimistoreneco.files.wordpress.com/2012/09/et-suurhc3a4iric3b6-raportti-2012-09-18.pdf>
- /5/ Sähkölinjojen ilmakehuvaaminen, tekninen määrittely, Elenia Oy
- /6/ ACCA-Automaattisen Sähköverkon Raivausanalyysin kuvaukset, CORTEX VENTURES OY
- 1 Palvelumäärittely; http://energia.fi/sites/default/files/images/acca_-_1_-_palvelumaarittely_1.0.pdf
 - 2 Menetelmäkuvaus; http://energia.fi/sites/default/files/images/acca_-_2_-_menetelmakuvaus_1.0.pdf
 - 3 Hyödynnettävyyden arviointi; http://energia.fi/sites/default/files/images/acca_-_3_-_hyodynnettavyyden_arviointi_1.0.pdf
- /7/ GoogleMaps-palvelu, <https://www.google.fi/maps/preview>
- /8/ MML Ortokuvat: <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/maanmittauslaitoksen-ortokuva>
- /9/ Korkeusmalli 10m: <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/korkeusmalli-10-m>
- /10/ Helikopteri JR GSR260Z, Japan Remote Control Co., Ltd, https://www.jrpropo.co.jp/english/products/heli/details.php?hen=88269&db_flg=eng_db1
- /11/ Autopilotti 3DR Pixhawk, firmware: Arducopter v3.2, <http://3drobotics.com/pixhawk-autopilot-system/>
- /12/ IMU-yksikkö NovAtel SPAN-IGM-S1: <http://www.novatel.com/products/span-gnss-inertial-systems/span-combined-systems/span-igm-s1/>

- /13/ GPS-vastanotin NEO M8N, <https://pixhawk.org/peripherals/sensors/gps>
- /14/ Kauko-ohjaus: PC-ohjain ja Mission Planner GCS open-source-ohjelmisto, http://planner.ardupilot.com/wiki/mission-planner-overview/#What_is_Mission_Planner
- /15/ Käsiohjain Taranis X9D, 2.4 GHz, 16-kanavainen digitaalinen radio-ohjain, http://www.frsky-rc.com/product/pro.php?pro_id=113
- /16/ Kamera Sony α7R, <http://www.sony.fi/electronics/jarjestelmakamerat/ilce-7r>
- /17/ Lasekeilain Hokuyo UXM-30LXH-EWA, <http://www.autonomoustuff.com/hokuyo-uxm-30lxh-ewa.html>
- /18/ Takavideokamera GoPro Hero3 White Edition, <http://shop.gopro.com/EMEA/cameras/?gclid=CP21u5eOwMICFaUNcwodtq0A-w>
- /19/ Ilmailun linkkejä Finavia ja Trafi:
Ilmailukäsikirja, AIP Suomi-Finland; <https://ais.fi/ais/eaip/fi/>
Ilmailun tiedotuspalvelu AIS; <https://ais.fi/>
ASM-toimintakäsikirja, Trafi;
<http://www.trafi.fi/filebank/a/1376474760/6cf2b762e5d059ffdde70cb97b891e05/13034-ASM-toimintakasikirja.pdf>
- /20/ ISPRS-International Society for Photogrammetry and Remote Sensing;
<http://www.isprs.org/>


LIITE 1.

1. VARAUKSEN PERUSTIEDOT	
1.1 NIMI Pääsääntö: - julkaistut alueiden nimet - maantieteellinen sijainti - harjoituksen nimi	
1.2. TYYPPI	Tilapäinen vaara-alue
1.2 TOIMINTA Toiminnan laatu	Miehittämättömien ilma-alusten koelentotoiminta sähköverkkojen tarkastuksessa
2. TOIMINTA-AJAT	
2.1. Aikamisaika LMT / UTC	05.11.2014 klo 06:00 UTC
2.2 Päätymisaika LMT / UTC	14.11.2014 klo 14:00 UTC
2.3 Yksilöidyt toiminta-ajat (ks. ohje)	päivittäin 06:00 – 14:00 UTC
3. ALUEEN / OSA-ALUEIDEN SIVURAJAT	
Alueiden ulkoraja määrittelevä aina koordinaattina tai AIP:ssa julkaistuna alueina.	
ALUE / OSA-ALUE 1	62 27 43N 30 39 42E 62 21 54N 30 48 05E 62 22 09N 30 37 18E 62 26 44N 30 33 40E 62 27 42N 30 39 42E
4. KORKEUSRAJAT	
Yksiköt ja vertailutaso GND / AMSL / FL / FT / M	
4.1 Yläraja	120 M GND
4.2 Alaraja	SFC
5. MUUTA HUOMIOTAVAA	Yhteystiedot vaara-alueella operoivaan toiminnan johtajaan: Atte Korhonen +358 45 6346512
5.1 Muut hakemukseen liittyvät varaushakemukset	



8. LIITTEET	Karttakuva
7.1 LAATIJA PUH, E-MAIL	Next Eagle Oy Tero Heinonen +358 40 502 3134 tero.heinonen@nexteagle.com
7.2 LISÄTIETOJA ANTAA PUH, E-MAIL	Next Eagle Oy Tero Heinonen +358 40 502 3134 tero.heinonen@nexteagle.com
7.3 LASKUTUSOSOITE	Eteläranta 12, 3. kerros, 00130 Helsinki

LIITE 2.

	Trafi Liikenteen turvallisuusvirasto Trafiäkerhetsverket	PÄÄTÖS
Tero Heinonen Next Eagle Oy Eteläranta 12, 3. kerros 00130 Helsinki	Päiväys/Date: 23.9.2014 Dnr/Dnr: TRAFI/20502/05.00.12.00/2014 Viite/Referens: Next Eagle Oy:n esitys tilapäisen vaara-alueen perustamisesta	

Päätös tilapäisen rajoitusalueen EF R115 TUUPOVAARA perustamisesta

Päätöslauselema

Liikenteen turvallisuusvirasto perustaa tilapäisen rajoitusalueen EF R115 TUUPOVAARA EFIN AMC:n laatiman AIP Supplement esityksen 52-10-2014 mukaisesti.

Päätöksen perustelut

Next Eagle Oy on esittänyt Liikenteen turvallisuusvirastolle tilapäisen vaara-alueen perustamista 5. -14.11.2014 Tuupovaaraan. Tulevan ilmatilauudistuksen vuoksi päätös jaetaan kahteen osaan, tämä päätös koskee 13. -14.11.2014 EF R115 Tuupovaara tilapäistä rajoitusaluetta.

Liikenteen turvallisuusvirasto antoi alueen tunnisteeksi EF R115 TUUPOVAARA.

Tilapäisen rajoitusalueen perustamiselle ei ole estettä.

Muut lausumat

Next Eagle Oy:ltä ei pyydetä erillisiä toiminnan aloitus- ja lopetusilmoituksia, vaan tilapäinen rajoitusalue aktivoidaan ilmoitettujen aikojen, 13. -14.11.2014 klo 0600 - 1400 UTC, mukaisesti AMC - tool ja TopSky - järjestelmiin, joten toiminta ei saa alkaa ennen ilmoitettua alkamisaikaa, eikä kestää ilmoitettua lopetusaikaa pidempään.

Rajoitusalueen ollessa aktiivinen em. aikojen mukaisesti, tulee toiminnan yhteyshenkilön olla tavoitettavissa hakemuksesta ilmoitetusta puhelinnumerosta (Atte Korhonen p. +358 45 6346512).

EFIN AMC:lla on lentoturvallisuuden vaarantuessa oikeus keskeyttää toiminta rajoitusalueella.

Mikäli toiminta peruuntuu, tai hakijan yhteystiedoissa tapahtuu muutos, tulee tästä ilmoittaa EFIN AMC:lle, p. 03-286 9851.

Liikenteen turvallisuusvirasto • PL 320, 00101 Helsinki • puh. 029 534 5000, faksi 029 534 5095 • Y-tunnus 1031715-9
Trafiäkerhetsverket • PB 320, 00101 Helsingfors • tfn 029 534 5000, fax 029 534 5095 • FO-nummer 1031715-9
www.trafi.fi

2/2

Liikenteen turvallisuusvirasto pyytää Finaviaa ryhtymään asianmukaisiin julkaisu-
toimenpiteisiin asian suhteen ja hyväksyy myös vastaavat dataset parametri-
muutokset käyttöönotettaviksi TopSky ja AMC-Tool järjestelmiin.

Lisätiedot

Asiaa käsittelee Liikenteen turvallisuusvirastossa ylitarkastaja Jussi-Pekka Perunka,
jussi-pekka.perunka@trafi.fi tai Puh. 029 534 5245.

Ylitarkastaja



Jussi-Pekka Perunka

Sovellatut säädökset

- Ilmailulaki (1194/2009)
- Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista (1374/2009)
- Liikenne- ja viestintäministeriön asetus Liikenteen turvallisuusviraston maksullisista suoritteista 464/2014

Tiedoksi

- Finavia Oyj / EFIN-AMC
- AMC-MIL

Liitteet

- EFIN AMC:n laatima AIP Supplement esitys 52-10-2014
- Valitusosoitus

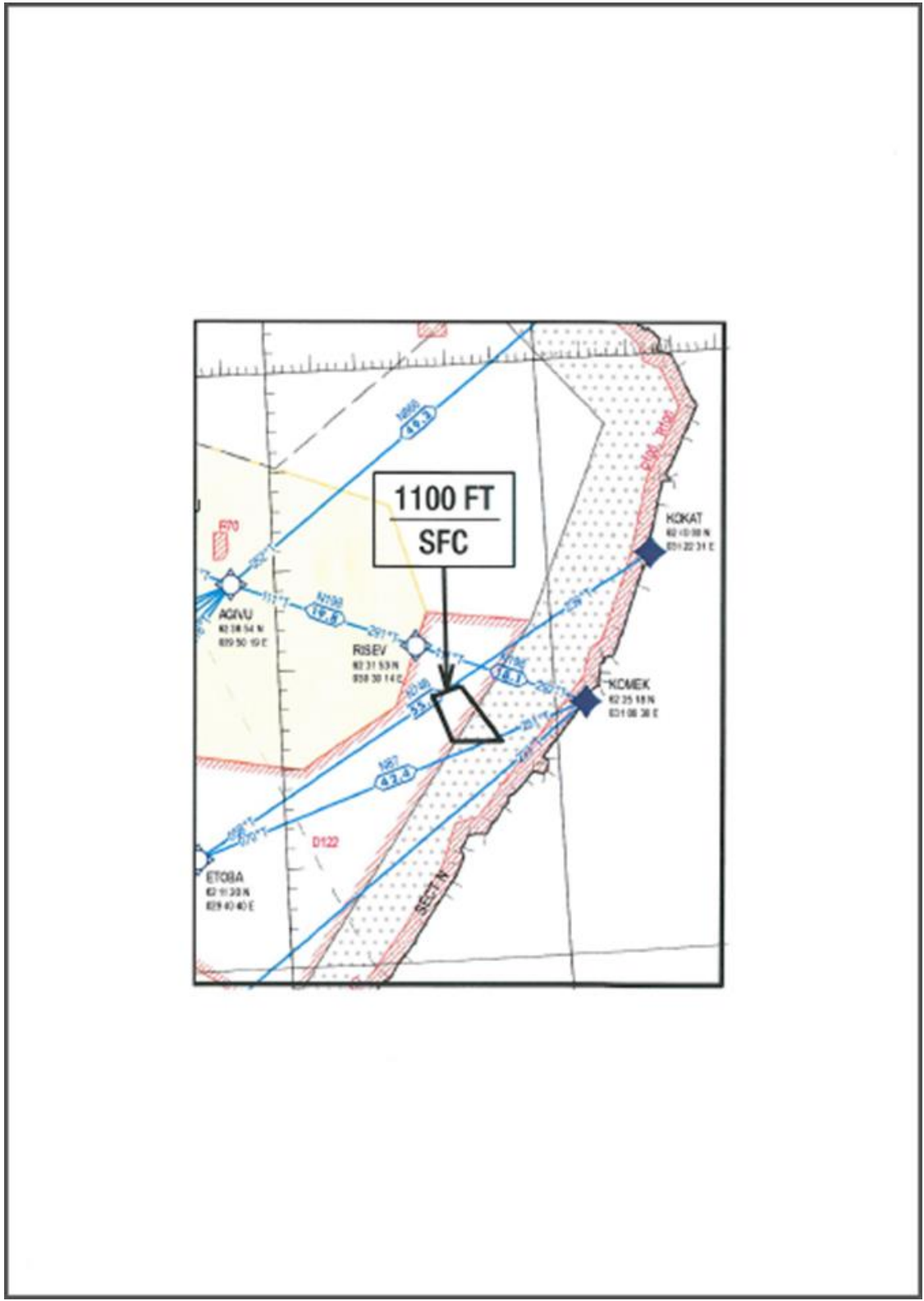
Maksu

320€
Next Eagle Oy
Tero Heinonen
Eteläranta 12, 3 kerros
00130 Helsinki

AMCLOYI

AIP SUPPLEMENT ESITYS – TEMPO R - ALUE

OTSIKKO:	FINLAND FIR, TILAPÄINEN RAJOITUSALUE EF R115 TUUPOVAARA
AIKA:	13. – 14.11.2014
TOIMINTA-AJAT:	13. – 14.11.2014 DLY 0600 – 1400 UTC
ALUE:	R115 TUUPOVAARA
SIVURAJAT / COORD:	622743N 0303942E - 622154N 0304805E - 622209N 0303718E - 622644N 0303340E - 622743N 0303942E
YLÄRAJA / ALARAJA:	1100 FT MSL / SFC
ATS-PALVELUA ANTAVAT YKSIKÖT:	ACC TAMPERE 135.525 MHZ
Huom. Antavat ATS-palvelua julkeistujen toiminta-aikojensa mukaisesti.	
TOIMINTA:	Miehittämättömien ilma-alusten koelentotoimintaa sähköverkkojen tarkastuksessa.
LIITTEET:	Karttakuva
LAATUJA/PVM:	Rikka Forsstén, EFIN AMC 4.9.2014 dnro 52-10-2014





Next Eagle Oy

Lentolupa- hakemus

**matalalla lentävien miehittämättömien
lentolaitteiden (RPAS) koelentoihin
sähköverkkojen tarkastuksessa ja
kaupalliseen operointiin**

05.08.2014



1. Next Eagle Oy

Next Eagle Oy on 2014 perustettu suomalainen yhtiö, jonka osoite on Eteläranta 12, 3. kerros, Helsinki 00130. Yhtiö on työntekijöidensä omistama. Next Eagle Oy:n tarkoituksena on tarjota miehittämättömiin lentolaitteisiin (jäljempänä "RPAS") perustuvia infrastruktuurin tarkastuspalveluita. Asiakkaitamme ovat mm. sähkönjakelu- ja siirtoyhtiöt ja Energiateollisuus Ry.

2. Yhteenveto

Haemme lentolupaa sähköverkkojen tarkastuslentoihin siten, että tällä hakemuksella lentolupaa haetaan rajattuihin koelentoihin (kuvattu yksityiskohtaisesti jäljempänä) ja myöhemmin erillisellä hakemuksella kaupalliseen tuotannolliseen toimintaan.

Next Eagle Oy:n toiminnan lähtökohta on turvallisuus ja tavoitteemme on luoda käytännöt, joilla sähköverkkojen ja muun yhteiskunnan kannalta kriittisen infrastruktuurin tarkastustoiminta voidaan tehdä turvallisesti. Koelentovaiheen jälkeen ja siitä saatavan kokemuksen perusteella aiomme hakea lentolupaa kaupalliselle toiminnalle RPAS:n käytössä sähköyhtiöiden tarkastustarpeisiin.

Yhtiön toiminta on suunniteltu turvallisuuden osalta perustuen parhaisiin Euroopassa jo käytössä oleviin RPAS-käyttöohjeisiin. Liitteenä on lentotoimintakäsikirjamme liitteinen (Operations Manual, [liitteet 1 - 6](#)).

Tavoitteemme on luoda sellainen toimintatapa, jonka avulla matalalla tehtävät asutusalueiden ulkopuoliset tarkastustehtävät voidaan suorittaa turvallisesti ja kaupallisesti tehokkaasti RPAS:ien avulla.

Toivomme yhteistyötä Trafín kanssa yhteisten pelisääntöjen ja menettelyjen löytämiseksi ja olemme valmiit panostamaan toimintamme kehittämiseen.

Uskomme, että hyvässä yhteistyössä laadittu ja turvallisuudesta lähtevä toimintamalli voisi toimia esimerkkinä myös muille RPAS-operaattoreille. Toivomme, että käytännön koelentojen kautta vaiheittain saatu kokemus voi auttaa myös RPAS-regulaation ja/tai lainsäädännön kehittämisessä Suomessa.

RPAS on uusi merkittävä markkina ja tarjoaa suomalaisille yrityksille erittäin merkittävän kansainvälisen liiketoimintamahdollisuuden, joka voi tuottaa vientiä, työpaikkoja ja verotuloja.

Hakemuksen mukaiset koelennot ovat myös kansainvälisen media kiinnostuksen kohteena, esim. BBC on ilmoittanut koelentojen toteutuessa tekevänsä raportin BBC:n teknologiaa koskevaan TV-ohjelmaan. Odotamme myös muuta merkittävää mediakiinnostusta. Tämä tarjoaa mahdollisuuden tuoda RPAS:t esille myönteisessä merkeissä, tavalla josta käy ilmi turvallisuuskeskeisyys ja Suomesta ja Trafista edistyksellisenä tämän uuden markkinan avaamisessa. Sähkönjakelun turvallisuuden kehittäminen on lisäksi poliittisesti ja suurelle yleisöllä laajasti käsiteltävä ja hyväksyntää nauttiva sovellus.



2. Koelennot

Haemme lentolupaa kolmivaiheisesti:

1. VLOS-koelennot <120m AGL laitteiston lentokelpoisuuden varmistamiseksi RPAS-järjestelmälle
 - Käsitksemme mukaan operointiparametrit 1. vaiheen osalta eivät edellytä erillistä lupaa ei-kaupallisena tutkimustoimintana (VTOL, <120m AGL)
2. BVLOS/BRLOS-koelennot ajallisesti ja paikallisesti rajatulla koealueella (määriteltynä tarkemmin alempana) syksyllä 2014
3. BVLOS/BRLOS-tuotantolennot, tavoitteellisesti kesästä 2015 alkaen
 - 3. vaiheen osalta tulemme esittämään erillisen lupahakemuksen myöhemmin 2.-vaiheesta saatujen kokemusten perusteella

Tämä lupahakemus koskee siis konkreettisesti vaiheen 2. lentoja. Lentojen tarkoitus on sähköverkon raivaustarpeen analysointi ja sähkönjakelun komponenttien (kuten pylväiden, muuntajien ja johtimien) kuntotarkastus. Vaiheen 2. koelennot tehdään yhteistyössä Elenia Oy:n, PKS Sähkönsiirto Oy:n ja Energiateollisuus Ry:n kanssa. Koelentoihin osallistuu toimittajina Next Eagle Oy (operointivastuu), Sharper Shape Oy (projektin kokonaisvastuu). Projektin ohjausryhmään osallistuu lisäksi jäseniä Rauman Energia Oy:stä ja Reneco Oy:stä.

Vaiheen 2. koelennot on tarkoitus suorittaa lentotoimintakäsikirjan mukaisesti ([liitteet 1-6](#)) seuraavalla profiililla:

- VTOL (helikopteri, MTOW <15kg)
- suurin lentokorkeus AGL 100m
- BVLOS/BRLOS, etäisyys pilotista enintään 15km
- rajattu alue vähäisesti tai ei lainkaan asutulla alueella
- ajallisesti rajattuna aikana
- VTOL RPAS varustetaan sensorijärjestelmällä, joka kykenee laserkeilaukseen ja valokuvaukseen
- VTOL RPAS-järjestelmä valittu operatiivisen profiilin vaatimusten mukaisesti ja varustettu turvallisen operoinnin kannalta tarvittavilla varusteilla ja viestiyhteyksillä
([liite 1, Operations Manual, part C, Equipment Description](#))

Vaiheessa 1. (VLOS) todennetaan RPAS-laitteiston lentokelpoisuus ja suoriutuus tehtävään vaiheittain ennen siirtymistä vaiheeseen 2. (BVLOS/BRLOS).

Sähköverkko-yhtiöiden asettama vaatimus on, että lennot pitää voida suorittaa myös BVLOS/BRLOS, koska korkea- ja keskijännitesähköverkkoa Suomessa on satojatuhanisia kilometrejä ja esimerkiksi vikaselvitystilanteessa ei ole realistista kattaa riittävää aluetta VLOS-operaatioilla. Lennoilla kerätään kuva- ja laserkeilausaineistoa sähköverkoista ja sähköverkojen käytävistä, joita käytetään vika- ja riskitekijöiden ennakointiin ja sähkönjakelun luotettavuuden ja turvallisuuden parantamiseen. Toiminnan tavoitteena on vähentää sääolosuhteiden ja komponenttivikojen aiheuttamia sähkönjakelun häiriöitä Suomessa.



2. Koelentoalue

Vaiheen 1. (VLOS) koelentoalueet on kuvattu tarkemmin [liitteessä 2](#).

Vaiheen 2. koelentoalue on Joensuun kaupungin alueella Tuupovaaran alueella. Alue on valittu vähäisen väestötiheyden vuoksi ja siten, että se sisältää koelentojen kannalta olennaisia sähköverkon osia.



Kuva 1- Yleiskarttakuva vaiheen 2. koelentoalueesta

Koelueen reunapisteiden koordinaatit (ETRS-TM35-FIN järjestelmässä) ovat:

0: 683723, 6928917
1: 688812, 6930996
2: 696644, 6920640
3: 687327, 6920580

Operointi suoritetaan maantien viereiseltä lepoalueelta, jonka tiedot ovat:

Öllöläntie 94, Joensuu
ETRS-TM35-FIN 691309, 6926683

2. Koelentojen aikataulu

Toivomme, että vaiheen 2. koelennot voitaisiin suorittaa jo 17.9. – 30.9.2014 välisenä aikana ja toivomme palautetta aikataulun toteutuskelpoisuuteen Trafín kannalta.



3. Turvallisuus

Lentoturvallisuus ja operoinnin turvallisuus on toiminnan lähtökohta. Tätä tarkoitusta varten yhtiö on laatinut nimenomaan verkkojen tarkastuksen operatiivisen toiminnan vaatimuksia vastaavan lentotoimintakäsikirjan (Operations Manual, "OM") liitteineen (liitteet 1-6). Kaikki toiminta suoritetaan OM:n mukaisesti. Yksityiskohtaiset kuvaukset teknisistä, organisatorisista ja toiminnallisista turvallisuustekijöistä ja -järjestelyistä löytyy OM:stä ja sen liitteistä.

RPAS-kokonaisjärjestelmän lentokelpoisuus varmistetaan liitteen 2 mukaisin menettelyin.

4. Toimialan ja viranomaisten yhteistyö turvallisen RPAS-eron operoinnin mahdollisuuksien kehittämiseksi

Toivomme yhteistyötä nyt laatimiemme menetelmien kehittämiseksi edelleen niin, että samaan aikaan voidaan lentoturvallisuutta vaarantamatta saada aikaan uusia toimintatapoja ja RPAS-laitteiden hyödyntämismahdollisuuksia.

Olemme myös aktiivisesti mukana perustamassa RPAS-erona operoivien toimialajärjestöä, jonka tarkoitus on toimialan kaupallisten edellytysten tukeminen ja RPAS-erona operoivien ohjaaminen turvallisuutta lisääviin toimintatapoihin esimerkiksi koulutuksen, tiedonvaihdon ja mahdollisten yhteisten tietojärjestelmien avulla. Toivomme, että toimialajärjestön perustaminen pystyttäisiin tekemään syksyn 2014 aikana. Vastaavia RPAS-toimialajärjestöjä löytyy jo useimmista Euroopan maista ja näemme välttämättömänä sellaisen syntyminen/synnyttämisen myös Suomeen.

5. Yhteystiedot

Yrityksen yhteystiedot:

www.nexteagle.com
Next Eagle Oy (Y-tunnus: 2620112-6)
Eteläranta 12, 3. kerros
00130 Helsinki

Tekniset ja operatiiviset kysymykset:

Atte Korhonen
toimitusjohtaja
+358 45 634 6512
atte.korhonen@nexteagle.com

Hallinnolliset ja yleiset kysymykset:

Tero Heinonen
hallituksen puheenjohtaja
+358 40 502 3134
tero.heinonen@nexteagle.com



Helsingissä 5.8.2014

Next Eagle Oy
Tero Heinonen
hallituksen puheenjohtaja

6. Liitteet

Next Eagle - liite 1 - Operations Manual v1.0 rev 8 SUBMITTED.pdf

Next Eagle - liite 2 - UAS Testing plan v1.0 SUBMITTED.pdf

Next Eagle - liite 3 - Test Log v1.0 SUBMITTED.pdf

Next Eagle - liite 4 - Documentation plan v1.0 SUBMITTED.pdf

Next Eagle - liite 5 - Mission plan template v1.0 SUBMITTED.pdf


Next Eagle - liite 6 - Mission Log v1.0 SUBMITTED.pdf

Next Eagle - liite 6 - Mission Log v1.0 SUBMITTED.pdf

Pyynnöstä lähetämme myös erikseen RPAS-järjestelmään liittyvää materiaalia (ei liitettynä mukaan hakemukseen näiden dokumenttien suuren koon vuoksi).

3DRobotics Pixhawk PX4 Manual.pdf
JR GSR260Z Complete Manual.pdf
JR GSR260Z Supplemental Manual.pdf
XQ-S4013D Specifications and Manual.pdf
Zenoah G260PUH Manual.pdf

LIITE 4.

 Trafi Liikenteen turvallisuusvirasto Trafiksäkerhetsverket	PÄÄTÖS
Next Eagle Oy Tero Heinonen Eteläranta 13, 3. krs 00130 HELSINKI tero.heinonen@nexteagle.com	Päiväys/ Datum 4.11.2014 Dnr/Dnr TRAFI/18298/05.00.03.09/2014 Viite/ Referens Hakemus 5.8.2014

Lupa miehittämättömän ilma-aluksen toimintaan Suomessa lentosäännöistä poikkeavin menettelyin

Next Eagle Oy on 5.8.2014 päivätyllä hakemuksellaan pyytänyt lupaa saada lennättää miehittämätöntä ilma-alusta lentosäännöistä poikkeavin menettelyin sähköverkon raivaustarpeen arviointiin ja kunnan tarkastukseen liittyvillä koelennoilla Joensuun kaupungin alueella sijaitsevassa Tuupovaarassa hakemuksesta tarkemmin ilmenevällä alueella 5.-14.11.2014.

Next Eagle Oy:n hakemuksesta Liikenteen turvallisuusvirasto on päätöksellään 23.9.2014 TRAFI/20502/05.00.12.00/2014 perustanut tilapäisen vaara-alueen EF D384 – TUUPOVAARA Tuupovaaraan ajaksi 5.-14.11.2014 ja esittänyt Finavia Oyj:tä ryhtymään asianmukaisiin toimenpiteisiin asiasta tiedottamiseksi.

Next Eagle Oy on lennätyslupahakemuksessaan perustellut ja asianmukaisesti ohjeistanut suoritettaviksi aiotut lennot edellä tarkoitetulla tilapäisellä vaara-alueella. Liikenteen turvallisuusvirasto myöntää Next Eagle Oy:lle luvan suorittaa hakemuksessa tarkoitetut lennot yksiroottorisella polttomoottorikäyttöisellä miehittämättömällä helikopterilla, jonka roottorin halkaisija on 1765 mm ja suurin lentoonlähtömassa enintään 15 kg, seuraavin ehdoin:

1. Toiminnan aloittamisesta ja lopettamisesta on informoitava alueenjohtoa ja noudatettava, mitä se mahdollisesti erikseen edellyttää.
2. Koska kysymyksessä on sellainen siviili-ilmailutoiminnan laji, johon sovellettavia yksityiskohtaisia kansainvälisiä tai kansallisia normeja ei vielä ole, lukuun ottamatta ilmailulain (1194/2009) 6 §:n 3 momenttia, toimintaan myönnettävät luvat käsitellään tapauskohtaisesti ja myönnetään määrääjäksi.
3. Toiminnassa havaituista poikkeamista ja vaaratilanteista on raportoitava Trafille ilmailumääräyksen GEN M1-4 mukaisesti.
4. Lennätystoimintaa koskevien vakuutusvaatimusten osalta viitataan Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 785/2004 lentoliikenteen harjoittajia ja ilma-alusten käyttäjiä koskevista vakuutusvaatimuksista.

Liikenteen turvallisuusvirasto • PL 320, 00101 Helsinki • puh. 029 534 5000, faksi 029 534 5095 • Y-tunnus 1031715-9
Trafiksäkerhetsverket • PB 320, 00101 Helsingfors • tfn 029 534 5000, fax 029 534 5095 • FO-nummer 1031715-9
www.trafi.fi

2/2

5. Toiminnassa noudatetaan Next Eagle Oy:n hakemuksensa liitteinä toimittamia lennätystoimintaohjeita.

Tämä lupa on voimassa 5.-14.11.2014.

Säädösviite: ilmailulaki (1194/2009) 6§:n 3 momentti



Kirsi Lähteenmäki-Riistama

Yksikönpäällikkö



Jorma Kivinen

Erityisasiantuntija

Tiedoksi: Finavia, PL 50, 01531 Vantaa
Etelä-Suomen Lennonvarmistuskeskus, PL 714, 33101 Tampere
Ilmavoimien Esikunta, PL 30, 41161 Tikkakoski
Maavoimien Esikunta, Suunnitteluosasto, Karkialampi, 50150
Mikkeli

Lähte: Valitusosoitus

Maksu: 600 € (viite: ministeriön asetus 464/2014; koodi: 4260)

Likenteen turvallisuusvirasto • PL 320, 00101 Helsinki • puh. 029 534 5000, faksi 029 534 5095 • Y-tunnus 1031715-9

Trafiksäkerhetsverket • PB 320, 00101 Helsingfors • tfn 029 534 5000, fax 029 534 5095 • FO-nummer 1031715-9

www.trafi.fi

LIITE 5.



Päivämäärä
10.10.2014

Uudistusnumero
13435/730/2014

Asiakasnumero
533373

PL 313
00181 Helsinki



127916

Next Eagle Oy
Eteläranta 12
00130 HELSINKI

Ville Hakemus 20.8.2014, täydennykset 2.9.2014 ja 7.10.2014
Asia Päätös radioluvalle MVV1192443 matkaviestimen käytön sallimisesta miehittämättömässä ilma-aluksessa

Hakemus

Next Eagle Oy Helsinki on hakenut radiolupaa matkaviestinverkon päätelaitteiden käyttöön miehittämättömässä UAS-järjestelmässä 20.8.2014 päivättyllä sähköpostilla. Next Eagle Oy järjestää pilotin yhteistyössä PKS Sähkönsiirto Oy:n kanssa heidän kantaverkkoalueellaan. Pilotissa on tarkoitus tutkia kevyen (alle 15kg) ilma-aluksen soveltuvuutta erilaisiin sähköverkkojen tarkastuksiin.

Koelentoalue sijaitsee Joensuun kaupungissa Tuupovaaran alueella (katso liite). Koelentoalueen reunapistelmien koordinaatit ovat (ETRS-TM35-FIN): 683723/6928917, 688812/6930996, 696644/6920640 ja 687327/6920580). Operointi suoritetaan maantien viereisellä leppäalueella: Öllölantie 94, Joensuu (ETRS-TM35-FIN 691309/6926683). Ilma-aluksia on käytössä kaksi kappaletta, josta toinen on vara-alus. Lentokorkeus on enintään 130 metriä maanpinnasta ja lentonopeus enintään 20m/s.

Hakija on ilmoittanut käyttävänsä verkko-operaattorina Elisa Oyj:tä sekä Ukkoverkot Oyj:tä. Matkaviestinverkkoja käytetään tuottamaan ohjaukseen ja telemetriaan redundanssia, päätelaitteet tukevat seuraavia verkko-tekniikoita: GSM- ja UMTS-tekniikat sekä 450 MHz taajuuksialueella CDMA- ja LTE-tekniikat. Hakija on toimittanut molempien teleoperaattoreiden suostumukset käytölle hakemuksen liitteinä.

Perustelut

Luvasta vapaiden radiolähettimien yhteistajuuksista ja käytöstä annetun Viestintäviraston määräyksen (15 AF/2013 M) 4 §:n mukaan luvasta vapaata matkaviestintä ei saa käyttää ilmassa olevassa ilma-aluksessa tai muussa ilmailuun käytettävässä laitteessa. Tämän määräyksen vuoksi matkaviestintä ei saa käyttää ilmassa olevassa ilma-aluksessa ilman käytön sallivaa radiolupaa.

Viestintävirasto
Tammerintie 3 A
PL 313
00181 Helsinki
Puhelin 0295 390 240
radiokv@viestintä.fi
www.viestintä.fi

Kommunikationsverket
Ösbergsgatan 3 A
PB 313, FI-00181
Helsingfors Finland
Telefon +358 295 390 240
radiokv@viestintä.fi
www.kommunikationsverket.fi

Finnish Communications
Regulatory Authority
Tammerintie 3 A
P.O. Box 313, FI-00181
Helsinki Finland
Telephone +358 295 390 240
radiokv@fcom.fi
www.fcom.fi

2 (3)

Radiotaajuuksista ja telelaitteista annetun lain (1015/2001) 6 b §:n 6 momentin mukaan Viestintävirasto voi perustella syytä sällia valtioneuvoston asetuksessa (1169/2009) taajuussuunnitelmassa säädetyille radiotaajuusalueelle muuta kuin sen käyttötarkoituksen mukaista radioviestintää. Tämä radioviestintä ei saa rajoittaa taajuusalueen käyttöä sen ensisijaisiin käyttötarkoituksiin eikä aiheuta häiriötä ensisijaisen käyttötarkoitusten mukaiselle radioviestintälle.

Hakemus täyttää muut kuin taajuusalueen käyttötarkoitusta koskevat radiotaajuuksista ja telelaitteista annetun LD §:ssa säädetyt edellytykset radioluvan myöntämiseksi.

Päätös

Näillä perusteilla Viestintävirasto myöntää Next Eagle Oy:lle radioluvan tutkimus- ja kehitystoimintaan, joka oikeuttaa käyttämään matkaviestintä miehittämättömissä ilma-aluksissa kun tutkitaan niiden soveltuvuutta erilaisiin sähköverkkojen tarkastuksiin. Kyseessä oleva matkaviestimen ilma-aluskäyttö ei rajoita eikä estä taajuusalueen käyttötarkoituksen mukaisaa radioviestintää.

Tämä päätös tulee voimaan **5.11.2014**. Päätöksen viimeinen voimassaolopäivä on **14.11.2014**. Päätöstä on noudatettava muutoksenhausta huolimalla, jollei valitusviranomaisen toisin määrää.

Lupaehdot

Matkaviestintä saa käyttää ilma-aluksessa lentokorkeuden ollessa enintään 130 m maanpinnan yläpuolella.

Helikopterikeskus Oy Helsinki saa käyttää matkaviestintä GSM-, UMTS-, 450 MHz CDMA ja 450 MHz L E -teknologioilla matkaviestinverkoissa.

Mikäli matkaviestimen käyttö aiheuttaa muulle radioliikenteelle haitallisia häiriöitä, on käyttö keskeytettävä välittömästi.

Tiedoksi

Matkaviestinverkot on tarkoitettu ja optimoitu maanpäällä käytettävään käyttöön, ja tästä syystä ei ilmassa tapahtuva matkaviestimen käyttö ole välittömällä ainoa mahdollista ja/tai siinä voi ilmetä huomattavia vaikeuksia yhteyden laadun ja jatkuvuuden suhteen. Matkaviestinoperaattorit elvät vastaa näiden ongelmien mahdollisesti aiheuttamista seurauksista.

Lainkohdat

Laki radiotaajuuksista ja telelaitteista (1015/2001, muutos 332/2009) 6 b § 6 kohta, LD § ja 40 §

Muutoksenhaku

Tähän päätökseen voi hakea muutosta Helsingin hallinto-oikeudelta siten kuin hallintolainkäyttölaissa (586/1996) säädetään. Lain 6 §:n mukaan päätöksestä saa valittaa se, johon päätös on kohdistettu tai jonka oikeuteen, velvollisuuteen tai etuun päätös välittömästi vaikuttaa. Valitusosasto on päätöksen liitteenä.

Lisätietoja

3 (3)

Päällikkö, mobiiliverkot


Jan Engelberg

LIITTEET

TIEDOKSI Elisa Oyj
Ukkoverkot Oy

LIITE6.

Helikopteri-alustan JR GSR260Z teknisiä tietoja ja ominaisuuksiaValmistaja, teholähde, mitat ja painot:

- Valmistaja: Japan Remote Control Co., Ltd
- Bensiinimoottori: Komatsu Zenoah G260 PUH
- Pituus: 1 623 mm
- Leveys: 380 mm
- Korkeus: 704 mm
- Pääroottorin JRC 800 halkaisija: 1765 mm
- Pystyroottorin halkaisija: 288 mm
- Paino ilman kuormaa ja polttoainetta: n. 7 kg
- Hyötykuorma: 5 - 6 kg (käytännöllinen)
- Suurin lentoonlähtömassa (MTOW): n. 17 kg (tehopakoputkella)
- Suurin lentokorkeus: riippuu hyötykuormasta ja riittävä kaikkiin verkoston tarkastustehtävin

Testilennoilla käytettyjä/mitattuja suoritusarvoja (tehopakoputkella):

- Maksimi lentonopeus käsinohjauslennossa: 15 m/s
- Maksimi lentonopeus täysautomaattilennossa: 6 m/s
- Nousunopeus: 3 m/s
- Laskeutumisnopeus: 2 m/s
- Suurin hetkellinen tuuli, jossa lennetty täysautomaatilla: 8 m/s
- Suurin jatkuva tuuli, jossa lennetty täysautomaatilla: 4 m/s
- Korkein lentolämpötila: +10 °C (toiminee ainakin +25 °C asti)
- Alhaisin lentolämpötila: -2 °C (toiminee ainakin -5 °C asti)
- Suurin ilman suhteellinen kosteus: 95%
- Polttoaineen määrä: 1600 ml
- Lentoaika (paikallaan): 32 min
- Lentoaika (vaakalento 6 m/s): 50 min
- Käsiohjaimen kantomatka: 500 m (VLOS-raja), (max. 1 km avoimessa maastossa)
- Telemetrian kantomatka: Suomen rajojen sisällä 3G/4G-verkkojen peittoalue

LIITE 7.

TESTILENNON KULKU JA OHJAAJIEN HAVAINTOJA SEKÄ HUOMIOITA TESTILENNON AIKANA

Dokumentissa on kuvattu lentämisestä vastanneiden ohjaajien Atte Korhosen ja Lasse Korpelan kokemukset ja havainnot pilotoinnin testilennoilta Tuupovaarassa 13.11.2014:

Lentoonlähtö- sekä laskeutumisaikaa oli kartoitettu aikaisempien käyntien aikana, tarkka laskeutumis- ja nousupaikka tarkennettiin aamulla pihan keskellä sijaitsevalle aukiolle, jonka reunalle pystytettiin lentojen maa-aseman. Ilma-aluksen nousupaikan ja maa-aseman välillä oli etäisyyttä noin 30 metriä. Paikka oli hyvin avoin, puut sijaitsivat aukean reunoilla, ainoa huomioitava kohde oli puhelinlinja muutaman kymmenen metrin päässä ilma-aluksen nousupaikasta.

Tarvittava laitteisto siirrettiin autosta ja pystytettiin käyttövalmiiksi. Maa-aseman varavirta tuotettiin aggregaatin avulla, joka asetettiin käymään auton vastakkaiselle puolelle jatkojohdon päähän. Lennon valmistelut aloitettiin käynnistämällä ilma-koneen sähköjärjestelmät sekä maa-asema. Aluksen kamera tarkennettiin n. 40 metriin manuaalitarkennuksella ja asetettiin ottamaan kuvan aina koneen liikkuessa 2 metrin verran.

Yhteyskokeilut sekä testilennon valmistelut tehtiin lentokäsikirjassa (Operations Manual) määritetyn tarkistuslistan mukaisesti (mm. radioyhteyden kantaman tarkistus, telemetria-yhteyksien toimivuus, akkujen jännite, ohjauspintojen toimivuus, kiinnitykset jne.). Tehtiin tarkistuslistan mukainen tarkistus, arvioitiin ilmankosteuden, ilman lämpötilan sekä tuuliolosuhteiden olevan sopivia testilentoa varten. Ohjaaja 2 antoi OK-kuitin Ohjaaja 1:lle, jonka jälkeen polttomootori käynnistettiin. Samoin Ohjaaja 2 OK-kuitasi ilmaannousuvalmiuden.

Ennen varsinaista pilottilentoa suoritettiin kaksi VLOS-koelentoa. Ensimmäisellä koelennolla varmistettiin reittipisteiden lähtöpaikka ja korkeus ja havaittiin, että reittipisteet oli asetettu liian korkealle, mikä korjattiin. Lisäksi tarkistettiin koneen nousu-, lasku- ja vaakalento-ominaisuudet, ohjauspintojen ja polttomootorin toimivuus, testattiin tarvittavat autopilotin moodit ja kamera tarkennus. Havaittiin, että kameran ottamat kuvat olivat epätarkkoja, joten tarkennusta parannettiin toiselle testilennoille.

Toisella koelennolla testattiin autopilotin toimivuus toiseen kertaan. Ohjaaja 2 seurasi koneen etenemistä ensimmäiselle reittipisteelle. Pisteiden seuraaminen onnistui vaatimusten mukaisesti. Toisen koelennon kuvat onnistuivat hyvin.

Koelentojen jälkeen aloitettiin valmistautuminen B-VLOS-lennolle ilmoittamalla lentojen aloittamisesta puhelimitse sähköverkko-yhtiön käyttökeskukseen sekä Suomen aluelennonjohtoon.

Aluelennonjohdon tavoittaminen aiheutti haasteita, koska käytössä ei ollut toimivaa suoraa puhelinnumeroa. Lukuisien puheluiden ja yli tunnin yrittämisen jälkeen puhelu saatiin yhdistettyä Finavian vaihteen kautta ja ilmoitus B-VLOS-lennon aloittamisesta annettiin onnistuneesti.

Ennen varsinaista B-VLOS-pilottilentoa aggregaatti ja ilma-alus tankattiin ja siihen vaihdettiin uudet lämpimästä otetut akut, tarkistuslista käytiin läpi uudelleen sekä koneessa käytettävä GPS-paikannin käynnistettiin ja testattiin. Varsinaisella testilennolla ilma-alus nostettiin ilmaan käsinohjauksella Ohjaaja 2:n ilmoittaessa Ohjaaja 1:lle korkeudet sekä kolmannen OK-kuittauksen, jonka jälkeen aloitettiin automaattilento. Ilma-alus aloitti matkansa kohti ensimmäistä reittipistettä, jossa se odotti suunnitelman mukaisesti 30 sekuntia ja jatkoi matkaansa kohti 4,1 kilometrin päässä sijaitsevaa reitin kääntöpistettä. Ohjaaja1 asetti käsiohjaimensa pois päältä, kun kone oli päässyt onnistuneesti toisen reittipisteen ohi.

Lennon aikana ilma-aluksen etenemistä seurattiin telemetriayhteyden kautta. Muutaman kilometrin päässä lähtöpisteestä lentoreitti meni toisen telemetriayhteyden (@450 Ukkomobiles) verkkokattavuuden ulkopuolelle. Lennon seuranta jatkettiin toisen telemetriayhteyden (Elisa -mobiiliverkko) avulla. Lennon aikana ilma-aluksesta välitettiin reaaliaikaista videokuvaa, josta erotti selvästi n. 100 metrin etäisyydeltä mm. taloja ja autoja, kauempaa maastonmuotoja. Sähkölinja oli selkeästi nähtävillä videokuvassa katkeamatta koko lennon ajan.

Arviolta puolessavälissä menomatkaa havaittiin vaaratilanne, ilma-aluksen reitti kulki hyvin lähellä vierimetsän puustoa, joka olivat n. 10 metriä lentoreittiä korkeampaa ja oksat roikkuvat sähkölinjan yläpuolella. Paikka oli tarkastettu etukäteen ja korkea maasto oli huomioitu autopilotin reitin korkeustiedoissa. Lennon jälkeen suoritetussa analyysissä havaittiin, että vierimetsän linjakäytävää korkeampi maastonkohta ja tavallista korkeampi puusto aiheuttivat vaaratilanteen, lentoreitin korkeus oli suhteessa vierimetsän puustoon liian matala. Ilma-aluksen kosketus puustoon vältettiin muutaman metrin marginaalilla. Osaltaan vaaratilanteen syntymisen esti myös ilma-aluksen reitin tarkka ohjelmointi sekä pysähtyminen jyrkissä mutkissa.

Aluksen lähestyessä reitin kääntöpistettä tehtiin päätös koneen hidastamisesta jyrkissä mutkissa paluumatkalla. Tämä huomioon ottaen, ilma-alukselle annettiin käsky kääntyä takaisin muutamaa sataa metriä ennen suunniteltua kääntöpistettä, jotta suunniteltu 30 minuutin lentoaika ei merkittävästi ylittyisi.

Ilma-alus kääntyi lentämään samaa reittiä takaisin ja nosti nopeutta menomatkaa suuremmaksi, jotta eroja tiedonkeruussa ja lennossa voitaisiin havainnoida. Ilma-aluksen nopeutta hidastettiin antamalla sille nopeudenmuutoskäskyjä ennen jyrkkiä käännöksiä ja se eteni suunnitellusti reittiä takaisin, telemetria- ja videoyhteydet toimivat ilman ongelmia.

Ilma-aluksen lähestyessä laskeutumista paikkaa varmistettiin, ettei koneen lentolinjan alapuolella ole ihmisiä. Ilma-alus jäi suunnitelman mukaisesti pitoleijuntaan viimeiselle reittipisteelle, Ohjaaja 1 asetti käsiohjaimen päälle ja ohjasi aluksen puolittaisessa käsiohjausmoodissa laskeutumista paikalle, laskien tasaisesti korkeutta. Loppumetreillä ilma-aluksen ohjaustila vaihdettiin käsiohjaukseen ja aluksen pyrstö käännettiin kohti ohjaajaa. Ilma-alus laskettiin metrin korkeuteen ja polttomoottori sammutettiin suunnitellusti, josta alus laskeutui autorotaatiolla pehmeästi maan pinnalle.

Polttoainetta käytettiin lennon aikana suunniteltu määrä, n. 65% täydestä tankista. Lentoaika oli kokonaisuudessaan 32 minuuttia. Ilma-aluksen ollessa maassa sen sähkölaitteet sammutettiin ja tarkistettiin sensoreiden keräämän datan tallennus. Havaittiin, että kamera ei ollut päällä – sen virta kytkettiin OFF-asentoon sekä tämän jälkeen ON-asentoon, jonka jälkeen kamera käynnistyi. Kamera oli ottanut kuvia onnistuneesti vain alkumatkasta.

Kone siirrettiin pakettiautolle ja datan siirtäminen laserskannerista sekä kamerasta aloitettiin, data siirrettiin tietokoneen kiintolevylle. Koneen datan, ilma-aluksen sekä maa-aseman purkamiseen käytettiin kokonaisuudessaan noin 45 minuuttia.

SHARPER **SHAPE**

The Global Leader in UAV Based Automated Inspection.

UAV-POHJAINEN LENTOTARKASTUS JA KUNNOSSAPITOSUUNNITTELU SÄHKÖVERKKOYHTIÖILLE

PALVELUMÄÄRITTELY

Versio 2014-12-21-A

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Tämä dokumentti perustuu syksyllä 2014 toteutetun tutkimushankkeen ”*Lentorobottien pilotointi sähköverkon tarkastuksissa*” aikana saatuihin käytännön kokemuksiin UAV-lentotarkastuksista.

Projektin aikana toteutettiin testilentoja PKS Sähkönsiirto Oyn verkoston alueella Joensuussa syyskuussa ja marraskuussa 2014. Tutkimushankkeen tilaajina toimivat Sähköntutkimuspooli, PKS Sähkönsiirto Oy ja Elenia Oy.

1.2 Dokumentin tarkoitus

Tämä dokumentin tarkoituksena on kuvata palvelumäärittely UAV²¹-pohjaiselle lentotarkastus- ja kunnossapitosuunnittelupalveluille sähköverkkoyhtiöiden tarpeisiin. Sähköverkkoyhtiöt voivat käyttää dokumenttia UAV-tarkastuspalveluiden tarjouspyyntöjä tukevana dokumentaationa.

Palvelumäärittely sisältää seuraavat pääkohdat:

- Palvelun tavoitteet
- Vaatimukset palveluntarjoajalle
- Vaatimukset palvelulle
- Palvelukuvaus
- Lähtötietovaatimukset
- Toimitusprojektin vaatimukset
- Kaupallisen mallin kuvaus.

²¹ UAV

Unmanned Aerial Vehicle – Miehitämätön ilma-alus

2 PALVELUN TAVOITTEET

UAV-pohjaisen lentotarkastus- ja kunnossapitosuunnittelupalvelun keskeisiä tavoitteita ovat:

- Edullinen hinta
- Lentotarkastus on nopea käynnistää
- Tasalaatuisen informaation tuottaminen kunnossapitosuunnittelun lähtötiedoksi
- Lentotarkastus tuottaa tietoa käytettäväksi eri tarkoituksiin, kuten asiakaspalveluun
- Tuottaa tarkastushavainnot nopeasti lentojen jälkeen
- Tarjota palvelu kasvillisuudenhallinnan työsuunnittelulle, työkohteiden priorisoinnille ja seurannalle
- Tarjota palvelu kerättävän kuva-aineiston tehokkaaseen hyödyntämiseen.

3 VAATIMUKSET PALVELUNTARJOAJALLE

UAV-pohjaisen lentotarkastus- ja kunnossapitosuunnittelupalvelun tarjoaminen edellyttää seuraavien vaatimuksien täyttämistä palveluntarjoajalta:

- Palveluntarjoajalla tulee olla viranomaisluvut operoinnille kohdealueella miehittämällä ilma-aluksilla näköetäisyyden ulkopuolella (B-VLOS²²) tapahtuville lennoille
- Palveluntarjoajalla tulee olla viranomaishyväksyntä liiketoiminnanharjoittamiseen miehittämättömillä ilma-aluksilla sekä kaikki toiminnassa tarvittavat viranomaisluvut ja pätevyudet (mikäli niitä edellytetään, mm. lentotyölupa, ilmailuradioiden käyttö lupa ja pätevyys jne.)
- Palveluntarjoajalla tulee olla viranomaishyväksyntä UAV-kalustolle (mikäli käytettävältä kalustolta sitä edellytetään)
- Lentotoiminnasta vastaavalla henkilöllä tulee olla tarvittava koulutus, kokemus ja tarvittava pätevyys (mahdollinen lupakirja) käytettävien miehittämättömien UAV-lentolaitteiden operointiin
- Ilma-aluksen päälliköllä tulee olla tarvittava koulutus ja kokemus käytettävien miehittämättömien UAV-lentolaitteiden operointiin
- Palveluntarjoajalla tulee olla tarvittavat vakuutukset
- Palveluntarjoajalla tulee olla tarvittavat turvallisuusprosessit dokumentoituna (lentotoimintakäsikirja).

²² B-VLOS Beyond Visual Line Of Sight - Lennot suoran näköyhteyden ulkopuolelle

4 VAATIMUKSET PALVELULLE

UAV-pohjaisen lentotarkastus- ja kunnossapitosuunnittelupalvelun vaatimukset on kuvattu seuraavassa:

Vaatus	Kuvaus
Alueellinen kattavuus	Lentotarkastuksen alueellisen kattavuuden tulee vastata lentotarkastukseen tilattua sähköverkon aluetta
Kerättävän tiedon tekniset ominaisuudet	<p>Lentotarkastuksessa kerättävän aineiston tarkkuuden tulee soveltua käyttötarkoitukseen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laserkeilausaineiston tulee soveltua automaattiseen raivausanalyysin • Kuva-aineiston tulee soveltua sähköverkoston komponenttien visuaaliseen tarkastukseen ja vikojen paikantamiseen <p>Aineiston tekniset ominaisuudet tulee vastata alla olevia vaatimuksia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laserkeilausaineiston pistetiheys vähintään 25 pistettä/m² (tavoite 50 pistettä/m²) • Laserkeilausaineiston leveyspeitto keskilinjasta maanpinnan tasolla ja 20 metrin korkeudella maapinnasta määritetään projektikohtaisesti • Kuva-aineiston erottelukyky parempi kuin 5 mm komponentin korkeudella
Aineistojen ja analyysien vasteaika	<p>Vasteaikavaatimukset:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laserkeilausaineiston perusteella tuotettavan georeferoidun pistepilviaineiston tulee olla käytettävissä 7 päivän sisällä lentopäivän jälkeen • Kuva-aineiston tulee olla käytettävissä käyttövalmiina, indeksoituna 14 päivän sisällä lentopäivän jälkeen pilvipalvelussa • Laserkeilausaineistoon perustuvat raivaushavainnot tulee olla käytettävissä 14 päivää lennon jälkeen
Tulosten käyttökelpoisuus ja priorisointi	Palvelussa tuotettavien havaintojen tulee olla luotettavia ja keskenään vertailukelpoisia, mikä mahdollistaa havaintojen aidon priorisoinnin kunnossapitosuunnittelua varten.
Kunnossapitosuunnittelu taloudellinen suunnittelu	Palvelussa tuotettavat aineistot ja analyysit tulevat tukea kunnossapitosuunnittelun taloudellisista priorisointia ja laskentaa

Taulukko 1: Vaatimukset palvelulle

5 PALVELUKUVAUS

Tässä kappaleessa on kuvattu UAV-pohjaisen lentotarkastus- ja kunnossapitosuunnitelupalvelun sisältö. palvelun tuottamisen vaiheet tapahtuvat osittain rinnakkain, aineiston jälkikäsitteily ja analysointi alkavat vaiheittain tarkoituksenmukaisina kokonaisuuksina tiedonkeruun valmistuttua.

5.1 Tiedonkeruu tarkastuslentoilla

Tiedonkeruu koostuu seuraavista vaiheista

Vaihe	Kuvaus
Tilaajan toimittamat tiedot	<p>Tilaaja toimittaa seuraavat tiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • lennettävä verkko ja sen kohteiden maantieteellinen sijainti, sekä käytetty koordinaattijärjestelmä ja korkeusmalli (EPSG-koodit) • tiedonkeruun kattavuusvaatimukset jännitetasoittain • ennalta tiedossa olevat tiedonkeruun mahdolliset rajoitukset, kuten hevostilat
Tiedonkeruun vaatimusten määrittäminen	<p>Ennen lentosuunnittelua tulee määrittää seuraavat lähtötiedot:</p> <ul style="list-style-type: none"> • lennettävä verkko ja sen kohteiden maantieteellinen sijainti • tiedonkeruun kattavuusvaatimukset jännitetasoittain • tiedonkeruun rajoitukset, kuten maatilat, raja-alueet, muut lentokieltoalueet • tarkastuslentojen operointipaikkojen valinta <p>Lopputuloksena: tiedonkeruun lähtötiedot määritetty.</p>
Lentosuunnittelu	<p>Lentosuunnittelussa tuotetaan täsmällinen suunnitelma tiedonkeruulle UAV-lentoja hyödyntäen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • lentoluvan vaatimusten huomioonottaminen lentosuunnittelussa • tiedonkeruun optimaalinen järjestyksen määrittäminen ottaen huomioon tarkastettava sähköverkko ja tieverkko • tiedonkeruun resurssointi ja laitekonfiguraatiot • jokaisen yksittäisen tiedonkeruulennon lentosuunnitelma, määrittäen lähtöpaikka, lentoreitti, lentokorkeus ottaen huomioon maaston korkeusvaihtelut, puustokorkeuden <p>Lopputuloksena: tiedonkeruun suunnitelma ja aikataulus, yksityiskohtaiset lentosuunnitelmat kullekin lennolle</p>

Vaihe	Kuvaus
Lentoluvat	<p>Palvelun laajuuden ja aikataulun mukaisesti palveluntarjoaja hakee ja varmistaa tarvittavat luvat ilmailuviranomaiselta Trafilta tiedonkeruulle.</p> <p>Huom. Lentoluvan hakuprosessi, sen vaatima aika ja dokumentaatio tulevat selventymään vuoden 2015 aikana.</p> <p>Lopputuloksena: tarvittavat viranomaisluvut, kuten esimerkiksi toimittajan operointilupa, mahdolliset ilmatilavaraukset, tai pysyväluonteisten ilmatilavarausten aktivointipäätökset, lentotoimintaan osallistuvan henkilöstön luvat.</p>
Tiedonkeruulennot	<p>Tiedonkeruu UAV-laitteen avulla. Lentojen operoinnista vastaa palvelun toimittaja yhden tai useamman kenttäyksikön avulla.</p> <p>Yksi tiedonkeruulento koostuu seuraavasti vaiheesta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lennon valmistelut • Nousu • Tiedonkeruun autopilotilla lentäen, lennonvalvonta samanaikaisesti • Laskeutuminen • Kerätyn datan alustava tarkistaminen ja tallentaminen kenttäyksikön tiedontallennusyksikköön • UAV-laitteen huolto ja tankkaus. <p>Lopputuloksena: tarkastuslennot ja tiedonkeruu on toteutettu suunnitelman mukaisesti.</p>
Logistiikka	<p>Yhdestä tukikohdasta operoidaan 1 tai useampi tiedonkeruulento. Kenttäyksikön siirtyminen seuraavaan lentotukikohtaan tapahtuu autolla.</p>
Datan siirto jälkiprosessointiin	<p>Tiedonkeruulennoilla kerätty data (LiDAR-laserkeilausaineisto ja kuvamateriaali) siirretään verkkoyhteyden avulla jälkiprosessointia varten tiedonkeruun etenemisen mukaisesti vähintään kerran päivässä.</p>
Tiedonkeruun etenemisen seuranta	<p>Tiedonkeruun etenemistä seurataan päivittäin, jossa otetaan huomioon tiedonkeruun eteneminen kilometreinä ja aineiston alusta kattavuuden valvonta, jotta mahdollisiin poikkeamiin voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti tiedonkeruun aikana.</p>

Taulukko 2: Tiedonkeruun vaiheet

5.2 Aineiston jälkikäsittely ja analysointi

Aineiston jälkikäsittely ja analysointi koostuu seuraavista vaiheista:

Vaihe	Kuvaus
LiDAR-laserkeilausaineiston jälkikäsittely	Tiedonkeruulennolla kerätty laserkeilausaineisto jälkikäsitellään georeferoidun 3D-pistepilven tuottamiseksi.
Raivausanalyysi ja raivaustarvestatistiikka	ACCA-raivausanalyysi tuottaa raivaushavainnot tarkastettavalle sähköverkolle laserkeilausaineiston perusteella. Analyysi tuotetaan kullekin jännitetasolle erikseen soveltaen jännitetason geometriasääntöjä. Lisäksi ACCA-raivausanalyysin tulosten perusteella tuotetaan raivaustarvestatistiikan raivaussuunnittelun priorisointia ja kohdentamista varten. Lisätietoja liitteessä 1 ACCA2 - 1 - Palvelumäärittely 2.0 a.pdf .
Kuvamateriaalin jälkikäsittely	Kuvamateriaali (viistokuvat eteen- ja taaksepäin) jälkikäsitellään, jotta kuvien hyödyntäminen onnistuu tehokkaasti. Jälkikäsittelyssä kuvat indeksoidaan maantieteellisiä ja komponenttitunnuksen perusteella tapahtuvia hakuja varten ja kuvat kohdistetaan verkkokomponentteihin.
Ortokuvamateriaalin tuottaminen (optio)	Ortokuvamateriaali tuotetaan nadir-kameran kuvista, jotka on otettu tiedonkeruulennolla kohtisuoraan maata vasten. Jälkikäsittelyssä ortokuvat oikaistaan maantieteelliseen koordinaatistoon, jotta kuvia voidaan käyttää analyysitulosten visualisoinnissa taustakarttamateriaalina.
Aineiston siirtäminen ja valmistelu pilvipalveluun	Analyysin tulokset ja jälkikäsitelty kuvamateriaali siirretään pilvipalveluun raivausanalyysin tulosten tarkastelua ja komponenttitarkastusta varten.
Tiedonkeruun laadullinen analyysi	Analysoidulle ja jälkikäsitellylle aineistolle tehdään laadullinen tarkastus ja poikkeamat havainnoidaan palautteena tiedonkeruulle. Samalla tuotetaan tarkka kattavuusanalyysi, jossa tarkastetaan aineiston alueellinen kattavuus suhteessa tarkastettavan verkkoon ja tiedonkeruun vaatimuksiin.

Taulukko 3: Aineiston jälkikäsittelyn ja analysoinnin vaiheet

5.3 Raivaussuunnittelu

Raivaussuunnittelu koostuu seuraavista vaiheista:

Vaihe	Kuvaus
Akuuttien havaintojen käsittely	Akuutit raivaushavainnot voidaan käsitellä erillisessä työprosessissa ja tuottaa työmääräimiksi heti havainnon löytymisen jälkeen.
Raivaussuunnittelun priorisointi ja aikatauluttaminen	<p>Raivaussuunnittelun priorisointi tehdään tarvepohjaisesti ottaen huomioon raivaustarpeen määrän, ennakoitun keskeytyshaitan, raivauskustannukset ja raivausten tehokkuusluvun aluekohtaisesti.</p> <p>Priorisointi tehdään kullekin työluokalle erikseen (alustaraivaus, oksinta, linjakäytävän leventäminen, vierimetsänhoito) ja se mahdollistaa raivausten priorisoinnin ja kohdentamisen aidosti vertailukelpoisten havaintojen ja tunnuslukujen perusteella.</p> <p>Lisäksi raivaukset voidaan aikatauluttaa tuleville vuosille kasvumallin avulla, ottaen huomioon optimaalisen ajoituksen raivauksille ja raivausbudjetin suunnittelun.</p>
Raivausalueen katselmointi	<p>Priorisoinnin perusteella valitun raivausalueen alustava raivaussuunnitelma katselmoidaan. Raivaussuunnitelmaa voi muokata, sieltä voi mm. poistaa investointikohteita, tavoitteena on tuottaa raivaussuunnitelma tarkoituksenmukaisena kokonaisuutena.</p> <p>Raivaushavaintoja voidaan tarkastella myös viistokuvien avulla, esimerkiksi varmentaa johtimella havaitun tuntemattoman esineen tyyppi tai määrittään havainnon kiireellisyysasteen.</p>
Raivaussuunnitelma tallentaminen	Raivaussuunnitelma tallennetaan palvelun tietokantaan myöhempää käyttöä varten. Raivaussuunnitelmasta voidaan tuottaa siirtotiedosto, jotta se voidaan siirtää esimerkiksi verkkotietojärjestelmään tai raivaussuunnitelma voidaan tulostaa työmääräimeksi PDF-karttana.

Taulukko 4: Raivaussuunnittelun vaiheet

5.4 Komponenttitarkastus

Komponenttitarkastus koostuu seuraavista vaiheista:

Vaihe	Kuvaus
Tarkastushierarkian määrittely ja luominen	<p>Komponenttitarkastusta varten määritellään tarkastushierarkia, joka luokittelee tarkastushavainnot ja mahdollistaa niiden tuottamisen määrämuotoisena.</p> <p>Tarkastushierarkia määritellään tyypillisesti XML-formaatissa kullekin komponenttityypille erikseen ja se toimii komponenttitarkastussovelluksessa tarkastusten määritelmänä.</p>
Tarkastussuunnitelman luominen	<p>Tarkastussuunnitelma luodaan halutulle alueelle, tyypillisesti sähköverkon huoltoalue. Tarkastussuunnitelma sisältää kaikkien verkkokomponenttien tarkistamisen tarkastusalueen sisällä.</p>
Komponenttitarkastus	<p>Komponenttitarkastus suoritetaan pilvipalveluna tarjottavan tarkastussovelluksen avulla. Kukin komponentti tarkistetaan viistokuvien avulla, jotka on tuotettu näkyviin käyttöliittymään samaan näkymään. Tarkastuksessa löydetty komponentin kuntohavainnot valitaan kuntotarkastushierarkiasta ja merkitään tarvittaessa kuville.</p> <p>Lisäksi tarkastetaan pylväsvälit ”lentämällä” ne läpi tarkastussovelluksessa.</p>
Komponenttitarkastuksen tulosten tallentaminen	<p>Komponenttitarkastuksen havainnot tallennetaan palvelun tietokantaan myöhempää käyttöä varten. Havainnot voidaan katselmoida ja täsmentää esimerkiksi työnjohtajan toimesta. Lopulliset havainnot tuotetaan siirtotiedostoksi, jotta ne voidaan siirtää verkkotietojärjestelmään komponenteille kohdistetuksi kuntotiedoksi tai havainnot voidaan tulostaa työmääräimeksi PDF-karttana.</p>
Akuuttien havaintojen käsittely	<p>Akuutit komponenttihavainnot (esim. katkennut pylväs) voidaan käsitellä erillisessä työprosessissa ja tuottaa työmääräimiksi heti havainnon löytymisen jälkeen.</p>

Taulukko 5: Komponenttitarkastuksen vaiheet

6 LÄHTÖTIETOVAATIMUKSET

Palvelun tuottaminen edellyttää seuraavia lähtötietoja palvelun tilaajalta.

Rajapinta	Kuvaus
Verkkotietokanta	Sähköverkon verkkotietokanta esim. ESRI Shape-file formaatissa. Verkkotietokannan tulee kuvata sähköverkon pylväät, pylväsvälit (alkiot) ja kaikki tarkastettavat komponentit. Lisäksi huoltoaluetieto raivaussuunnittelua ja komponenttitarkastusta varten.
Tiedonkeruun vaatimukset ja rajoitukset	Tiedonkeruun vaatimukset: jännitetasot, niiden geometria, kuvattavan alueen leveys Tiedossa olevat rajoitukset tiedonkeruulle, kuten maatilat tai raja-alueet. Tiedossa olevat potentiaaliset lentotukikohdat UAV-laitteiden operointia varten
Raivausanalyysin havaintosäännöt jännitetasoittain	Raivausanalyysin havaintosääntöjen määrittäminen yhteistyössä sähköverkkoyhtiön ja palvelun toimittajan kesken
Raivaussuunnitelmien siirtotiedosto	Siirtotiedostoformaatti (XML-formaatti) raivaussuunnitelmien siirtämiseksi verkkotietojärjestelmään.
Komponenttitarkastuksen tarkastushierarkia	Tarkastushierarkia määriteltynä kullekin tarkastettavalle komponenttityypille
Komponenttihavaintojen siirtotiedosto	Siirtotiedostoformaatti (XML-formaatti) komponenttihavaintojen siirtämiseksi verkkotietojärjestelmään.
Aiemmin tuotettu laserkeilausaineisto (optio)	Aiemmin tuotettu laserkeilausaineisto mahdollistaa lentosuunnitelmien tarkentamisen maastomallin ja puuston korkeustiedon osalta. Lisäksi aiemmin tuotettua laserkeilausaineistoa voidaan hyödyntää kasvumallin tuottamiseen raivaussuunnittelua varten
Raportointivaatimukset (optio)	Asiakaskohtaisten raportointivaatimusten määrittely
Suoritettujen raivausten dokumentointi (optio)	Raivausanalyysin lähtöaineiston keräämisen jälkeen suoritettavat raivaukset, kohdistettuna erotinvälialueisiin aluekohteina siirretään Sharper Suiteen.
Tarkentavat tiedot raivaustarvestatistiikkaa varten (optio)	Sähköverkkoa kuvaavat tilastolliset ja mitatut tietosisällöt raivaustarvetilaston taloudellista tarkentamista varten.

Taulukko 6: Lähtötietovaatimukset

7 TOIMITUSPROJEKTIN VAATIMUKSET

7.1 Toimitusprojekti

Palvelun toimitetaan sähköverkkoyhtiölle avaimet käteen –palveluna. Toimitusprojektin johtamisesta vastaa Toimittajan projektipäällikkö, jonka vastuulla on yhteydenpito sähköverkkoyhtiöön, projektin koordinointi, aikataulutus ja tulosten toimitukset.

Toimitusprojektin aikataulu päävaiheet ja aikataulu viikkoina on esitetty alla. Aikataulussa on huomioitavaa, että lentolupien hakuprosessin vaatima on vielä avoin, tämä tulee määrittämään vuoden 2015 aikana.

Vaihe	1	2	3	4	5	6	...	N	N	N	N
Tiedonkeruu							...				
Vaatimukset							...				
Lentosuunnittelu							...				
Lentoluvat							...				
Lennot							...				
Projektikonsultointi							...				
Integraatiotyö							...				
Asiakasominaisuudet							...				
Aineiston jälkikäsitteily							...				
Raivausanalyysi							...				
Kuva-aineisto							...				
Raivaussuunnittelu							...				
Komponenttitarkastus							...				

Taulukko 7: Toimitusprojekti

7.2 Asiakaskohtainen räätälöinti

Toimitusprojekti sisältää tyypillisesti seuraavia asiakaskohtaisia ominaisuuksia, jotka vaativat palveluntarjoajan konsultointia ominaisuuksien tuottamiseksi:

- Verkkotietokannan integrointi palveluntarjoajan palveluun, sisältää mahdollisesti aineiston formaatti- ja koordinaattimuunnoksia
- Asiakaskohtaisen komponenttitarkastushierarkian määrittäminen ja vastaavan siirtotiedostorajapinnan määrittely ja toteuttaminen palveluntarjoajan pilvipalveluun
- Raivausanalyysin työsuunnitelmien siirtotiedostorajapinnan määrittely ja toteuttaminen palveluntarjoajan pilvipalveluun
- Asiakaskohtaisten raportointivaatimusten määrittely ja toteuttaminen.

8 KAUPALLINEN MALLI

8.1 Hinnoittelu

Palvelu hinnoitellaan yksikköpohjaisella hinnoittelulla, jossa tulee ottaa huomioon seuraavat kustannustekijät:

Nimike	Kuvaus
Palvelun yksikköhinta	Kilometripohjainen hinta sisältäen koko palvelun tuottamisen avaimet käteen palveluna: <ul style="list-style-type: none">- Tiedonkeruu tarkastuslennoilla- Aineiston jälkikäsitteily ja analysointi- Raivaussuunnittelu, sisältäen raivaustarvestatistiikan ja raivaustyösuunnitelmien tuottamisen käyttövalmiina pilvipalvelussa- Komponenttitarkastussovellus, käyttövalmiina pilvipalvelussa- Projektinhallinta.
Optiot	Optioiden hinnoittelu eriteltynä
Asiakaskohtainen räätälöinti	Asiakaskohtaisen räätälöinnin hinnoittelu eriteltynä
Pilvipalvelun lisenssi	Pilvipalvelun käyttöoikeus palvelun hyväksymisen jälkeen ja lisenssin vuosihinnoittelu

Taulukko 8: Hinnoittelu

8.2 Toimitusehdot

Palvelun tarjouspyynnössä, tarjouksessa ja sopimuksessa tulee ottaa huomioon seuraavia palvelun tuottamiseen liittyviä ehtoja:

- Lento-operoinnin vaatimat luvat
- Lento-operoinnin vakuutus
- Laadunvalvonta ja laatupoikkeamista sopiminen
- Vastuurajoitukset
- Maksuehdot.