

Miehittämättömät kauko-ohjattavat ilma-alukset sähköverkoston vianpaikannuksessa



2017

V1.0

Jouko Tervo

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO JA HANKKEEN TAUSTAA	4
2	SELVITYKSEN TAVOITTEET JA TEKOTAPA.....	6
2.1	Tutkimushankkeelle asetetut tavoitteet	6
2.2	Työn toteutustapa	8
2.3	Projektin ohjausryhmä ja resurssit	9
2.4	Raportin linkit ja kuvat.....	9
2.5	Vianpaikannuksen pilotointi multikopterien avulla	9
3	VERKOSTON VIANPAIKANNUS HÄIRIÖSELVITYKSEEN LIITTYEN	10
3.1	Verkoston häiriöselvitysprosessi	10
3.2	Ilma-alusten käyttö häiriöselvitysprosessin tukena.....	11
3.3	Vianpaikannuksen tarpeet ja vaatimukset.....	12
3.4	Vianpaikannuksen menetelmät miehittämättömiä ilma-aluksia hyödyntäen	12
4	RPA-ILMA-ALUSTEN TEKNIKASTA JA OMINAISUUKSISTA.....	13
4.1	Miehittämättömistä ilma-aluksista ja -järjestelmistä	13
4.1	Multikopterien ohjaus- ja navigointijärjestelmät	15
4.2	Kuvansiirto ilma-aluksesta maa-asemalle	18
4.3	Reittisuunnittelutyökalut	19
4.4	Havaintolaitteet	19
4.5	Multikopterien turvajärjestelmät ja -ominaisuudet.....	21
4.6	Tekniikan kehitysnäkymiä	22
5	MULTIKOPTERIEEN TEKINEN SOVELTUVUUS VERKOSTOVIKOJEN PAIKANNUKSEEN	23
5.1	Toimintamatka ja -aika sekä kuormankantokyky	23
5.2	Lento-ominaisuudet	23
5.3	Vikahavainnointi erilaisia navigointimenetelmiä hyödyntäen	23
5.4	Kenttäkelpoisuus ja luotettavuus.....	27
6	RPA-ILMA-ALUSTEN JA PALVELUJEN KAUPALLINEN SAATAVUUS	28
6.1	RPA-ilma-alusten kaupallinen saatavuus	28
6.2	Reittisuunnittelutyökalut ja kartat	31
6.3	Havaintotietojen siirto ja käsittely – ohjelmat ja palvelut	31
6.4	Koulutuspalvelut	32
6.5	Verkostovikojen paikannuspalvelut	32

6.6	Huolto- ja tukipalvelut	33
6.7	Vakuutuspalvelut	33
7	RPA-ILMA-ALUSTEN SÄÄNTELY JA ILMATILAN KÄYTTÖ	35
7.1	Sääntelyn tarkastelun laajuus ja painotukset	35
7.2	Ilmailulaki ja sen nojalla annetut kansalliset miehittämättömän ilmailun säädökset...	35
7.3	Kansalliset ilmailuviranomaiset ja -toimijat	36
7.4	Kansainvälinen sääntely	36
7.5	Viranomaisvaatimukset RPA-lentotoiminnan harjoittamiselle	36
7.6	Ilmatilan varaaminen ja varauksen aktivointi BVLOS-toimintaa varten	40
7.7	Lentoalueet ja aluevalvontalaki	42
7.8	Miehittämättömän ilmailun sääntelyyn tulossa olevia muutoksia	46
8	KÄYTÄNNÖN VAATIMUKSIA JA OHJEITA LENTOTOIMINNAN HARJOITTAJALLE JA ILMALUKSEN PÄÄLLIKÖLLE	49
8.1	RPA-alusten lennättäminen näköyhteydellä (VLOS-toiminta).....	49
8.2	Lentotoiminnan toimintakäsikirja lentotyötä ja BVLOS-toimintaa varten	49
8.3	Perehtyminen sääntelyyn tulossa oleviin muutoksiin.....	50
9	RPA-ILMA-ALUSTEN KÄYTÖN TALOUSVAIKUTUSTEN ARVIOINTI	51
9.1	Arvioinnissa käytetyt tiedot ja menetelmä	51
9.2	Korjausaikojen lyheneminen ja korjauskustannusten työaikasäästöt.....	51
9.3	Vakiokorvaussäästöt.....	52
9.4	KAH-vaikutukset	53
9.5	RPAS-kopterien säästöpotentiaali miehitettyjen helikopterien korvaajana	53
9.6	Verkostoinvestointien säästöpotentiaali	54
9.7	Vikapartioinnin aikana sattuneet työtapaturmat.....	54
9.8	RPAS-kopterien pääoma- ja ylläpitokustannukset.....	54
10	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA KEHITTÄMISEHDOTUKSIA	57
10.1	RPAS-kopterien hyödyntäminen verkoston häiriöselvitystyössä	57
10.2	RPAS-kopterien hyödyntämispotentiaali nopealla aikataululla	57
10.3	RPAS-kopterien hyödyntämispotentiaali tulevaisuudessa	58
10.4	Kehittämisehdotuksia ja suosituksia alan toimijoille ja viranomaisille	58
11	LYHENTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ.....	60
12	LÄHDELUETTELO	65
	LIITTEET	

Miehittämättömät kauko-ohjattavat ilma-alukset sähköverkoston vianpaikannuksessa

1 JOHDANTO JA HANKKEEN TAUSTAA

Sähkömarkkinalaki asettaa selkeät rajat sähkönjakelukeskeytysten sallituille pituuksille. Keskeytyspituuksiin vaikuttaa verkstorakenteen, sijainnin ja ympäristöolosuhteiden lisäksi myös verkostohäiriöiden selvitysprosessin tehokkuus. Yhtiöissä, joissa suuri osa verkostosta sijaitsee haja-asutusalueella, muutos häiriövarmempaan verkkoon on hidasta. Sähköverkostoa on metsäisillä osuuksilla vielä vuosikymmeniä eikä kaikkia ilmajohtoverkostoja ei ole kannattavaa muuttaa maakaapeleiksi. Toimitusvarmuustavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan verkostoinvestointien ja uuden, vikojen vaikutuksia vähentävän verkostoautomaation lisäksi toimintamenetelmien, esimerkiksi verkostohäiriöiden selvitysprosessin tehostamista innovatiivisesti ja uutta teknologiaa hyödyntäen.

Sähköverkkoyhtiöt käyttävät laajasti miehitettyjä ilma-aluksia, pääasiassa helikoptereita, sähköverkon erilaisissa ilmasta tehtävissä tarkastuksissa sekä jossain määrin myös sähköverkoston rakennus- ja kunnossapitotöissä.

Tavanomaisien miehitettyjen helikoptereiden käyttö on sangen kallista ja normaalin lentotunnin hinta vaihtelee tavallisesti välillä 900 -1 500 euroa/lentotunti helikopterin tyypistä, varustuksesta ja suoritettavasta tehtävästä riippuen. Tietyissä tilanteissa, esimerkiksi laajojen suurihäiriöiden sattuessa, miehitettyjen helikoptereiden saatavuus ei vastaa verkkoyhtiöiden tarpeita.

Miehittämättömät kauko-ohjattavat ilma-alukset, RPA (Remote Piloted Aircraft)¹, ovat kehittyneet vauhdilla viime vuosina ja laitteiden harrastus- ja ammattimainen käyttö on kasvanut voimakkaasti. Keväällä 2017 Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi arvioi maassamme olevan jo tuhansia miehittämättömiä ilma-aluksia. Suuri osa aluksista on varustettu ilmakuvauksia varten soveltuvalla kameralla.

Harrastuskäytössä radio-ohjatuilla lennokeilla ja pienoishelikoptereilla on pitkä käyttöhistoria. Aikaisemmin laitteet muistuttivat rakenteeltaan perinteisiä lentokoneita ja helikoptereita sekä perustuivat pitkälle suurten esimerkkiensä mukaiseen aerodynamiikkaan. Sähkömoottori- ja akkutekniikan kehittymisen myötä uudenlaiset monimoottoriset multikopterit ovat yleistyneet sekä harrastus- että ammattisovellutuksissa kestävän rakenteensa ja erinomaisten ohjausominaisuuksiensa takia. Nämä moniroottoriset helikopterit kykenevät nousemaan ja laskeutumaan pystysuoraan, liikkumaan portaattomasti säädettävällä nopeudella kaikkiin suuntiin ja kiertymään lähes rajoituksetta kaikkien akseliensa ympäri. Kansikuvassa on esimerkki modernista ammattikäyttöön tarkoitettusta VideoDrone-multikopterista.

¹ Käytetään myös nimityksiä UA = Unmanned Aircraft ja UAV = Unmanned Aerial Vehicle

Syksyllä 2016 eräissä maakunnallisissa verkkoyhtiöissä heräsi tarve selvittää modernien, sarjavalmistettujen multikoptereiden soveltuvuus sähköverkon vianpaikannukseen. Työ arvioitiin laajaksi ja aihe otettiin verkkoyhtiöiden etujärjestön Energiateollisuus ry:n tutkimustoimintaa edistävän Sähkötutkimuspoolin tutkimushankkeeksi. Sähkötutkimuspooli tilasi selvitystyön riippumattomalta Konsulttitoimisto Reneco Oy:ltä, jolla on tietotaitoa ja aikaisempaa kokemusta miehittämättömien ilma-alusten käytämisestä sähköverkon ilmakuvauksiin ja havainnointiin.

Reneco on jo vuonna 2012 perehtynyt sähkönjakelun suurhäiriötoimintaan mm. laatimalla Hannun ja Tapaninpäivän myrskyjen jälkeen Energiateollisuus ry:n toimeksiannosta selvityksen ”Toiminta sähkönjakelun suurhäiriössä”, lähde /1/. Työn yhteydessä perehdyttiin laajasti sähköverkkojen vakaviin häiriötilanteisiin sekä verkkoyhtiöiden toiminnan kehittämiseen päätavoitteena sähkönjakelun mahdollisimman nopea palauttaminen normaaliin tilaan häiriön jälkeen. Työssä todettiin muun muassa ilmasta tehtävien havaintojen tärkeys verkostovaurioiden laajuuden arvioimisessa, tilannekuvan muodostamisessa ja vikojen paikannuksessa.

Raportoitu selvitystyö on suoraa jatkoa Renecon ja Sharper Shape Oy:n vuonna 2014 tekemille selvitykselle ja pilotoinnille miehittämättömien RPA-ilma-alusten käytämisestä verkon määräaikaistarkastuksissa, ”Lentorobotit sähköverkon tarkastuksissa”, lähde /2/ ja ”Lentorobottien pilotointi sähköverkon tarkastuksissa”, lähde /3/.

2 SELVITYKSEN TAVOITTEET JA TEKOTAPA

2.1 Tutkimushankkeelle asetetut tavoitteet

Renecon esityksestä hanke jaettiin kahteen osaan:

1. Toiminnan edellytyksiä kartoittavaan Selvitysosaan sekä
2. Käytännön kenttätestaukseen keskittyvään Pilotointiosaan

Selvitysosan tavoitteiksi asetettiin

1. Tunnistaa verkoston vianpaikannuksen keskeiset vaatimukset, toiminnan sisältö (prosessi) ja sen kehittämismahdollisuudet. Tätä vaatimus pohjaa vasten peilaten arvioida RPA-ilma-alusten hyödyntämismahdollisuudet
2. Tehdä markkinakartoitus vikapartiointiin soveltuvien RPA-laitteiden saatavuudesta, hinnoista ja toimintaan liittyvistä tukipalveluista. Viimeksi mainittuja ovat mm. koulutus- ja huoltopalvelut, havaintoaineiston käsittelypalvelut jne.
3. Tunnistaa keveiden RPA-ilma-alusten teknisissä ratkaisuissa tapahtunut kehitys sekä itse ilma-alusten että ohjaus- ja turvajärjestelmien osalta. Ominaisuuksissa keskitytään erityisesti luotettavuuteen, käytön helppouteen (mm. ohjaus ja navigointi), turvallisuuteen sekä havaintolaitteiston ja aineiston hyödynnettävyyteen vikapartiointinissa, lentotoimintamuotoina VLOS ja BVLOS²
4. Verrata RPA-ilma-alusten teknisiä ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia perinteisiin miehitettyihin helikoptereihin sekä muihin vikapartiointinissa käytettäviin apuvälineisiin
5. Arvioida RPA-ilma-alusten käytön kustannuksia ja saatavia kustannussäästöjä muihin havainnointitapoihin verrattuna (mm. jalka- ja moottorikelkkapartiointi sekä perinteisten ilma-alusten käyttö)
6. Tehdä taloustarkastelu lähtöolettamuksena, että RPA-ilma-aluksien käytöllä voitaisiin selvästi tehostaa ja nopeuttaa häiriöselvitystyötä, alentaa tästä verkkoyhtiöille aiheutuvia kustannuksia ja arvioida näin saatavia säästöjä (mm. työaikasäästö, KAH-vaikutus sekä vakiokorvaus- ja investointisäästöt)
7. Tarkastella miehitämättömien ilma-alusten käyttöä ohjaavassa lainsäädännössä tapahtuneet muutokset vuoden 2014 jälkeen ja arvioida lainsäädännön ja ilmailumääräysten mahdollistamat puitteet keveiden (lentoonlähtömassa alle 25 kg) RPA-ilma-alusten käytölle häiriöselvitystyössä. Selvittää lainsäädännön tulevia muutoksia sekä kansallisella että EU tasolla
8. Laatia ehdotus kehittämistoimenpiteistä RPA-ilma-alusten käytön joustavoittamiseksi verkostotarkastuksissa
9. Kartoittaa pilotoinnista kiinnostuneet tahot ja määrittää osallistujien kanssa pilotoinnin sisältö. Arvioida pilotointiosan toteuttaminen edellytykset työn ohjausryhmässä sekä tarvittaessa erikseen myös Sähkö tutkimuspoolissa. Pilotointiin käynnistyessä asettaa sille yksityiskohtaiset tavoitteet.

² VLOS = Visual Line Of Sight, BVLOS = Beyond Visual Line Of Sight

10. Laatia kokonaisarvio (yhteenveto) RPA-laitteiden soveltuvuudesta ja kannattavuudesta häiriöselvitystyön tehostamisessa ja erityisesti verkostovikojen paikantamisessa
11. Laatia selvityksestä kirjallinen raportti

Toimeksiannon saate-evästysten ja työn alkuvaiheessa ohjausryhmässä käytyjen keskustelujen perusteella selvityksen painopistealueeksi valittiin multikopterien tekninen suorituskyky, kenttäkelpoisuus ja ohjattavuus pitkissä, suoran näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvissa vianpaikannuslennoissa. Tärkeäksi koettiin selvittää sarjavalmisteisilla RPA-laitteilla saavutettavissa oleva toimintasäde sekä toimintakyky vaihtelevissa ympäristö- ja sääolosuhteissa, esimerkkinä toimintamahdollisuudet metsäisessä tai vesistöjen rikkomassa vaikeakulkuisessa maastossa sijaitsevan verkon osalta.

Tärkeäksi todettiin myös lupaprosessin vaatimusten ja käytännön toimenpiteiden selvittäminen lentotoimintalajeittain. Näistä kaksi tärkeintä ovat miehittämättömien ilma-alusten lennätys näköyhteydellä (VLOS-toiminta) ja näköyhteyden ulkopuolella (BVLOS-toiminta). Verkoston vianpaikannus vaatii tehokkaasti toimiakseen kykyä lentää yhtäjaksoisesti vähintään yksi keskijänniteverkon erotinväli, tyypillisesti 2-5 km. Tämä edellyttää käytännössä navigoinnin ja ohjaamisen kannalta haasteellisia BVLOS-lentoja.

Pilotointiosalle asetetut tavoitteet

1. Todentaa kenttäkokeilla miehittämättömien RPA-ilma-alusten käytännön soveltuvuus häiriöselvitystyöhön. Erityisesti tavoitteena on testata sarjavalmistesteiden laitteiden toimivuus ja käyttökelpoisuus vaativissa olosuhteissa jakeluverkon vianpaikannustehtävissä
2. Koeponnistaa nykyinen lupamenettely erityisesti näköyhteyden ulkopuolelle tapahtuvissa miehittämättömissä lennoissa
3. Selvittää käytännössä RPA-laitteiden kuljettamiseen, ohjaamiseen, navigointiin ja havainnointiin liittyvää problematiikkaa sekä turvallisuustekijöitä
4. Testata vikatiedon tulkintaa havaintoaineistosta sekä testata havaintoaineiston sekä vikatiedon siirtoa verkkoyhtiön karttapohjaisiin järjestelmiin, kuten esimerkiksi verkkotieto- ja käytöntukijärjestelmät
5. Laatia erillinen pilotointiraportti ja koota siihen pilotoinnista tehdyt tärkeimmät havainnot, hyvät käytännöt ja kehittämissuhteet

Työn lähtöajatuksena oli, että multikoptereita hyödyntämällä voidaan merkittävästi nopeuttaa vianpaikannusta ja siten parantaa sähkönjakelun toimitusvarmuutta.

Ilmakuvausten taustoja, tekniikkaa sekä ilmailun perusasioita ja ilmatilan rakennetta on käsitelty varsin laajasti lähteessä /2/, joten näitä aiheita käsitellään tässä raportissa vain niiltä osin kuin on tarpeellista.

Työn tavoitteeksi ei asetettu laatia aiheesta tieteellistä tutkimusta, vaan pikemminkin selvittää lentorobottien käytännön hyödynnettävyyttä.

Työssä ei myöskään ollut tarkoitus laatia tai esittää verkkoyhtiöiden vianpaikannuslentojen tarkkaa määrittelyä (spesifikaatiota).

2.2 Työn toteutustapa

Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti työ toteutettiin kahdessa osassa:

1. Selvitysosa, jossa selvitettiin RPA-ilma-alusten yleistä soveltuvuutta sähköverkkoston vianpaikannukseen (tämä selvitys)
2. Käytännön kenttätesteihin keskittyvä pilotointiosa

Selvitystyö tehtiin lyhyen suunnitteluvaiheen jälkeen seuraavasti:

1. Tarkennettiin työn tavoitteet ensimmäisessä ohjausryhmän kokouksessa
2. Perehdyttiin tietohakujen ja haastattelujen avulla miehittämättömien RPA-ilma-alusten nykyisiin teknisiin ominaisuuksiin ja suorituskykyyn sekä arvioitiin niiden kehitysnäkymiä
3. Selvitettiin miehittämättömiin ilma-aluksiin liittyvän ilmailulainsäädännön ja määräysten nykytilaa sekä kartoitettiin sääntelyn tulevia kansainvälisiä ja kansallisia kehityssuuntia. Tähän osuuteen liittyen tavattiin useita kertoja liikenteen turvallisuusviranomaisen Trafín asiantuntijoita
4. Kerättiin miehittämättömien ilma-alusten käyttöön liittyvää kustannustietoutta (mm. hankinta- ja käyttökustannukset)
5. Haasteltiin sähköverkon käytön sekä kunnossapidon asiantuntijoita. Keskusteluissa käytiin läpi vianselvitystoimintaa, multikopterien hyödyntämiseen liittyvää problematiikkaa ja arvioitiin kopterien käytöstä saatavia hyötyjä
6. Haastateltiin alan palvelutuottajia, laitevalmistajan edustajaa sekä RPA-laitteiden maahantuoja
7. Kerättiin erillisellä kyselyllä verkkoyhtiöiltä verkoston vikoihin ja viankorjaukseen liittyvää kustannustietoutta
8. Analysoitiin saatu aineisto, tehtiin johtopäätökset ja kirjoitettiin raportti.

Haastatteluja ja asiantuntijatapaamisia järjestettiin yhteensä 11 tahon kanssa seuraavasti:

- Sähköverkkoyhtiöt
 - Caruna Oy
 - Elenia Oy
 - PKS Sähkönsiirto Oy
 - Savon Voima Verkko Oy
- Verkoston kunnossapitopalvelujen tuottajat
 - Eltel Networks Oy
 - Empower Oy
- RPA-ilma-alusten maahantuoja tai valmistaja
 - FutureRetail Oy
 - VideoDrone Finland Oy
- Palveluntuottaja/koulutusorganisaatio
 - Comtiki Oy
 - Insta Airhow Oy

- Liikenteenturvallisuusvirasto Trafi

Selvitys tehtiin maaliskuu-elokuu aikana 2017.

2.3 Projektin ohjausryhmä ja resurssit

Selvitystyön ohjausryhmässä toimivat Mikko Jalonen, Fingrid Oyj; Veli-Pekka Lehtikangas, Oulun Energia Urakointi Oy; Jari Lepistö, Turku Energia Sähköverkot; Matti Pesonen PKS Sähkönsiirto Oy; Pauliina Salovaara, Elenia Oy; Jarmo Ström, Caruna Oy; Sami Viiliäinen, Savon Voima Verkko Oy sekä Jukka Perttala ja Jouko Tervo (puheenjohtaja ja sihteeri) Konsulttitoimisto Reneco Oy.

Pilotoinnin käynnistyttyä ohjausryhmän työskentelyyn kutsuttiin mukaan 22.8 alkaen lisäksi Sami Laitinen, Comtiki Oy ja Ville Leino, PWR Verkonrakennus Oy.

Työn päävastuullisena tekijänä toimi Jouko Tervo. Projektiaineistoa tuottivat ja raporttiluonnosta kommentoivat myös ohjausryhmän jäsenet, josta kiitokset heille.

2.4 Raportin linkit ja kuvat

Raportin www-linkit on päivitetty toimiviksi elokuun 2017 tilanteen mukaisesti.

Raportin kansikuva on VideoDrone Finland Oy:n luovuttama. Muut ovat peräisin laatijan arkistosta tai internetistä.

2.5 Vianpaikannuksen pilotointi multikopterien avulla

Päätös pilotointiosan toteuttamisesta sovittiin tehtäväksi erillisen arvion jälkeen taustakartoituksessa kerätyn tiedon perusteella. Halukkaita urakointiyhtiöitä ja palvelutuottajia pilotointiosan toteuttamiseksi ilmoittautui yhteensä 7 yhtiötä, joten hankkeen ohjausryhmä päätti 22.5.2017 kokouksessaan esittää pilotointiosan toteuttamista. Sähkötkimuspöytä vahvisti 31.5.2017 kokouksessaan päätöksen pilotointiosan toteuttamisesta.

Tutkimushankkeen erillisessä pilotointiosassa multikopterien käyttöä verkoston vianpaikannuksessa pilotoidaan vuoden 2017 jälkimmäisen puoliskon aikana. Pilotointiin osallistuu RPA-lentotoiminnan harjoittajina seuraavat yritykset:

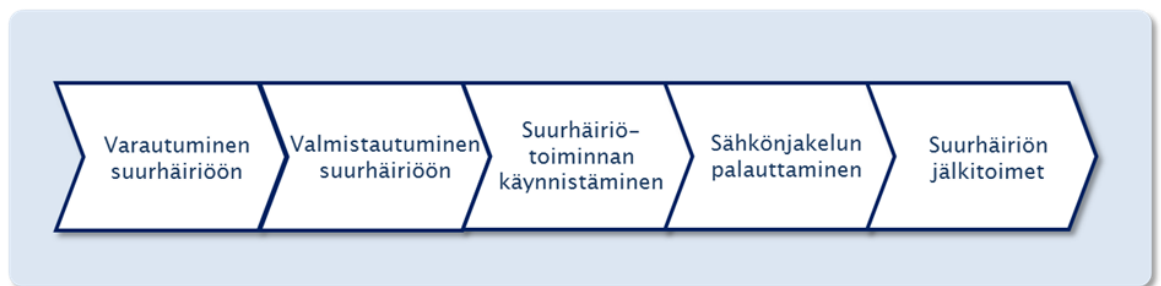
- Comtiki Oy
- Future Retail Oy
- Eltel Networks Oy
- Enerke Oy
- Oulu Energia Urakointi Oy
- Pohjolan Werkonrakennus Oy
- Voimatel Oy

Pilotointisuunnitelman mukaan pilotointia tehdään alustavasti 3-4 verkkoyhtiön alueella.

3 VERKOSTON VIANPAIKANNUS HÄIRIÖSELVITYKSEEN LIITTYEN

3.1 Verkoston häiriöselvitysprosessi

Alla olevassa kuvassa 1. on esitetty sähköverkoston suurhäiriöselvitysprosessin pelkistetty kulku, /1/. Tässä raportissa keskitytään häiriön jälkeisiin toimenpiteisiin, mm. tilannekuvan muodostamiseen ja vianselvitysprosessiin, erityisesti vian paikantamiseen ilma-aluksia käyttäen.



Kuva 1. Suurhäiriöprosessin päävaiheet, /1/

Verkoston häiriötilanteessa tilannekuvan muodostaminen häiriön laajuudesta ja sijainnista verkossa on jatkotoimenpiteiden kannalta erittäin tärkeää. Tilannekuva vaikuttaa muun muassa tarvittavien häiriöselvitys- ja korjausresurssien määrään ja laatuun, tarvittaviin apuvälineisiin (esim. helikopterit, kaivurit), korjausmateriaaliin, suoraan asiakastiedottamiseen, viranomaisyhteyksiin ja julkiseen viestintään.

Tilannekuvan muodostamiseen käytetään aluksi käytönvalvonta- ja käytöntuki-järjestelmistä saatavaa tietoa verkon tilasta (mm. jännitteettömät verkko-osuudet). Tilannekuvatieto täydentyy asiakaspalautteesta sekä urakoitsijoilta, viranomaisilta ja kolmansilta osapuolilta saatavasta tiedosta jo ennekuin partiointitoimenpiteitä ja havainnointilentoja ehditään käynnistämään. Tätä tietoa hyödynnetään tilannekuva- ja vikapartiointilentojen kohteita suunniteltaessa. Yleensä miehitettyjä helikoptereita käytetään verkkoyhtiöissä partiointilentoihin ainoastaan suurhäiriö-tilanteiden yhteydessä

Vianselvitys jatkuu vianrajauksella ja viallisten verkonosien irrottamisella verkosta. Kauko-ohjattavilla erottimia ja katkaisijoita hyväksi käyttäen verkkoyhtiön käyttö-operaattorit ja kytkevät ehjiin verkonosiin takaisin jännitteet. Kentällä toimiva viankorjaushenkilöstö erottaa käsikäyttöisillä erottimilla tiedossa olevia viallisia johto-osuuksia, jolloin ehjiä osuuksia voidaan kytkeä takaisin jännitteeseen verkkoon varareittejä käyttäen.

Seuraavaksi käynnistyy vialliseksi jääneiden verkko-osuuksien vikojen paikantaminen ja korjaus.

Suurhäiriötilanteissa korjaustoimenpiteitä kohdistetaan siten, että ensin vikoja aletaan korjata ylimmältä jännitetasolta alkaen ja jatketaan korjaamalla seuraavaksi verkko-osuuksia, joilla on sähkön saannin kannalta tärkeitä ja kriittisiä kohteita. Sen jälkeen korjaukset jatkuvat kohteissa, joissa saadaan mahdollisimman suurelle määrälle asiakkaita palautettua sähkö mahdollisimman nopeasti.

Viimeisimmäksi jää pahasti vaurioituneet verkko-osuudet sekä toissijaisia kuormia omaavat johto-osuudet (esim. vapaa-ajanasunnot). Viimeiseksi korjataan pj-verkon viat.

Pienemmissä häiriöissä vikapartioilla on yleensä mukana moottorisaha sekä pientä korjausmateriaalia, jolloin paikannettu pieni vika saadaan usein korjattua heti paikan päällä.

Suurempien vikojen korjaukset vaativat laajempia raivaustöitä, johtimien jatkamista ja verkostokomponenttien uusimista, esimerkiksi pylväiden vaihtamista. Nämä viat korjataan myöhemmin.

3.2 Ilma-alusten käyttö häiriöselvitysprosessin tukena

Suurhäiriötilanteessa verkkoyhtiöt käyttävät havainnointilentoja aluksi tilannekuvan nopeaan muodostamiseen heti, kun sää sallii lentotoiminnan. Lennot jatkuvat tämän jälkeen tavanomaisesti alue- ja keskijänniteverkon vikojen tarkemmalla paikantamisella. Tällä tuetaan maasta käsin perinteisin partiomenetelmin tehtävää vianpaikannusta, joka on edelleen hyvin merkittävässä roolissa. Vikoja kyetään kasvavassa määrin paikantamaan ja vaikutuksia eliminoimaan myös verkostoautomaation keinoin.

Erityisen hyödyllisiä helikopterit ovat nopeutensa vuoksi laajoissa luonnon-ilmioiden, kuten myrskyjen tai lumikuormien aiheuttamissa jakeluverkoston häiriötilanteissa. Myrskyn aikana tai välittömästi sen jälkeen vikapartioiden kulku vikapaikoille voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta tavanomaisin kulkuvälinein ennen laajamittaisia teiden raivauksia.

Miehitetyillä helikoptereilla lennettävissä vianpaikannuslennoissa 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 kunnossapito-urakoitsijan palveluksessa.

Todella laajoissa myrskytilanteissa voi suurin osa maamme käyttökelpoisista helikoptereista olla sidottu verkkoyhtiöiden tarkastuslentoihin. Vasteaika-vaatimuksiltaan tilannekuvalennot ja vianpaikannuslennot 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.

Pienemmissä häiriötilanteissa ei yleensä käytetä miehitettyjä ilma-aluksia vaan vianpaikannus tehdään urakointiyhtiöiden asentajien toimesta perinteisin maastopartiointimenetelmin (jalka- ja moottorikelkkapartiointi) käyttäen lisäksi apuna maastoautoja, mönkijöitä, veneitä jne.

3.3 Vianpaikannuksen tarpeet ja vaatimukset

Vikojen paikantaminen, vian rajaaminen ja vian tyyppin sekä laadun toteaminen on välttämätöntä ennen varsinaisten korjaustoimenpiteiden aloittamista. Vikatieto vaikuttaa muun muassa tarvittaviin varaosiin ja kalustoon sekä osin korjaushenkilöstön määrään.

Johto-osuuden vaurioiden sijainti, laajuus ja vikojen määrä ovat tärkeää tietoa verkkoyhtiön häiriöselvityksen johdolle jatkotoimenpiteitä suunniteltaessa. Esimerkiksi korjaustoimenpiteitä priorisoidaan ja kohdistetaan siten, että ensin korjataan vaikutuksiltaan suurimmat viat (esim. suurjänniteviat) ja viat, jotka vaikuttavat tärkeiden, huoltovarmuuskriittisten kohteiden ja asiakkaiden sähkön saantiin.

3.4 Vianpaikannuksen menetelmät miehittämättömiä ilma-aluksia hyödyntäen

3.4.1 Näköhavainnointi miehittämättömistä ilma-aluksista

Kuten jo edellä mainittiin, vianpaikannus miehitystä ilma-aluksista perustuu yleensä ihmisen tekemään silmämääräiseen havainnointiin. Suurhäiriön selvityksen edetessä ja tilannekuvan tarkentuessa ruvetaan paikallistamaan myös yksittäisiä verkkovikoja. Vikainformaation siirtoa verkkoyhtiön paikkatietopohjaisiin tietojärjestelmiin on automatisoitu liittämällä helikopterissa lennonaikana käytettävä vikakirjauspääte datayhteydellä verkkoyhtiön verkkotieto- tai käytöntuki-järjestelmään. Puoliautomaattisen menetelmän etuna on, että vikahavainnot saadaan käytännössä reaaliajassa vianselvitystä tekevien henkilöiden käyttöön.

Näköhavainnointilennot miehittämättömillä ilma-aluksilla voidaan jakaa karkeasti kahteen erilaiseen lentotoimintamuotoon:

1. Ilma-alusta ohjataan suoran näköyhteyden avulla (VLOS-toimintamalli)
2. Lennättäminen tapahtuu suoran näköyhteyden ulkopuolella (BVLOS-toiminta)

Molemmissa toimintatavoissa näköhavainnointi perustuu telemetriayhteyden (yleensä radioyhteys) avulla toteutettuun videolinkkiin. Kuvamateriaalia voidaan samalla myös tallentaa havaintolaitteen muistiin jälkitarkastelua varten.

VLOS-toiminnassa havainnointialueen laajuutta voidaan kasvattaa nostamalla hyvissä olosuhteissa multikopteri lähelle nykyisten määräysten sallimaa enimmäiskorkeutta 150 m ja käyttämällä tehokasta zoomilla varustettua kameraa. Parhaimmillaan voidaan näin paikantaa verkostovikoja hyvissä olosuhteissa jopa yli kilometrin etäisyydeltä.

3.4.2 Video- tai valokuvaamiseen perustuva havainnointi

Vikahavainnointia voidaan tehdä valo- tai videokuvaamalla viallisia verkosto-osuuksia ilma-aluksesta ilman videolinkkiä tallentamalla kuva-aineisto (valo- tai videokuvat) ilma-aluksen kameran muistiin. Vikapartiolennon jälkeen videoaineisto katsotaan kameran/näyttölaitteen näytöltä tai siirretään esim. PC:hen tarkempaa analysointia varten.

4 RPA-ILMA-ALUSTEN TEKNIKASTA JA OMINAISUUKSISTA

4.1 Miehitämättömistä ilma-aluksista ja -järjestelmistä

4.1.1 Kartoituksen rajaukset

Selvityksessä keskitytään tarkastelemaan ainoastaan siviili-ilmailukäyttöön tarkoitettuja miehitämättömiä ja keveitä ilma-aluksia, joiden lentoonlähtömassa on pieni (alle 25 kg) ja voimanlähteenä on sähkö. Lisäksi päähuomio on monitoroimisella pyöriväsiipisillä multikoptereilla. Kiinteäsiipisiä miehitämättömiä RPA-aluksia ja miehitettyjä helikoptereita käsitellään vain lähinnä vertailtaessa niiden ominaisuuksia ja suorituskykyä multikoptereihin.

Havaintolaitteiden osalta fokus on keveissä näkyvän alueen kuvauskäyttöön tarkoitetuissa kameroissa ja niiden apuvälineissä. Laajemmin ilmakehää ja laserkeilausta on käsitelty lähteessä /2/.

4.1.2 Miehitämättömien ilma-alusten luokittelusta ja lento-ominaisuuksista

Miehitämättömät voidaan karkeasti jakaa kiinteäsiipisiin ja pyöriväsiipisiin eli koptereihin. Usealla roottorilla varustetuista koptereista käytetään nimitystä multikopteri tai puhekielessä myös drone. Nykyisten voimassa olevien säädösten perusteella RPA-ilma-alukset jaotellaan maksimi lentoonlähtö-massan (MTOM³) perusteella seuraavasti:

- MTOM ≤ 25 kg (Kansallisen sääntelyn piirissä, VLOS lennättäminen ei vaadi yleensä lupaa)
- 25 < MTOM < 150 kg (Kansallisen sääntelyn piirissä, vaaditaan aina lupa)
- MTOM ≥ 150 kg (Ilma-alus oltava tyyppihyväksytty, aina lupa)

Ensimmäinen luokka (MTOM ≤ 25 kg) jakaantuu vielä kansallisen ilmailumääräyksen OPS M1-32 mukaisesti aliluokkiin mm. yleisön päällä lennättämisen suhteen, /4/.

Käytännössä kevyet multikopterit ovat aina sähkökäyttöisiä ja käyttöenergia varastoidaan akkuun. Akun energian varastointikyky (energiatiheys Wh/kg) on laitteen toimintamatkan kannalta määräävä tekijä. Akut ovat nykyisin yleensä litiumpolymeeri-tekniikkaan (LiPo) perustuvia.

Sarjavalmisteisia keveitä (MTOM < 25 kg) multikoptereita on kaupallisesti saatavissa sadoilta eri valmistajilta, joista suurin lienee kiinalainen DJI. Sarjavalmisteisten multikopterien ominaisuudet ja varustus vaihtelevat suuresti.

Pienimmät laitteet painavat muutamia kymmeniä grammoja, eikä niissä yleensä ole kehittyneitä ohjauslaitteita tai navigointijärjestelmiä. Kehittyneiksi ohjauslaitteiksi voidaan lukea esimerkiksi autopilotti, GPS-vastaanotin ja IMU-yksikkö⁴. IMU-yksikkö toimii periaatteessa kuten hyrräkompassi, jolloin ilma-alus voi tunnistaa asentonsa kolmiulotteisessa avaruudessa.

³ MTOM = Maximum Take Off Mass

⁴ IMU = Inertial Measurement Unit

Verkoston vianpaikannuksessa kyky nousta ja laskeutua suoraan (VTOL⁵-ominaisuus) lisää multikopterien käyttökelpoisuutta ratkaisevasti kiinteäsiipisiin ilma-aluksiin verrattuna, kun operointiin ei tarvita kiitoratoja tai erillisiä nousu- ja laskeutumislaitteita.

Moniroottoriset multikopterit ovat mekaaniselta rakenteeltaan yksinkertaisia perinteisin yksiroottorisiin helikoptereihin verrattuna. Lisäksi multikopterien aerodynaamiset ohjausominaisuudet ovat huomattavasti monipuolisemmat kuin perinteisissä helikopterirakenteissa. Sähkämootorikäyttöisissä monimootorisissa multikoptereissa vierekkäiset roottorit pyörivät eri suuntiin ja roottorien lukumäärä on parillinen. Mootorien nopeuden säätö voidaan tehdä moottorikohtaisesti, jolloin alusta voidaan lähes rajoituksetta ohjata kolmiulotteisesti eli siirtää ja kierää kaikkien koordinaattiakselien suhteen. Käytännössä tämä etu koskee ainoastaan sähkämootoritekniikkaan perustuvia ratkaisuja.

Sähköä voimalähteenä käyttäviä moniroottorisia multikoptereita valmistetaan useilla eri moottorimäärillä. Eniten käytettyjä ovat:

- Quadrokoopterit (4 moottoria symmetrisesti asennettuna)
- Hexakopterit (6 moottoria, 6-kulmaisesti symmetrisesti asennettuna)
- Oktokopterit (8 moottoria joko 4- tai 8-kulmaisesti symmetrisesti asennettuna, 4-kulmaisessa asennuksessa moottorit on sijoitettu pareittain päällekkäin)

Moniroottoriset lentorobotit kykenevät lentämään lähes normaalisti yhden moottorin vikaannuttua, mikäli moottoreita on vähintään kuusi.

Oheisessa kuvassa 2. on esimerkkejä kaupallisesti saatavissa olevista sarjavalmisteisista multikoptereista.



Kuva 2. Sarjavalmisteisistä multikoptereista

4.1.3 Multikopterien suorituskyky

Nykyiset kaupallisesti saatavilla olevat sarjavalmisteisistä multikopterit kykenevät toimimaan enintään muutaman kilon havaintolaittekuorman kanssa.

Toiminta-aika on tyyppisesti luokkaa 15 - 30 minuuttia toimintasäteen ollessa pienellä hyötykuormalla (esim. yksi kamera) noin 5 kilometriä (yksisuuntainen toimintamatka käytännössä enintään 10 kilometriä). Tehokkailla laitteilla ja hyvissä olosuhteissa tämä juuri riittää yhden erotinvälin edestakaista BVLOS-lentoa varten. Keveillä kiinteäsiipisillä miehittämättömillä sähkökäyttöisillä ilma-aluksilla saavutetaan jopa 20-25 km toimintasäde (toimintamatka 40-50 km). Tämä johtuu kiinteäsiipisten laitteiden multikoptereita huomattavasti paremmista aerodynaamisista ominaisuuksista.

⁵ VTOL = Vertical Take Off and Landing

Sähkökäyttöisten multikopterien heikkous on sähkön varastointiin käytetyt akut, joiden paino syö hyötykuormaa ja energian varastointikyky eli energiatiheys (joulea/massayksikkö) on nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna varsin heikko. Käytännössä ainoa laitteissa käytettävä akkuteknologia on kohtalaisen energianvarastointikyvyn takia litiumpolymeeriakut, joiden varaaminen vaatii niitä varten suunnitellut laitteet ja erityistä huolellisuutta.

Litiumpolymeeriakuilla saavutetaan parhaimmillaan yli 200 Wh/kg (720 kJ/kg) energiatiheys. Sähkökäyttöisillä laitteilla akkujen energianvarastointikyky mahdollistaa tyypillisesti enintään 15 - 30 minuutin lentoajan. Akkuteknologioiden kehittämiseen panostetaan muun muassa autoteollisuuden toimesta globaalisti valtavia summia, joten odotettavissa on energiatehokkaampia akkuratkaisuja.

Multikopterien kyky lentää hankalissa ilmasto-olosuhteissa on vielä selvästi miehitettyjä helikoptereita huonompi. Tavanomaiset miehitetyt helikopterit kykenevät operoimaan vielä tuulen nopeuden olla luokkaa 20 m/s, kun multikopterit voivat toimia tyypillisesti tuulen nopeuden ollessa enintään 10 m/s.

Sarjavalmisteiset multikopterit eivät näihin päiviin saakka ole voineet operoida sateisessa säässä ja lämpötilan on pitänyt olla plussalla. Esimerkiksi DJI on hiljattain julkaissut uuden ammattikäyttöön tarkoitetun Matrice 200-mallisarjan, joka kykenee toimimaan pienellä sateella (koteloitiluokka IP43) ja toimintalämpötila-alue on laaja -25 °C ...+45 °C.

Voimakas vesi-, räntä- tai lumisade estävät täysin multikopterien käytön ja haittaa suuresti tai estää kokonaan vikojen näköhavainnoinnin myös tavanomaisista miehitetyistä helikoptereista.

Oma lukunsa ovat viranomaiskäyttöön tarkoitetut pelastushelikopterit (esim. Super Puma), jotka voivat toimia käytännössä lähes kaikissa Suomessa esiintyvissä sääolosuhteissa. Niitä ei kuitenkaan voida useista eri syistä käyttää verkoston vikapartiointiin.

Useat samalla alueella yhtä aikaa lentävät multikopterit voivat aiheuttaa häiriöitä toistensa radioliikenteeseen, joten sitä tulisi välttää, jollei olla varmoja ohjausyhteyksien häiriöttömyydestä.

4.1 Multikopterien ohjaus- ja navigointijärjestelmät

4.1.1 Kauko-ohjauslaitteet ja -ominaisuudet

Suoraa radioyhteyttä käyttävät kauko-ohjaimet

Sarjavalmisteisten laitteiden kauko-ohjaimet (RC-ohjain) käyttävät mikroaaltoihin perustuvia ohjausyhteyksiä.

Käytetyimmät taajuusalueet ovat vapaasti käytettävissä olevat 2.4 – 2.5 GHz:n alue sekä 5.0 – 5.8 GHz:n alue, /5/:

- 2400,000–2483,500 MHz, jolloin lähettimen efektiivinen säteilyteho on joko ≤ 100 mW EIRP⁶, mikäli sovellettava standardi on digitaalisten laajakaistaisten datasiirtolaitteiden (WAS) standardi EN 300 328, tai ≤ 10 mW EIRP, mikäli sovellettava standardi on yleisten SRD-laitteiden standardi EN 300 440,
- 5470,000–5725,000 MHz, jolloin lähettimen efektiivinen säteilyteho on ≤ 1 W EIRP ja lähetteen spektrin tehotiheys on ≤ 50 mW/1 MHz EIRP. Sovellettava standardi on RLAN-laitteiden standardi EN 301 893
- 5725,000–5875,000 MHz, jolloin lähettimen efektiivinen säteilyteho ≤ 25 mW EIRP, sovellettava standardi on yleisten SRD-laitteiden standardi EN 300 440).

Taajuusalue 5030–5091 MHz on määritetty Kansainvälisen televiestintäliitto ITU:n mukaan matkustaja- ja rahtiliikenteen miehittämättömien ilma-alusten ohjaukseen ja hallintaan. Viestintäviraston mukaan taajuusalue ei ole siten käytettävissä vianpaikannuslentojen ilma-alusten ohjaukseen.

Edellä mainittujen taajuusalueiden taajuudet eivät ”taivu” esteen taakse, joten kauko-ohjaimen ja ilma-aluksen välille tarvitaan ”näköyhteys”. Jossain kehittyneissä laitteissa ohjaukseen käytetään molempia taajuusalueita samanaikaisesti, jolloin ohjausyhteydestä saadaan luotettavampi. Sade vaimentaa 2.4 GHz:n signaalia voimakkaasti, koska taajuusalueella sijaitsee ns. veden resonanssiipiikki.

Saavutettava yhteysetäisyys riippuu oleellisesti alueen maastonmuodoista sekä ilma-aluksen korkeudesta maanpinnasta. Multikopterin lentäessä mäen tai vaaran katveeseen suora yhteys usein menetetään ja samoin käy ilma-aluksen hallinnan. Radio-ohjausyhteyden menettänyt ilma-alus voi yrittää palata lähtöpisteeseen (RTH⁷-toiminne), jolloin paluulennon onnistuminen riippuu aluksen reitinvalinnasta.

Yleisesti käytettyjen radio-ohjaustaajuuksien osalta Euroopassa sallitut lähetystehot selvästi pienemmät kuin Yhdysvalloissa. Tämä lyhentää saavutettavaa yhteysetäisyyttä tuntuvasti. EU:n sallimat normaalit lähetystehot mahdollistavat 2.4 ja 5 GHz:n taajuusalueilla noin reilun kilometrin kantaman ohjaajan ja ilma-aluksen välillä. Yhteysetäisyyden rajoituksesta johtuen suora ohjausyhteys soveltuu lähinnä VLOS-lentoihin.

Uusia ohjausyhteyksien taajuuksia etsitään

Kauko-ohjattujen ilma-alusten ohjausyhteyksille ei ole vielä olemassa niille varattuja ns. omia taajuuksia, joilla saisi käyttää edellä kerrottua suurempia säteilytehoja. Viestintäviraston mukaan työ taajuuksien määrittämiseksi RPAS-toimintaan on käynnistetty Euroopassa.

Tavoitteena on löytää Euroopan laajuisesti harmonisoituja taajuuksia, joille laitevalmistajat ja maahantuojat pystyisivät tuomaan laitteita markkinoille.

⁶ EIRP = Ekvivalenttinen säteilyteho isotrooppisen säteilijän suhteen

⁷ RTH = Return To Home

Näin voitaisiin tarjota pitkäaikainen ratkaisu, joka mahdollistaisi taajuuksien käyttäjille pysyvän toiminnan suunnittelemisen.

Toistinasemaa käyttävä suora kauko-ohjaus

Joissain ammattijärjestelmissä voidaan kauko-ohjaukseen käyttää suoran yhteyden välittävää (releoivaa), korkeaan maastonkohtaan tai radiomastoon sijoitettua toistinasemaa. Tällä ratkaisulla voidaan saavuttaa jopa kymmenien kilometrien toimivia yhteysetäisyyksiä. Toistinaseman käyttäminen vaatii aina Viestintäviraston luvan.

Epäsuoraa yhteyttä käyttävä kauko-ohjaus

Ammattikäyttöön rakennetut laitteet voidaan varustaa suoran radio-ohjausyhteyden lisäksi epäsuoraa (telemetry)yhteyttä hyödyntäviksi. Usein tämä epäsuora yhteys rakennetaan julkisten 3G- tai 4G-matkaviestinverkkojen välityksellä ilma-alukseen. Epäsuoraa yhteyttä voidaan käyttää videolinkin toteuttamiseen sekä ohjauskomentojen välittämiseen. Yhteyden toimivuuden varmistamiseksi käytössä voi olla samanaikaisesti useita eri matkaviestinverkkoja hyödyntäen esimerkiksi ns. kuormanjakotekniikkaa. Ohjauslaitteena näissä ratkaisuissa käytetään yleensä PC-tietokonetta sopivalla ohjelmalla varustettuna. PC voi olla kytketty joko jo langatonta tai kiinteää yhteyttä käyttäen matkaviestinverkon datansiirtopalvelun välityksellä ilma-alukseen. Pakettimuotoisessa tiedonsiirrossa käytetään UDP-tyypistä protokollaa TCP/IP-protokollan sijasta haluttaessa mahdollisimman nopeaa vasteaikaa.

Ohjausyhteyden luotettavuutta voidaan parantaa käyttämällä samanaikaisesti rinnakkain usean eri matkaviestinoperaattorin verkkoa ns. kuormanjakoperiaatteella. Matkaviestiverkon peiton ollessa hyvä käytännön toimintaetäisyys riippuu lähes täysin ilma-aluksen suorituskyvystä (toimintasäteestä) eli multikopterin akun kestävyydestä. Miinuspuolena matkaviestinverkkojen käytölle suurhäiriötilanteissa on matkaviestinverkkojen rampautuminen sähkökatkojen seurauksena, jolloin laajojakin alueita voi olla ilman verkkopeittoa.

Matkaviestinverkkojen päätelaitteita, joissa on 2G/3G/4G-radiot, ei pääsääntöisesti saa käyttää ilma-aluksissa. Viestintävirasto voi kuitenkin poikkeustapauksissa myöntää matkaviestinoperaattorien suostumuksella radioluvan, joka mahdollistaa niiden ilmakäytön matalalla (<150 m) lennettäessä. Luvassa myönnettyjä matkaviestinverkon yhteyksiä voidaan käyttää sekä ohjausyhteyksien että kuvansiirtoyhteyksien toteuttamiseen.

4.1.2 Multikopterien navigointilaitteet

Autopilotit

Autopilotti on ilma-aluksen ohjauslaite, jolla alus voi automaattisesti navigoida (automaattiohjaus) haluttuun koordinaattipisteeseen tai koodinaattipisteiden muodostaman reitin mukaisesti.

Autopilotti voi olla varustettu korkeuden mittaavalla barometrilla. Autopilotin toiminta edellyttää aluksen kulloisenkin maantieteellisen sijainnin tuntemista käytetyssä koordinaatistossa.

Paikannus tehdään yleensä satelliittipaikantimella. Autopilottia käytetään myös käsinohjauksessa pitämään ilma-alus paikallaan, kun sitä ei ohjata.

Edullisissa harrastajatason laitteissa ei yleensä ole autopilottia ja ohjaajan on todella lennettävä laitetta käsinohjauksella. Tämä on sangen vaativaa ja edellyttää perusteellista harjoittelua ja laitteen ominaisuuksiin perehtymistä.

Satelliittipaikantimet

Suorituskykyiset multikopterit on yleensä varustettu autopilotilla ja sitä tukevalla satelliittipaikantimella. Käytettävissä on aina vähintään GPS-satelliittijärjestelmä ja joissain vastaanottimissa myös GLONASS. Tulevaisuudessa myös eurooppalaisen GALILEO-järjestelmän käyttö yleistyy. Satelliittipaikannin antaa autopilotille ilma-aluksen pituus- ja leveyspiirien koordinaatit ja korkeuden merenpinnasta. Satelliittipaikannin mahdollistaa myös ilma-aluksen reitin tallennuksen lentolokiin, mikäli sellainen laitteessa on.

Satelliittivastaanotin voi olla integroitu autopilottiin.

IMU

IMU eli Inertial Measurement Unit on välttämätön automaattiohjauksessa ilma-aluksen asennon tuntemiseksi kaikkien koordinaattiakselien suhteen ts. se antaa autopilotille multikopterin asentotiedon. IMU-yksikkö tunnistaa aluksen kiihtyvyyden eri akselien suhteen ja tästä tiedosta voidaan laskea aluksen nopeus sekä sijainti kolmeulotteisessa koordinaatistossa, kun lähtöpiste tunnetaan. IMUa voidaan siten käyttää aluksen sijainnin määrittämiseen satelliittipaikantimen lisäksi. Edistyneet ammattitason laitteet käyttävätkin navigoinnissa sekä satelliittipaikantimelta että IMU-yksiköltä saatavaa paikkatietoa. Tällöin IMUlla voidaan suodattaa satelliittipaikannuksen lyhyen aikavälin epätarkkuus (sijainnin vaihtelu).

IMU ei tarvitse paikannukseen ulkoista signaalia ja toimii siten myös sisätiloissa, joihin satelliittisignaali ei ulotu.

4.2 Kuvansiirto ilma-aluksesta maa-asemalle

Reaaliaikainen video- tai valokuvien siirto on Viestintäviraston mukaan ns. hyötykuorman tiedonsiirtoa ilma-aluksesta maa-asemalle. Erilaisten kameroiden lisäksi myös moninaiset mittalaitteet tukitaan tässä suhteessa hyötykuormaksi. Hyötykuorman viestintään on käytettävissä samat taajuusalueet kuin ohjausyhteyksiinkin:

- 2400,000–2483,500; 5470,000–5725,000 ja 5725,000–5875,000 MHz

Taajuus 1320 MHz on tarkoitettu pelkästään videokuvan siirtoon ilmasta maahan. Sen käyttö edellyttää radiolupaa, jonka voi saada vain määräajaksi.

4.3 Reittisuunnittelutyökalut

Reittisuunnitteluun on saatavilla lukuisia karttapohjaisia navigointiohjelmistoja. Samalla ohjelmalla käy usein myös ilma-aluksen ohjaaminen, mikäli on käytettävissä toimiva telemetriayhteys.

Reittisuunnittelutyökalujen hyödynnettävyyttä vianpaikannuksessa on kuvattu jäljempänä raportin kohdassa 5.3.3 ja kaupallista saatavuutta kohdassa 6.2.

4.4 Havaintolaitteet

4.4.1 Näköhavainnointiin käytettävät näköalueen (RGB) kamerat

Harrastelijatason sarjavalmisteiset laadukkaat multikopterit on yleensä varustettu hyvällä RGB-kameralla⁸, joka voi ottaa videokuvaa ja valokuvia usein jo 4K-tarkkuudella. Keskeytystilanteiden vianpaikannuksessa tarvittava erottelukyvyn on oltava luokkaa 2 – 5 cm, joten 4K-kameroiden resoluutio (4096x2160 tai 3840x2160) riittää useimmissa tapauksissa hyvin verkostovikojen paikantamiseen, kun kuvausolosuhteet ovat hyvät (mm. valaistus). Joissain kameroissa voi kennon fyysinen koko olla pieni suhteessa pikselimäärään, jolloin tarvitaan hyvä valaistus tarkan kuvamateriaalin ottamiseksi kameran liikkuesssa. Hyvin varustetuissa multikoptereissa kameran suuntausta ja myös zoomausta voidaan kauko-ohjata ohjauslaitteesta tai erillisestä kameraohjaimesta. Optisesta zoomista on hyötyä mm. kuvattaessa etäällä olevia kohteita VLOS-toiminnassa.

Suurta erotuskykyä vaadittaessa etäisyys kuvattavaan kohteeseen on oltava lyhyt (alle 30 m). Suurta erotuskykyä vaaditaan esimerkiksi epäiltäessä säievikoja tai etsittäessä eristinvaurioita.

Multikopterien lentonopeus kuvaustehtävissä on yleensä alle 10 m/s, jolloin 4K-resoluution kuvaaminen onnistuu vielä kohtuullisissa valaistusolosuhteissa. Käytettäessä suurta lentonopeutta kehnoissa valaistusolosuhteissa pitää kameran resoluutiota pienentää ja aukko maksimoida terävien kuvien saamiseksi.

Multikopterien varustusvalikoimaan kuuluvien kameroiden sijasta voidaan käyttää korkealaatuisia järjestelmäkameroita, jolloin voidaan painottaa haluttuja ominaisuuksia. Vianpaikannuksessa halutaan usein toimintakykyä vaikeissa valaistusolosuhteissa. Tärkeitä ominaisuuksia ovat kameran kennon pinta-ala suhteessa pikselimäärään sekä valovoimaiset objektiivit (suuri aukko). Verkostovikojen paikannuksessa kameroissa kennon pikselimääräksi riittää hyvin 2 - 10 megapikseliä vaaditusta erotuskyvystä ja kuvausolosuhteista riippuen. Keveilläkin järjestelmäkameroilla voidaan ottaa videokuvaa Full HD-resoluutiolla (1920x1080). Kamera ja/tai käytetyt objektiivit voivat haluttaessa olla optisella kuvanvakaimella varustettuja. Välineiltä voidaan vaatia lisäksi sateenkestävyyttä. Oma kamera vaatii usein erillisen kameratelineen (gimbal) asentamista ja pientä virittelyä muun muassa kameran ohjauksen järjestämiseksi. Omaa kameraa käytettäessä videokuva on vaivattominta tallentaa kameran muistitikulle, joiden tallennuskapasiteetti riittää hyvin pitkiinkin BVLOS-lentoihin.

⁸ RGB-kamera = Tavanomainen, ihmisen kolmea näköalueen pääväriä vastaanottavalla kennolla varustettu kamera

Esimerkkinä ammattitason kopterikamerasta olkoon DJI:n Matrice 200-sarjan koptereihin saatavilla oleva, viereisessä kuvassa oleva Zenmuse X5-kamera. Kameraan saa useita erilaisia objekteiveja ja siinä on 16 megapikselin CMOS-kenno ja 3-akselinen gimbal. Kuvaformaatti JPEG/DNG ja videoformaatti MOV tai MP4, koodaus MPEG4/ AVC/H.264. Videoresoluutio mm. 4K ja Full HD. Massa noin 520 g täysvarustuksessa.



Kuva 3. Zenmuse X5 kamera

Verkoston määräaikaistarkastuksissa tarvitaan kamerassa selvästi parempaa erotuskykyä (luokkaa < 0,5 cm) kuin vianpaikannuksessa. Samalla lennolla johto-osuus myös yleensä laserkeilataan. Tämä on huomioitava laitehankinnoissa ilma-aluksen ja kameran suorituskykyä määritettäessä, mikäli samaa kalustoa aiotaan käyttää sekä verkoston vianpaikannuksessa että määräaikaistarkastuksissa.

4.4.2 Lämpökamerat

Korkean resoluution lämpökamerat ovat arvokkaita laitteita ja niitä käytetään sähköverkkoympäristössä lähinnä lämpövuotoja aiheuttavien vikojen etsimiseen (huonot kontaktit, ylikuumentuneet verkkokomponentit jne.) miehitetyistä helikoptereista tai maapartion toimesta.

Korkealaatuisilla lämpökameroilla saavutetaan luokkaa 0,01 °C oleva lämpötilan erottelukyky.

Verkostovikojen etsintään sopivista, lisävarusteena saatavista lämpökameroista esimerkkinä olkoon DJI:n Zenmuse XT. Kameran lämpökuvan resoluutio on 640 x 512 pikseliä.

4.4.3 RGB-kameran erotuskyvyn määrittäminen

Pystyilmakuvan keskimääräistä erotuskykyä (pikselikokoa maastossa) voidaan arvioida kaavalla:

$$\text{Erotuskyky} = h / f \times \sqrt{(A/n)} \quad [\text{cm}] \quad , \text{ missä}$$

h = Kuvausetäisyys eli pystykuvauksessa lentokorkeus [m]

f = Objektiivin polttoväli [mm]

A = Kameran kennon pinta-ala [cm²]

n = Kameran kennon pikselimäärä [megapikseliä]

Esim. Kuvausetäisyys 30 m, kameran objektiivi polttoväli 50 mm, kennon pinta-ala 1,56 cm x 2,35 cm = 3,67 cm² ja kennon pikselimäärä 16,1 Mpix => **0,3 cm** (0,286 cm).

Kaavasta voidaan päätellä, että lentokorkeuden alentaminen (kuvausetäisyyden pienentäminen) tai objektiivin polttovälin kasvattaminen parantavat suoraan kuvan erotuskykyä (enemmän pikseleitä/kuvattu pinta-ala), mutta pikselimäärän kasvattaminen vain suhteessa pikselimäärän neliöjuureen.

Vianpaikannuskuvauksessa kamera kuvaa viistosti tai jopa vaakasuoraan, jolloin kuvausetäisyys on yleensä selvästi lentokorkeutta suurempi. Tämä onkin suositeltavaa erityisesti videokuvauksessa, kun kuvamateriaalista ei tarvitse tarkasti määrittää etäisyyksiä toisin kuin esimerkiksi ortokuvauksessa.

4.5 Multikopterien turvajärjestelmät ja -ominaisuudet

Multikopterien turvajärjestelmät vaihtelevat suuresti laitteen koon ja käyttötarkoituksen mukaan. Pienimmissä, lähinnä leluiksi luokiteltavissa laitteissa ei ole yleensä mitään turvalaitteita. Vakavaan harrastamiseen ja ammattimaiseen käyttöön tarkoitetut laitteet on valmistajasta ja mallista riippuen varustettu erilaisilla turvalaitteilla. Multikoptereissa käytetyt turvalaitteet ja -ratkaisut voidaan jakaa karkeasti passiivisiin, lähinnä mekaanisiin turvarakenteisiin sekä aktiivisiin mekaanisiin ja elektronisiin turvajärjestelmiin. Mekaanisista turvarakenteista esimerkkinä on kuvan 2. kahden oikeanpuolimmaisien laitteen roottorien ympärillä olevat turvakaaret, jotka suojelevat roottoreita vikaantumiselta lievissä törmäyksissä ja lisäävät käyttäjien turvallisuutta. Aktiivinen mekaaninen turvalaite on esimerkiksi laskuvarjo, joita ei yleensä käytetä multikoptereissa.

Elektronisia turvajärjestelmiä on lukuisia, joista osa on luoteeltaan rakenteellisesti toimintaa varmentavia ja osa puhtaita turvalaitteita. Esimerkkinä rakenteellisista varmennuksista on laitteet/järjestelmät, joissa on varmennetut (kahdennetut) navigointi- ja ohjausjärjestelmät sekä ohjausyhteydet. Tällaisena voidaan pitää myös kahden eri taajuusalueen käyttämistä radio-ohjaimessa. Varmennettuja ohjausjärjestelmiä on saatavissa ainoastaan kalleimman luokan sarjavalmisteesiin multikoptereihin sekä asiakaskohtaisesti räätälöityihin laitteisiin.

Elektronisiin turvalaitteisiin voidaan laskea erilaiset törmäksenestojärjestelmät. Ne voivat perustua optisiin tai ultraääniantureihin, joilla mitataan etäisyyttä joko maahan tai läheisiin esteisiin. Optisten järjestelmien toimintaetäisyys on tyypillisesti 1-50 m ja ultraääniantureihin perustuvien 0,1-5 m. Esteen havaitessaan laite voi antaa ohjaajalle varoitussignaalin tai tarvittaessa pysäyttää etenemisen tai nostaa lentokorkeutta. Törmäksenestojärjestelmistä on hyötyä sekä VLOS- että BVLOS-toiminnassa.

Usein laadukkaat multikopterit on varustettu return to home -ominaisuudella. Laite palaa lähtöpisteeseen, mikäli ohjausyhteys katkeaa tai tulee muu vakava vika, joka ei kuitenkaan estä autopilotin toimintaa ja automaattista lentämistä.

Räätälöityihin laitteisiin voidaan rakentaa hätäpaikannus siten, että pudonnut tai hätälaskeutumisen tehnyt ilma-alus lähettää satelliittipaikannuksesta saadun paikkatiedon (koordinaatit) esimerkiksi tekstiviestillä matkapuhelimeen ennalta määrätyn ajan paikallaan oltuaan. Näin pudonnut ilma-alus voidaan paikantaa.

Suurten miehitettyjen ilma-alusten tärkeä turvallisuusvaruste on transponderi, jonka lähettämän signaalin avulla lennonjohto voi tutkan avulla tunnistaa ja paikantaa ilma-aluksen. Nämä laitteet tulevat yleistymään tulevaisuudessa myös ammattimaiseen miehittämättömään ilmailuun käytettävissä aluksissa, mutta tuskin keveissä multikoptereissa.

Nykyisin voimassa olevasta, miehittämättömiä ilma-aluksia koskevasta ilmailumääräyksestä OPS M1-32 on poistettu yksityiskohtaiset turvalaitevaatimukset, /4/.

4.6 Tekniikan kehitysnäkymiä

Siviilikäyttöisten lentorobottien automaattisen navigoinnin ja ohjauksen ominaisuudet ovat vielä pitkälti ensimmäisen tai toisen sukupolven versioita. Niiden kehittämiseksi tehdään kovasti töitä sekä lentolaiteteollisuuden että säädöksiä kehittävien viranomaisten tahoilla. Lentojen suunnitteluun käytettävät graafiset työkalut kehittyvät ja suunnittelu voidaan jatkossa tehdä 3-ulotteiseen maastomalliin perustuen.

Tekniikan kehittyessä automaattisia lentoja voidaan tarvittaessa esimerkiksi uudelleen parametroida (lento-ohjelmaa muutetaan kesken lennon kriteerien täytyttyä), lentolaitteiden automaattinen kyky väistää muita ilma-aluksia tai lentoesteitä kehittyä ja ammattitason alukset voidaan varustaa tutkissa näkyvillä tutkavastaaajilla (transponderi, TRP). Esimerkiksi muiden ilma-alusten sijaintitieto voitaisiin lähettää kaikille samalla alueella ilmassa oleville aluksille väistämisen mahdollistamiseksi ilman perinteisen törmäyksenestojärjestelmän (TCAS) käyttöä jne.

Todennäköisesti myös lennontallennuslaitteet (ns. mustat laatikot) tulevat jossain muodossa käyttöön kookkaissa, näköyhteyden ulkopuolella operoivissa RPA-ilmaaluksissa.

Akkujen kesto sähkökäyttöisissä multikoptereissa on tärkein toimintaa rajaava tekijä ja siihen toivotaan saatavan parannuksia uusien akkuteknologioiden (mm. nanotekniikat) avulla lähivuosien aikana.

Merkittäviä muutoksia laitevaatimukseen tuo uudet EU:n määräykset miehittämättömälle ilmailulle. Siitä tarkemmin myöhemmin kohdassa 7.6.

Kuvauskäytössä olevat kamerat kehittyvät edelleen ja multi- sekä hyperspektritekniikat tulevat ammattimaisen ilmakuvauksen arkipäiväksi.

5 MULTIKOPTERIEEN TEKNINEN SOVELTUVUUS VERKOSTOVIKOJEN PAIKANNUKSEEN

5.1 Toimintamatka ja -aika sekä kuormankantokyky

Sähkökäyttöisten multikopterien toiminta-ajan rajaa akun kestävyys ja tyypillisesti lentoaika on enintään puoli tuntia. Tämä riittää hyvissä olosuhteissa erittäin lentämiseen (toimintasäde enintään 5 km eli lentomatka 10 km).

Kuormankantokyky multikoptereissa on yleensä riittävä ja kevyetkin (alle 2 kg) laitteet kykenevät kantamaan gimbalin ja kompaktin kameran.

Multikopterit soveltuvat suorituskykynsä puolesta hyvin VLOS-vianpaikannuslentoihin ja tietyin varauksin myös BVLOS-lentoihin toimintasäteen ollessa alle 5 kilometriä, lisätietoja kohta 4.1.2.

5.2 Lento-ominaisuudet

Multikopterit ovat ohjausominaisuuksiltaan ja VTOL-nousu- ja laskeutumiskyvyllään ylivoimaisia kiinteäsiipisiin ilma-aluksiin verrattuna. Ohjausominaisuudet ylittävät selvästi myös rakenteeltaan perinteiset miehitetyt helikopterit. Autopilotilla ja IMU-yksiköllä varustettuna multikopteria on hyvin helppo lentää ja lentonopeuden säätö kaikkiin lentosuuntiin toimii rajoituksitta.

Haittapuolena kiinteäsiipisiin RPA-ilma-aluksiin verrattuna on huonompi aerodynaaminen hyötysuhde ja siten käytännössä lyhyempi toimintasäde.

Kevyet multikopterit eivät voi operoida voimakkaassa tuulessa toisin kuin miehitetyt helikopterit.

5.3 Vikahavainnointi erilaisia navigointimenetelmiä hyödyntäen

5.3.1 Käsinohjaus näköyhteydellä (VLOS) valvomattomassa ilmatilassa

Nykyisen kansallisten määräysten mukaan näköyhteydellä lennätettäessä valvomattomassa ilmatilassa ilma-aluksen lentokorkeus saa olla enintään 150 metriä maan pinnasta (AGL). Ilma-aluksen ohjaajan tai tähystäjän tulee säilyttää näköyhteys ilma-alukseen siten, että sitä voidaan turvallisesti ohjata. Tulevaisuudessa enimmäislentokorkeus saattaa alentua tai jakaantua luokkiin uuden EU lainsäädännön myötä.

Käsinohjaus

Käsinohjaukseen käytetään yleensä radiokauko-ohjainta (RC-ohjain), jossa on kaksi ohjaussauvaa sekä lukuisia joukko muita kytkimiä. Kauko-ohjaimessa voi olla näyttö tai näyttönä voidaan käyttää erillistä näyttölaitetta (Android- tai iOS-käyttöjärjestelmällä varustettu matkapuhelin tai tablettitietokone), kuva 4. Räätelöidyissä maa-asemissa näyttölaitteena käytetään kannettavaa työasemaa tai jopa useita työasemia samanaikaisesti. Näytöstä (näyttölaitteesta) voidaan lukea tärkeimmät lentoon liittyvät navigointi- ja lentotekniset parametriarvot.

Niitä ovat esimerkiksi lentokorkeus ja lentosuunta, nopeus maahan nähden, aluksen koordinaatit, ulkolämpötila, jäljellä olevan latauksen tai polttoaineen määrä, moottorin kierroslukuasetus (kaasun asento) sekä laaja kirjo havaintolaitteiden tilaa kuvaavia parametreja.



Kuva 4. Phantom 4 PRO kauko-ohjain erillisellä näytöllä

Näyttölaitteelle voidaan välittää reaaliaikaista videokuvaa suoraan ilma-aluksen kamerasta. Vaativissa kuvauslennoissa käytetään usein ohjaukseen kahta henkilöä. Toinen vastaa ilma-aluksen lentoteknisestä ohjauksesta ja toinen ohjaa ja säätää havaintolaitteita, esimerkiksi kameran suuntaa ja kallistuskulmaa sekä mahdollisesti zoomausta.

RC-ohjain toimii monikanavaisen radioyhteyden avulla. Sarjavalmisteisissa multikoptereissa radioyhteys on toteutettu suoraan multikopterista radio-ohjaimen joko 2.4 tai 5 GHz:n taajuusalueita hyödyntäen. Samoja taajuusalueita, mutta eri kanavia käytetään videokuvan siirtoon ilma-aluksesta ohjaimen näyttölaitteeseen. Ohjauksessa käytettäviä viestiyhteyksiä on kuvattu tarkemmin kohdassa 4.1.

Jotkin ammattikäyttöön tarkoitetut laitteet (esim. DJI Inspire 2) on varustettavissa kahdella kauko-ohjaimella, jolloin näköyhteyttä ilma-alukseen voidaan laajentaa kauempana olevan apuohjaajan (tähyistäjän) avulla. Tarvittaessa ohjaajien tulee pystyä kommunikoimaan koko lennon ajan toistensa kanssa radio-ohjauksessa käytettävistä laitteista riippumattomilla viestivälineillä, esimerkiksi jatkuvalla radiopuhelin- tai matkaviestinyhteydellä. Tästä laajennetun näköyhteyden lentomuodosta käytetään lyhennettä EVLOS⁹.

Käsiohjaus soveltuu hyvin yksittäisten vikojen paikannukseen ja tarkasteluun vaikeapääsyisten kohteiden osalta. Tällaisia ovat esim. korkeat pylväät, joissa on jännite päällä, vesistöissä tai saarilla sijaitsevat kohteet jne.

⁹ EVLOS = Extended Visual Line Of Sight

5.3.2 Käsinohjaus näköyhteyden ulkopuolella (BVLOS)

Ohjausyhteyksien toimivuuden salliessa voidaan ilma-alusta lennättää suoran näköyhteyden ulkopuolella videolinkin välityksellä. Kopterin kameran kuva siirretään ohjaajan näyttölaitteeseen jollain seuraavista menetelmistä:

1. Suora RC-videolinkki
2. Toistinasemaa käyttävä suora RC-yhteys
3. Epäsuora videolinkkiyhteys erillisen tieliikenneverkon välityksellä

Suora ohjausyhteys näköyhteyden ulkopuolella toimittaessa

Suora ohjausyhteys BVLOS-toiminnassa toimii kuten näköyhteydellä kohdan 5.3.1. mukaisesti. Kauko-ohjauksessa käytettävien lähetintehojen on oltava suurimmat lain sallimat ja joissain ammattilaitteissa ohjausyhteyksiin käytetään kahta eri taajuusaluetta siirtoyhteyksien käytettävyyden parantamiseksi. Erityisesti on varottava kopterin joutumista korkeiden maastonkohtien aiheuttamiin radiokatveisiin.

Tätä menetelmää käytettäessä multikopteri tulee olla varustettu Return-to-Home-toiminnallisuudella, jotta ilma-alusta ei kadoteta ohjausyhteyden katketessa.

Menetelmä soveltuu verkoston vianpaikannuslentojen laajentamiseen jonkin verran laajemmalle alueelle kuin suoralla näköyhteydellä voidaan saavuttaa. Maastomuodot vaikuttavat suuresti saavutettaviin toimintaetäisyyksiin.

Toistinasemaa käyttävä ohjausyhteys

Joissain ammattilaitteissa ja viranomaiskäyttöön tarkoitetuissa järjestelmissä voidaan käyttää suoran radioyhteyden välittävää (releioivaa), korkeaan maastonkohtaan tai radiomastoon sijoitettua toistinasemaa. Tällä ratkaisulla voidaan saavuttaa jopa kymmenien kilometrien toimivia yhteysetäisyyksiä. Vaihtoehto vaatii aina viranomaisten luvan ja ohjausyhteyksissä käytettävien taajuuksien löytymisessä voi olla haasteita. Ohjaus toimii periaatteessa samalla tavalla kuin edellä kohdassa 3.2.1 on kuvattu.

Menetelmä soveltuu huonosti nopeatempoiseen vianpaikannukseen, koska toistinaseman rakentaminen/asentaminen vie runsaasti aikaa ja taajuuksien käyttöluvut on hoidettava kuntoon hyvissä ajoin etukäteen. Lisäksi sarjatuotannossa olevan RPAS-järjestelmän ohjaustaajuuksien muuttamisesta kansallisten määräysten mukaisiksi voi seurata merkittäviä kustannuksia.

Epäsuora yhteys

Ammattikäyttöön rakennetut laitteet voidaan varustaa suoran radioyhteyden lisäksi epäsuoraa radioyhteyttä käyttäväksi. Yleensä tämä epäsuora yhteys rakennetaan julkisten 3G- tai 4G-matkaviestinverkkojen välityksellä. Toimintamatka riippuu lähinnä ilma-aluksen suorituskyvystä (akun kestävydestä).

Matkaviestinverkon päätelaitteiden käyttäminen ilma-aluksessa ohjausyhteyksien toteuttamiseen vaatii Viestintäviraston ja teleoperaattorin luvan, joten käyttöluupaasioiden on oltava kunnossa ennen lentojen aloittamista.

Epäsuora radioyhteys soveltuu siten hyvin BVLOS-lentoihin, joissa vaaditaan pitkän kantaman reaaliaikaisia ohjaus- ja videoyhteyksiä.

5.3.3 Vikahavainnointi reittipistenavigointia hyödyntäen

Sähköverkoston vianpaikannuslentojen kannalta tärkein multikopterien käyttötapa on toiminta suoran näköyhteyden ulkopuolella eli BVLOS-lennot. Lennot edellyttävät ilmatilan varaamista ja sulkemista muulta lentoliikenteeltä. Ollakseen tehokkaita havaintolentojen yhtäjaksoisen lentomatkan on voitava olla vähintään 5 km:n erotinväli.

Tehokas keino BVLOS-lentojen toteuttamiseen on reittipistenavigointiin perustuva automaattiohjaus. Automaattiohjauksessa ilma-alusta ohjaa autopilotti omien sensoriensa välittämän tiedon ja autopilottiin tallennetun reitti-informaation perusteella. Ohjauksessa tarvittava aluksen kulloinenkin sijaintitieto autopilotille saadaan:

- Ulkoisen satelliittipaikannusjärjestelmän avulla (nykyisin mm. GPS ja tulevaisuudessa myös eurooppalainen Galileo) tai
- Lentolaitteen omaan sisäiseen mittaukseen perustuen käyttämällä inertianmittauslaitetta (IMU) tai
- Käyttämällä molempia edellä mainittuja tapoja sopivasti rinnakkain.

Lentoreittien ohjelmoinnissa hyödynnetään verkostokomponenttien (esim. pylväiden) koordinaattitietoja. Lentoreitti määritellään kolmiulotteisessa koordinaatistossa eli kukin reittipiste sisältää x-, y- ja z-koordinaattitiedon (latitudi, longitudi ja korkeus meren tai maan pinnasta). Reittimäärittely ja aluksen ohjaus tehdään kohdassa 4.3 mainittuja reittisuunnittelutyökaluja hyödyntäen. Koordinaatistona reittisuunnittelussa käytetään GPS-satelliittijärjestelmän WGS84 pallokoordinaatistoa tai kansallista EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmää. Koordinaatistomuutoksia täytyy tehdä, mikäli verkostokomponenttien paikkatieto on kansalliseen KKJ-koordinaatistoon perustuva. Laserkeilatuista johdoista on yleensä hyvin tarkat koordinaattitiedot saatavilla.

Aluksen nopeus reitin eri osuuksissa voidaan asettaa monipuolisissa ohjausjärjestelmissä erikseen. Tällöin hankalat verkon kohdat, kuten esimerkiksi risteämät ja kulmapisteet voidaan lentää tarvittaessa hitaammalla nopeudella.

Aluksen ohjaus reittipistenavigoinnissa perustuu yksinomaan autopilottiin ladattuun lentoreittiin, jolloin lennättäminen ei välttämättä tarvitse reaaliaikaista telemetriayhteyttä ollenkaan. Reittipistelento voidaan siis täysin automatisoida. Kopteri asetetaan lähtöpaikkaan ja niin sanotusti "painetaan nappia" ja kopteri lentää ennalta ohjelmoidun reitin kuvaten johtokatua asetetulla tavalla ja laskeutuu haluttuun päätepisteeseen. Näin pitkäkin johto-osuus voidaan lentoreittejä peräkkäin ketjuttamalla lentää kahdella autolla liikkuvan partion voimin sangen nopeasti.

Telemetriayhteyttä, joko suoraa tai epäsuoraa, voidaan käyttää ohjauksen varajärjestelmänä ja toimiessaan sitä voidaan käyttää esimerkiksi lennon keskeyttämiseen vaaratilanteen uhatessa.

Reittipistenavigoinnissa vikahavainnoinnin videokuvaa lentoreitin varrelta voidaan siirtää reaaliaikaisesti telemetriayhteyden toimiessa ja samalla tallentaa videosignaali ja/tai lentoreitin kattavat valokuvat aluksen muistiin jälkitarkastelua varten.

Reittipistenavigoinnissa toimintamatkan rajoittaa laitteen suorituskyky (akun kestävyys) ja menetelmä soveltuu hyvin vianpaikantamiseen BVLOS-lentoja hyödyntäen.

Monet hyvin varustetut harrastajatason multikopterit kykenevät reittipistenavigointiin, esimerkiksi DJI Phantom. Reittipistenavigointia käytettäessä multikopteri tulee olla varustettu Return-to-Home-toiminnallisuudella, jotta kopteri kykenee palaamaan takaisin tietyissä vikatilanteissa.

Automaattiohjausta reittipistenavigointia hyödyntäen voidaan luonnollisesti käyttää myös VLOS-toiminnassa, jolloin ohjaajalla on enemmän aikaa keskittyä kameran ohjaukseen ja videokuvan seurantaan.

5.4 Kenttäkelpoisuus ja luotettavuus

Multikopterien monipuolisten ohjausominaisuuksien takia ne soveltuvat hyvin matalalla lentämiseen sekä operointiin ilman kiitoratoja. Laitteet ovat riittävän toimintavarmoja VLOS-toiminnassa. Epäsuoria ohjausmenetelmiä ja/tai reittipistenavigointia käytettäessä järjestelmien toiminta on testattava hyvin ennen varsinaisia tuotantolentoja, jotta ilma-aluksia ei menetettäisi.

Hankalissa ilmasto-olosuhteissa operoitaessa tulee laitteiden olla ominaisuuksiltaan mitoitettu käyttöympäristön vaatimusten mukaisesti. Muun muassa kopterien ja havaintolaitteiden tulee olla vähintään roiskevesitiiviitä ja toimintalämpötila-alueen on oltava riittävän laaja (esim. -20 °C ...+40 °C). Em. lämpötila-alueella toimivia laitteita onkin saatavana useita malleja eri valmistajilta.

Sähkökäyttöisten laitteiden käyttämiselle oman haasteen tuo akkujen pieni kapasiteetti. Tällöin laajoissa häiriötilanteissa tarvittavan lentotoiminnan ylläpitäminen vaatii useita vara-akkuja/multikopteri sekä akkujen lataamista kesken päivän maastossa. Lataamiseen voi käyttää esim. pientä siirrettävää aggregaattia. Ladatut vara-akut suositellaan säilytettäväksi kylmälaukussa, mikäli ulkolämpötila on alle +10°C.

Multikopterien kenttäkelpoisuudesta ja luotettavuudesta verkoston vianpaikannuksessa toivotaan saatavan kokemusperäistä ensikäden tietoa hankkeen pilotointiosassa.

6 RPA-ILMA-ALUSTEN JA PALVELUJEN KAUPALLINEN SAATAVUUS

6.1 RPA-ilma-alusten kaupallinen saatavuus

Alan kansainvälisen järjestön UAS-Internationalin kotisivuilta löytyy runsaasti informaatiota laitteiden valmistajista ja kaupallisesti saatavissa olevista RPA-ilma-aluksista; <http://uvs-international.org/>. Katso myös RPAS Info-sivut <http://rps-info.com/>. Sivut edellyttävät rekisteröintiä ja osa informaatiosta on vain järjestön jäsenien saatavilla.

6.1.1 Harrastuskäyttöön tarkoitetut sarjavalmisteiset multikopterit

Harrastuskäyttöön tarkoitettuja multikoptereita on saatavissa lukuisilta eri laitevalmistajilta. Parhaimmat monipuolisesti varustetut laitteet soveltuvat hyvin sellaisenaan vianpaikannukseen sekä VLOS-toiminnassa että reittipistenavigointiin BVLOS-toiminnassa.

Esimerkkejä kotimaisten jälleenmyyjien Verkkokaupan ja Rajalan tarjonnasta:

Verkkokaupan valikoimaa (2017-08-14),

<https://www.verkkokauppa.com/fi/catalog/10884c/Multikopterit> :

- Yuneec Typhoon H-sarjan heksakopterit, hintahaarukka 890 -1 690 €. Laitteet ovat monipuolisesti varusteltuja ja ominaisuudet riittävät hyvin VLOS-verkostokuvauksiin. Käyttäjäpalaute on ollut ristiriitaista ja laitteessa tuntuu vielä olevan prototyypin vikoja.



Kuva 5. Yuneec Typhoon H RealSense-heksakopteri

- GoPro Karma -nelikopteri, ilman kameraa hinta 1 120 €. Laitteeseen voi valita GoPro-kameran useasta eri vaihtoehdosta.
- DJI Mavic Pro -sarjan nelikopterit, hintahaarukka 1 100 - 1 430 €. Suosittu ja laajasti käytetty kopterimallisarja. Soveltuu hyvin VLOS-vianpaikannuslentoihin
- DJI Phantom 4 -sarjan nelikopterit, hintahaarukka 1 000 -1 900 €. Hyvin suosittu kopterisarja, jonka ominaisuudet vaihtelevat mallin mukaan. Soveltuu hyvin VLOS-vianpaikannuslentoihin ja myös reittipistenavigointiin.

Rajalan valikoimaa (2017-08-14),

<https://www.rajalacamera.fi/kamerat/kuvauskopterit/dji-kuvauskopterit> :

- DJI Phantom 3 4K-nelikopteri, hinta 500 €
- GoPro Karma Light -kuvauskopteri Karma Grip Hero 5 -kiinnikkeellä, hinta ilman kameraa 1 000 €.

6.1.2 Ammattikäyttöön tarkoitetut sarjavalmistetut multikopterit

Verkkokaupan valikoimaa (2017-08-14):

- DJI Inspire 1 RAW -nelikopteri, kahdella ohjaimella, hinta 5 660 €. Sarjavalmistein laite soveltuu hyvin ns. laajennettuun VLOS-toimintaan (EVLOS), jossa apuohjaaja voi tarvittaessa ottaa toisen ohjauslaitteen avulla ilma-alus hallintaan. Soveltuu VLOS-toimintaan ja BVLOS-toimintaan (reittipistenavigointi)
- DJI Inspire 2 -nelikopteri Zenmuse X5S -kameralla ja ohjelmistolisensseillä, hinta 7 065. Laitteessa korkealaatuinen kamera ja paljon ammattikuvauksessa hyödyllisiä ominaisuuksia, mm. kopteria ja kameraa voi ohjata eri henkilöt. Soveltuu VLOS-toimintaan ja BVLOS-toimintaan (reittipistenavigointi).

Rajalan valikoimaa (2017-08-14):

- DJI Inspire 2 Combo, hinta Apple ProRes lisenssin kera ilman kameraa 4 900 €
- DJI Zenmuse X5S -kamera ja gimbal + 15mm f/1.7 -objektiivi, hinta 2 200 €. Kamerassa on 20.8 megapikselin 4/3" CMOS-kenno.

Tulossa on lisäksi aikaisemmin mainittu DJI:n Matrice 200-mallisarja ammattikäyttöön suunnatuista multikoptereista, <http://www.dji.com/matrice-200-series>.

6.1.3 Asiakaskohtaisesti räätälöidyt kopterit

Asiakaskohtaisesti räätälöityjä tai puolisarjavalmistettuja ammattikäyttöön tarkoitettuja laitteita saa myös monilta eri toimittajilta. Kotimaisista valmistajista markkinajohtaja lienee muuramelainen VideoDrone Oy, <https://videodrone.fi/>, multikopterin kuva raportin kannessa. Yritys toteuttaa ratkaisuja tekniseen ilmakuvaukseen sekä kartoitus-, mittaus-, ja tarkastustehtäviin. Ulkomaisista puolisarjavalmistettuja laitteista olkoon esimerkkinä Aibotix X6, <https://www.aibotix.com/products/aibot-x6> ja Microdrone, <https://www.microdrones.com/en/home/>.

Ammattikäyttöön asiakaskohtaisesti räätälöityjen multikopterien hintahaarukka on hyvin laaja laitteiden ominaisuuksista ja varustuksesta riippuen. Hinnat alkavat usein 10 000 eurosta ylöspäin.

6.1.4 Havaintolaitteet

Multikoptereissa on vakiona kamera, jolla voi ottaa valokuvia ja videokuvaa. Kameroiden taso vaihtelee suuresti ja korkean laatutason laitteet on varustettu hyvällä 4K-erotuskyvyn omaavalla kameralla ja gimbalilla.

Esimerkiksi kohdassa 4.4.1 esitelty Zenmuse X5 kamera. Karma-multikoptereihin on saatavissa suosittuja GoPro-kameroita.

Esimerkkinä kevyistä RPA-ilmakuvauksiin soveltuvista, suhteellisen edullisista digitaalisista järjestelmäkameroista on Sonyn α -sarja. Sarjan kameroissa on APS-C-kokoinen (23,5 x 15,6 mm) CMOS-kenno. Mallin α 6000 rungon massa on pariston ja muistitikun kanssa noin 345 g. Kamerassa on 24 megapikselin APS-C kenno. Sarjan kameroihin käy laaja valikoima E-tyypin objektiiveja, joita löytyy useilta eri valmistajilta. Osa objektiiveista on varustettu optisella kuvanvakaimella. Yksittäiskuvat voi tallentaa esimerkiksi JPEG- ja RAW-formaatissa useilla eri resoluutioilla. RAW-formaatti antaa mahdollisuuden erittäin monipuoliseen kuvien jälkikäsitteilyyn. Sony α -sarjan kameroilla voi ottaa videokuvaa AVCHD tai MP4-formaateissa. Videosignaalin kompressio ja koodaus tehdään MPEG4-muodossa. Kuvat pitää tallentaa muistikortille ja kamera tukee useita muistikorttityyppejä. Malli Sony α 6000 + objektiivilla SEL 16-50/3.5-5.6 maksaa mustana 650 € (Rajala). Kameraa varten pitää lisäksi hankkia oma gimbal.

DJI:n ammattikoptereihin on saatavana lisävarusteena myös lämpökameroita, esimerkiksi Zenmuse XT, hinta alkaen noin 5 500 €.

6.1.5 Kauko-ohjauslaitteet

RC-kauko-ohjauslaitteet kuuluvat sarjatuotantona valmistettävien harrastaja- ja ammattitason multikopteritoimitukseen, eikä niitä tarvitse erikseen hankkia tai määrittää.

Asiakaskohtaisesti räätälöityjen RPAS-järjestelmien osalta ohjauslaittekonstruktiot voivat perustua useisiin erilaisiin teknisiin ratkaisuihin, kohta 4.1.1. Erilaisia tekniikoita voidaan käyttää rinnakkain varmentamaan toisiaan. Käyttötarkoitus ja sallittu kustannusrakenne määräävät kulloinkin käytetyn ratkaisun.

6.1.6 Autopilottit ja IMU-yksiköt

Sarjavalmisteisissa laitteissa autopilotti ja IMU on mukana hyvin varustetuissa laitteissa.

Räätälöityjä ratkaisuja varten autopilottien saatavuus erilliskomponentteina oli aikaisemmin rajoitettua sotilaallisista syistä. Nykyisin niitä valmistetaan ja myydään lähes rajoituksitta ja laitteita on saatavissa useilta eri valmistajilta.

Asiakaskohtaisesti räätälöityyn ilma-alusjärjestelmään päädyttäessä laitteen suunnittelija/ valmistaja tarjoaa normaalisti käyttämiään autopilotti- ja IMU-ratkaisuja.

Järjestelmäkehittäjille isot laitevalmistajat tarjoavat kehittämistyökaluja, esimerkiksi DJI <https://developer.dji.com/>, joilla järjestelmäkehittäjä voi kehittää omia sovelluksiaan hyödyntämään laitevalmistajan kopterialustoja ja komponentteja.

6.1.7 Satelliittipaikantimet

Sisältyvät hyvin varustettuihin multikoptereihin. Laadukkaat vastaanottimet kykenevät vastaanottamaan paikannussignaalin eri satelliittijärjestelmistä.

Vastaanottimia saa erilliskomponentteina räätälöityjä ratkaisuja varten.

6.2 Reittisuunnittelutyökalut ja kartat

6.2.1 Reittisuunnittelutyökalut

Reittisuunnitteluun on saatavilla monia karttapohjaisia navigointiohjelmistoja. Samalla ohjelmalla käy usein myös ilma-aluksen lennon seuraaminen automaattiohjauksessa, mikäli on käytettävissä toimiva telemetriayhteys.

Reittipistenavigointiin saatavissa olevia ilmaisia tai edullisia suunnittelutyökaluja, esimerkiksi Ardu Mission Planner, <http://ardupilot.org/planner/index.html#> , UgCS Ground Station, <https://www.ugcs.com/> tai DJI PC Ground Station, <https://www.dji.com/pc-ground-station>. Esim. UgCS:n ohjelmat tukevat useimpia DJI:n koptereita ja ovat laajasti myös ammattiympäristössä käytetty.

6.2.2 Kartat

Tavanomaiset kartat

Reittisuunnitteluohjelmistot vaativat toimiakseen kartta-aineistoa tai ortokuvia reittisuunnittelua varten. Esimerkiksi paikkatietoikkunassa tai retkikartassa voi suunnitella lentoreittejä tai tarkastella maaston ortokuvia. Aineistoa voi ladata vapaasti tai Maanmittauslaitoksen avoimesta tiedostopalvelusta, neljäs linkki.

- <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>
- <http://www.retkikartta.fi/>
- GoogleMaps, <https://www.google.fi/maps>
- <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>
- Ohjelma halutun kokoisen kartan tekemiseksi: http://olammi.iki.fi/sw/fetch_map/.

Ladatut ortokuvat ovat JPEG 2000-formaatissa (.jp2). Niiden tarkasteluun sopivia ohjelmia löytyy linkin sivun lopusta https://en.wikipedia.org/wiki/JPEG_2000 .

Ilmailukartat

Ilmailukartat ovat tarpeellisia ammattimaisessa toiminnassa. Miehitetyn ilmailun reittisuunnitteluun ja itse lentämistä (esim. lähestymistä ja laskeutumista) tukemaan on saatavissa suuri määrä erilaisia ilmailukarttoja, esimerkiksi <https://www.karttakauppa.fi/fi/tuotteet/tuoteryhma/2045/ilmaan> .

6.3 Havaintotietojen siirto ja käsittely – ohjelmat ja palvelut

6.3.1 Digitaalisten kuvien käsittelyohjelmat

Julkisesti on saatavissa runsas valikoima erilaisia kuvankäsittelyohjelmia, joilla voi editoida ja analysoida kuva-aineistoa tallennusformaattista riippuen, esimerkiksi Paint Shop Pro® ja Adobe Photoshop®.

Erikoisohjelmilla digitaalista ilmakuvamateriaalia on mahdollista muokata analyyttisin (laskennallisin) keinoin hyvin monipuolisesti ja erilaisiin tarpeisiin, /2/.

6.4 Koulutuspalvelut

Varsinaista yleisesti saatavilla olevaa RPAS-ilma-alustekniikan ammattikoulutusta ei maassamme ole järjestetty. Joitain satunnaisia kursseja voi olla saatavissa koulutusohjelmien täydennykseksi. Lisäksi aiheesta on tehty muutamia opinnäytetöitä.

Kaupallisia koulutuspalveluja miehitettyyn ilmailun alueelta on jonkin verran saatavissa. RPAS-alan maamme johtava koulutus- ja asiantuntijapalvelujen tarjoaja on Insta Airhow Oy, <http://airhow.fi/fi/etusivu/>. Yritys tarjoaa perus- ja syventävää koulutusta miehittämättömän ilmailun ja turvallisuuden alueelta. Verkkoperusteisessa koulutustarjonnassa on mm. RPAS-perus- ja erikoiskursseja ja perehdytyskoulutuspäivä. Varsinaista laiteohjaajakoulutusta, jossa lennätetään RPA-ilma-aluksia, yritys ei ainakaan toistaiseksi tarjoa.

Puolustusvoimat kouluttaa itse omat RPAS-ohjaajansa.

6.5 Verkostovikojen paikannuspalvelut

6.5.1 Vianpaikannuspalvelut miehitetyillä helikoptereilla

Miehitettyjä helikoptereita lentäjineen on saatavissa verkoston vianpaikannukseen useilta eri lento-operaattoreilta, esimerkiksi Heliwest Oy tai Helikopterikeskus Oy.

Vianpaikannuksen kokonaispalvelua, jossa palveluntuottaja tekee havainnot verkkoyhtiön puolesta ja siirtää havaintotiedot sähköisesti verkkoyhtiön verkkotietokantaan tarjoaa esimerkiksi Comtiki Oy, www.comtiki.fi.

6.5.2 Miehittämättömien ilmailupalvelujen tarjonta Suomessa

Tehdyissä haastatteluissa on käynyt ilmi, että verkkoyhtiöt eivät pidä järkevänä luoda itselleen lentotarkastustoimintaan kykeneviä resursseja. Vianpaikannuspalvelut halutaan ostaa palveluna joko niihin erikoistuneita ilmailualan toimijoilta tai verkkoyhtiöiden perinteisiltä kunnossapito- ja korjauspalveluja tuottavilta yrityksiltä.

Suomessa arvioidaan olevan raportin laatimisen aikoihin muutamia kymmeniä vakavasti otettavia yrityksiä tai yksittäisiä yrittäjiä, jotka harjoittavat miehittämättömään ilmailuun liittyvää liiketoimintaa. Suurin osa näistä RPA-yrittäjistä tarjoaa ilmakeuhkupalveluja. Monet yrityksistä operoivat ainoastaan näköyhteydellä ja pienillä yrityksillä on heikot mahdollisuudet investoida BVLOS-lentoihin kykeneviin suorituskykyisiin VTOL-tyyppisiin RPAS-järjestelmiin ilman merkittävää pääomasijoittajien panostusta. Sitä vastoin kevyempiin sarjavalmisteisiin ammattitason laitteisiin pienenkin yrityksen rahkeet riittävät ja tarjontaa syntyy, kun kysyntää markkinoilta löytyy.

Verkoston lentotarkastuspalveluja RPA-ilma-aluksilla kykenevät tarjoamaan tällä BVLOS-muodossa hetkellä muun muassa Sharper Shape Oy ja Comtiki Oy.

Jatkossa vianpaikannuksen palvelujentarjonta todennäköisesti täydentyy useiden urakointiyhtiöiden perehtyessä miehittämättömien ilma-alusten käyttöön ja pilotoidessa uutta tekniikkaa esimerkiksi nyt meneillään olevan hankkeen myötä.

Alan edunvalvontajärjestönä toimii RPAS Finland ry, <http://www.rpas.fi/> .
Yhdistyksellä on tällä hetkellä 14 varsinaista tai asiantuntijajäsentä.

6.6 Huolto- ja tukipalvelut

Maahantuojiin ja RPA-laitevalmistajien toimesta on saatavilla merkkikohtaisia huolto- ja korjauspalveluita, esimerkkinä DJI-multikopterien maahantuojana Future Retail Oy, www.futureretail.fi .

6.7 Vakuutuspalvelut

Vastuuvakuutus on pakollinen lentotyössä. Toimijailmoituksen lisäksi lentotyön harjoittajan on hankittava EU:n määräämä pakollinen vastuuvakuutus kolmansien osapuolien vahinkojen varalle (verrannollinen liikennevakuutukseen). Koska kauko-ohjattu ilma-alus katsotaan määritelmältään ilma-alukseksi, sen käyttöön liittyvä vahingonkorvausvastuu määräytyy ilmailulain mukaisesti (ns. ankara vastuu).

EU:n vakuutusasetus edellyttää kaikilta ilma-aluksilta vastuuvakuutusta, lisätietoja <http://trafi.mailpv.net/a/s/53568020-71d1266f5299549a835f0d475509e078/1887429> ja EU:n asetus 785/2004: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1432649203336&uri=CELEX%3A02004R0785-20100408> .

Vakuutuksia RPAS-toimintaan saa mm. seuraavista vakuutusyhtiöistä tai meklareilta: IF (vain alle 7 kg ja ainoastaan VLOS-toimintaan), <https://www.if.fi/yritysasiakkaat/vakuutukset/vastuuvakuutukset/toiminnan-vastuu/dronevakuutus>, Fennia, Driessen Assuradeure, edustaa <https://multicoptercenter.fi/uav-vakuutus>, Renomia, edustaa <http://uasfinland.eu/fi/vakuutus.html>, Howden Finland, <http://www.howdengroup.fi/fi/ilmailutuotteet/> sekä Inter-Hannover (Ruotsi), <http://www.hannover-re.com> .

Huom! Lennokitoiminnassa käytössä oleva lennättäjän oma vakuutus ei riitä toimittaessa RPAS-laitteilla ammattimaisesti.

Vakuutusta haettaessa tarvitaan Trafian toimijailmoituksen diaarinumero, jonka voi pyytää Trafilta osoitteesta RPAS@trafi.fi. Aikaisemmin kotimaisilta vakuutusyhtiöiltä ei saanut vakuutuksia, mutta nyt tilanne on korjaantumaan päin.

Suorituskykyiset miehittämättömät ilma-alukset sekä erityisesti verkoston tarkastuslentoissa tarvittava laadukas havaintovälineistö ovat arvokkaita laitteita. Ominaisuuksista ja varustuksesta riippuen toimintakykyisen paketin hinta alkaa 5 000 euron tuntumasta päätyen jopa satoihin tuhansiin euroihin. Vakuutusten tulisivat kattaa myös ilma-alukselle ja havaintolaitteille maahan tai esteeseen törmäyksestä aiheutuneet vahingot.



Suomessa vakuutusyhtiöt eivät tiettävästi myönnä kaskovakuutuksia miehittämättömille ilma-aluksille (ainakaan BVLOS-toiminnassa) ja ilma-alukset onkin usein vakuutettu meklarien välityksellä eurooppalaisissa vakuutusyhtiöissä.

7 RPA-ILMA-ALUSTEN SÄÄNTELY JA ILMATILAN KÄYTTÖ

7.1 Sääntelyn tarkastelun laajuus ja painotukset

Selvityksessä keskitytään ainoastaan vuoden 2014 tehdyn selvityksen jälkeen miehittämätöntä ilmailua ohjaavassa lainsäädännössä ja viranomaismääräyksissä tapahtuneisiin muutoksiin, tarkastellaan sääntelyn nykytilaa ja avataan kehitysnäkymiä. Erityisesti lainsäädäntöön tulee vaikuttamaan suuresti Euroopan Unionin ilmailuviranomaisen EASAn valmisteilla oleva miehittämätöntä ilmailua koskeva uusi sääntely. Sääntely tulee kansallisesti pakottavaksi, kun EU:n komissio vahvistaa sen aikanaan direktiiviksi.

Selvityksessä kuvataan ilmatilamme rakennetta vain välttämättömiltä osin ja asiasta syvällisemmin kiinnostuneita suositellaan perehtymään lähteeseen /2/, Liikenteenturvallisuusviraston Trafín ilmailun verkkosivuihin sekä Suomen ilmailukäsikirjan (<https://www.ais.fi/fi/tuotteet-ja-palvelut/aip>), /10/, kohtaan ENR 6 Reittisuunnistus ja index-kartat.

Miehittämättömässä VLOS- ja BVLOS-toiminnassa tarvittavia lupia ja ilmatilan-varauksia käsitellään vianpaikannuksen vaatimassa laajuudessa.

7.2 Ilmailulaki ja sen nojalla annetut kansalliset miehittämättömän ilmailun säädökset

Voimassa oleva ilmailulaki 7.11.2014/864 löytyy Finlexin sivulta linkistä <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>. Ilmailulain 9§ pykälässä on erityismaininta koskien miehittämättömien ilma-alusten käyttöä:

”Miehittämätön ilma-alus saa poiketa lentosäännöistä muulta ilmailulta kielletyllä tai miehittämättömän ilma-aluksen lennättämistä varten erotetulla alueella, jos poikkeava menettely on suunniteltu ja toteutetaan siten, ettei lentoturvallisuutta vaaranneta.”

Ilmailun kansallinen säädöskokoelma löytyy Trafín sivuilta, <http://www.trafi.fi/ilmailu/saadokset> sekä miehittämätöntä ilmailua koskevaa tarkempaa ohjeistusta https://www.trafi.fi/ilmailu/miehintamaton_ilmailu. Säädöksistä erityisen tärkeä on miehittämätöntä ilmailua koskeva määräys OPS M1-32 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf, /4/.

Käytännön ohjeistusta ja tiedotteita löytyy myös aikaisemmin mainitusta Suomen ilmailukäsikirjasta sekä laajemmin ANS Finlandin (Air Navigation Services Finland Oy) ylläpitämiltä ilmailutiedotuspalvelun (AIS) sivuilta www.ais.fi, /11/.

Sivuilta löytyy Suomen Ilmailun käsikirja (AIP Suomi-Finland). Dokumentti sisältää pysyväisluonteiset ilmailun perustiedot, kuten tiedot määräyksistä, lentoasemista, lentoreiteistä ja lentomenetelmistä sekä muut tiedot, joita tarvitaan Suomessa lentämiseen.

7.3 Kansalliset ilmailuviranomaiset ja -toimijat

Kansallisena ilmailun turvallisuusviranomaisena toimii Liikenteenturvallisuusvirasto Trafi (www.trafi.fi), joka sääntelee määräyksin ilmailulain nojalla ne kansallisen ilmailun alueet, joita Euroopan unioni ei sääntele. Suomen ilmatilan käytön hallinnasta sekä lentoreitti- ja lennonvarmistuspalveluista lentoasemilla Suomessa vastaa ANS Finland Oy (<https://www.ansfinland.fi>), joka ylläpitää myös ilmatilan hallintayksikköä (AMC).

7.4 Kansainvälinen sääntely

Kansainvälisesti tärkein ilmailun suosituksia ja sopimuksia valmisteleva tahon on YK:n alainen ICAO (International Civil Aviation Organization), <http://www.icao.int> . Järjestön merkitys on suuri siviili-ilmailun ja sen kansainvälisten pelisääntöjen kehittäjänä. ICAOn julkaisuja voi ladata järjestön kotisivujen kautta.

Keskeisin globaali ja edelleen voimassa oleva, siviili-ilmailua koskeva yleissopimus hyväksyttiin Chigagossa 1944 ja se käsittelee nimensä mukaisesti ainoastaan siviili-ilmailua.

Tärkeä, erityisesti miehittämättömien ilma-alusten sääntelyä valmisteleva kansainvälinen elin on JARUS (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems), <http://jarus-rpas.org> .

JARUS muodostuu pääosin kansallisten ilmailuviranomaisten palveluksessa olevista asiantuntijoista. Euroopan unioni ja Suomi ovat pitkälle sitoutuneet viemään lainsäädäntöönsä järjestön toimesta laaditut suositukset. Myös suomalaisia asiantuntijoita osallistuu suositusten valmistelutyöhön.

Euroopan unionin ilmailun turvallisuusviranomaistehtäviä hoitavat unionin lentoturvallisuusvirasto EASA (European Aviation Safety Agency) sekä kansalliset ilmailuviranomaiset. EASA toimii komission asiantuntijaelimenä ja valmistelee ilmailua sääntelevät direktiivit. Viraston kotisivut, <http://easa.europa.eu> .

Euroopan ilmaliikenteen hallinnasta, lennonjohtopalvelujen sekä muiden lennonvarmistus-palvelujen (ATM) suunnittelusta ja kehittämisestä vastaa monikansallinen ja valtioiden välinen organisaatio Eurocontrol.

7.5 Viranomaisvaatimukset RPA-lentotoiminnan harjoittamiselle

7.5.1 Vaatimukset ansiolentotoiminnan harjoittaminen RPA-ilma-aluksilla

Ansiolentotoimintaa miehittämättömillä ilma-aluksilla sääntelee ilmailulaki, aluevalvontalaki sekä viranomaisten antamat määräykset ja ohjeet. Määräyksistä tärkein on jo edellä mainittu OPS M1-32 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen.

OPS M1-32 mukaan kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen ansiolentotoiminnassa eli lentotyössä ei vaadita varsinaista lentotyölupaa eikä kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttämiseen sovelleta muutoinkaan lentotyöstä annettuja muita

säädöksiä ja määräyksiä. Toimintaohje tai laajempi toimintakäsikirja tulee kuitenkin aina laatia ansiolentotoimintaa harjoitettaessa, lisätietoja kohta 8.2.

Ansiolentotoiminta miehittämättömällä ilma-aluksella edellyttää toimijailmoituksen tekemistä Liikenteen turvallisuusvirastolle Trafille. Samalla ilma-alus/-alukset rekisteröidään Trafín tietojärjestelmään. Trafi antaa toimijailmoituksen tekemisen yhteydessä diaarinumeron, joka on samalla myös laitteiden rekisterinumero.

Trafín mukaan minimivaatimukset lentotyölle ovat (Trafi, https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/rpas_lentotyö):

- Tee toimijailmoitus Trafín sähköiseen järjestelmään ja muista pitää ilmoituksen tiedot päivitetynä, kun yhteystietosi tai ilma-aluksesi muuttuvat. Ilmoitus maksaa 20€ / vuosi.
- Hae vastuuvakuutus kolmansien osapuolien vahinkoja vastaan, joka täyttää vakuutusasetuksen (EY) 785/2004 vaatimukset. Vakuutusta hakiessasi tarvitset diaarinumeron Trafilta todisteeksi toimijailmoituksesta, joten pyydä numero sähköpostilla Trafilta (RPAS (at) tra.fi). Vakuutuksia on ollut kokemusten perusteella helpompaa saada ulkomaisilta vakuutusyhtiöiltä.
- Merkitse kaikki ilma-aluksesi tarralla, josta käy ilmi vastuullisen henkilön nimi ja yhteystiedot.
- Kirjaa ylös vaaditut tiedot kaikista lennoistasi lentopäiväkirjaan. Toteutustapa lentopäiväkirjasta on vapaa kunhan siitä käy ilmi kaikki tarvittavat tiedot ja tietoja säilytetään vähintään kolme vuotta.
- Kun lennätyksen yhteydessä sattuu vahinko tai läheltä piti tilanne, tulee asiasta laatia raportti Trafille. Raportin tekeminen ei johda rangaistukseen vaan tilanteita katsotaan ilmailun "Just Culture" käytäntöjen mukaan oppimistarkoituksessa.

Toimijailmoitus

Toimintailmoituksen tekemisen yhteydessä kauko-ohjatun ilma-aluksen käyttäjän on ilmoitettava Trafille seuraavat tiedot:

- a) tiedot käyttäjästä,
- b) tekniset perustiedot ilma-aluksesta, (aluksista, jos useita)
- c) toiminnan laatu ja laajuus,
- d) tieto siitä, aiotaanko toimintaa harjoittaa asutuskeskuksen tiheästi asutulla alueella,
- e) tieto siitä, aiotaanko toimintaa harjoittaa ulkosalle kokoontuneen väkijoukon yläpuolella.

Mikäli ilmoitetuissa tiedoissa tapahtuu muutoksia, käyttäjän on ilmoitettava niistä viipymättä Trafille.

Lennättämiseen käytetyistä ilma-aluksista on käytävä ilmi sen käyttäjän nimi ja yhteystiedot.

Lentopäiväkirja

Kauko-ohjatuista lennoista on pidettävä lentopäiväkirjaa ja tallennettava seuraavat tiedot:

- a) lennätyksen päivämäärä,
- b) lennätyspaikka,
- c) ilma-aluksen päällikkö,
- d) ilma-aluksen valmistaja ja malli,
- e) lennätyksen tai lennätysjärjen alkamis- ja päättymisaika,
- f) onko kyseessä:
 - 1) suoraan näköyhteyteen perustuva toiminta (VLOS) vai
 - 2) suoran näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta (BVLOS),
- g) lennätystehtävän luonne sekä maininta mahdollisesta kauko-ohjaustähystäjän käytöstä.

Tiedot lennätyksistä tulee säilyttää kolmen vuoden ajan.

Muita vaatimuksia

Ilman erillistä lupaa RPA-ilma-aluksen lentoonlähtömassa (MTOM) saa olla enintään 25 kg.

Lennätykset on suoritettava siten, että niistä aiheutuva vaara ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen sekä meluhaitat ovat mahdollisimman pienet.

Lennätykset on suoritettava siten, että ne eivät vaaranna, haittaa eivätkä estä hätä-, onnettomuus-, pelastus- tai vastaavaan poikkeustilanteeseen paikalle saapuvan yksikön tai viranomaisen toimintaa.

Kauko-ohjaajan on kyettävä käyttämään turvallisesti ilma-alusta ja hallittava hätätilanteiden edellyttämät toimenpiteet.

Kauko-ohjatusta lennosta vastaavan on oltava vähintään 18-vuotias.

Kauko-ohjatussa ilma-aluksessa on oltava järjestelmä tai kauko-ohjaajalla menettely siltä varalta, että ohjaukseen tai valvontaan tarvittavat yhteydet katkeavat tai ilma-alus vikaantuu niin, että sen ohjaaminen estyy. Järjestelmän tai menettelyn on varmistettava, että ulkopuolisille ihmisille ja heidän omaisuudelleen aiheutuva vaara on mahdollisimman pieni.

Miehittämättömiä ilma-aluksia saa näköyhteydellä kauko-ohjatusti lennättää valvomattomassa ilmatilassa, jota on suuri osa Suomen lentoasema-alueiden ulkopuolisesta ilmatilasta, enintään 150 metrin korkeudella. Käytön on oltava näköyhteyteen perustuvaa toimintaa (VLOS).

Usein aikaisemmin sallituksi vaakasuuntaiseksi enimmäisetäisyydeksi VLOS-toiminnassa on tulkittu 500 metriä, kun toimitaan ilman kaukotähystäjää.

Kauko-ohjatun ilma-aluksen on oltava koko ajan ohjattavissa ja sitä on lennätettävä vallitsevan sään ja valoisuuden huomioon ottaen riittävän lähellä kauko-ohjaajaa tai kauko-ohjaustähystäjää niin, että muu ilmailiikenne ja esteet voidaan havaita ja kyetään arvioimaan väistämistarve luotettavasti suoran näköyhteyden perusteella ilman apuvälineitä.

Kauko-ohjatun ilma-aluksen lennättäminen lentoaseman läheisyydessä eli lähialueella (CTR, Control Zone), lentopaikan lentotiedotusvyöhykkeellä (FIZ, Flight Information Zone) tai radiovyöhykkeellä (RMZ, Radio Mandatory Zone) on sallittua enintään 50 metrin korkeudella maan tai veden pinnasta, kun vaakasuora etäisyys kiitotiestä on vähintään viisi kilometriä. Mikäli on tarve lennättää lähempänä kiitotietä tai korkeammalla kuin 50 metriä edellä luetelluilla alueilla, lennätyksistä on sovittava erikseen ilmailiikennepalvelun tarjoajan kanssa.

Kauko-ohjatun ilma-aluksen on väistettävä muita ilma-aluksia.

Lisäksi lennättämiselle väkijoukon päällä tai kaupunkien tiheästi asuttujen alueiden yläpuolella on asetettu erityisvaatimuksia.

Erillisestä hakemuksesta määräyksen OPS M1-32 vaatimuksista voi poiketa. Hakemus tulee osoittaa Trafille.

Täydentäviä tietoja on määräyksessä OPS M1-32 ja Trafain sivuilta.

7.5.2 BVLOS-toiminnan lisävaatimukset

Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta on suoritettava tarkoitusta varten erikseen varatulla alueella (vaara-alueen perustaminen) ja toiminnassa on noudatettava seuraavia ehtoja:

- a) Ilma-aluksen käyttäjä on laatinut aiotusta toiminnasta kirjallisen turvallisuusarvioinnin, joka sisältää vaaratekijöiden tunnistamisen, riskien arvioinnin ja riskien vähentämisen,
- b) Ilma-aluksen käyttäjä on laatinut kirjallisen toimintaohjeistuksen (lentotoiminnan käsikirja, toimintakäsikirja), joka sisältää kuvauksen normaalitoiminnasta sekä toiminnasta häiriötilanteissa.

Edellä a) ja b) kohdissa tarkoitetut asiakirjat tulee säilyttää vähintään kolmen kuukauden ajan kyseisestä toiminnasta lukien ja esitetään pyynnöstä valvontaviranomaiselle.

7.6 Ilmatilan varaaminen ja varauksen aktivointi BVLOS-toimintaa varten

7.6.1 Ilmatilan varaaminen eli tilapäisen vaara-alueen perustaminen

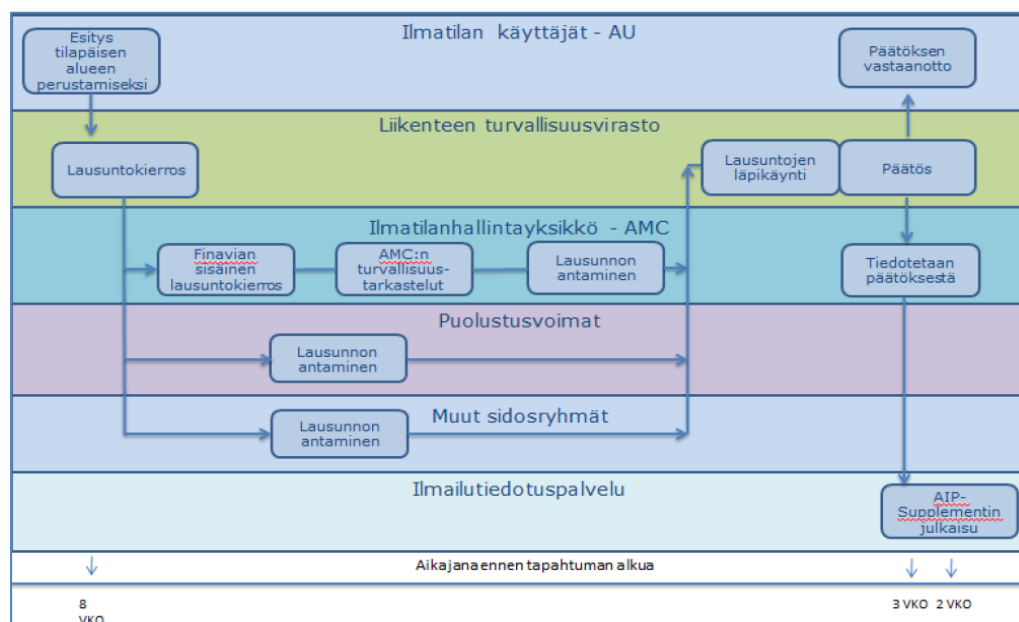
OPS M1-32:n mukaan miehittämättömällä ilma-aluksella lentotoiminta näköyhteyden ulkopuolella (BVLOS) vaatii aina ilmatilan varaamista myös valvomattoman ilmatilan osalta (pl. valtion viranomaiset poikkeustapauksissa). Ilmailuviranomaiset voivat hakemuksesta varata ilmatilan miehittämättömien ilma-alusten lentotoimintaa varten eli perustaa ns. tilapäisiä vaara-alueita (Tempo D).

Liikenteen turvallisuusvirasto voi päätöksellään perustaa tilapäisiä vaara-alueita mm. miehittämättömän ilmailun mahdollistamiseksi ja yleis- ja harrasteilmailun tarpeisiin. Varauksen kesto voi olla enintään kalenterivuosi kerrallaan.

Tilapäisiä vaara-alueita voidaan perustaa ilmailulain 11 § mukaisesti myös AMC¹⁰:n itsenäisillä toimenpiteillä enintään kahden viikon ajaksi seuraavin periaattein:

Suunnitelmallisista vaara-alueäärityksistä (2-8 viikkoa ennen toiminnan aloitusta) pyritään julkaisemaan AIP-supplement¹¹. Tällaisia tarpeita ovat lentotoiminta miehittämättömällä ilma-aluksella näköyhteyden ulkopuolella yhteiskunnallisesti hyödylliseen testaus- ja tutkimustoimintaan liittyen tai muu erityinen tilapäinen syy poiketa normaalista aikataulusta. Kyseessä voisi esimerkiksi olla voimalinjojen tarkastaminen miehittämättömällä ilma-aluksella tai tähän rinnastettava toiminta.

Akuutit (alle kaksi viikkoa ennen toiminnan aloitusta) vaara-alueääritykset osoitetaan vain NOTAM¹²-tiedotteella. Tällainen tarve voisi aiheutua esimerkiksi myrskytuhojen kartoittamisesta miehittämättömällä ilma-aluksella tai tähän rinnastettavasta toiminnasta.



Kuvassa 6. on kaavioesitys ilmatilan normaalin ilmatilavarauksen kulusta

¹⁰ AMC = Air Management Cell (= ANS Finlandin ilmatilan hallintayksikkö)

¹¹ AIP supplement = Aeronautical Information Publication (Ilmailutiedote)

¹² NOTAM = Notice to Airmen (Ilmailutiedotussähke)

Mikäli tilapäisellä vaara-alueella toimitaan miehittämättömällä ilma-aluksella, eikä lentosääntöjä voida noudattaa ilmailulain 9 § mukaisesti, lentoturvallisuuden varmistamiseksi perustettavan tilapäisen vaara-alueen NOTAM-julkaisussa on oltava vaara-alueella toimivan tahon varmistetut yhteystiedot.

Trafi suosittelee, että pitkäkestoinen tilapäinen ilmatilanvaraus tehdään verkkoyhtiön toimesta. Varaushakemuksessa on lueteltava mm. toiminnan luonne ja kaikki varausta hyväksi käyttäen lentävät tahot (muut kuin ilmoitetut tahot eivät saa lentää tehdyllä varauksella). Lentotoiminnasta vastaavaksi henkilöksi on nimettävä yksi henkilö, jolla voi olla varamies. Tämä henkilö vastaa kaikkien varausluvalla lentävien tahojen lentotoiminnan koordinoinnista ja henkilö (tai varahenkilö) on aina oltava tavoitettavissa ilmoitetuista yhteystiedoista (puhelinnumerosta) lentotoiminnan aikana.

Ilmatilavarausta tulee hakea Trafilta vähintään 8 viikkoa ennen ensimmäistä toimintapäivää. Ilmatilavaruksella luodaan aikaisemmin mainittu tilapäinen vaara-alue (Tempo D), josta julkaistaan lentäjiä varoittava kartta ja NOTAM-tiedote.

- Ilmatilavaraushakemus lähetetään Trafian kirjaamoon sähköosoitteeseen kirjaamo (at) trafi.fi.
- Linkki ilmatilanvarauksen tekemiseksi, linkin takaa löytyy ohjeet hakemuksen täyttämiseen: http://www.trafi.fi/ilmailu/lennonvarmistus_ja_ilmatila/ilmatila .

Virallisesti vahvistetusta ilmatilanvarauksesta tehdään tiedote AIP Supplement-sivuille, <https://www.ais.fi/ais/aipsup/AipSup.htm> .

Ilmatilan varauspäättös on maksullinen. Hinta raportin kirjoittamisen hetkellä on 320 €.

Lisätietoja ASM¹³-toimintakäsikirjasta

https://www.trafi.fi/filebank/a/1478763420/8d90860470f2d078ffc2099c9c466bf7/23008-ASM-Toimintakasikirja_1.pdf ,/12/ ja sovelletuista säädöksistä: Ilmailulaki (864/2014), Laki ilmailulain muuttamisesta (61/2016), Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista (930/2014), Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (614/2015), Liikenne- ja viestintäministeriön asetus Liikenteen turvallisuusviraston maksullisista suoritteista 1585/2015.

7.6.2 Ilmatilavarauksen aktivoiminen

Ilmatilanvaraus (vaara-alue) on aktivoitava ennen lentotoiminnan aloittamista. Normaalisti aktivointi on tehtävä toimintapäivää edeltävänä arkipäivänä viimeistään klo 12 varausluvassa annettuja yhteystietoja ja välineitä käyttäen ennen lentotoiminnan aloittamista. Joillain alueilla luvassa voidaan lisäksi edellyttää aluelennonjohdolle ilmoitusta n. 15 minuuttia ennen lentotoiminnan aloittamista sekä ilmoitusta toiminnan päättymisestä, kun luvanvarainen lehtotoiminta loppuu ko. päivänä.

¹³ ASM toimintakäsikirja = Dokumentti ilmatilan joustavan käytön menetelmistä

Tietyissä erikoistilanteissa (esim. vakavat myrskyvauriot) aktivoinnin voi tehdä lyhyemmälläkin varoitusajalla AMC:lle (samana päivänä).

Tällöin AMC varmistaa varaajan ilmoittamat tiedot ja koordinoi varauksen aktivoitumisen vaikuttavien ATS¹⁴-yksiköiden kanssa. AMC ilmoittaa varausta pyytäneelle toimijalle varauksen voimaantulosta.

AMC:lla on oikeus keskeyttää aktivoitua vaara-alueella olevan ilmailulle vaarallisen toiminnan lentoturvallisuuden varmistamiseksi tai mikäli lentoliikenteen sujuvuus häiriintyy. Tämän varmistamiseksi on luotava varmistetut yhteydenpito-menettelyt vaara-alueen toimijan ja AMC:n välille.

Ilmatilavarauksen aikarajoja ei saa ylittää ja aktivoitua ilmatilavaraukset ja vaara-alueet tulee vapauttaa varaustarpeen päätyessä ennen aikarajaa ilmoittamalla siitä AMC:lle, p. 03 386 9851 (tai Suomen aluelennonjohdolle, p. 03 286 5172).

7.7 Lentoalueet ja aluevalvontalaki

7.7.1 Lentokieltoalueet

Lentokieltoalueet löytyvät AIP käsikirjasta <https://www.ais.fi/ais/aip/fi/index.htm> kohdasta 5.1 KIELTO-, RAJOITUS- JA VAARA-ALUEET. Ilmailua on myös rajoitettu eräillä muilla alueilla, jotka on esitetty myös ilmailukäsikirjan kohdassa 5.

Lisäksi miehittämättömien ilma-alusten käyttöä on rajoitettu lentoasemien läheisyydessä ja lentokorkeus on rajoitettu, lisätietoa kohta 7.5.1, Finavian verkkosivut <https://www.finavia.fi/fi/ilmatilan-kayttajille/dronet/> sekä Trafifin sivu https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/missa_saan_lentaa.

Ilmailulain muutoksella 61/2016 on valtioneuvostolle, Trafille ja AMC:lle annettu seuraavat valtuudet rajoittaa tai kieltää ilmailu tietyin perustein:

- Valtioneuvoston asetuksella voidaan rajoittaa ilmailua tai kieltää se valtion johtamisen, maanpuolustuksen, rajavalvonnan, pelastustehtävien tai varautumisen kannalta tärkeiden kohteiden ja alueiden yläpuolella taikka ympäristön suojelemisen kannalta valtakunnallisesti tärkeiden alueiden yläpuolella
- Liikenteen turvallisuusvirasto voi erityisistä syistä myöntää luvan ilmailuun kieltoalueella kuultuaan niiden tahojen edustajia, joiden suojaamiseksi alue on perustettu. Kuulemisesta säädetään tarkemmin valtioneuvoston asetuksella. Jos kieltoalue on perustettu jonkin laitoksen suojaamiseksi, on laitoksen huoltoon tai muuhun sen toimintaan tai käyttöön nimenomaisesti liittyvä ilmailu kuitenkin sallittu. Rajoitusalueella ilmailu on sallittu vain puolustusvoimien luvalla tai puolustusvoimien asettamilla erityisehdoilla.
- Liikenteen turvallisuusviraston määräyksellä tai päätöksellä voidaan osoittaa vaara-alueiksi alueita, joissa vaihtelevasti määräaikoina saatetaan harjoittaa ilma-alusten lentoturvallisuuden vaarantavaa toimintaa.

¹⁴ ATS = Air Traffic Services (Ilmaliikennepalvelu)

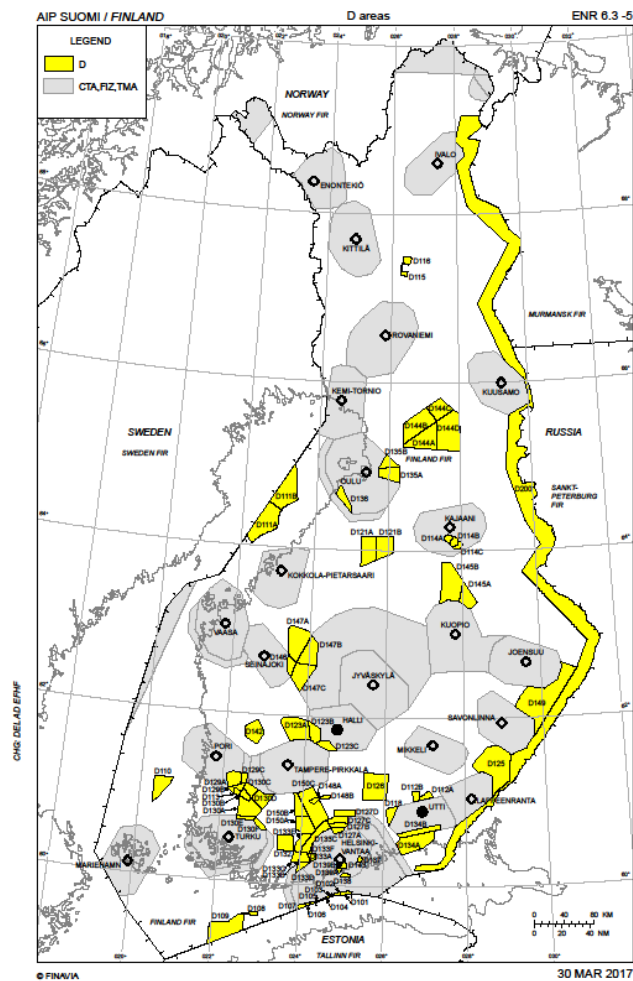
Ilma-alusten lentoturvallisuuden vaarantavan toiminnan alkamisesta ja loppumisesta vaara-alueella on ilmoitettava aluelennonjohdolle.

- EU:n FUA-asetuksessa tarkoitettu ilmatilan hallintayksikkö voi lisäksi erityisestä syystä määrittää ja osoittaa tilapäisen vaara-alueen enintään kahden viikon ajaksi.

7.7.2 Vaara-alueet (D-alue)

Vaara-alueilla voi olla ilma-alusten lentoturvallisuudelle vaarallista toimintaa, kuten Puolustusvoimien ammuksia kansainvälisen merialueen yläpuolisessa ilmatilassa, vilkasta purjelentoa, lennätyksiä miehittämättömillä ilma-aluksilla näköyhteyden ulkopuolella, hätärakettiammuksia minimilentokorkeuksien yläpuolelle jne., kuva 7.

Aktivoidulle vaara-alueella saa lentää ilma-aluksen päällikön harkinnan mukaan, mutta ohjaajan tulee tiedostaa alueelle lentämisestä aiheutuvat riskit. Ennen vaara-alueelle lentämistä ilma-aluksen päällikön tulee selvittää vaara-alueella olevan toiminnan luonne. Mikäli ilma-aluksen päällikkö päättää lentää aktiiviselle vaara-alueelle, tulisi lentotoiminta koordinoita vaara-alueella toimivan tahon kanssa lentoturvallisuuden varmistamiseksi.



Kuva 7. D-vaara-alueita (keltaisella)

7.7.3 Puolustusvoimien alueet sekä pysyvän rajoituksen piirissä olevat P-alueet

Aluevalvontalaissa (755/2000) kielletyt alueet:

Aluevalvontalaki kieltää sotilaskohteiden valokuvauksen. Lisäksi kielletään muidenkin pysyvästi ilmailulta kiellettyjen alueiden ilmakuvaukset, nämä alueet on merkitty ilmailukarttaan R- tai P-tunnuksella, kuvat 8 ja 9. Siis myös esimerkiksi ydinvoimaloita ei saa ilmakuvata ilman lupaa, ei edes alueen ulkopuolelta.

Aluevalvontalaki <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000755> sekä Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista (930/2014), Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (614/2015). Lainaus aluevalvontalaista:

”14 § Maanpuolustuksen kannalta merkityksellisten kohteiden tutkiminen ilma-aluksesta:

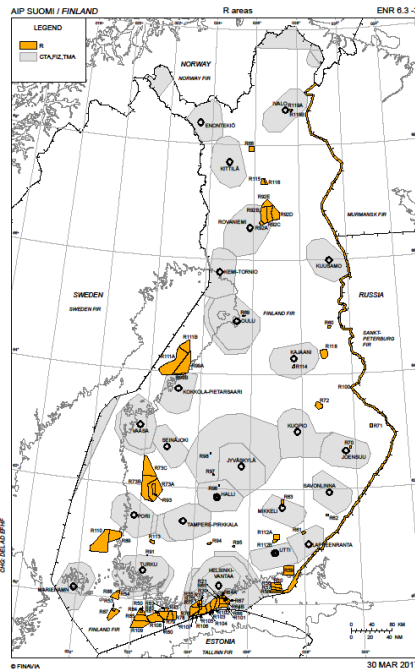
Ellei Suomea velvoittavasta kansainvälisestä sopimuksesta muuta johdu, Suomen alueella ei ilman lupaa saa lennon aikana ilma-aluksesta tai muusta ilmassa liikkuvasta laitteesta taltioida tietoa sähkömagneettisilla tai akustisilla kuvaamisen tai kuvantamisen menetelmillä:

- 1) ilmailulain (864/2014) 11 §:n 1 momentin nojalla ilmailulta pysyvästi rajoitetuista alueista;
- 2) linnoitusalueista, linnakkeista tai kasarmialueista;
- 3) sotasatamista tai sotilaslentokentistä;
- 4) puolustusvoimien varikoista tai varastoista;
- 5) puolustusvoimien viestiasemista, antennikentistä tai puolustuslaitteista tai –välineistä;
- 6) puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen maastoharjoituksista”.

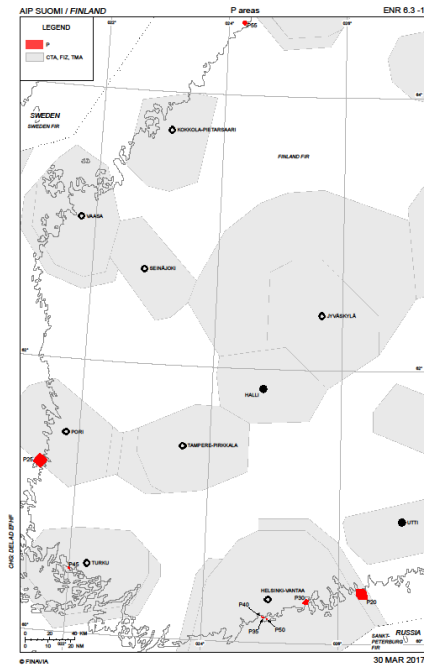
Kielto ei koske tiedon taltioimista yleisessä liikenteessä olevasta ilma-aluksesta yksityiseen tarkoitukseen. Esimerkiksi reittilentokoneen ikkunasta saa ottaa kuvia.

R-alueet ovat Puolustusvoimien kohteita, joita ei saa kuvata ilman pääesikunnan lupaa.

P-alueilla sijaitsee mm. ydinvoimalat sekä eräät valtionhallinnon tärkeät kohteet.



Kuva 8. Kielletyt R-alueet (oranssilla)



Kuva 9. kielletyt P-alueet (punaisella)

7.7.4 Ilmakuvauslupa

Laajoja alueiden (yli 10 km²) ilmakuvaus on luvanvaraista toimintaa. Luvan ilmakuvaukseen myöntää pääesikunta. Rajoitusalueen EF R28 (Itäinen rajoitusalue) sekä siellä sijaitsevan kohteen ja toimintojen ilmakuvaukseen luvan myöntää rajavartiolaitos.

Ilmakuvauslupahakemus tulee jättää joko sähköisesti osoitteella permit.defcom@mil.fi tai Pääesikunnan kirjaamoon postitse osoitteella:

Puolustusvoimat

Pääesikunta / Operatiivinen osasto

PL 919

00131 Helsinki

Hakemuksen tulee sisältää kuvausalue karttaliitteenä sekä paikkatietomuodossa (ESRI, shp, KMZ) tai koordinaattikulmapisteinä. Ilmakuvauslupa voi sisältää ehtoja tai rajoitteita.

Hakemuslomakkeita on saatavissa pääesikunnasta ja ATS-elimiltä lentoasemilta. Tarkempia tietoja ilmakuvausluvista antaa: Pääesikunnan operatiivinen osasto, p. 0299 510 333 ja 0299 510 334 sekä <http://puolustusvoimat.fi/ilmakuvauslupa>.

PV:n ohjeita ilmakuvaajalle

Maanpuolustuksen kohteiden kuvaaminen ja tutkiminen ilmasta on luvanvaraista. Kohteet voivat olla liikkuvia tai muuttuvia, joten ilmakuvaukseen tarvitaan usein lupa.

Lupaa tarvitaan kaikkeen laajamittaiseen kuvaukseen lentokoneesta tai kauko-ohjattavasta lennokista. Lentokorkeus tai -kalusto ei muuta luvan tarvetta.

Luvat myöntää Pääesikunta. Luvan hinta on 80 euroa puolustusministeriön asetuksen 1198/2016 mukaisesti.

Lupaa ei yleensä tarvita, kun

- Kuvattava kohde on etukäteen tunnettu ja tunnistettu eikä sisällä aluevalvontalain 14 § mukaisia kohteita, kuten joukkoja, rakennuksia tai aluksia
- Kuvaus ei ole laajamittaista vaan kohdistuu ennalta määriteltyyn kohteeseen, kuten kapeaan sähkölinjaan, kortteliin, puistoalueeseen, tuotantoalueeseen tai metsäpalstaan (alle 10 km²)
- Lennättäminen tai lentäminen tapahtuu voimassa olevien ilmailun määräysten ja säädösten mukaisesti

Pääesikunnan kesäkuussa 2017 antaman tulkinnan mukaan ilmakehuvauslupaa ei tarvita, mikäli vianpaikannuslentoja tehdään ainoastaan voimajohtolinjojen yläpuolella eikä lennetä miltään osin puolustusvoimien kohteiden päällä.

Hyvin tarkkaa kuvaus- ja mallinnusmateriaalia ei saa julkaista luvanvaraisista kohteista. Kaikki tarkemmalla kuin 30 cm:n maastoresoluutiolla tai nimellistarkkuudeltaan siihen rinnastettavalla menetelmällä tuotettu kuvaus- ja mallinnusmateriaali luvanvaraisista kohteista on lähtökohtaisesti tiedon suojaustasolla IV "Käyttö rajoitettu Julkisuuslain (621/1999) 24.1 10 kohdan mukaisesti".

Älä julkaise luvanvaraista materiaalia tai luovuta sitä eteenpäin ilman Pääesikunnan tarkastusta ja lupaa. Sotilaskohteen luvaton kuvaaminen on rangaistava teko.

Rajoitusalueisiin kohdistuvat ilmakehuvausaineistot on tarvittaessa heikennettävä 30 cm resoluutioon/pikseli ja laserkeilausaineisto 0,3 pistettä/m².

Viranomaiskäyttöön tai muusta perustellusta syystä voidaan myöntää erikseen lupa tarkemmalle ilmakehuvausaineistolle. Luvan myöntää Pääesikunta.

Puolustusvoimilla on myös oikeus vaatia kuvausilmoitus ja tarkastaa tallennettu kuvaus- tai mallinnusmateriaali.

7.8 Miehittämättömän ilmailun sääntelyyn tulossa olevia muutoksia

EASA on valmistelemassa laajaa miehittämättömien ilma-alusten sääntelyn uudistusta. Tavoitteet uudelle sääntelylle (lainaus EASA:n dokumentista):

“In view of the adoption of this new Regulation, the objective of this Notice of Proposed Amendment (NPA) 2017-05 is:

— to ensure an operation-centric, proportionate, risk- and performance-based regulatory framework for all UAS operations conducted in the open and specific category;

— to ensure a high and uniform level of safety for UAS; — to foster the development of the UAS market; and

— to contribute to enhancing privacy, data protection, and security.”

Uudessa mallissa miehittämätön ilmailu on jaettu kolmeen luokkaan toiminnan vaativuuden mukaisesti:

1. Open, 2. Specific ja 3. Certified.

Kahden ensimmäisen luokan osalta EASA on julkaissut kaksiosaisen taustoitus- ja luonnosdokumentit (osat A ja B) ja ne ovat ladattavissa EASAn kotisivuilta, http://rpas-regulations.com/wp-content/uploads/2017/05/EASA_NPA-2017-05A_170505_TR.pdf ja http://rpas-regulations.com/wp-content/uploads/2017/05/EASA_NPA-2017-05B_170512_TR.pdf .

Lainauksia EASA:n määräsluonnoksesta; B-osa, luku 3:

” ‘Open category’ means a category of UAS operation that, considering the risks involved, neither requires a prior authorisation by the competent authority, nor a declaration by the UAS operator before the operation takes place”,

“ ‘Specific category’ means a category of UAS operation that considering the risks involved, requires an authorisation by the competent authority before the operation takes place, taking into account the mitigation measures identified in an operational risk assessment, except for certain standard scenarios for which a declaration by the UAS operator is sufficient” ja

“ ‘Certified category’ means a category of UAS operation that, considering the risks involved, requires the certification of the UA and its operator, as well as licensing of the flight crew”.

Kategoriat on jaettu vielä alaluokkiin. Lisäksi lentotoimintaan käytettävät UA-laitteet ehdotetaan luokiteltavaksi ominaisuuksiensa perusteella viiteen (C0 - C4) eri luokkaan. Luokka vaikuttaa muun muassa laitteen sallittuun käyttöjännitteeseen, sallittuun suurimpaan lentoonlähtömassaan sekä sallittuun enimmäislentokorkeuteen. Myytävien laitteiden tulee olla CE-hyväksytyjä.

EASAn tavoitteena on, että määräsluonnosdokumenttien pohjalta Euroopan unioni antaa uudet miehittämätöntä ilmailua koskevan direktiivin, jonka odotetaan tulevan voimaan H1/2018 aikana, kuva 10. Jäsenvaltioiden on vietävä määräykset osaksi kansallista lainsäädäntöä 2-3 vuoden siirtymäajan kuluessa. Pääosin uusien määräysten tulisi olla voimassa 2021.



Kuva 10. EU:n miehittämättömän ilmailun uuden sääntelyn aikataulu

Uuden direktiivin myötä kansallinen päätäntävalta siirtyy Euroopan unionille myös lentoonlähtömassaltaan alle 150 kg:n miehittämättömien ilma-alusten osalta. Uusi sääntely tiukentaa huomattavasti miehittämättömien ilma-alusten käyttöä ja sillä tulee olemaan merkittävä vaikutus multikopterien käyttöön myös verkostovikojen paikantamisessa. Siksi suositellaan ammattimaista toimintaa RPA-ilma-aluksilla harjoittavien tai sitä suunnittelevien tahojen tutustuvan edellä mainittuihin EASA:n dokumentteihin, erityisesti B-osan kohdan 3. määräyslunnokseen ja sen liitteisiin.

8 KÄYTÄNNÖN VAATIMUKSIA JA OHJEITA LENTOTOIMINNAN HARJOITTAJALLE JA ILMA-ALUKSEN PÄÄLLIKÖLLE

8.1 RPA-alusten lennättäminen näköyhteydellä (VLOS-toiminta)

Toistaiseksi miehittämättömien ilma-alusten lennättäminen ei vaadi muodollista pätevyyttä (lupakirjaa), joten alkuun pääsemiseksi riittää perustiedot ilmailusta, miehittämättömien ilma-aluksien lennättämisen määräysten tunteminen sekä ohjaajalla riittävät taidot aluksen lennättämiseen. Tarpeellisen osaamisen voi hankkia koulutuspalveluihin erikoistuneelta yritykseltä (kurssit) sekä maahantuojan tai myyjän järjestämän perehdyttämisen ja riittävän harjoittelun avulla.

Käytännön taidot ilma-aluksen ohjaamiseen ja navigointiin on välttämätöntä hankkia harjoittelemalla lennättämistä aloittaen helpossa ja riskittömässä ympäristössä. Hyviä harjoittelupaikkoja ovat isot ja tyhjät parkkialueet, varastokentät tai peltoalueet sekä ilmailukerhojen RC-lennättämiseen varatut alueet. Harjoittelun yhteydessä on opeteltava kunnolla myös kameran käyttämiseen liittyvät niksit. RPA-aluksesta ja järjestelmästä riippuen ohjaajalle suositellaan ilmailun perusteiden lisäksi vähintään 5 tunnin (kuvaus)lento-kokemusta ennen sähköverkostoon kohdistuvia lentoja. BVLOS-lennättämiseen ei pidä ryhtyä ennen kuin lentotoiminta näköyhteydellä sujuu rutiininomaisesti.

8.2 Lentotoiminnan toimintakäsikirja lentotyötä ja BVLOS-toimintaa varten

Kaupallisen ilmailun eli lentotyön harjoittajan on laadittava ja annettava operatiivisen henkilöstön käyttöön toimintakäsikirja. Toimintakäsikirjan laajuus riippuu kyseisen lentotoiminnan laajista ja laajuudesta. Trafín sivuilta https://www.trafi.fi/ilmailu/miehittamaton_ilmailu/rpas_lentotyö löytyy mallipohja toimintakäsikirjan laatimiseksi miehittämätöntä ilmailua varten. Toimintakäsikirja on syytä laatia myös harjoitettaessa VLOS-toimintaa ammattimaisesti.

Toimintakäsikirjan osa A sisältää tietoa käsikirjan ylläpidosta, lentotoiminnan harjoittajan organisaatiosta ja vastuista, laatu järjestelmästä, lentotoiminnan toiminnanohjauksesta ja menetelmistä (esim. prosessikuvaukset, tarkistuslistat jne.), lentosäännöistä, toiminta erilaisissa sääolosuhteissa, turvamenetelmistä, poikkeamien käsittelystä sekä toiminnan kehittämisestä, ylläpidosta ja huollosta.

Toimintakäsikirjan osa B esittää kutakin käytettävää ilma-alusyksilöä koskevat ohjeet. Ohjeet sisältävät mm. ilma-aluksen yleiset tiedot ja suoritusarvot, toimintarajoitukset, normaalit menetelmät sisältäen tarkistuslistat, poikkeus- ja hätätilannemenetelmät, ohjeet lennon suunnitteluun sekä kuvauksen ilma-aluksen järjestelmästä. Lisäksi osassa B tulee esittää, miten varmistetaan, että lentotoiminnassa täytetään suoritusarvoja koskevat vaatimukset. Myös minimivarusteluettelo eli MEL tulee esittää osassa B.

Toimintakäsikirjan osa C sisältää toiminta-alueet, mahdolliset lentoreitit ja erilaiset kartat (luettelo myös sähköisistä kartoista).

Toimintakäsikirjan osa D esittää lennon valmisteluun ja/tai suorittamiseen osallistuvan operatiivisen henkilöstön vaatimukset, koulutusohjelmat ja koevaatimukset. Mitä laajempaa lentotoiminta on, sitä vahvempaa tulee myös koulustoiminnan ja osaamisen kehittämisen olla.

Jos toimintakäsikirjassa tai toiminnassa on puutteita, pyytää Trafi lentotoiminnan harjoittajaa korjaamaan virheet ennen toimintakäsikirjan hyväksymistä. Toimintakäsikirja ei sinänsä koskaan tule kuitenkaan valmiiksi, sillä niin menetelmät kuin organisaatiotkin elävät ja kehittyvät. Näin ollen toimintakäsikirja vaatii jatkuvaa päivittämistä. Esimerkki toimintakäsikirjan sisällysluettelosta, kuva 11.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Muutostilanne ja voimassaolevien sivujen luettelo	1
3	Vastuuhenkilöiden ja lentotoimintahenkilöstön tehtävät ja vastuunjako	1
4	Turvallisuudenhallintajärjestelmän kuvaus	2
5	OM-A: Yleistä	3
5.1	Lentotoiminta	3
5.2	Lentotoiminnan ohjausjärjestelmä	3
5.3	Lento- ja työaikarajoitukset	3
5.4	Sääolosuhteet	3
5.5	Poikkeamista (onnettomuuksista/vaaratilanteista) ilmoittaminen	3
5.6	Turvatoimet	4
5.7	Lentokelpoisuus ja huolto	4
5.8	Erytislentotoiminta	4
6	OM-B: Ilma-alustyyppikohtaiset ohjeet	5
6.1	Yleistiedot	5
6.2	Hätämenetelmät	5
6.3	Suoritusarvot ja toimintarajoitukset	5
6.4	Minimivarusteet	5
6.5	Lentotiedot	6
7	OM-C: Toiminta-alueet, reitit ja kartat	7
8	OM-D: Henkilöstön kelpoisuus ja koulutus	8

Kuva 11. Esimerkki toimintakäsikirjan sisällysluettelosta

8.3 Perehtyminen sääntelyyn tulossa oleviin muutoksiin

Ammattimaisesti miehittämättömien ilma-alusten käyttöä suunnittelevien on syytä perehtyä toiminnan sääntelyyn tuleviin EU-tasoiisiin muutoksiin, lisätietoa kohta 7.8.

9 RPA-ILMA-ALUSTEN KÄYTÖN TALOUSVAIKUTUSTEN ARVIOINTI

9.1 Arvioinnissa käytetyt tiedot ja menetelmä

Miehittämättömien ilma-alusten käyttämisellä saavutettavissa olevan vikojen korjausajan lyhenemisen ja korjauskustannusten alenemisen arvioimiseksi tehtiin hankkeeseen osallistuvien verkkoyhtiöiden keskuudessa kysely, jossa verkkoyhtiöiltä pyydettiin ilmajohtoverkkospesifisiä vikatietoja sekä keskijännite-että pienjänniteverkon osalta. Viideltä verkkoyhtiöltä saatujen vastausten perustella laadittiin liitteessä 1. oleva yhteenveto. Verkkoyhtiöiltä saadut tiedot ovat osin puutteellisia ja tietoja on täydennetty Energiaviraston sivuilla olevista tilastotaulukoista.

Raporttia laadittaessa ei vielä ollut käytettävissä pilotoinnista saatavia kokemusperäisiä tietoja, joten RPA-laitteiden talousvaikutusten arviointi perustuu asiantuntijoiden parhaaseen näkemykseen. Arvioita täsmennetään myöhemmin pilotoinnin kokemusten perusteella ja päivitetty arvio esitetään pilotointiraportissa. Jäljempänä esitettävissä laskelmissa on hyödynnetty liitteen 1. tietoja, liitteessä 2. olevia oletuksia, liitettä 3. sekä saatua asiantuntijapalautetta. Esitettävät luvut edustavat parhaiten keskiarvoa ja itäisen Suomen maakunnallisten verkkoyhtiöiden toimintaympäristöä, jolloin suurin osa (>70 %) käyttöpaikoista sijaitsee haja-asutusalueella asemakaava-alueen ulkopuolella ja jakelumuuntaja on kytketty keskijännitteiseen ilmajohtoverkkoon.

9.2 Korjausaikojen lyheneminen ja korjauskustannusten työaikasäästöt

Miehittämättömillä multikoptereilla voidaan lyhentää vian korjausaikaa paikantamalla vika nopeammin. Vian paikantamisen odotetaan nopeutuvan suuresti koptereita käyttämällä. Korjausajan lyheneminen pienentää suoraan korjauksen työkuukausia, tuo vakiokorvaussäästöjä sekä pienentää keskeytyksestä aiheutunutta haittaa (KAH-kustannuksia).

Oletetaan, että vian etsinnässä käytettyä vikapartiointia tehdään sulan maan aikana ja lumen syvyyden ollessa pieni (alle 30 cm) jalkapartiointina. Talviaikaan käytetään apuna moottorikelkkaa, kun lumiolosuhteet sen mahdollistavat. Käytettäessä keskimääräistä lumitilannetta keskisessä Suomessa, voidaan arvioida, että jalkapartiointia tehdään 8 kuukautta ja kelkkapartiointia 4 kuukautta vuodessa. Oheisessa taulukossa on arvioitu miehittämättömien ilma-alusten käytöllä saavutettavat korjausajan lyhenemisestä saatavat työaikasäästöt.

Keskijännite-ilmajohtoverkon määrä/km	Ilmajohtoverkon viat/kpl/ vuosi	Partiointia vaativat viat/kpl/ vuosi	Jalkapartiointiin käytetty aika/h/ vuosi	Kelkkapartiointiin käytetty aika/h/vuosi	Lentopartiointiin käytettävä aika/h/vuosi	Lentopartioinnin työajan säästö/h noin	Lentopartioinnin työaikasäästö/€
87 000	13 920	8 700	7 308	313	435	7 200	576 000
72 500	11 600	7 250	6 090	261	363	6 000	480 000
58 000	9 280	5 800	4 872	209	290	4 800	384 000

Taulukko 1. RPA-ilma-aluksilla saavutettavissa olevia säästöjä vianpaikannuksessa

Taulukossa 1. parametrina on käytetyt ilmajohtoverkon määrät [km] vastaavat prosentteina 75%, 62,5% ja 50% koko keskijännitteisen ilmajohtoverkoston pituudesta maassamme vuonna 2015. Vuonna 2015 keskijännitteistä ilmajohtoverkkoa oli yhteensä noin 116 000 km, joka oli hieman alle 82% keskijänniteverkon kokonaismäärästä, Energiaviraston tilasto vuodelta 2015.

Taulukon laskelmissa on käytetty työkustannuksena 80 €/h (AVL 0%), muut käytetyt parametrit ja oletukset on esitetty liitteessä 2. Arvioinnin tulos on, että RPA-laitteiden käytöllä säästetään vian paikannuskustannuksissa noin 6,6 €/ilmajohtokilometri/vuosi.

9.3 Vakiokorvaussäästöt

Verkkoyhtiö joutuu maksamaan sähkökatkoksista vakiokorvauksen asiakkaalle, mikäli sähkönjakelun keskeytys kestää yhtäjaksoisesti yli 12 tuntia. Keskeytys lasketaan alkaneeksi siitä, kun vika on tullut verkkoyhtiön tietoon käytön järjestelmien kautta tai asiakkaan ilmoituksesta.

Vakiokorvaukset määräytyvät seuraavasti:

- 12-24 tuntia.....10 % vuotuisesta verkkopalvelumaksusta
- 24-72 tuntia.....25 % vuotuisesta verkkopalvelumaksusta
- 72-120 tuntia.....50 % vuotuisesta verkkopalvelumaksusta
- 120-192 tuntia.....100 % vuotuisesta verkkopalvelumaksusta
- 192-288 tuntia.....150 % vuotuisesta verkkopalvelumaksusta
- Yli 288 tuntia.....200 % vuotuisesta verkkopalvelumaksusta.

Vakiokorvauksen määrä perustuu asiakkaan arvioituihin vuotuisiin verkkopalvelumaksuihin veroineen (sis. alv ja sähkövero) ja keskeytyksen pituuteen.

Kalenterivuoden kuluessa maksettavien vakiokorvausten enimmäismäärä on 200 % vuotuisesta siirtomaksusta tai enintään 2000 euroa.

Oletetaan, että RPA-lentopartioinnilla voidaan vähentää 5% ilmajohtovikojen aiheuttamista vakiokorvausmaksuista ja yhden vian aiheuttama korvaussumma on keskimäärin 3 500 € (50 asiakasta*70 €/asiakas). Saadaan taulukon 2. mukaiset vakiokorvaussäästöt.

Keskijännite-ilmajohtoverkon määrä/km	Partiointia vaativat viat/kpl/ vuosi	Vakiokorvauten piiriin johtavien vikojen määrän väheneminen/kpl	Vakiokorvaussäästöt/€
87 000	8 700	435	1 522 500
72 500	7 250	363	1 270 500
58 000	5 800	290	1 015 000

Taulukko 2. Arvio vakiokorvaussäästöistä

9.4 KAH-vaikutukset

Keskeytyksistä aiheutuu haittaa tai taloudellista vahinkoa sähkön käyttäjille. Keskeytyksien aiheuttamien haittojen (KAH-haitta) arviointiin on kehitetty erilaisia laskentamenetelmiä. Suomessa Energiamarkkinaviraston käyttämässä mallissa jakeluverkkoyhtiöiden KAH-laskelmissa otetaan huomioon vain 1-70 kV keskijänniteverkon keskeytykset (pj-verkon vikoja ei huomioida). Haitan euromääräisessä arvioinnissa käytetään asiakasryhmäkohtaisia laskentaparametreja, liite 3. ja /15/. Yhden vian aiheuttama haitta riippuu vian sijainnista verkossa. Mitä lähempänä vika on johtolähtöjä syöttävää sähköasemaa, sitä suurempi määrä asiakkaita on yleensä ilman sähköä. Tässä selvityksessä arvioidaan KAH-haittoja hyvin karkealla tasolla käyttäen haitan arvioinnissa keskeytysteholle haitta-arvoa 10 €/kW ja laskelmat esitetään kolmella tehoarvolla 25, 50 ja 100 kW. Taulukossa 3. on esitetty RPA-ilmalusten käytöllä saatavissa olevat KAH-haittojen säästöt käyttäen taulukon 1. työaikasäästöjä.

KAH-teho/kW	Keskijännite-ilmajohtoverkon määrä/km	Partiointia vaativat viat/kpl/ vuosi	Keskeytysajan lyheneminen/h	KAH-säästö/€
25	87 000	8 700	7 200	1 800 000
	72 500	7 250	6 000	1 500 000
	58 000	5 800	4 800	1 200 000
50	87 000	8 700	7 200	3 600 000
	72 500	7 250	6 000	3 000 000
	58 000	5 800	4 800	2 400 000
100	87 000	8 700	7 200	7 200 000
	72 500	7 250	6 000	6 000 000
	58 000	5 800	4 800	4 800 000

Taulukko 3. Arvio KAH-säästöistä eri tehoarvoilla ja ilmajohtomäärillä

9.5 RPAS-kopterien säästöpotentiaali miehitettyjen helikopterien korvaajana

Miehitettyjä helikoptereita käytetään suurhäiriötilanteissa sekä tilannekuvan muodostamiseen, että keskijänniteverkon vikojen paikantamiseen. Miehitetyn helikopterin lentotuntikustannus on koneesta ja varustuksesta riippuen luokkaa 900 – 1 500 €/tunti (AVL 0%). Multikoptereilla vastaavasti lentotunnin hinta on arviolta luokkaa 100 – 200 €/tunti. Hinnassa on mukana kaikki lentotoiminnan työ- ja laitekulut, joista työkustannukset ovat määräävässä asemassa. Multikopterien käytöllä voidaan osin korvata miehitettyjä helikoptereita muun muassa vianpaikannuksessa ja saavuttaa näin merkittäviä säästöjä. Multikopterien käytön rutinoituessa miehitettyjen helikopterien käytön vähentymisestä saatavat säästöt voivat olla verkkoyhtiöissä vuositasolla yhteensä varovaisestikin arvioituna useita satoja tuhansia euroja.

9.6 Verkostoinvestointien säästöpotentiaali

Miehittämättömien ilma-alusten onnistuneella käytöllä voidaan lyhentää vikakeskeytyksiä toimintaprosessia tehostamalla. Tämä voisi mahdollistaa verkkoinvestointien lykkäämisen säävarmaan verkkoon, esimerkkinä keskijänniteverkon kaapelointi. Energiaviraston ohjausmallia tulisi hienosäätää, jotta malli tukisi menettelytapaa.

Verkkoinvestointien säästöpotentiaalin talousvaikutusten arviointi on raportin laatimisen hetkellä hyvin vaikeaa kokemusperäisen tiedon puuttuessa RPA-laitteiden käytännön toimivuudesta viankorjausprosessin apuna. Asian jatkoselvittämiseen on syytä palata, mikäli RPA-laitteet osoittautuvat kenttäkokeissa hyvin toimiviksi.

9.7 Vikapartioinnin aikana sattuneet työtaturmat

Vikapartiointi hankalissa ympäristö- ja ilmasto-olosuhteissa on riskialtista työtä sekä jakaisin että moottorikelkalla suoritettuna. Partiointityöstä aiheutuvat työtaturmat aiheuttavat sairauskustannuksia sekä työajan menetyksiä. Miehittämättömien ilma-alusten käytöllä voidaan työtaturmien määrää vähentää merkittävästi ja näin saada aikaan lisäsäästöjä.

9.8 RPAS-kopterien pääoma- ja ylläpitokustannukset

Ammattitason multikopterit ovat hintavia laitteita ja niiden ylläpidosta ja huollosta seuraa kustannuksia. Erityisesti BVLOS-toimintaan kunnolla kykenevien suorituskykyisten laitteiden pääomakustannukset oheisvarusteineen ovat merkittävät, luokkaa 5 000 – 10 000 €/laite. Investointien takaisinmaksun kannalta olisikin edullista, että ainakin kalliita high end-luokan laitteita voitaisiin käyttää myös verkoston määräaikaistarkastuksissa.

Vianpaikannuksessa tarvittava laitteiden määrä riippuu laitteen suorituskyvystä ja toimintatavasta (VLOS/BVLOS). Luonnollisesti eniten laitteita tarvitaan laajoissa suurhäiriöissä, jolloin koko verkkoyhtiön alueella voi olla vianpaikannusta vaativia vikoja. Todella tehokkaassa käytössä, kun partio keskittyy vain vianpaikannuksiin, voisi yhdellä BVLOS-toimintaan kykenevällä high end-luokan multikopterilla operoida hyvissä lento-olosuhteissa vuorokaudessa 50 johtokilometriä. Tämä edellyttää lennättämiselle ja ilmakuvaukselle sopivia valaistusolosuhteita ja edellä mainittuun lentomäärään päästäneen vain kesällä. Mid end-luokan laitteilla voisi parhaimmillaan päästä puoleen ko. lentomäärästä ja osa lennoista voisi olla VLOS-lentoja.

Oletetaan RPA-laitteiden käytöllä saatavaksi viankorjauskustannusten säästöksi kohdan 9.2 arvoa 6,6 €/ilmajohtokilometri/vuosi. Henkilökustannuksiin perustuvien säästöjen oletetaan kasvavan 2,5%/vuosi kustannusnousun takia.

Ylläpitokustannuksia seuraa lähinnä akkujen lataamisesta ja uusimisesta sekä huoltokuluista ja mahdollisten törmäysvaurioiden korjaamisesta, joita välttämättä syntyy jonkin verran haasteellisissa olosuhteissa operoitaessa. Vuotuisiksi ylläpito- ja huoltokustannuksiksi oletetaan 5% investointikustannuksista.

Nämä kulut eivät sisällä lennättämisen työkustannuksia. Kulujen oletetaan kasvavan vuosittain 2,5% muun muassa työkustannusten nousun takia.

Seuraavan sivun taulukon 4. esimerkimerkkilaskelmassa oletetaan verkkoyhtiöllä olevan 10 000 km keskijännitteistä ilma-johtoverkkoa, joka pitää pystyä lentämään läpi kokonaisuudessaan kahden vuorokauden aikana. Tällöin tarvitaan noin 100 high end-luokan multikopteria, joiden hankintahinnaksi oletetaan 7 500 €/kpl.

Laitteiden oletetaan kestävän käytössä 5 vuotta, jonka jälkeen ne uusitaan. Oletetaan lisäksi, että laitteilla ei ole muuta käyttöä.

Esimerkkilaskelmassa on otettu laskennalliseksi KAH-säästön arvoksi 10% taulukon 3. KAH-haittakustannuksesta 50 kW:n keskeytysteholla, joka on noin 40 €/kj-ilmajohtokilometri/vuosi.

Taulukossa 5. sama investointilaskelma on tehty käyttäen mid end-luokan multikoptereita, joiden lentosuorite on hig end-laitteisiin verrattuna puolta pienempi ja laiteiden yksikkökustannus 2 000 €/laite.

Investointilaskelmista voidaan päätellä multikopterien käytön olevan molemmilla laitetyypeillä hyvin kannattavaa. Investointi on kannattava, kun kumulatiivinen nykyarvo on positiivinen. High end-laitteiden tapauksessa se on 10 vuoden käyttöajalla noin +0,7 M€ ja mid end-luokan laitteiden ollessa kyseessä vastaavasti +1,5 M€. Mid end-laitteiden käytön hyvä kannattavuus johtuu laitteiden halvemmassa hankintahinnasta, vaikka kopterien määrä on kaksinkertainen.

Multikopterien käyttö on jopa selvästi kannattavaa, vaikka KAH-hyötyjä ei otettaisi laskelmissa mukaan ollenkaan. Ilman KAH-hyötyjä kopterien käytöllä saavutetaan kumulatiiviseksi nykyarvoksi muutettuna vastaavasti noin +0,3 M€ (high end) tai 1,1 M€ (mid end) säästöt kymmenen vuoden käyttöajalla.

Taulukoissa 4. ja 5. ei ole huomioitu ollenkaan multikopterien mahdollista käyttöä pj-johtojen vianpaikannuksessa, mikä vielä parantaisi kannattavuutta.

10 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA KEHITTÄMISEHDOTUKSIA

10.1 RPAS-kopterien hyödyntäminen verkoston häiriöselvitystyössä

Perinteisiä miehitettyjä helikoptereita käytetään laajasti sähköverkoston määräaikaistarkastuksiin liittyvissä ilmakuvauksissa sekä suurhäiriöiden aikana tilannekuvan muodostamiseen sekä sen jälkeen yksittäisten vikojen paikantamiseen. Miehitettyjen helikopterien käyttöä rajoittaa sangen korkeat lentokustannukset sekä ajoittain heikko saatavuus laajoissa suurhäiriötilanteissa.

Nopeasti kehittyvät miehittämättömät ilma-alukset (RPA/UAV) ja erityisesti moniroottoriset multikopterit soveltuvat verkoston vianpaikannuslentoihin jännitetasosta riippumatta toimintasäteen ollessa pieni (alle 5 km). Multikopterien laajamittaisella käytöllä voidaan osin korvata miehitettyjen helikopterien käyttöä ja saavuttaa näin merkittäviä kustannussäästöjä. Lisäksi multikoptereilla voidaan korvata perinteistä jalkaisin tai moottorikelkoin tehtävää vikapartiointia kaupallisesti saatavilla olevilla RPA-laitteilla. Erityisesti suuri multikopterien hyödyntämispotentiaali on haja-asutusalueiden metsäisessä maastossa, jossa lentorajoitukset ovat vähäiset ja lentopartioinnista saatavat hyödyt suuret.

Miehittämättömien ilma-alusten menestyksekkäällä käytöllä sähköverkoston vianselvityksen apuna voidaan luonnonilmiöiden aiheuttamien sähkökatkosten aikaa lyhentää tuntuvasti ja näin parantaa sähkön toimitusvarmuutta. Parhaimmassa tapauksessa säävarmaan verkostoon tehtäviä investointeja voidaan lykätä tai osin siirtää toisaalle, jolloin verkkoinvestointien taloudellista taakkaa verkkoyhtiölle voidaan pienentää. Tämä näkyisi myös loppukäyttäjän sähkönsiirtomaksujen pienempinä korotuksina.

Euroopan unionissa on meneillään laaja hanke miehittämättömien ilma-alusten käytön sääntelyn lisäämiseksi. RPA-ilma-aluksia käyttävien tai sitä suunnittelevien tahojen ja kansallisten ilmailuviranomaisten tulee olla valppaana, että ei pääse tapahtumaan alan yliregulointia. Asiallinen ja kansallista päätäntävaltaa säilyttävä regulointi lisää ennustettavuutta ja edistää alan kehittymistä. Yliregulointi rajoittaa helposti liikaa toimintaa ja nostaa kustannuksia, jolloin toiminnan kannattavuus rapautuu.

10.2 RPAS-kopterien hyödyntämispotentiaali nopealla aikataululla

Sarjavalmisteiset multikopterit soveltuvat teknistaloudellisesti tänä päivänä lähinnä näköyhteydellä tapahtuviin verkoston vianpaikannukseen (ns. VLOS-toiminta) sekä automaattiohjauksessa tapahtuvaan reittipistelennättämiseen näköyhteyden ulkopuolella. Toimintamatka sähkökäyttöisillä laitteilla riippuu akun kestävydestä, joka on nykytekniikalla tyypillisesti enintään 30 minuuttia tarkoittaen multikopterilla enintään 10 kilometrin lentomatkaa hyvissä olosuhteissa. Tämä riittää useimmissa tapauksilla yhden 2-5 kilometrin erotinvälin vianpaikannuslennon turvalliseen lentämiseen.

10.3 RPAS-kopterien hyödyntämispotentiaali tulevaisuudessa

Keskipitkällä aikavälillä (noin 5 vuotta) RPA-ilma-alusten tarjonnan odotetaan selvästi lisääntyvän eri teollisuusalojen ammattimaisiin kuvaussovellutuksiin.

Eryteisesti odotetaan verkkoyhtiöympäristössä BVLOS-toimintaan kykenevien erilaisten puoli- ja täysautomaattisten järjestelmien kehittymistä osin korvaamaan miehitetyillä helikoptereilla tehtäviä lentoja sekä merkittävästi laajentamaan ilma-alusten käyttöä verkoston vianpaikannuksessa.

RPA-ilma-alusten hyödyntämismahdollisuuksiin tulevaisuudessa vaikuttaa keskeisesti lainsäädännössä ja viranomaissäätelyssä tapahtuva kehitys.

10.4 Kehittämisehdotuksia ja suosituksia alan toimijoille ja viranomaisille

Laite- ja järjestelmävalmistajat:

- Sähkökäyttöisten moniroottoristen multikopterien kokonaissuorituskykyä lisättävä selvästi pitkien BVLOS-lentojen mahdollistamiseksi. Eryteisesti akkujen energiatiheyttä parannettava ja/tai käyttösähköä voitava tuottaa lennon aikana (esim. polttokennotekniikka tms.)
- Kehitettävä tai parannettava näköyhteyden ulkopuolella operoitaessa tarvittavia ohjaus-, navigointi- ja turvajärjestelmiä. Suorien RC-ohjausyhteyksien kantavuutta lisättävä
- Parannettava lennonsuunnittelun työkaluja, esimerkkinä 3-ulotteisen maastomallin käyttöönotto lennonsuunnittelussa. Mallin tulee pystyä viemään korkeustiedot verkkokomponenteista ja maaston lentoestetiedot
- Luotava yhteysmenettelystandardi ohjaus- ja kuvansiirtoyhteyksiä varten
- Kehitettävä havaintoaineiston siirrossa ja jälkikäsittelyssä tarvittavia ohjelmistoja ja kehitettävä yhteinen yhteysmenettely (standardoitu protokolla)

Lainsäätäjä ja viranomaiset:

- Lainsäädäntöä kehitettävä toiminnan mahdollistavaan suuntaan sekä kansainvälisellä että kansallisella tasolla
- Suomi on harvaan asuttu maa ja sääntelyssä tulee huomioida maamme erityispiirteet. Eryteisesti haja-asutusalueilla sääntelyn on oltava liberaalia ja toimintamahdollisuuksia edistävää
- BVLOS-toiminta tulisi sallia asemakaava-alueiden ulkopuolella riittävän ammattipätevyyden omaaville toimijoille alle 25 kiloilla RPA-ilma-aluksilla toimittaessa ilman ilmatilan varaamista, kun toimitaan lentoestekorkeuden alapuolella (lentokorkeus enintään 30 metriä maan tai veden pinnasta)
- Toiminta pimeällä olisi sallittava myös muille kuin viranomaisille, kun lentotoiminnan harjoittajalla on riittävä pätevyys ja asianmukainen kalusto
- Osoitettava taajuudet näköyhteyden ulkopuolella harjoitettavaa lentotoimintaa varten. Ko. taajuuksien käytössä sallittava releointiasemien käyttäminen
- Energiaviraston tulisi huomioida RPA-ilma-alusten potentiaali vian-selvityksessä kehitettäessä ohjausmallia uutta valvontajaksoa silmällä pitäen

Valtiovalta

- Tuettava aloittavia alan yrityksiä sekä kehitysohjelmaa taloudellisesti
- Ohjattava oppilaitoksia riittävin kannustimin alan koulutusohjelmien toteuttamiseksi

Koulutusta ja opetusta järjestävät tahot:

- Rakennettava korkeatasoista ja laaja-alaista ammattikoulutusta (mm. järjestelmätekniikka ja RPA-ilma-alusten ohjaaminen ja navigointi)
- Kotimaista lento-operaattorikoulutusta lisättävä. Erityisesti käytännön siviilipuolen ohjaaja- ja navigointikoulutusta tarvittaisiin

Lentotoiminnan harjoittajat:

- Seurattava tiiviisti alan kehitystä ja investoitava miehittämättömän ilmailun kokeilujärjestelmiin
- Kehitettävä miehittämättömien ilma-alusten operoinnissa ja huollossa tarvittavaa osaamista ja resursseja
- Vaikutettava ilma-alusten valmistajiin myös siviilipuolen ammattilaitteiden kehittämiseksi
- Vaikutettava aktiivisesti viranomaisiin miehittämättömän ilmailun toiminta-edellytysten parantamiseksi ja oikein kohdennetun sääntelyn toteuttamiseksi. Erityisen tärkeää on nyt vaikuttaa uuden EU-tasoisien regulaation valmisteluun
- Rakennettava yhdessä viranomaisten kanssa RPA-lentotoimintaan ammattimainen toimintamalli harrastelijamaisen mallin "mies ja drone" sijasta

Vakuutus- ja rahoitussektori:

- Kehitettävä alalle kilpailukykyisiä vakuutus- ja rahoitustuotteita

Palvelujen loppukäyttäjät ja järjestöt:

- Tuettava aloittavia RPA-lentoliiketoiminnan harjoittajia ja testattava uusia innovaatiota
- Koottavat voimat yhteisten kehitysohjelmien toteuttamiseksi laitevalmistajien, lento-operaattorien sekä tutkimus- ja oppilaitosten kanssa
- Rajoitetun alueen ja yksittäisten rakenteiden digitaalisissa ilmakuvauksissa (mm. vianpaikannus) multikopterit ovat edullisin ja usein myös laadukain vaihtoehto. Edistää niiden laajamittaista käyttöä

Kaikki alan aktiiviset toimijat

- Ilmailusäännösten rikkojat ilmoitettava viranomaisille alan hyvän maineen ylläpitämiseksi ja vahinkojen välttämiseksi
- Alalle positiivista näkyvyyttä – käyttää kaikki mahdollisuudet viestiä alan kehityspotentiaalista ja vahvoista tulevaisuuden näkymistä

11 LYHENTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

LYHENTEET

AGL	Altitude above Ground Level - Korkeus maan pinnasta
AIC	Aeronautical information circular - Ilmailutiedote
AIP	Aeronautical Information Publication - Ilmailukäsikirja
AIS	Aeronautical Information Services - Ilmailutiedotuspalvelu
AMC	Airspace Management Cell - Ilmatilan hallintayksikkö
AMSL	Above Mean Sea Level - Korkeus merenpinnasta
ASM	Airspace Management - Ilmatilan hallinta
ATM	Air Traffic Management - Ilmaliikenteen hallinta
ATS	Air Traffic Services - Ilmaliikennepalvelu
Autopilotti	Laite tai järjestelmä, joka huolehtii automaattisesti ilma-aluksen ohjaamisesta
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight - Lennot suoran näköyhteyden ulkopuolelle
CTA	Control Traffic Area - Lennonjohtoalue
CTR	Control Zone - Lähialue
D-alue	Danger Area - Vaara-alue
DMS	Distribution Management System - Sähköverkon käytöntukijärjestelmä (yleensä paikkatietopohjainen)
EASA	European Aviation Safety Agency – Euroopan ilmailun turvallisuusviranomainen
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power - Ekvivalenttinen isotrooppinen säteilyteho
Eurocontrol	European Organisation for the Safety of Air Navigation
EVLOS	Extended Visual Line Of Sight,
FIR	Flight Information Region - Lentotiedotusalue
FIZ	Flight Information Zone - Lentotiedotusvyöhyke
Galileo	Euroopan kehitteillä oleva satelliittinavigointijärjestelmä
GIS	Geographic Information Systems - Paikkatietojärjestelmä

GLONASS	Global Navigation Satellite System - Venäjän maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
GPS	Global Positioning System - Yhdysvaltojen maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
ICAO	International Civil Aviation Organization - Kansainvälinen siviili-ilmailu järjestö
IMU	Inertial Measurement Unit - Inertianmittausyksikkö, joka voi sisältää gyroskoopin ja 3D-kiiktyvyysanturien lisäksi paineanturin (barometri) ja magnetometrin. IMU on elektroninen laite, joka ei nykyisin sisällä liikkuvia osia toisin kuin perinteinen ”hyrräkompassi”. Autopilotin välttämätön sensori
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
MIL CTA	Military Control Area - Sotilaslennonjohtoalue
MTOM	Maximum TakeOff Mass - maksimi lentoonlähtömassa
NIS	Network Information System - Verkkotietojärjestelmä (yleensä paikkatietopohjainen)
NOTAM	Notice to Airmen - Ilmailutiedotussähke
P-alue	Prohibited Area - Kieltoalue
R-alue	Restricted Area - Rajoitusalue
RMZ	Radio Mandatory Zone - Radiovyöhyke
R-alue	Rajoitusalue (Restricted Area)
RGB	Red Green Blue - Näkyvän alueen päävärit, sininen, vihreä ja punainen
RPAS	Remote Piloted Aircraft – Kauko-ohjattu ilma-alus
RPAS	Remote Piloted Aircraft System, Kauko-ohjattu ilma-alusjärjestelmä
TCAS	Traffic Collision Avoidance System - Toisiotutkan transponderi-signaalin perustuva ilma-alusten törmäyksenestojärjestelmä
TMA	Terminal Control Area - Lähestymisalue
TMZ	Transponder Mandatory Zone - Transponderivyöhyke
TRA	Temporary Reserved Area - Tilapäinen ilmatilavarausalue
TRAFI	Liikenteen turvallisuusvirasto
TRP	Tutkavastaaja, transponderi



TSA	Temporary Segregated Area - Tilapäinen erillisvarausalue
UA	Unmanned Aircraft
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VHF AER	Ilmailu-VHF-radiopuhelin
VFR	Visual Flight Rules - Nimitys lentomenetelmästä, jossa ohjaaminen tapahtuu hyvissä sääolosuhteissa ja lentäjällä on riittävä näkyvyys maahan ja ympäristöön. "visuaalilentäminen"
VLOS	Visual Line Of Sight - Lennot suoran näköyhteyden avulla

MÄÄRITELMIÄ

AIP Supplement	AIP Supplement -julkaisulla voidaan saattaa ilmatilan käyttäjille tiedoksi tilapäinen muutos AIP:ssa julkaistuihin tietoihin. AIP Supplement -menettelyllä ilmoitetut muutokset ovat joko pitkäkestoisia (yli 3kk), tai sellaisia lyhytkestoisia muutoksia joiden kuvaaminen edellyttää mittavaa tekstisisältöä, tai esim. karttakuvia
Approved Agency	Liikenteen turvallisuusviraston tai sotilasilmailuviranomaisen erikseen hyväksymä toimija, jolla on oikeus esittää ennakoilmoituksia ilmatilarakenteiden suunnitellusta käytöstä
Kieltoalue – P-alue	Valtakunnan maa-alueen tai aluevesien yläpuolella oleva rajoiltaan määrätty ilmatilan osa, jossa ilmailu on kielletty. Kieltoalueita voidaan perustaa valtioneuvoston asetuksella suojaamaan erityisiä kohteita.
Lentotiedotusvyöhyke - FIZ	Lentotiedotusvyöhykkeitä on perustettu niiden lentopaikkojen yhteyteen, joiden operaatiomäärät eivät edellytä valvotun ilmatilan mukaista lennonjohtopalvelua
Lähi- (CTR) ja lähestymisalue (TMA)	Lähialue tarkoittaa valvottua ilmatilaa, joka ulottuu maan tai veden pinnasta määrättyyn ylärajaan saakka. Lentoasemien ATS-yksiköiden toiminnan mahdollistamiseksi ja operaatioiden turvaamiseksi on perustettu valvotun ilmatilan osia (lähi- ja lähestymisalueita) ja niille ilmaliikennepalvelun tarjoajan toimesta lentomenetelmiä
QRA-lento	Operatiiviset hälytyslennot (Quick Reaction Alert), joita ovat alueellisen koskemattomuuden valvonnan ja turvaamisen edellyttämät valvonta-, tunnistus-, torjunta-, kuljetus- ja tiedustelulennot, valmiuden tehostamiseen liittyvät lennot ja ilmaoperaatiot sekä kiireelliseen virka-avun antoon liittyvät lennot. Myös puolustusvoimien lentokalustolla toteutettavat etsintä- ja pelastustoimintaan liittyvät lennot ovat operatiivisia hälytyslentoja. Operatiivinen hälytyslento on etuoikeusluokiteltua ilmaliikennettä
Radiovyöhyke	Määrättyä ilmatilaa, jossa ilma-aluksessa on oltava radiolaite ja jossa sen käyttö on pakollista
Rajoitusalue – R-alue	Valtakunnan maa-alueen tai aluevesien yläpuolella oleva rajoiltaan määrätty ilmatilan osa, jossa ilmailu on rajoitettu erityisin määräyksin. Rajoitusalueita voidaan perustaa valtioneuvoston asetuksella suojaamaan erityisiä kohteita

Tilapäinen erillisvarausalue - TSA

Tilapäiset erillisvarausalueet (TSA) ovat perustettu vain sotilasilmailun tarpeisiin. TSA:t ovat sivurajoiltaan ennalta määritellyjä ilmatilan osia, joiden sisäpuolella tapahtuva toiminta edellyttää ko. ilmatilan varaamista määräytyksi ajanjaksoksi tietyn käyttäjäryhmän toimintaa varten. Lennonjohto ei saa antaa lennonjohtoselvitystä lennolle varatulle tilapäiselle erillisvarausalueelle, paitsi silloin kun alue on varattu kyseiselle käyttäjäryhmälle tai käyttäjäryhmän määrittämin ehdoin

Tilapäinen ilmatilavarausalue - TRA

TRA:t ovat sivurajoiltaan ennalta määritellyjä ilmatilan osia, joiden sisäpuolella tapahtuva toiminta edellyttää ko. ilmatilan varaamista määräytyksi ajanjaksoksi tietyn käyttäjäryhmän toimintaa varten. Valvotussa ilmatilassa lennonjohto voi selvittää ilma-aluksen aktiiviseksi ilmoitetulle TRA:lle

Transponderivyöhyke

Rajoiltaan määrättyä ilmatilaa, jossa ilma-aluksessa on oltava painekorkeuden ilmoittava toisiotutkavastain (transponderi) ja jossa sen käyttö on pakollista.

Vaara-alue – D

Rajoiltaan määrätty ilmatila, jossa voi määräaikoina tapahtua lennolla oleville ilma-aluksille vaarallista toimintaa, kuten ilmailua miehittämättömillä ilma-aluksilla, purjelentoa tai muuta vilkasta harrasteilmailua.

Vapaan reitityksen ilmatila

Määrättyä ilmatilaa, jossa käyttäjät voivat suunnitella reittinsä vapaasti saapumispisteen ja poistumispisteen välillä ATS-reittiverkkoa käyttämättä

12 LÄHDELUETTELO

- /1/ Toiminta sähköjakelun suurhäiriössä, Konsulttitoimisto Reneco Oy 2012; <https://konsulttitoimistoreneco.files.wordpress.com/2012/09/et-suurhc3a4iric3b6-raportti-2012-09-18.pdf> (kopio osoite tarvittaessa selaimen otsikkokenttään)
- /2/ Lentorobotit sähköverkon tarkastuksissa, Konsulttitoimisto Reneco Oy 2014, https://energia.fi/files/961/Lentorobotit_sahkoverkon_tarkastuksissa.pdf
- /3/ Lentorobottien pilotointi sähköverkon tarkastuksissa, Sharper Shape Oy, Next Eagle Oy ja Konsulttitoimisto Reneco Oy 2014, https://energia.fi/files/949/Lentorobottien_pilotointi_sahkoverkon_tarkastuksissa.pdf
- /4/ Ilmailumääräys M1-32 Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen, https://www.trafi.fi/filebank/a/1482415412/c34a1bef37860a2559d61acf4fdebb3a/23514-OPS_M1-32_VALMIS_maarays_RPAS_fi.pdf
- /5/ Kauko-ohjatut kopterit (UAS/RPAS/Drone) - taajuudet ja lupa-asiat, <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/kauko-ohjatutkoopterit.html>
- /6/ Kartat, Paikkatietoikkuna, <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>
- /7/ Vapaasti ladattavat kartat ja ilmakuvat, Maanmittauslaitoksen avoimen aineiston tiedostopalvelu, <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>
- /8/ GoogleEarth-kuvapalvelu, sovelluksen lataus: <http://www.google.fi/intl/fi/earth/download/ge/agree.html>
- /9/ GoogleMaps-palvelu, <https://www.google.fi/maps>
- /10/ Ilmailukäsikirja, AIP Suomi-Finland; <https://ais.fi/ais/eaip/fi/>
- /11/ Ilmailun tiedotuspalvelu AIS; <https://ais.fi/>
- /12/ ASM-toimintakäsikirja, Trafi; <http://www.trafi.fi/filebank/a/1376474760/6cf2b762e5d059ffdde70cb97b891e05/13034-ASM-toimintakasikirja.pdf>
- /13/ Puolustusvoimat, ilmakehuvausluvat; <http://puolustusvoimat.fi/ilmakehuvauslupa>
- /14/ Materiaalia Euroopan unionin tulevasta miehittämättömän ilmailun regulaatiosta, http://rpas-regulations.com/wp-content/uploads/2017/05/EASA_NPA-2017-05A_170505_TR.pdf ja http://rpas-regulations.com/wp-content/uploads/2017/05/EASA_NPA-2017-05B_170512_TR.pdf
- /15/ Energiavirasto; Valvontamenetelmät neljännellä 1.1.2016 – 31.12.2019 ja viidennellä 1.1.2020 – 31.12.2023 valvontajaksolla, Sähkön jakeluverkkotoiminta, Sähkön suurjännitteinen jakeluverkkotoiminta

Kuvaus	Määrä kpl/km/h/€, Yhteensä (keskim.)	Määrä kpl/h/€ 2014	Määrä kpl/h/€ 2015	Määrä kpl/h/€ 2016
Yhtiö:				
Käyttöpaikkojen määrä (kpl)		1 345 873	1 357 527	
Verkoston tietoja:				
Jakeluverkoston pituus yhteensä (kj+pj, km)		191 431	194 955	
Kj-ilmajohtoa (km)		60 920	59 316	
Pj-ilmajohtoa (km)		76 588	75 923	
Alueverkon (110 kV tai suurempi) pituus (km)		3 807	3 850	
Arvio jakeluverkoston pituudesta 2030 (kj+pj, km)				
Arvio kj-ilmajohtoa 2030 (km), arvio yhdeltä yhtiöltä	0,5*2016			
Arvio pj-ilmajohtoa 2030 (km), arvio yhdeltä yhtiöltä	0,6*2016			
Vikatietoja:				
Jakeluverkon viat ¹ 2014-2016 määrä/kesto (kpl/h)				
Kj-ilmajohtoverkon viat ² 2014-2016 määrä (kpl)		7 670	11 095	4 838
Pj-ilmajohtoverkon viat ² 2014-2016 määrä (kpl)		9 281	9 116	5 175
Kj-ilmajohtoverkon viat ² 2014-2016 kesto (h)		3,12	3,40	2,67
Pj-ilmajohtoverkon viat ² 2014-2016 kesto (h)		3,03	4,46	3,16
Vikakorjaustietoja:				
Jakeluverkon vikojen korjausaika ⁴ keskimäärin (h)		1,46	1,71	1,11
Kj-ilmajohtoverkon vikojen korjausaika ⁴ keskim. (h)		1,15	1,15	1,15
Pj-ilmajohtoverkon vikojen korjausaika ⁴ keskim. (h)		1,13	1,13	1,13
Keskim. keskeytysajan keskiarvo (h), viiden yhtiön tiedot		4,9	14,3	
Keskim. keskeytysajan vaihteluväli (h), viiden yhtiön tiedot		0,2 - 12,7	0,2 - 28,0	
Vikojen aiheuttamat kustannukset (ilman ALV):				
Koko jakeluverkon vikojen korjauskustannukset ⁵ (€)		12 845 299	9 191 574	
Kj-ilmajohtoverkon vikojen korjauskustannukset ⁵ (€)		7 577 241	7 478 691	
Pj-ilmajohtoverkon vikojen korjauskustannukset ⁵ (€)		2 617 600	1 684 666	
Alueverkon vikojen korjauskustannukset ⁵ keskim. (€)				
KAH-kustannus ⁶ (M€)		38,3	53,8	21,6
Maksetut vakiokorvaukset - haarukka (k€) ⁷		0,65 - 850	0,6 - 9 513	0,7 - 629
Tunnuslukuja				
KAH-kustannus/Kj-vika (€)		38 253	53 779	
Koko jakeluverkon korjauskustannushaarukka/vika (€)	627 - 1 129			
Koko jakeluverkon korjauskustannushaarukka/johtokilometri (€)/vuosi	96 - 127			
Kj-ilmajohtoverkon korjauskustannushaarukka/vika (€)	771 - 2 085			
Kj-ilmajohtoverkon korjauskustannushaarukka/johtokilometri (€)/vuosi	112 - 554			
Pj-ilmajohtoverkon korjauskustannushaarukka/vika (€)	321 - 1 256			
Pj-ilmajohtoverkon korjauskustannushaarukka/johtokilometri (€)/vuosi	38 - 99			
Kj-vikoja/ilmajohtokilometri/vuosi (kpl), ka. 2014-2015		0,13	0,19	
Pj-vikoja/ilmajohtokilometri/vuosi (kpl), ka. 2014-2015		0,12	0,12	
Sinisellä merkityt tiedot saatu kahdelta yhtiöltä, muut 3-5 yhtiöltä				

1 Kaikki pysyvät, korjaustoimenpiteitä vaatineet jakeluverkostoviat ml. Ilmajohdot, maakaapelit, jakelumuuntamot yms. Suunniteltuja keskeytyksiä ja AJK/PJK:n toimintaa, jossa sähkö palautuvat automaattikytkennän jälkeen ei lasketa pysyviksi vioiksi. Keskimääräinen kesto, vika. Samalla johto-osuudella olevia useita, samaan keskeytykseen vaikuttavia vikoja voidaan tarvittaessa käsitellä yhtenä vikana.

2 Ilmajohdot ml. jakelumuuntajat, johtokatkaisijat, erottimet yms. Keskimääräinen kesto/vika. Ks. Kohda 1 loppuhuomautus. Tiedot osin puutteelliset (ei esim. sisällä kaikilta osin suurhääriöiden tietoja)

4 Arvio korjaukseen käytetystä todellisesta työajasta (ei koko keskeytyksen aika). Mikäli samaan keskeytykseen liittyy useita vikoja, keskimääräinen korjausaika/yksittäinen vika (jos mahdollista)

5 Arvio vikojen korjaamisen **työkustannuksista**; 2014 kolmen yhtiön tiedot, 2015-2016 kahden yhtiön tiedot

6 Vikojen aiheuttama laskennallinen Kj-vikojen KAH-kustannus ilman lyhyitä AJK/PJK-keskeytyksiä (mikäli mahdollista) ja ilman suunniteltuja keskeytyksiä, kolmen yhtiön tiedot

7 Tiedot EV:n tilastoista

VIANPAIKANNUKSEN TYÖKUSTANNUSARVIOSSA KÄYTETTYJÄ OLETUSARVOJA

Vian etsintä jalkaisin:

- Metsäolosuhteissa kulkevan linjan partiointinopeus kävellen on n. 2 km /h. Paikannuksessa mukana tyypillisesti vain saha
- Yöllä partiointinopeus hidastuu n. 1 km/h vauhtiin pimeyden estäessä näkyvyyttä ja kulkeminen maastossa hankaloituu. Myös vikapaikan havaitseminen vaikeampaa pimeässä
- Keskimäärin partiointinopeus on 1,5 km/h
- Jalkaisin kulkemista hidastaa maastossa erityisesti lumi, joet, purot, ojat ja suot

Vian etsintä moottorikelkalla:

- Vaatii riittävät lumiolosuhteet, joten käyttöaikaoletus 4 kk/vuosi
- Lumitilanteen ollessa hyvä, voidaan kelkkaa käyttää n. 80 % vikojen etsinnässä
- Tyypillisesti kelkka mukana ja jätetään esim. levikkeelle. Käydään hakemassa, kun vika on saatu rajattua erotinohjauksin riittävän suppealle alueelle.
- Partiointinopeus 15 km/h
- Kelkan siirtämisiin, purkamiseen yms. menee aikaa ½ h/vika.

Keskijännitevikojen vuotuinen vianpaikannusaika jalkaisin ja moottorikelkalla

- Keskijänniteviat saadaan tyypillisesti rajattua n. 2 km johto-osuudelle. Keskijännitevikoja, joissa vikapaikkaa ei tunneta tai vian paikannukseen liittyy vianetsintää maastossa, oletetaan olevan 65% kaikista keskijännitteisen ilmajohtoverkon vioista (mm. 10% vikapaikoista näkyy ilman partiointia maastossa)
- Tällöin saadaan partiointia vaativaksi vikataajuudeksi 0,10 kpl/ilmajohtokilometri/vuosi (käyttäen taulukon 1 vikataajuuden keskiarvoa 0,16 kpl/ilmajohtokilometri/vuosi)
- Oletetaan, että 70 % vioista etsitään jalkaisin partioimalla ja loput 30 % tarkistetaan kelkalla. Partiointinopeus jalkaisin 1,5 km/h ja moottorikelkalla 15 km/h. Partiointimatka/vika keskimäärin 1,8 km
- Kävelypartiointiin käytetty työaika: $0,75 * \text{vikamäärä} * 1,8 \text{ km} / 1,5 \text{ km/h}$
- Kelkkapartiointiin käytetty työaika: $0,25 * \text{vikamäärä} * 1,8 \text{ km} / 15 \text{ km/h}$
- Kelkan siirtämisiin, lastaamisiin yms. kuluva työaika: vikamäärä * 0,5 h

Multikopterien käytöllä saatava työaikasäästö

- Lennokin partiointinopeus on 10 m/s eli 36 km/h
- Oletetaan että lennokilla korvataan kaikki jalkaisin ja kelkalla suoritettavat partioinnit
- Partiointiaika lennokkia käyttäen on: partioitava johtopituus/36 km/h
- Oletetaan, että multikopterin toimintakuntoon saattaminen vaatii valmistelutyötä 0,2h/vika
- Tällöin lennokkia käyttäen vianpaikannuksessa säästyy työaikaa: Kävelypartiointiin käytetty aika + Kelkkapartiointiin käytetty aika – Lentopartiointiin käytetty aika
- Käytetty keskimääräinen työn tuntihinta sisältäen lisät 80 €/h (ALV 0%)

KAH-VAIKUTUSTEN LASKENTA

Keskijännitejaketuverkon keskeytuskustannusten (KAH) laskentakaava neljännellä valvontajaksolla (2016 -2019). Odottamattomien katkosten osalta kaavan 1. osasta huomioidaan vain ylin rivi (merkitty indeksillä odott.):

$$KAH_{t,k}^{KJ} = \left(\begin{array}{l} KA_{odott,t}^{KJ} \times h_{E,odott} + KM_{odott,t}^{KJ} \times h_{W,odott} + \\ KA_{suunn,t}^{KJ} \times h_{E,suunn} + KM_{suunn,t}^{KJ} \times h_{W,suunn} + \\ AJK_t^{KJ} \times h_{AJK} + PJK_t^{KJ} \times h_{PJK} \end{array} \right) \times \left(\frac{W_t}{T_t} \right) \times \left(\frac{KHI_k}{KHI_{2005}} \right)$$

Missä,

$KAH_{t,k}^{KJ}$ = keskijännitejaketuverkon toteutuneet keskeytuskustannukset vuonna t vuoden k rahanarvossa, euroa

W_k = siirretyn energian määrä vuonna k , kilowattituntia

W_t = siirretyn energian määrä vuonna t , kilowattituntia

k = vuosi 2016, 2017, 2018 tai 2019

$KA_{odott,t}^{KJ}$ = keskijännitejaketuverkon odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysaika, tuntia

$h_{E,odott}$ = odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysajalle, euroa/kilowattitunti

$KM_{odott,t}^{KJ}$ = keskijännitejaketuverkon odottamattomista keskeytyksistä aiheutunut vuosienenergioilla painotettu keskeytysmäärä, kappaletta

$h_{W,odott}$ = odottamattomista keskeytyksistä aiheutuneen haitan yksikköhinta keskeytysmäärälle, euroa/kilowatti

T_t = tuntien lukumäärä vuonna t

KHI_k = kuluttajahintaindeksi vuonna k

KHI_{2005} = kuluttajahintaindeksi vuonna 2005